



**ESTUDIO
HIDRODINÁMICO DEL
REACTOR BIOLÓGICO
DE LA EDAR DE TINEO**



AUTORES:

Javier Climent Agustina, CEO de Hydrodynamic and Environmental Services (HYDRENS)

Jose Vilarroig Herrera, CTO de Hydrodynamic and Environmental Services (HYDRENS)

Jose Manuel Cabedo Oliver, responsable técnico Zona en Sociedad de Fomento Agrícola Castellonense, S.A (FACSA)

Laura García Rego, jefa de Explotación de la EDAR de Tineo en Sociedad de Fomento Agrícola Castellonense, S.A (FACSA)

Sandra Arizaga Rodríguez, jefa de Explotación de la EDAR de Tineo en Sociedad de Fomento Agrícola Castellonense, S.A (FACSA)

Ignacio Álvarez Niembro, técnico responsable de la EDAR de Tineo en Consorcio de Aguas de Asturias (CADASA)

Alberto Villa Miguel, jefe del Servicio de Saneamiento y Depuración en Consorcio de Aguas de Asturias (CADASA)

1 RESUMEN

En el presente estudio, llevado a cabo por HYDRENS y FACSA con la colaboración del Consorcio de Aguas de Asturias (CADASA), se exponen los resultados obtenidos tras el análisis hidrodinámico del reactor biológico de la EDAR de Tineo. El estudio se ha realizado a través de un modelo informático sobre el que se ha analizado en detalle el comportamiento fluidodinámico en el reactor y el efecto producido por los agitadores o vehiculadores que se encuentran sumergidos en su interior. El desarrollo del modelo informático del reactor biológico ha permitido conocer el comportamiento hidrodinámico del sistema y disponer de una base sólida sobre la que proponer cambios encaminados a mejorar y optimizar el funcionamiento actual del reactor.

El proceso de modelización del reactor biológico se ha realizado mediante herramientas CFD “Computer Fluid Dynamics”, concretamente con el software ANSYS 19.2. La simulación CFD es una herramienta ampliamente utilizada en diferentes campos de la ingeniería que permite reproducir el comportamiento y la interacción de los fluidos en todo tipo de espacios 3D y en un amplio abanico de condiciones de contorno. De esta forma, se ha podido determinar el comportamiento hidráulico del reactor biológico en diferentes condiciones de funcionamiento mediante un modelo CFD, validado mediante medidas experimentales en campo.

Palabras Clave: Comportamiento hidráulico, Reactor biológico, EDAR, CFD

Abstract

In the present study, developed by HYDRENS and FACSA with the collaboration of Asturias Water Consortium (CADASA), the hydrodynamic results of the biological reactor of Tineo WWTP are exposed. The study has been realized through an informatic model where both the hydrodynamic behavior in the reactor and the performance of the stirrers submerged inside, have been analyzed in detail. The informatic model development of the biological reactor has let the technicians to understand the hydrodynamic behavior of the system and to dispose of a solid base from where to propose changes and optimize the actual working of the reactor.

The modelling process of the biological reactor has been realized by means of CFD “Computer Fluid Dynamics” tools, concretely the software ANSYS 19.2. CFD simulation is a widely used tool in different fields of the engineering that allows to reproduce the behavior and the interaction of fluids in all 3D spaces and in a wide spectrum of boundary conditions. By this way, the hydraulic behavior has been determined in different working conditions using a CFD model, validated through experimental measurements on the field.

Key words: Hydraulic behavior, biological reactor, WWTP, CFD

2 INTRODUCCIÓN

Los canales de oxidación representan una tecnología de depuración de aguas residuales mediante fangos activados muy extendida, en la que una de sus principales características es que permite llevar a cabo las reacciones de nitrificación y desnitrificación simultáneamente, mediante la generación de regiones aireadas y no aireadas en el mismo tanque o canal.



Figura 1: Reactor biológico de la EDAR de Tineo.

El mezclado (*mixing*) se puede estudiar desde dos puntos de vista bien diferenciados: *macromezcla* y *micromezcla*. El primero se corresponde con la caracterización global del comportamiento hidráulico en un tanque, distribución del tiempo de residencia y evaluación de la tipología de flujo: reactor continuo de tanque agitado (RCTA) o reactor tipo flujo de pistón (RFP). Con ello se puede estudiar la dispersión del sustrato y los mecanismos de difusión, así como determinar el área interfacial de la reacción. Por otro lado, la micromezcla tiene en cuenta los efectos de la difusión turbulenta a escala molecular y está relacionada con los mecanismos de transferencia de masa a nivel de flóculo, el cual, en el campo que nos ocupa, queda implícito en las constantes cinéticas de semisaturación (Glover et al, 2006). Ambos mecanismos de mezcla están regidos por el sistema de agitación y de aireación (Metcalf&Eddy, 2004).

Los canales de oxidación suelen dotarse de agitadores de baja velocidad (vehiculadores) para proporcionar las condiciones de mezclado óptimas. Estos garantizan la circulación del flujo manteniendo en suspensión los flóculos del licor mezcla y, por otra parte, proporcionan la dispersión y mezcla de los sustratos implicados en las reacciones biológicas. Dichos vehiculadores, disponen de una serie de hélices que proporcionan al flujo la velocidad adecuada para llevar a cabo los objetivos expuestos anteriormente.

En cuanto a la potencia de agitación, normalmente se trabaja con ratios de referencia, como, por ejemplo, [0.008 – 0.013] (kW/m³) (WEF, 1996), incluso menores, 5 W/m³ en el caso de [CEDEX], de forma que, a partir del volumen del reactor, se pueda calcular directamente la potencia de agitación. Por otra parte, existen multitud de expresiones con las que calcular de forma más precisa la potencia de agitación, la cual se puede relacionar con diferentes parámetros (diámetro y velocidad de la pala del agitador, etc.). En estas expresiones es necesario disponer del gradiente de velocidad en la mezcla expresado en 1/s, lo cual suele ser algo complejo.

Actualmente, mediante herramientas CFD se puede analizar en detalle este tipo de fenómenos y establecer criterios para cada configuración, sea cual sea la geometría del tanque, el sistema de agitación, características del fluido y los parámetros de proceso.

Así, el propósito de este estudio es aplicar técnicas de simulación CFD para el estudio hidráulico del reactor biológico y caracterizar la distribución de velocidad del flujo de forma detallada en el dominio 3D. A partir del rendimiento del mezclado, se analizarán posibles mejoras para aumentar el rendimiento del proceso biológico bajo el prisma de la eficiencia energética.

3 OBJETIVO

El objetivo principal del estudio consiste en reproducir el comportamiento fluidodinámico del reactor biológico a través de un modelo informático mediante técnicas de simulación CFD, que permita determinar la distribución de velocidades en su interior y evaluar así la posibilidad de reubicar, así como de reducir el número de vehiculadores necesarios para mantener una correcta agitación del licor mezcla.

A partir de los resultados de este estudio, se explorarán nuevas configuraciones que permitan reducir la energía de agitación empleada, garantizando una distribución de velocidad suficientemente elevada como para mantener en suspensión los sólidos del licor mezcla.

4 METODOS Y MATERIALES

Para el desarrollo del estudio, ha sido necesario desarrollar diferentes submodelos para ayudar a establecer las condiciones de contorno en los agitadores y simular así el comportamiento global del sistema de una forma más eficiente en términos de cálculo.

En primer lugar, se ha elaborado un submodelo en el que se ha analizado en detalle el comportamiento del tipo de agitador utilizado en el reactor biológico, con el objetivo de determinar el momento generado sobre el fluido y poder definir una aproximación para incluir este fenómeno en el modelo completo del reactor biológico.

En segundo lugar, se ha desarrollado un modelo CFD del reactor biológico en el que se reproduce el comportamiento hidrodinámico del reactor biológico actual, incluyendo como condiciones de contorno los resultados obtenidos tras el análisis del submodelo previo.

En tercer lugar, se ha llevado a cabo un proceso de validación del modelo mediante medidas experimentales en campo utilizando un velocímetro ADV (tecnología acústica Doppler).

Finalmente, a partir del modelo CFD validado se han analizado diferentes alternativas de funcionamiento y se ha propuesto una mejora que resulta técnica y económicamente viable.

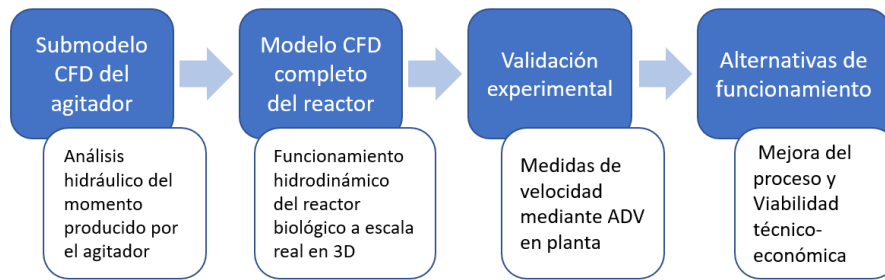


Figura 2: Metodología utilizada para la realización del estudio.

4.1 Submodelo del agitador

Para poder realizar el estudio de la situación actual del reactor biológico, se ha considerado el funcionamiento de dos agitadores modelo SB 2224 A 40/4 YD funcionando bajo condiciones de operación concretas. De esta forma, se puede analizar el comportamiento durante su funcionamiento habitual, y cuantificar la mejora tras plantear las modificaciones pertinentes en el sistema de agitación. Para poder realizar su modelado de forma adecuada ha sido necesaria información como los planos de estos y ciertas fotografías. La cantidad y calidad de la información obtenida es crucial para elaborar el modelo geométrico de los agitadores con la mayor precisión posible.

4.1.1 Elaboración del modelo geométrico

El primer paso en el proceso de modelización del sistema consiste realizar un modelo en CAD de la geometría a simular. En la **Figura 3**, se puede observar la geometría del agitador realizada.

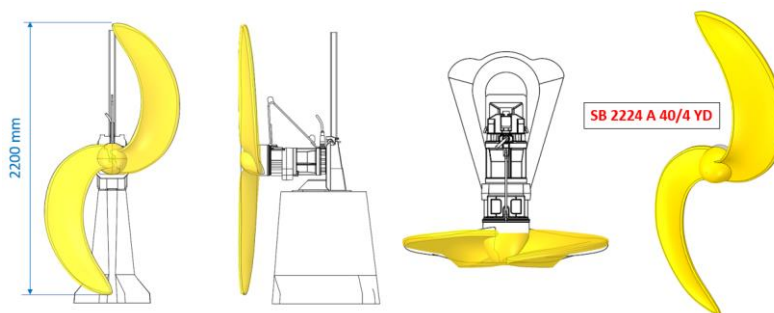


Figura 3: Geometría del agitador SB 2224 A 40/4 YD extraído de los planos del fabricante.

En este caso, el agitador consiste en una hélice bipala tipo banana que tiene un diámetro de 2200mm. Se encuentra anclada en el fondo gracias a una estructura metálica y es posible cambiar su posición a lo largo del canal de manera relativamente simple. Una vez realizada la geometría del vehiculador en sí, es necesario introducirla en el interior de un dominio de geometría controlada de manera que se pueda estudiar su comportamiento hidrodinámico.

4.1.2 Mallado del modelo geométrico

Con todo ello, se ha obtenido un modelo con un número total de 667k nodos, lo que proporciona una precisión adecuada en los resultados, en un tiempo computacional asequible.

4.1.3 Resultados

A continuación, se presentan los resultados obtenidos tras la simulación del submodelo del agitador. En la **Figura 4** se muestran las líneas de flujo obtenidas tras la simulación del submodelo. Las líneas de flujo obtenidas son las que caben esperar para este tipo de agitadores.

El cálculo de la fuerza de impulsión que los álabes proporcionan sobre el agua es de 3119 N mientras que el par se ha estimado en 705.6 J. Considerando el anterior par y la velocidad de rotación de 56 rpm, se obtiene que la potencia liberada por el agitador en el agua es de 4138 W lo que coincide con el valor proporcionado con el fabricante de 4kW.

Finalmente, considerando todos los anteriores parámetros (fuerza de impulsión, par y potencia), se ha podido calcular el valor del momento volumétrico en $1510 \text{ kg/m}^2\text{s}^2$, que será necesario para realizar las simulaciones del reactor biológico completo.

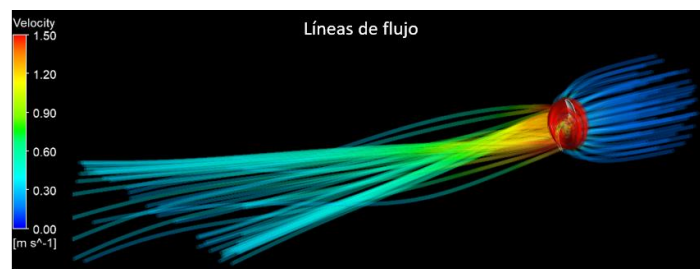


Figura 4: líneas de flujo observadas tras la simulación del submodelo del agitador.

4.2 MODELADO DEL REACTOR BIOLÓGICO COMPLETO (caso actual)

En este apartado se describe la elaboración del modelo del reactor completo.

4.2.1 Elaboración del modelo geométrico



Figura 5: Modelo geométrico del reactor biológico completo.

La principal diferencia entre este modelo y el submodelo utilizado en el apartado anterior es que los agitadores han sido representados por unos cilindros de dimensiones 2200mm de diámetro y 416mm de ancho situados a 1500 mm del fondo. Este dominio, será configurado con unas condiciones que permitan simular el funcionamiento real del agitador sin necesidad de

reproducir su giro utilizando la geometría detallada del SB 2224 A 40/4 YD, lo que conlleva una reducción considerable en el tiempo de cálculo empleado.

4.2.2 Mallado del modelo geométrico

Con estos parámetros de configuración de malla, se ha obtenido un modelo cuyo número total de nodos asciende hasta los 1.29 millones de nodos. Aunque esta cantidad de nodos duplica prácticamente la cantidad utilizada en el submodelo del agitador, es una cantidad adecuada considerando que el modelo simulado se corresponde al reactor biológico completo a escala real.

4.2.3 Resultados

Se ha analizado el comportamiento del flujo en planos paralelos al suelo situados a diferentes alturas. Concretamente, se han estudiado las líneas de flujo sobre planos que se encuentran a 1.5, 3 y 5 metros de altura con respecto a la solera del reactor biológico.

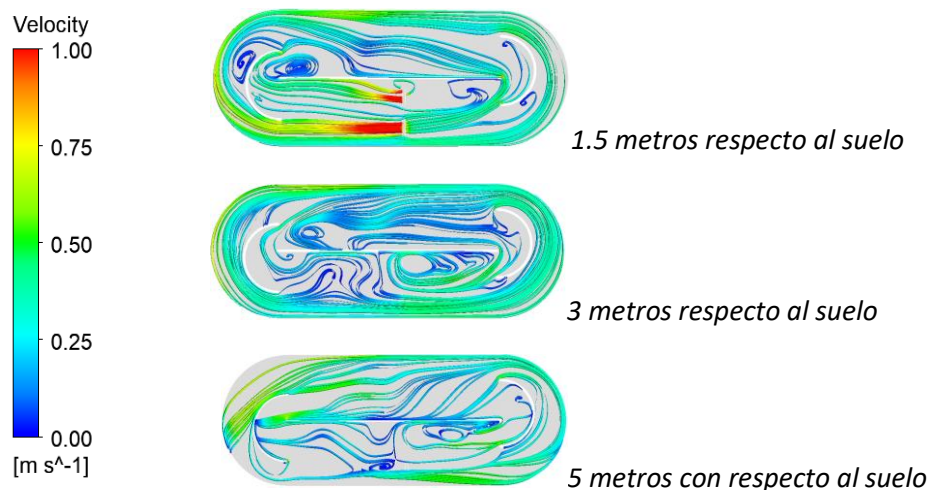


Figura 6: Líneas de flujo en planos horizontales a 1.5, 3 y 5 metros de la solera del reactor.

Para una mayor comprensión del efecto hidrodinámico, se han estudiado los perfiles de velocidad a lo largo de diferentes líneas verticales situadas en diferentes puntos del reactor. Se han analizado una serie de líneas situadas en la parte externa del reactor (L1-L5) y otras situadas en la parte interna (L1i-L5i) (Figura 7).

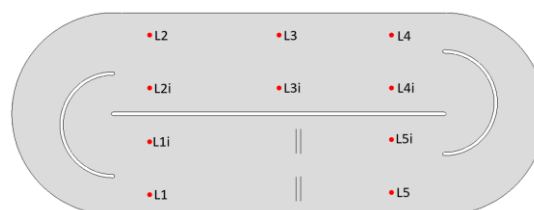


Figura 7: Puntos de cálculo de los perfiles de velocidad verticales.

De forma general, la distribución de velocidad del flujo sobre los perfiles verticales que se encuentran en la parte exterior es más elevada que la del interior. De esta forma, la menor

Estudio hidrodinámico del reactor biológico de la EDAR de Tineo

velocidad calculada se encuentra en la parte trasera del agitador (perfiles L5 y L5i). Los valores resultantes son suficientemente elevados para evitar la sedimentación de sólidos.

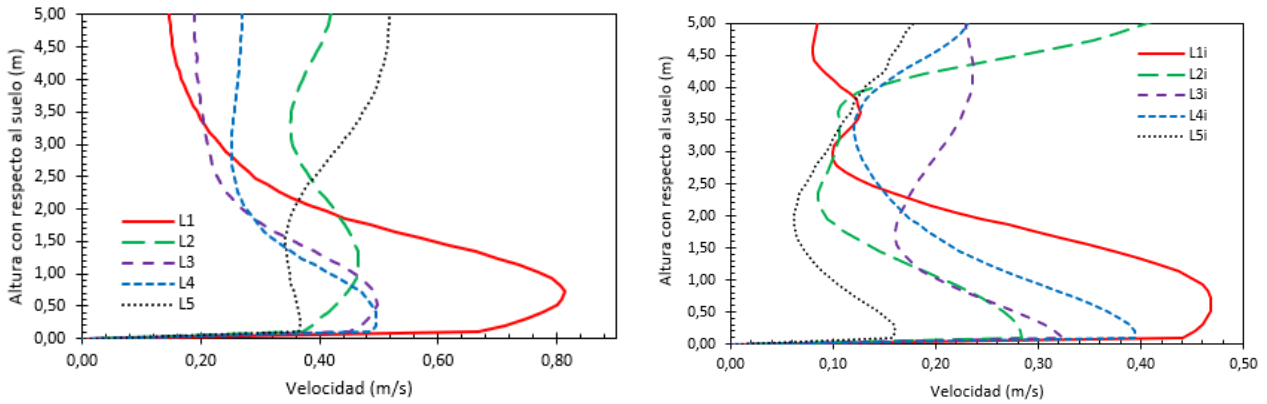


Figura 8: Perfiles de velocidad en las líneas verticales situados por la parte externa (izquierda) e interna (derecha) del reactor biológico.

En la **Figura 9** se han representado aquellas zonas dentro del reactor biológico cuyas velocidades se encuentran por debajo de 0.05 m/s, consideradas zonas de baja velocidad. Se puede observar que dichas zonas son muy reducidas y se encuentran muy localizadas como son las áreas cerca de los deflectores semicirculares o justo en los extremos del muro central. También se aprecia una pequeña zona de baja velocidad en la zona superior tras los agitadores, ya que el fuerte flujo producido por estos en la zona inferior ralentiza las velocidades cerca de la lámina libre.

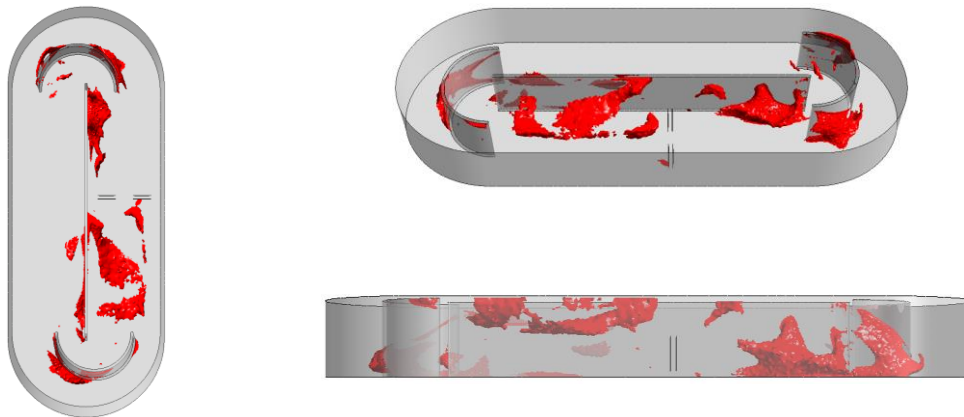


Figura 9: Volumen con velocidades inferiores a los 0.05 m/s para el caso actual.

El volumen ocupado por las velocidades del flujo inferiores a 0.05 m/s ha resultado en un valor aproximadamente de 54 m³, que representa el 1.3% del volumen total del reactor. El valor de la velocidad promedio en el biorreactor es de 0.301 m/s.

5 VALIDACIÓN MEDIANTE MEDIDAS EXPERIMENTALES EN CAMPO

Tal y como se ha comentado anteriormente, se ha realizado una validación del modelo CFD mediante medidas experimentales de velocidad del flujo. Para ello, se han realizado 9 mediciones en diferentes puntos y a diferentes alturas. Las mediciones se han realizado sobre el puente del reactor, en el lado opuesto de los agitadores.

Los dispositivos que funcionan según el principio del efecto Doppler de señal acústica son los más utilizados para realizar mediciones experimentales del campo de velocidad en el sector del tratamiento de aguas residuales. Una de sus variantes es el velocímetro acústico Doppler de alta resolución (ADV), también conocido como *Vectrino Nortek*®.

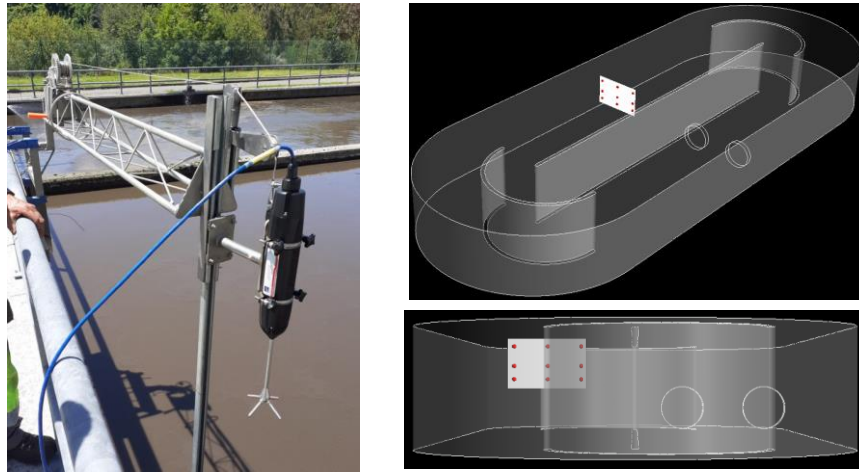


Figura 10: Estructura de anclaje del Vectrino (izquierda) y diferentes puntos de medición en el interior del reactor biológico (derecha).

Tal y como puede observarse en las gráficas de la **Figura 11**, existe una muy buena concordancia entre los valores medidos por el Vectrino y los proporcionados mediante las simulaciones CFD. De esta manera, el modelo CFD queda validado experimentalmente, y, por tanto, es adecuado y suficientemente robusto para ser utilizado en el estudio de otras configuraciones encaminadas a la búsqueda de soluciones y mejoras en el comportamiento de este reactor biológico en cuestión.

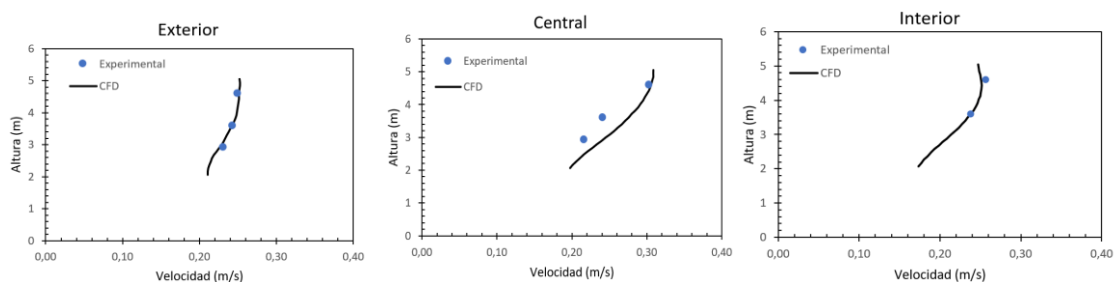


Figura 11: Comparación entre las medidas experimentales obtenidas con el Vectrino y los valores proporcionados por las simulaciones CFD.

6 PROPUESTA DE SOLUCIONES

En el presente apartado se van a proponer una serie de mejoras de funcionamiento y cambios en la configuración de los agitadores con el objetivo de reducir la potencia de agitación empleada en el reactor biológico garantizando el buen funcionamiento del proceso.

Las soluciones planteadas consisten en la eliminación de uno de los agitadores que se encuentran funcionando actualmente y en la determinación del emplazamiento óptimo del agitador restante. La solución debe garantizar el cumplimiento de los requisitos mínimos de velocidad en el interior del reactor para evitar la aparición de volúmenes con velocidades excesivamente bajas que puedan generar una sedimentación no deseada del licor mezcla.

6.1 Posicionar un único agitador en la zona externa del biorreactor

6.1.1 Realización del modelo CFD

La realización de este modelo se ha basado en el modelo anterior, pero en este caso se ha realizado una modificación eliminando el agitador situado en el interior. El número de nodos de la malla se sitúa en una cantidad muy similar al caso anterior, ya que las modificaciones realizadas son pequeñas, geoméricamente hablando.

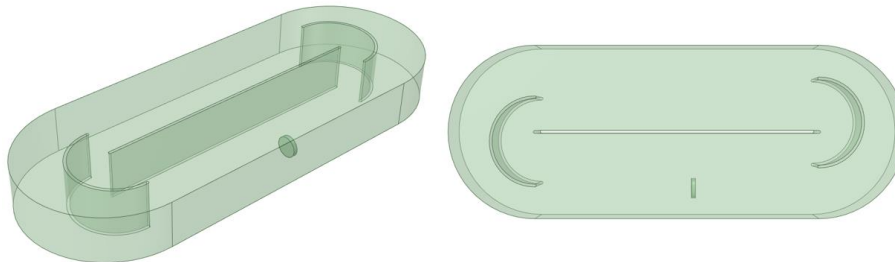


Figura 12: Nueva geometría eliminando el agitador de la zona interna del reactor.

6.1.2 Resultados obtenidos

Tras la realización de las simulaciones, se han analizado las líneas de flujo sobre los mismos planos horizontales utilizados para el estudio del reactor en la situación actual, es decir, a 1.5, 3 y 5 metros de altura.

Estudio hidrodinámico del reactor biológico de la EDAR de Tineo

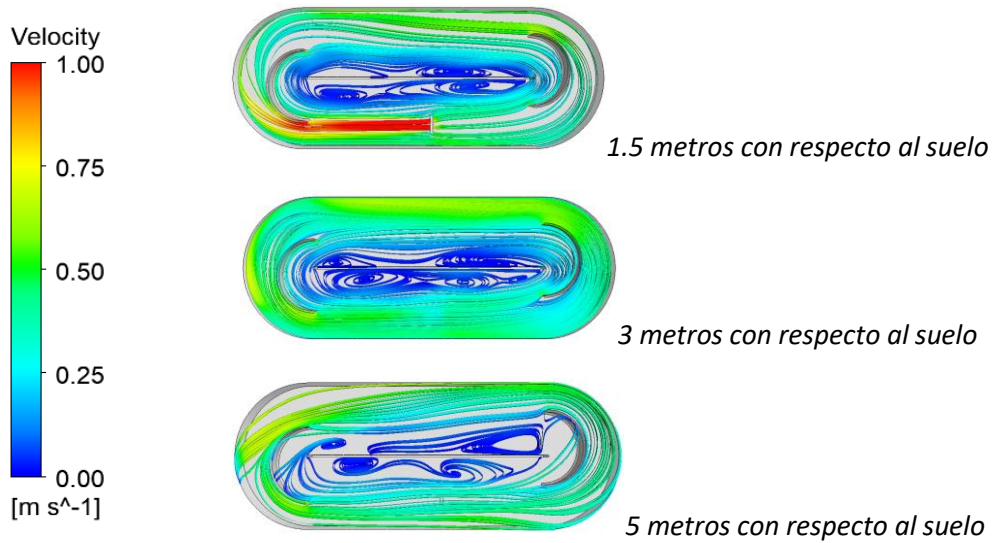


Figura 13: Líneas de flujo en planos horizontales a 1.5, 3 y 5 metros de la solera del reactor para el caso de un único agitador situado en la zona externa.

Analizando las líneas de flujo en los diferentes planos de la **Figura 13**, se observa cómo al utilizar un único agitador, se aumenta significativamente la circulación por la parte externa en todos los planos. Sin embargo, las zonas cercanas al muro central presentan arremolinamientos y velocidades bajas. Esto no sucede con la configuración actual dado que el agitador interior se encarga de mantener esta zona en movimiento. Se observa pues un aumento significativo en los valores de velocidad por la parte externa del reactor, pero a la vez, la velocidad por la zona interna se ve reducida.

Se han analizado los perfiles de velocidad vertical en los mismos puntos seleccionados en la **Figura 7** obteniéndose las siguientes gráficas:

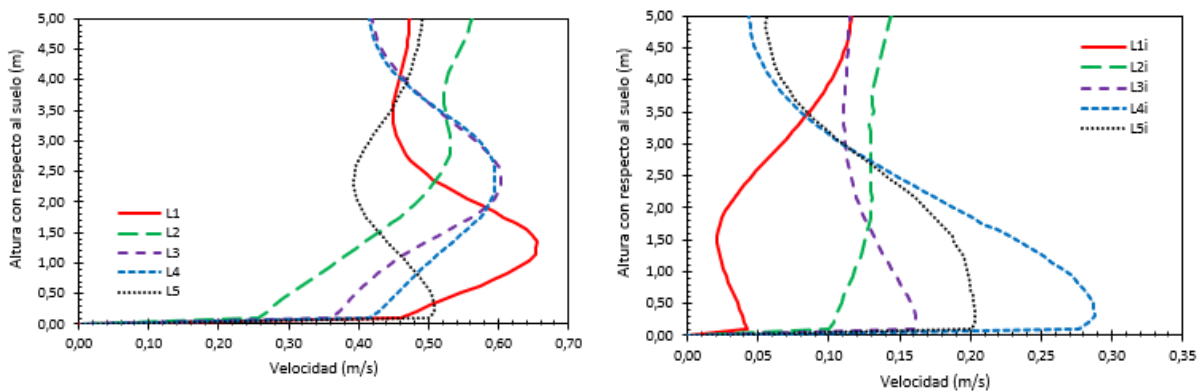


Figura 14: Perfiles de velocidad en las líneas verticales situados por la parte externa (izquierda) e interna (derecha) del reactor biológico con un único agitador en la zona externa.

En la gráfica de la **Figura 14**, se puede observar que los perfiles de velocidad se mantienen en valores elevados e incluso superiores a los obtenidos en el caso actual con 2 agitadores en funcionamiento. El efecto del agitador se hace presente únicamente en la L1 (zona externa)

mientras que en la L1i (zona interna) el perfil de velocidades disminuye significativamente debido a la falta del agitador que se encuentra cerca del muro central. Los perfiles de velocidades en la parte interior muestran un decaimiento significativo en el valor de la velocidad. El punto donde más se evidencia esta reducción, es en la línea L1j, donde la eliminación del agitador interno sumado a la cercanía de esta línea a la curva de 180°, producen una caída drástica en la velocidad en ese punto. El resto de los perfiles de la zona interna, muestran también valores más bajos con respecto a sus homólogos analizados en el caso actual, pero se encuentran dentro de los límites de velocidad aceptables.

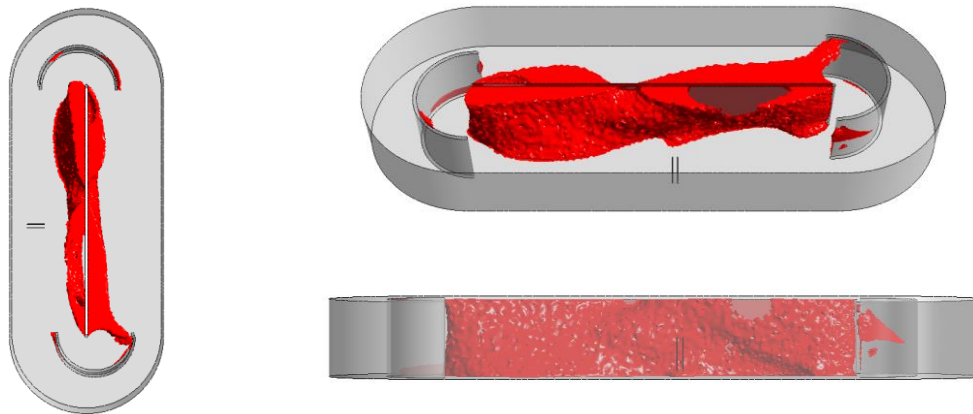


Figura 15: Volumen con velocidades inferiores a los 0.05 m/s para el caso de un agitador en el lateral.

En la **Figura 15**, se muestran nuevamente las velocidades cuyo valor es inferior a 0.05 m/s. Se observa de forma clara, como estas zonas de baja velocidad se encuentran localizadas a lo largo de todo el muro central. Esto pone en evidencia la importancia del agitador interior que permite mantener una mayor agitación en esta zona cercana al muro. El volumen ocupado por estas zonas de baja velocidad se ha estimado en 344 m³, lo que representa un 8.6% del volumen total del reactor y supone un aumento de 168 m³ con respecto a la situación actual. Sin embargo, la velocidad media en el interior del reactor ha aumentado hasta los 0.323 m/s lo que significa que las velocidades que se alcanzarían en la zona externa serían significativamente superiores a las que se tienen actualmente, ya que, por la zona interna, las velocidades han resultado ser más bajas que en el caso actual.

6.2 Posicionar un único agitador en la zona central del biorreactor

6.2.1 Realización del modelo CFD

Tras analizar la primera propuesta de solución en la que se ha considerado el funcionamiento del reactor con un único agitador situado en la zona exterior, se ha propuesto una segunda solución en la que el agitador se desplaza ligeramente hacia el interior y queda centrado en el canal. El objetivo que se persigue con este cambio es obtener velocidades ligeramente superiores en la zona interna del reactor (cerca del muro central) a costa de reducir las

velocidades externas que, como se ha visto en el caso de la solución anterior, tienen un valor muy elevado.

El modelo se ha realizado siguiendo las mismas pautas que se han seguido para elaborar los modelos de la situación actual y de la propuesta de modificación con el agitador en la zona externa. Se ha realizado una ligera modificación para desplazar el agitador y situarlo justo en el centro del canal tal y como puede verse en la siguiente imagen:

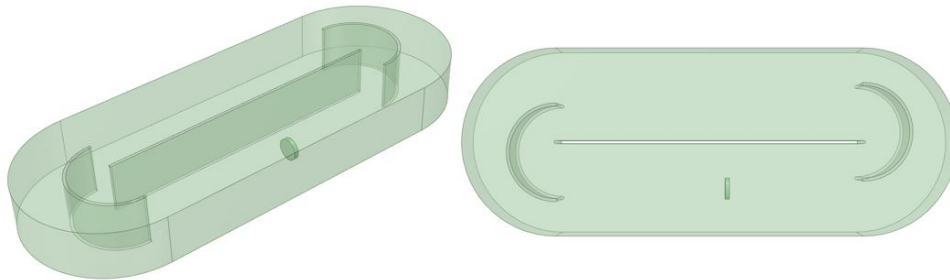


Figura 16: Nueva geometría desplazando el agitador hacia el centro del canal.

Tras realizar el mallado respetando los mismos refinamientos y condiciones que en los anteriores modelos, se ha obtenido una malla con un total de 1.26 millones nodos, lo que coincide con la cantidad empleada en el modelo del agitador situado en la zona interna.

De la misma manera, las condiciones de contorno se han mantenido inalteradas con respecto a las utilizadas en los apartados anteriores.

6.2.2 Resultados obtenidos

Una vez realizados los cálculos de la simulación, se han representado las líneas de flujo sobre planos horizontales a 1.5, 3 y 5 metros de altura (**Figura 17**).

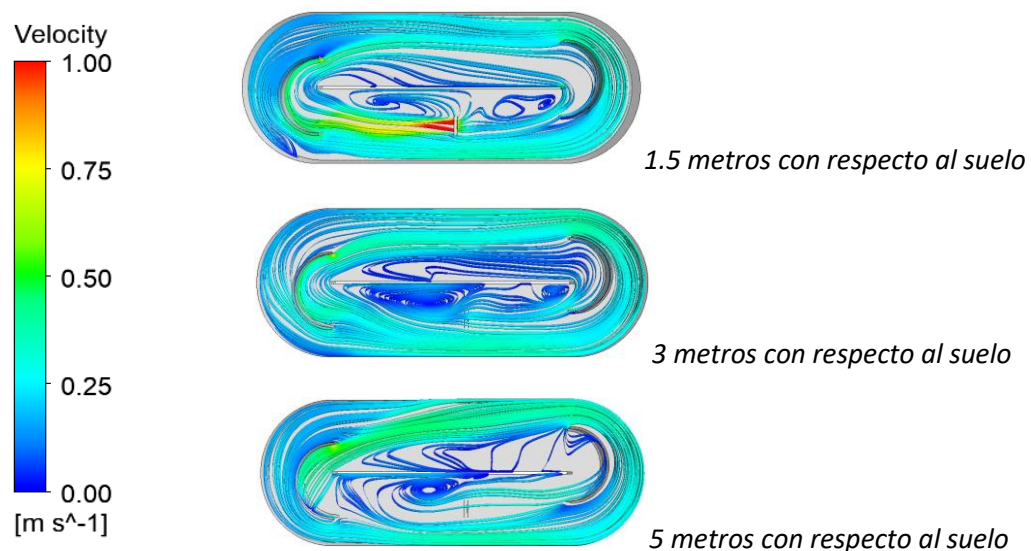


Figura 17: Líneas de flujo en planos horizontales a 1.5, 3 y 5 metros de la solera del reactor para el caso de un único agitador situado en el centro del canal.

Estudio hidrodinámico del reactor biológico de la EDAR de Tineo

Las líneas de flujo indican que el desplazamiento del agitador hacia el centro del canal provoca una ligera disminución en el valor global de las velocidades. Sin embargo, se consigue mejorar el movimiento por la zona interna del reactor, reduciendo los arremolinamientos cerca de la pared central, sobre todo en el lado donde se encuentra el agitador. Esta mejora es más evidente en las zonas cercanas a la solera del reactor (plano a 1.5 metros con respecto al suelo) pero sus efectos son también visibles en zonas elevadas y más próximas a la lámina libre (3 y 5 metros con respecto al suelo).

Los perfiles de velocidad en las diferentes líneas se han representado en las gráficas de la **Figura 18**

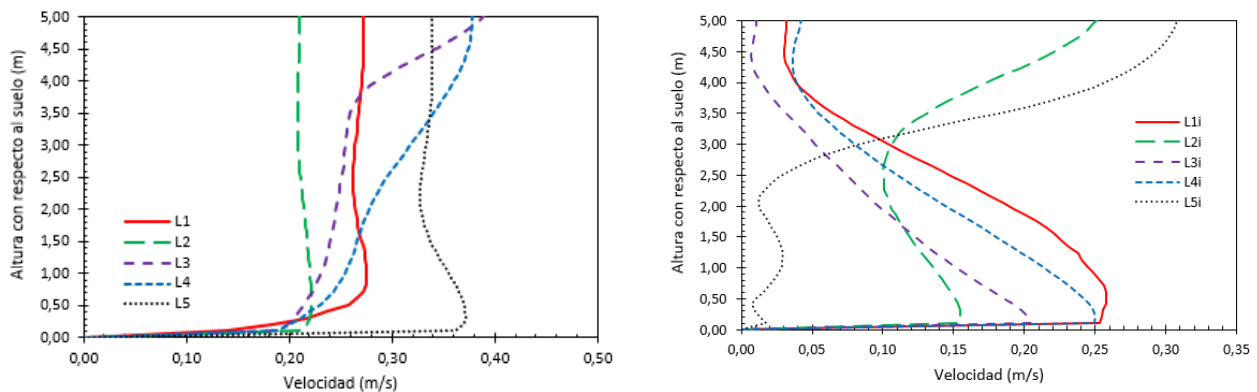


Figura 18: Perfiles de velocidad en las líneas verticales situados por la parte externa (izquierda) e interna (derecha) del reactor biológico con un único agitador en el centro del canal.

Se puede observar cómo las velocidades por la parte externa han disminuido con respecto a los valores obtenidos en la anterior propuesta analizada, aunque siguen estando dentro de límites aceptables. El efecto del agitador no es visible en el perfil de la L1, sin embargo, el efecto de succión sí que se hace patente en el perfil de la L5 donde las velocidades que se obtienen son significativamente elevadas comparadas con el resto de los perfiles de la zona externa.

En cuanto a los perfiles de la zona interior, las velocidades más cercanas a la solera se mantienen dentro de valores aceptables y son superiores a las obtenidas en la anterior solución, mientras que, en las zonas más próximas a la lámina libre, dichos valores se reducen significativamente. En este caso, el efecto del agitador sí que se puede apreciar en el perfil de la línea L1i, mientras que el perfil de la línea L5i que se encuentra en la zona trasera del agitador, es el que presenta las velocidades más bajas de entre todos los perfiles de la zona interna.

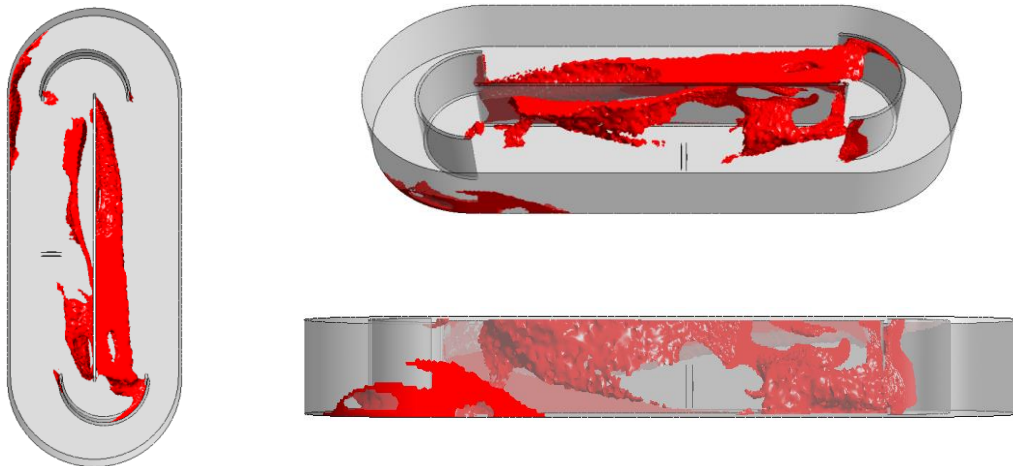


Figura 19: Volumen con velocidades inferiores a los 0.05 m/s para el caso de un agitador en el centro.

Al analizar las zonas que menor velocidad presentan (**Figura 19**), se observa una distribución muy similar a la obtenida en la primera propuesta de mejora, donde las zonas con velocidades más bajas se acumulan cerca de la zona central. Sin embargo, en esta nueva propuesta de mejora, la zona del muro central donde se encuentra el agitador presenta velocidades más elevadas. Además, la zona cercana a la solera del reactor muestra velocidades que, a diferencia de la primera propuesta, sí que se encuentran por encima de los 0.05 m/s. Se ha calculado que, en este caso, las velocidades por debajo de los 0.05 m/s suponen 176 m³ (118 m³ más que el caso actual con dos agitadores) lo que supone un 4.4% del volumen total del reactor. Además, se encuentra mayormente acumulado en la zona opuesta a los agitadores, zona de parrillas de difusores, donde se garantiza la agitación mediante aireación. Por otro lado, la velocidad media ha resultado ser de 0.224 m/s lo que se considera un valor adecuado para el buen funcionamiento del reactor.

Se han obtenido los histogramas de velocidades para cada uno de los casos de estudio (caso actual y las dos soluciones propuestas), con el objetivo de apreciar mejor las diferencias entre ellos. En el gráfico de la **Figura 20**, se puede observar cómo el caso actual, es el que presenta una mayor heterogeneidad en las velocidades. Se aprecia también que las velocidades bajas representan un porcentaje muy bajo del total, lo que indica una buena agitación del reactor. Cuando únicamente se deja el agitador en la zona más externa, se aprecia un aplanamiento de la distribución, la cual tiene un aspecto más parecido a la del caso actual. Sin embargo, aparece un gran pico a la izquierda que indica la existencia de un volumen significativo de velocidades bajas y poca agitación.

Estudio hidrodinámico del reactor biológico de la EDAR de Tineo

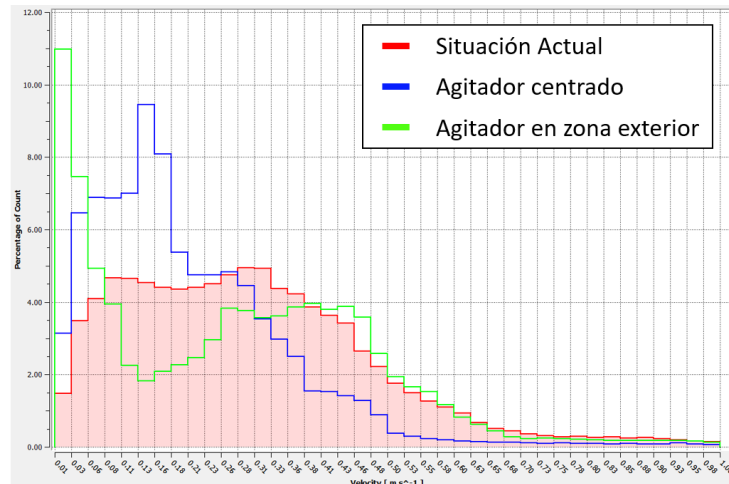


Figura 20: Histogramas de velocidad en el interior del reactor biológico para cada una de las situaciones simuladas.

Finalmente, cuando el agitador se sitúa en la zona central, la distribución se desplaza hacia la izquierda y está más agrupada. Esto indica una mayor homogeneidad en las velocidades y también una reducción del valor medio obtenido. Es interesante destacar que, aunque en esta última situación el valor medio de las velocidades disminuye, el porcentaje correspondiente a velocidades muy bajas (0 - 0.01 m/s) es mucho menor que en el caso en el que el agitador se sitúa en la zona externa y, por tanto, el volumen correspondiente a zonas poco agitadas es menor (mejor agitación).

6.2.3 Ahorro energético

Se ha realizado un cálculo estimativo del ahorro energético que comporta esta mejora. Considerando:

- Potencia motor agitador= 4,0 kW
- Potencia absorbida real agitador= 3,2 kW
- Nº líneas en funcionamiento actualmente= 1 ud
- Régimen de funcionamiento agitación= ininterrumpido
- Precio medio estimado energía= 0,18 €/kWh

La reducción del número de agitadores en servicio propuesta como mejor solución, un agitador por tanque, comporta la siguiente mejora energética:

$$1 \text{ ud} \times 3,2 \text{ kW} \times 24 \text{ h/día} \times 365 \text{ días/año} = 28.032 \text{ kWh/año}$$

Figura 21: Ecuación mejora energética anual

Lo que equivale a una reducción en emisiones de CO₂ (teniendo en cuenta que las emisiones correspondientes al mix de la red eléctrica española publicado por la CNMC en fecha 20 de abril de 2022 es de 0,259 kgCO₂/kWh) de 7,26 tCO₂/año.

En términos económicos, el ahorro potencial estimado de esta actuación es el siguiente:

$$28.032 \text{ kWh/año} \times 0,18 \text{ €/kWh} = 5.045,76 \text{ €/año}$$

Figura 22: Ecuación ahorro económico potencial

7 CONCLUSIONES

Tras la ejecución del presente proyecto, se han llegado a las siguientes conclusiones:

- Se ha desarrollado un modelo CFD validado mediante ensayos experimentales que permite reproducir la hidrodinámica en el reactor biológico de forma detallada, estudiar diferentes diseños encaminados a mejorar el comportamiento hidrodinámico y la eficiencia energética del biorreactor.
- En la situación actual, la velocidad media en el interior del reactor es de 0.301 m/s y se estima que existe un volumen de 54 m³ (1.3%), considerado despreciable, en el cual las velocidades se encuentran por debajo de 5 cm/s, valor definido como velocidad límite a garantizar para evitar fenómenos de sedimentación de sólidos.
- La solución de ubicar un único agitador desplazado hacia la zona exterior incrementa la velocidad media en el reactor hasta 0.323 m/s. Sin embargo, produce un mayor volumen, de 344 m³ (8.6%), situado en las paredes centrales, donde las velocidades presentan valores bajos y podría existir riesgo de sedimentación.
- Al situar un único agitador en el centro del canal, la velocidad media en el biorreactor disminuye hasta los 0.224 m/s y el volumen con velocidades bajas se mantiene en un valor aceptable de 176 m³ (4.4%).
- La solución óptima obtenida permitirá una reducción equivalente en emisión de CO₂ a la atmosfera es de 7,26 tCO₂/año.
- La opción de ubicar un único agitador en el centro del canal se considera una opción técnico-económicamente viable, ya que:
 - Garantiza la velocidad mínima de circulación del flujo para mantener los sólidos en suspensión
 - Mejora la eficiencia energética del proceso
 - Facilita las tareas de mantenimiento
 - La ligera disminución de la velocidad puede favorecer el rendimiento del proceso de desnitrificación

8 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABS (2002) ECOMIX RW 200-900. Munich.

Agitadores sumergibles FLYGT. Conceptos básicos de cálculo, 2013.

Agitadores sumergibles WILO. Jornada WILO–SDM, 2014.

ANSYS® Academic Research, Release 19.2, Help System, ANSYS CFX Reference Guide, ANSYS Inc. 2019.

Aubin, J., Fletcher, D.F., Xuereba, C., (2004). Modeling turbulent flow in stirred tanks with CFD: the influence of the modelling approach, turbulence model and numerical scheme, Exp. Therm. Fluid Sci. 28, 431–445.

Brannock, M., (2003). Computational Fluid Dynamics Tools for the Design of Mixed Anoxic Wastewater Treatment Vessels. PhD Thesis, University of Queensland.

Curso CEDEX sobre tratamiento de aguas residuales y explotación de estaciones depuradoras. EDICIÓN XXXIII, Tema 27: Diseño y dimensionamiento de una EDAR I. Diseño y dimensionamiento de una EDAR II. (2015).

J. Climent, R. Martínez-Cuenca, P. Carratalà, M. J. González-Ortega, M. Abellán, G. Monrós and S. Chiva (2019). A comprehensive hydrodynamic analysis of a full-scale oxidation ditch using Population Balance Modelling in CFD simulation. Chemical Engineering Journal. 374, 760-775.

Karpinska, A. M., Bridgeman, J., (2016). CFD-aided modelling of activated sludge systems: A critical review Standard Method of Moments. Water Res. 88, 861–879.

Metcalf & Eddy., (2004). Wastewater Engineering: Treatment and Reuse, 4th Edition, McGraw–Hill.

Samstag, R.W., Ducoste, J.J., Griborio, A., Nopens, I., Batstone, D.J., Wicks, J.D., Saunders, S., Wicklein, E.A., Kenny, G., Laurent, J., (2016). CFD for wastewater treatment: An overview. Water Sci. Technol. 74, 549-63.

Thaer, R. (1978), Problems of the aerobic treatment of animal waste in the liquid phase. Grundlagen der Landtechnik, 28 (2), 36-47

Water Environment Federation, (2007). Process performance improvements, in: Operation of Municipal Wastewater Treatment Plants. WEF Manual of Practice N°11. Volume I. McGraw Hil, New York.

WILO Agitadores sumergibles (2014). Jornada WILO–SDM.