

Optimización del funcionamiento de un canal UV de desinfección utilizando herramientas de simulación computacional de fluidos

Autores/Authors: *Javier Climent, Laura García-Rego, (Técnico I+D+i, FACSA, javier.climent@facsa.com, laura.garcia@grupogimeno.com), Mairena García (Coordinadora de zona, FACSA, mgarcia@facsa.com) Raúl Martínez Cuenca (Doctor en Física, Universitat Jaume I, rcuenca@uji.es) Pablo Carratalà (doctorando, Universitat Jaume I pcarrata@uji.es) y Sergio Chiva (Profesor titular Mecánica de Fluidos, Universitat Jaume I, schiva@uji.es)/ Javier Climent, Laura García-Rego, (R&D Technician, FACSA, javier.climent@facsa.com, laura.garcia@grupogimeno.com), Mairena García (WWTP Coordinator, FACSA, mgarcia@facsa.com) Raúl Martínez Cuenca (Doctor en Física, Universidad Jaume I, rcuenca@uji.es) Pablo Carratalà (doctorando, Universidad Jaume I pcarrata@uji.es) y Sergio Chiva (Associate Professor in Fluid Mechanics, Universitat Jaume I, schiva@uji.es),*

Resumen:

La hidrodinámica es uno de los principales factores que afectan al rendimiento de desinfección de los sistemas UV de canal abierto y, además, presenta mayor dificultad a la hora de proponer mejoras o nuevos diseños. Se conoce que los sistemas de canal abierto suelen tener un comportamiento hidráulico más deficiente que los de reactor cerrado, debido a defectos en el comportamiento del flujo entre los cuales cabe destacar los fenómenos de flujos preferenciales, presencia de zonas muertas dentro del reactor y perfiles de velocidad irregulares que afectan al tiempo de contacto.

En este trabajo se han elaborado diferentes modelos mediante técnicas de simulación computacional de fluidos (CFD) en 3D para mejorar el funcionamiento a escala real del canal UV instalado en el tratamiento terciario de la EDAR de Castellón. Esto ha permitido estudiar en detalle el comportamiento hidráulico y reproducir los fenómenos fluidodinámicos bajo diferentes condiciones de trabajo. Además, se han tenido en cuenta los principales fenómenos de desinfección del agua residual mediante la implementación del modelo de radiación Montecarlo. Finalmente, se llevaron a cabo medidas experimentales de la velocidad del flujo para calibrar el modelo de CFD y estudiar la influencia en el comportamiento del fluido cuando se implementa un bafle como un elemento interno dentro del canal UV.

Este trabajo muestra la utilidad de las técnicas de simulación CFD cuando se aplican a sistemas reales donde la hidrodinámica juega un papel protagonista.

Abstract:

Hydrodynamics is one of the main principles that influences the performance of UV systems and presents a major difficulty when proposing improvements or new designs. It is known that UV open channel systems tend to have a poorer hydraulic behavior than closed reactors, due to defects in the flow behavior, among which one can highlight the phenomena of shortcircuiting, the presence of dead zones inside the reactor and the irregular velocity profiles that affect the contact time.

In this work, several three-dimensional computational fluid dynamics (CFD) models were developed to improve a real-scale UV open channel installed in the tertiary treatment of the Castellón WWTP. These allowed to study in detail the hydraulic behavior and reproduce the fluid dynamics phenomena under different working conditions. In addition, the main disinfection phenomena of wastewater have been taken into account through the implementation of the Montecarlo radiation model. Finally, experimental measurements of fluid velocity were carried out to calibrate the CFD model and to study the influence on the fluid behaviour when implementing a baffle as an internal element within the open channel.

This work shows the usefulness of CFD simulation techniques when applied to real systems where hydrodynamics play a leading role.

1 Introducción

La desinfección se define como el mecanismo para la desactivación o destrucción de organismos patógenos con el fin de prevenir la dispersión de enfermedades transmitidas a través del agua, tanto a los usuarios aguas abajo como al ambiente. En la última década se ha notado un creciente interés en la aplicación de radiación ultravioleta (UV) para desinfectar agua residual. Se ha podido comprobar que la radiación UV tiene propiedades germicidas importantes, que no contribuye a la formación de compuestos secundarios.

La utilización de sistemas de radiación UV en estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR) es hoy en día uno de los sistemas más efectivos para los procesos desinfección [Clancy et al., 1998] y una muy buena alternativa a los sistemas de cloración y/u ozonización que se suelen utilizar.

La eficacia del sistema de desinfección con luz ultravioleta depende de las características del agua residual, la intensidad de la radiación, el tiempo de exposición de los microorganismos a la radiación y la configuración del reactor. Este estudio está focalizado en este último aspecto.

En las EDAR se encuentran configuraciones de flujo continuo, entre las que destacan de flujo cerrado y abierto. La hidrodinámica es uno de los principales factores que afectan al rendimiento de desinfección de los sistemas UV, puesto que el nivel de desinfección y el coste de operación están determinados directamente por la geometría y la configuración (deflectores, placas perforadas, etc.) del canal UV [Blatchley et al., 1998] [Chiu et al., 1999]. Esto es debido a defectos en el comportamiento del flujo entre los cuales cabe destacar los fenómenos de flujos preferenciales, presencia de zonas muertas dentro del canal y perfiles de velocidad no uniforme que afectan al tiempo de contacto.

El presente trabajo se centra en canales abiertos, entre los cuales se pueden encontrar diferentes configuraciones. En estas, la hidráulica juega un papel importante, ya que además del tiempo de retención (tiempo de exposición), las condiciones hidrodinámicas favorecen o empeoran la eficiencia de la desinfección debido a posibles defectos del flujo mencionados con anterioridad: presencia de zonas muertas, cortocircuitos hidráulicos y recirculaciones. Este es el tipo de flujo que se encuentra usualmente en las unidades de tratamiento de plantas UV. El espacio requerido para el equipo de radiación UV es bastante pequeño porque el tiempo de contacto-exposición es muy breve, en el orden de segundos. Es necesario garantizar un tiempo de exposición mínimo para asegurar un buen desempeño germicida de la radiación UV. Los valores habituales se encuentran en el orden de decenas de segundos.

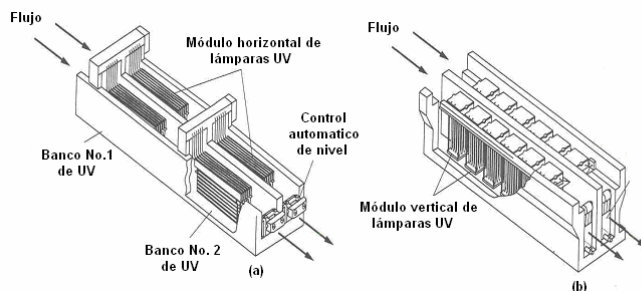


Figura 1. Sistemas de lámparas horizontal, paralelo al flujo (a) y vertical, perpendicular al flujo (b)

El diseño óptimo de un canal persigue el objetivo de asegurar que cada microorganismo reciba la dosis UV a lo largo del volumen. Esto se puede conseguir introduciendo deflectores o pantallas para crear la turbulencia necesaria para mezclar u homogeneizar el flujo, propósito principal del presente estudio.

Las técnicas de simulación computacional de fluidos (CFD) permiten calcular con gran detalle y estudiar el comportamiento de los fluidos, predecir la transferencia de masa, energía y momento, solucionando todas las ecuaciones matemáticas que lideran estos procesos mediante la utilización de métodos numéricos. Estudiando la literatura se ha podido observar que no son muchos los trabajos CFD existentes en esta materia, especialmente para sistemas de canal abierto, los objetivos de los cuales se centran en entender el comportamiento del flujo en su interior para aumentar el volumen útil efectivo. El presente trabajo presenta avances considerables en esta materia.

2 Objetivo

El objetivo principal del estudio es mejorar el rendimiento y la eficiencia de un canal UV de lámparas UV monocromáticas ubicado en el tratamiento terciario de la EDAR de Castellón, profundizar en el comportamiento hidráulico y optimizar el funcionamiento de un canal UV de desinfección utilizando herramientas de simulación CFD mediante mejoras que sean exportables a otras configuraciones similares.

Puesto que el consumo energético de las lámparas UV es bastante elevado (puede representar alrededor de un 20% del coste total energético de una EDAR) y, del total de ese consumo, tan solo un 30% es transformado en radiación UV [Wols B. A., 2010], resulta especialmente interesante optimizar el comportamiento hidráulico para aprovechar al máximo el consumo energético.

El estudio se centra en la elaboración de varios modelos CFD basados en diferentes configuraciones como las mostradas en la figura 1. Por último, elaborar un modelo CFD a escala real que reproduzca el comportamiento real del flujo y el proceso de desinfección de un canal abierto UV. Para todos ellos, como elemento diferenciador, se deberá implementar un submodelo de radiación específico que reproduzca la desinfección del agua residual.

3 METODOLOGÍA

3.1 Modelado CFD

Se utilizará el **método de los volúmenes finitos** para calcular los diferentes casos de estudio. Es un método numérico general para la aproximación de soluciones de ecuaciones diferenciales parciales muy utilizado en diversos problemas de ingeniería y física. El método permite obtener una solución numérica aproximada sobre un cuerpo, estructura o dominio (medio continuo) sobre el que están definidas ciertas ecuaciones diferenciales que caracterizan el comportamiento físico del problema, dividiéndolo en un número elevado de subdominios llamados elementos finitos. El conjunto de elementos finitos forma una partición del dominio, llamada discretización.

Dentro de cada elemento se distinguen una serie de puntos representativos llamados nodos. Dos nodos son adyacentes si pertenecen al mismo elemento finito. Un nodo sobre la frontera de un elemento finito puede pertenecer a varios elementos. El conjunto de nodos, considerando sus relaciones de adyacencia se nombra malla. Antes de elaborar el modelo a escala real, lo cual implica una malla con elevado número de nodos y, por tanto, elevado coste computacional, se han elaborado diferentes modelos a pequeña escala.

En la práctica, el método de volúmenes finitos es un método numérico de resolución de ecuaciones diferenciales y la solución obtenida coincide con la solución exacta solo en un número finito de puntos. En el resto de puntos en los que no coincide, la solución aproximada se obtiene interpolando a partir de los resultados obtenidos para los nodos.

Las técnicas CFD están siendo cada vez más utilizadas para estudiar nuevos diseños, desarrollar nuevos productos e instalaciones. Gracias a la utilización de esta tecnología es posible realizar experimentos reduciendo al máximo el trabajo realizado en los laboratorios.

3.2 Modelado de la desinfección y radicación

El modelo implementado que se usa es para el estudio y análisis de los sistemas de **desinfección** es el Modelo de Chick-Watson [Chick, 1908] [Watson, 1908]:

$$\frac{dN}{dt} = -k_{\mu} \cdot C^n \cdot N$$

Donde **N** es la concentración de microorganismos [kg/m^3]; **k_{μ}** es el ratio de inactivación [m^2/J] o [s^2/kg]; **n** es el coeficiente de dilución y **C** es la concentración de desinfectante [W/m^2].

La forma integrada queda como:

$$\frac{N}{N_0} = \exp(-k_{\mu} \cdot C^n \cdot t)$$

Donde N_0 es la concentración inicial de microorganismos [kg/m^3]

El código que se utilizará para preparar las simulaciones es el ANSYS CFX. Este software tiene un total de **cuatro modelos diferentes** para **simular radiación**. Estos modelos son: *Rosseland Model*, *P1 Model*, *Discrete Transfer Model* y *Monte Carlo Model*.

De todos estos modelos, el elegido para realizar las simulaciones ha sido el modelo de **Monte Carlo**. El principio del modelo de Monte Carlo se basa en la interacción entre los fotones y el entorno. Los fotones son emitidos desde una fuente a través del modelo hasta que su masa decrece hasta el mínimo. Cuando los fotones alcanzan una superficie son reflejados o absorbidos.

A la hora de modelar la radiación es importante entender y tener en cuenta los siguientes parámetros:

- 1) Coeficiente de **absorción**, $\alpha(\text{m}^{-1})$, que se define como el cociente entre la energía absorbida y la energía incidente por una superficie o sustancia.
- 2) Coeficiente de **dispersión o scattering**, $\beta(\text{m}^{-1})$, que es la dispersión de la luz visible o cualquier otra radiación electromagnética por partículas cuyo tamaño es mucho menor que la longitud de onda de los fotones dispersados.
- 3) **Espectro** fluorescente. Como ya se ha explicado anteriormente este espectro dependerá de si las lámparas utilizadas son **monocromáticas** (de baja presión) cuya radiación se emite en una longitud de onda de 254nm o **policromáticas** (de media presión), que emiten la radiación en un rango un poco más amplio de longitud de onda, entre 200 y 300nm.
- 4) **Irradiancia**, $I(\text{W m}^{-2})$, definida como la potencia incidente por unidad de superficie. Para el cálculo de la Irradiancia se utiliza la **Ley de Beer-Lambert**, aunque su aplicación depende de si se está trabajando con una distribución 1D, 2D o 3D de la Irradiancia.

- **Ley de Beer-Lambert 3D:**

$$I(r) \propto \frac{1}{r^m} e^{-\alpha r}, m > 1$$



3.3 Descripción del funcionamiento del canal UV objeto de estudio

Las dimensiones totales del canal son: altura 100,5 cm, anchura 93 cm y longitud 9,66 m. La altura de la lámina de agua a la que se trabaja está comprendida entre 60 y 80 cm, la cual se regula mediante un vertedero a la salida del canal. Como se puede ver en la figura anterior, hay dos deflectores instalados a lo largo del canal (figura 2), véase geometría perforada en figura 3. Estos deflectores están posicionados previos a cada uno de los bancos de lámparas. El flujo llega a la entrada del canal proveniente de la etapa de pretratamiento a la desinfección a través de un canal con un giro de 90°. El deflector 1 regula la entrada repartiendo el flujo en la sección. El propósito de estudio se centra en caracterizar, experimentalmente, la influencia en el comportamiento del flujo al implementar el segundo deflector.

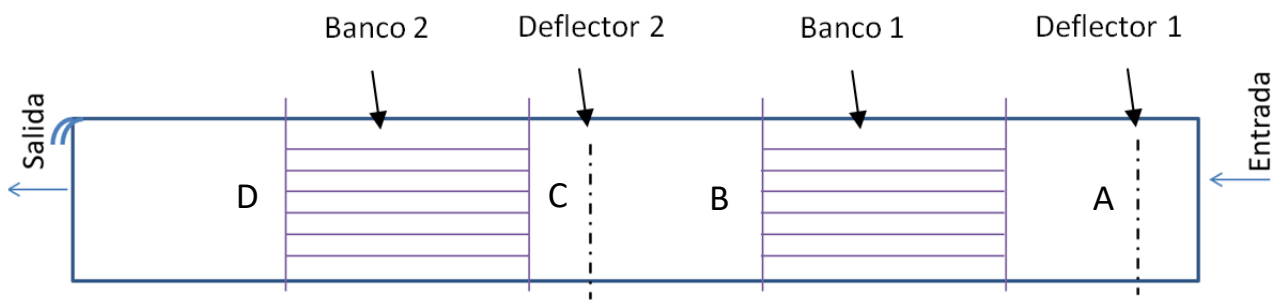


Figura 1. Banco lámparas canal UV

El canal UV dispone de dos bancos de lámparas (figura 2) dispuestas de forma matricial (figura 3) como el que se muestra. Cada banco de lámparas consta de 4 módulos con 10 lámparas cada módulo. Cada banco de lámparas mide 207 cm y cada una de las lámparas tiene un diámetro de 4,8 cm. Entre ellas, las lámparas de un mismo módulo están separadas 12 cm y, entre módulo y módulo, 12,5 cm. Otra de las medidas que es importante conocer es la separación entre los bancos, cuya distancia es de 100 cm.



Figura 3. Banco de lámparas del canal UV (izquierda) y deflector perforado (derecha).

El volumen total de agua en el canal es de $V = 5,6 \text{ m}^3$ y el caudal medio de trabajo $q = 500 \text{ (m}^3/\text{h)}$, por lo que el tiempo de residencia medio teórico, calculado como V/q , es de unos 40 segundos.

3.4 Modelización CFD

Se ha elaborado un modelo CFD bajo una aproximación en una única fase y en 3D, con el propósito de evaluar la influencia de diferentes configuraciones teniendo en cuenta la posición relativa de las lámparas sobre la hidrodinámica y su impacto en el modelo cinético.

3.4.1 Lámparas ubicadas de forma paralela y perpendicular al flujo

La primera simulación conceptual que se propone consiste en cambiar la distribución de las lámparas, de forma que, en lugar de estar situadas de forma paralela al flujo, pasen a estar situadas de forma perpendicular al mismo (posición llamada **Cross Flow**).

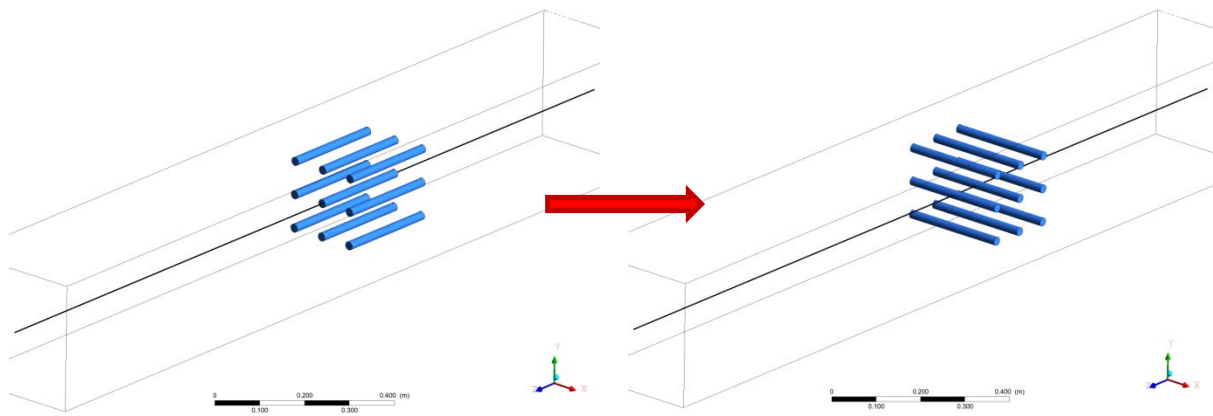


Figura 4. Cambio de posición de las lámparas de lámparas UV, pasando de estar en paralelo a estar Cross Flow

3.4.2 Añadir otro banco de lámparas en paralelo

Si el canal con el que se trabaja es largo, como es el caso de la EDAR de Castellón, resulta interesante tener varios bancos de lámparas ubicadas en serie, es decir, una detrás de otras de forma paralela entre ellas. A continuación, se muestra el estudio de cómo ubicar las lámparas de forma que se mejore la eficiencia de éstas.

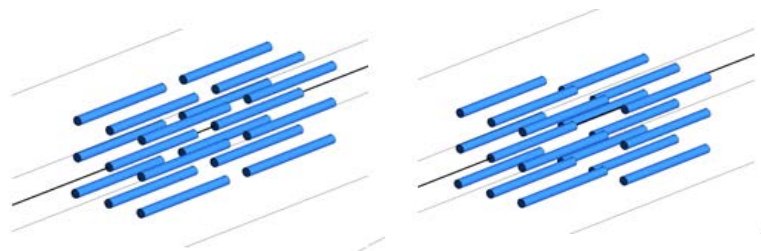


Figura 2. Configuraciones con dos bancos

En la imagen de la izquierda se muestra un segundo banco situado a continuación del primero, de forma que los centros de las lámparas son coincidentes. En la imagen de la derecha la segunda parrilla también es colocada de forma paralela a la primera, pero en este caso existe un pequeño desplazamiento lateral. Teóricamente, esta forma de disponer los bancos hace que se “obligue” al flujo a modificar su dirección, aumentando así la eliminación de contaminante.

3.4.3 Añadir otro banco de lámparas en perpendicular (Cross Flow)

Al igual que en el caso anterior, en este apartado se estudia la posibilidad de instalar varias lámparas en serie, pero en este caso de forma perpendicular entre ellas.

En la imagen de la izquierda (figura 6), se muestra un segundo banco dispuesto perpendicularmente a continuación del primero. En este caso las lámparas están situadas a la misma altura en ambas lámparas.

En la imagen de la derecha (figura 6), la segunda parrilla también es colocada perpendicularmente a la primera, pero en este caso existe un pequeño desplazamiento hacia debajo del primer banco. De esta forma, existe una mayor cantidad de fluido que es tratado por los UV.

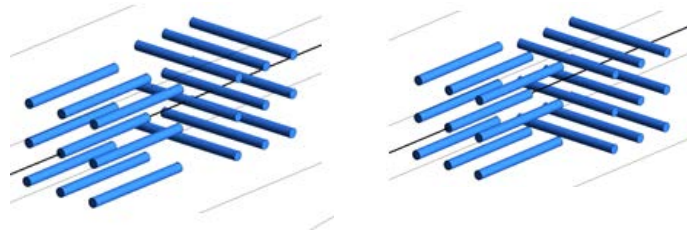


Figura 3. Añadir una parrilla en serie con la primera de forma perpendicular

3.4.4 Placas y/o deflectores agujereados

Otra propuesta que se ha estudiado consiste en la implementación de **placas/deflectores agujereados** (figura 3) colocados entre los dos bancos de lámparas. Este tipo de elementos se suelen disponer al principio del banco, regulando el reparto del flujo en toda la sección y se desconoce el efecto del mismo en profundidad cuando se implementan como elemento intermedio entre bancos. Cuando se incorpora este tipo de deflector, se tiene que tener en cuenta posibles obstrucciones al paso del flujo provocados por objetos que puedan entrar en el canal. Por otra parte, si la sección de paso efectiva del deflector se reduce considerablemente, puede elevarse la altura de lámina libre, efecto no deseado.

3.5 Medidas experimentales

Se han realizado medidas de velocidad en 3D para caracterizar la velocidad del fluido. Las medidas se han realizado en las posiciones A, B, C y D, con y sin el deflector 2 (figura 2), de forma que se pueda comparar las diferencias hidráulicas tras la implementación del segundo deflector. Además, en ciertas zonas (figura 7, izq.) se midió en tres posiciones sobre el ancho de la misma sección.

Se utilizó el velocímetro *Vectrino Nortek*[®] que funciona con tecnología acústica doppler de alta resolución para medir las componentes de velocidad del fluido a 25 Hz, dentro de un volumen de muestreo de 7 mm de longitud. Una estructura de aluminio anclada a las paredes con un vagón móvil permitió establecer la posición con suficiente exactitud a diferentes alturas y anchuras de una sección del canal.

Finalmente, el tiempo total de muestreo fue de 300 s para cada medida, de forma que se pueda capturar grandes remolinos y minimizar la influencia de variaciones rápidas en las velocidades de flujo, siendo un tiempo prudencial para llevar a cabo las medidas en todo el canal en un tiempo razonable. A partir de esto, se obtuvo un comportamiento hidrodinámico representativo que mide componentes de velocidad 3D (figura 7, drcha.). Las señales adquiridas por el equipo en primera instancia se trataron usando un filtro, en este caso, tipo Savitzky-Sgolay (ajuste polinómico de mínimos cuadrados) para suavizar la señal.

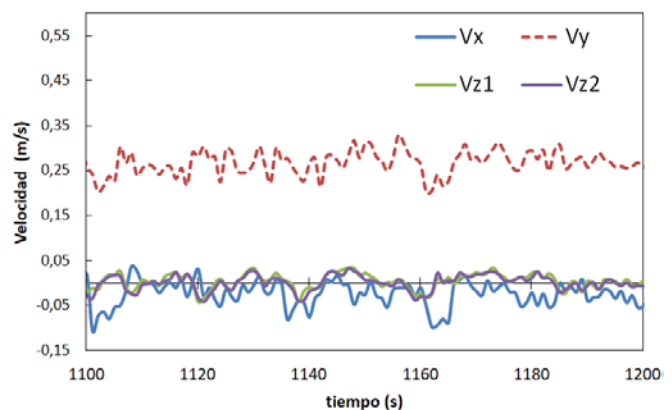


Figura 7. Adquisición de la señal en superficie, posición C sin deflector 2 (izq). Componentes de la velocidad (derecha).

4 RESULTADOS

4.1 Medidas de velocidad en el canal

Se han medido las tres componentes de la velocidad (X, Y, Z) en diferentes posiciones de canal y en diferentes alturas y anchuras. De forma global, y como es de esperar, las medidas de velocidad muestran una componente acusada en la dirección del flujo, V_y , mientras que las otras componentes se mantienen cerca de cero. La componente V_x se corresponde con la dirección en la anchura del canal y las componentes Z_1 y Z_2 se corresponden con la velocidad en la dirección vertical. Con esto se verifica que las líneas de flujo atraviesan el canal de forma bastante rectilínea. Se comprobó que la velocidad avanza relativamente constante por la sección del canal, sin presentar un perfil demasiado acusado, mostrando su máximo en la zona central y en superficie.

En las figuras de velocidad, se representan únicamente 4 segundos para facilitar la lectura de resultados.

Una mayor amplitud de la señal se corresponde con mayor turbulencia macroscópica, mientras que los puntos de inflexión y fluctuaciones entre máximos y mínimos, se corresponden con la turbulencia a menor escala, la cual resulta complicada de medir a 25 Hz.

Se observa cómo la componente de la velocidad V_y , la máxima en el interior del canal, aumenta su amplitud en la zona C, al introducir el deflector 2. Este aumento de la fluctuación de la velocidad se debe a la turbulencia generada por los agujeros del propio deflector, lo cual se puede interpretar como un mezclador que homogeneiza el flujo a su paso. En la figura 8, se muestra cómo en la posición C, al introducir el deflector aumenta la fluctuación en V_y . Por otra parte, en las medidas realizadas en la zona D, no se aprecia diferencia entre las medidas de V_y para configuración con y sin deflector 2. El efecto del deflector 2 sólo tiene una influencia local espacial. Se muestra como el efecto desaparece (figura 9).

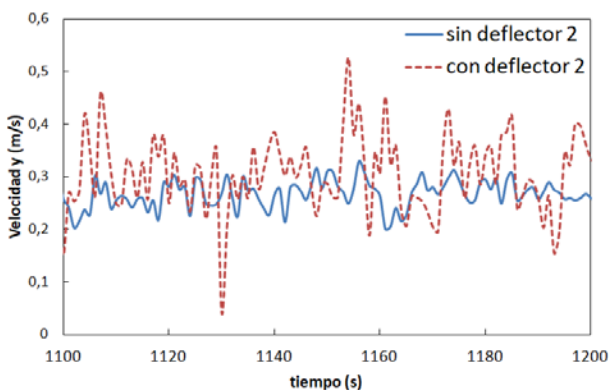


Figura 8. Medidas velocidad posición C, con y sin deflector 2

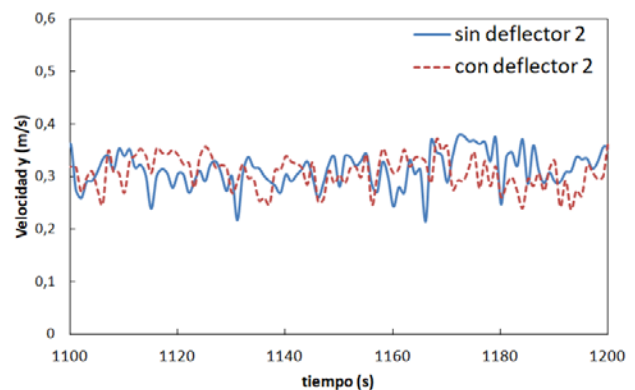


Figura 9. Medidas de velocidad posición D, con y sin deflector 2

4.2 Simulaciones

Se presentan brevemente algunos de los resultados derivados de las simulaciones.

4.2.1 Lámparas ubicadas de forma paralela y perpendicular al flujo

Como se puede observar, al introducir un contaminante transportado sobre el flujo el cambio de posición de las lámparas mejora sustancialmente el rendimiento de los sistemas UV de canal abierto. Sin embargo, su aplicación no siempre es factible, puesto que las lámparas UV suelen ser más largas que anchas, por lo que, a veces, si se quieren ubicar de forma perpendicular al flujo, pueden no caber dentro del canal.

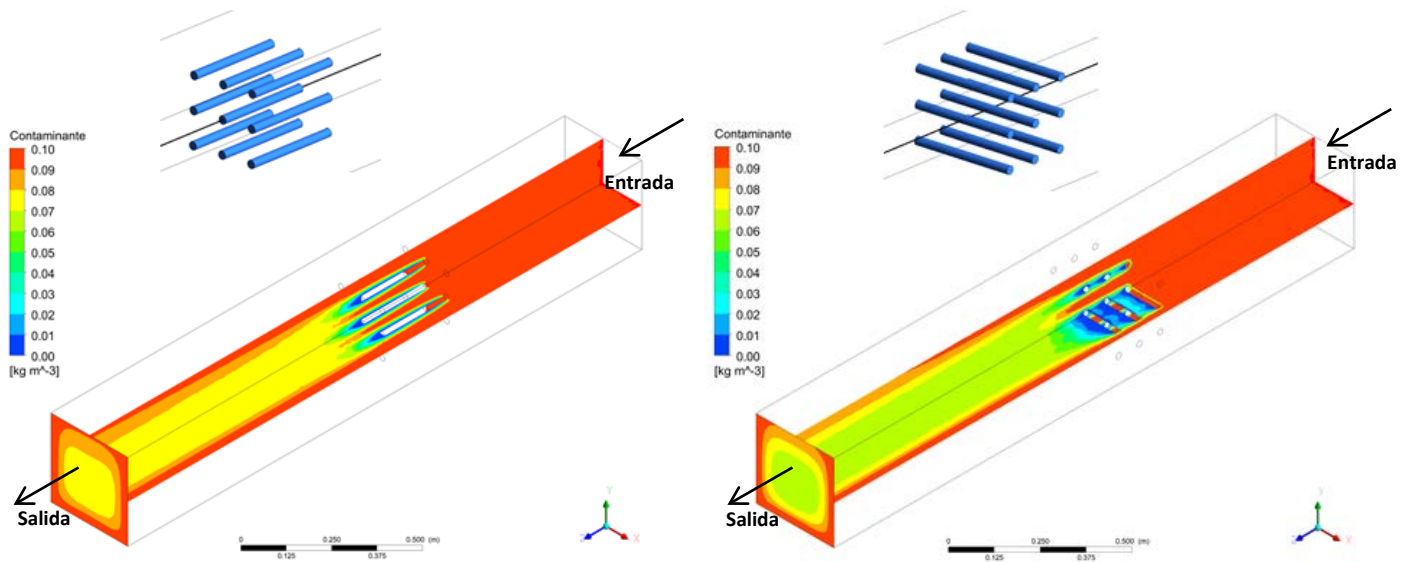


Figura 10. Efecto del cambio de posición de las lámparas de UV

La eficiencia del banco ubicado de forma **paralela** al flujo es de **14,2%**, mientras que la eficiencia de la parrilla ubicada en **Cross Flow** es de **20,3%**.

4.2.2 Añadir otra parrilla de lámparas en paralelo

Como se ha explicado en el apartado anterior, la figura de la izquierda muestra un segundo banco situado de forma colineal respecto de la primera, es decir, de forma que los centros de las lámparas son coincidentes. En la figura 11 drcha., el segundo banco es colocada con un pequeño desplazamiento lateral respecto del primero.

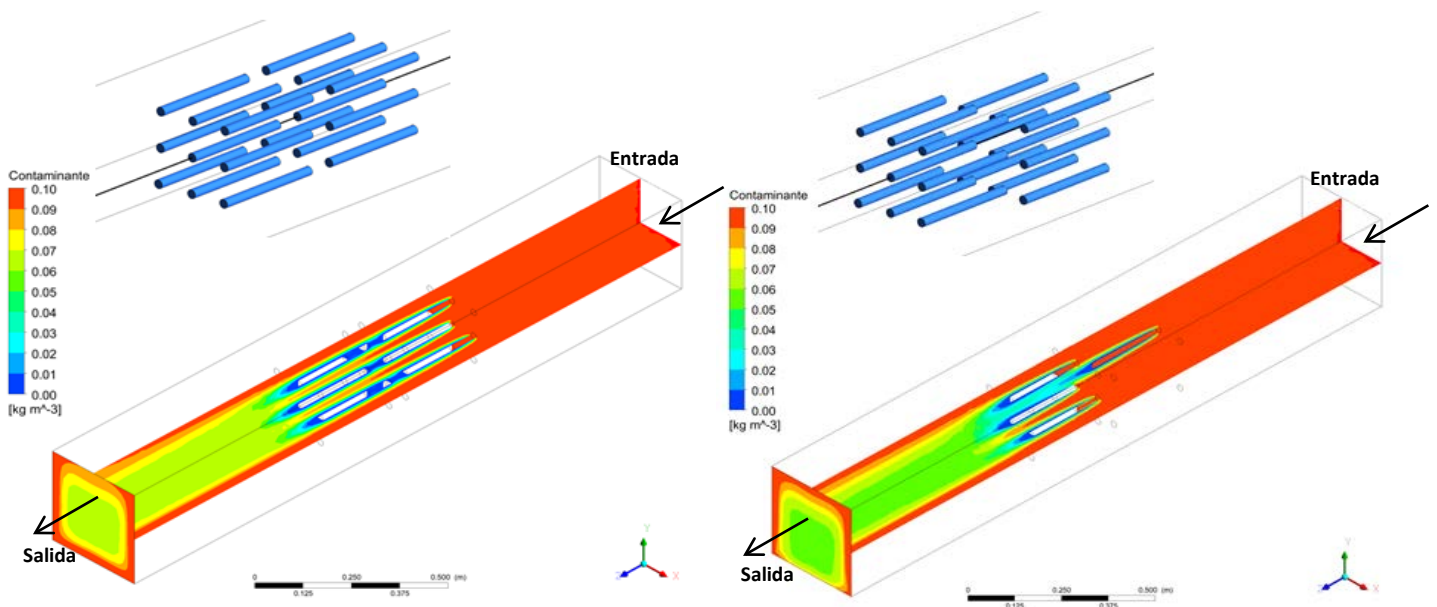


Figura 11. Efecto en la concentración del contaminante al añadir una parrilla en serie con la primera

La eficiencia de las lámparas dispuestas de forma **colineal** es de **20,2%**, mientras que la eficiencia de las lámparas dispuestas con un pequeño **desplazamiento lateral** es de **26,4%**.

4.2.3 Añadir otra parrilla de lámparas en perpendicular (Cross Flow)

Como en el caso anterior, en la figura 12 de la izquierda se muestra un segundo banco situado perpendicularmente a la misma altura y a continuación de la primera. En la figura de la derecha, el segundo banco también se sitúa perpendicularmente pero con un pequeño desplazamiento hacia abajo verticalmente. De esta forma existe una mayor cantidad de fluido que es tratado por los UV.

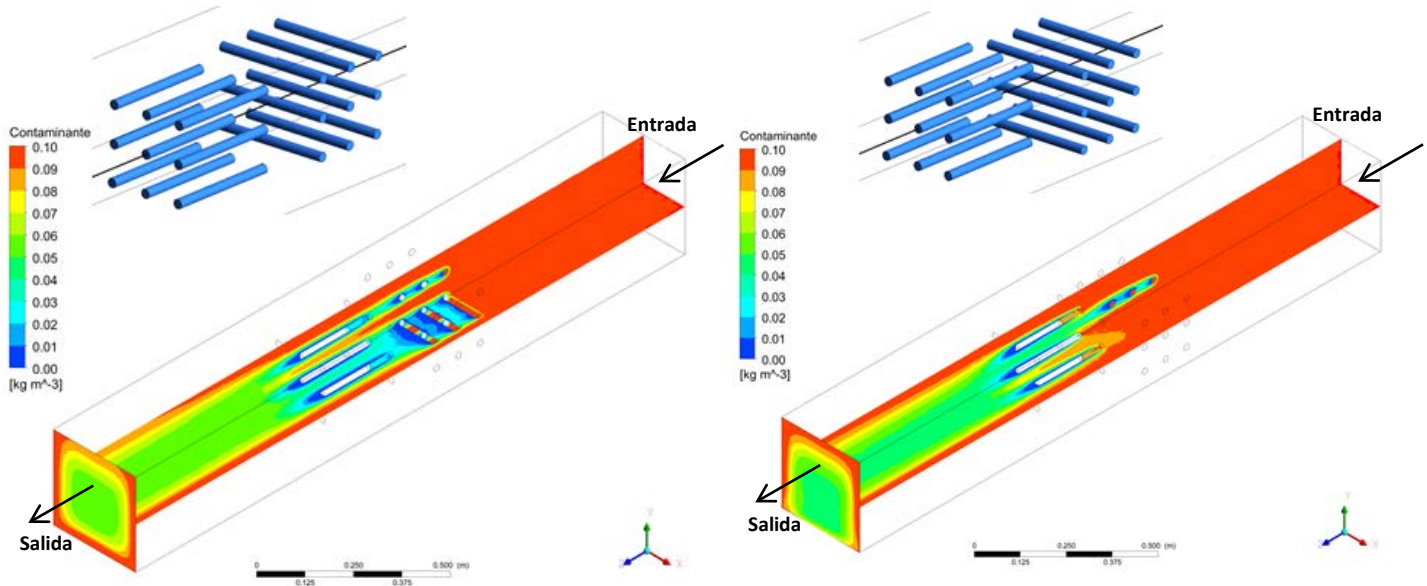


Figura 12. Efecto en la concentración del contaminante al añadir una parrilla en serie con la primera de forma perpendicular

La eficiencia de las lámparas **combinadas** y localizadas a la **misma altura** es de **25,7%**, mientras que la eficiencia de las lámparas **combinadas** con un pequeño **desplazamiento** es de **31,4%**.

4.2.4 Placas y/o deflectores agujereados

El uso de placas perforadas tiene como finalidad distribuir el flujo dentro del canal de tal forma que se mejore su hidrodinámica y por tanto que la eficiencia del sistema de ultravioletas también sea mayor.

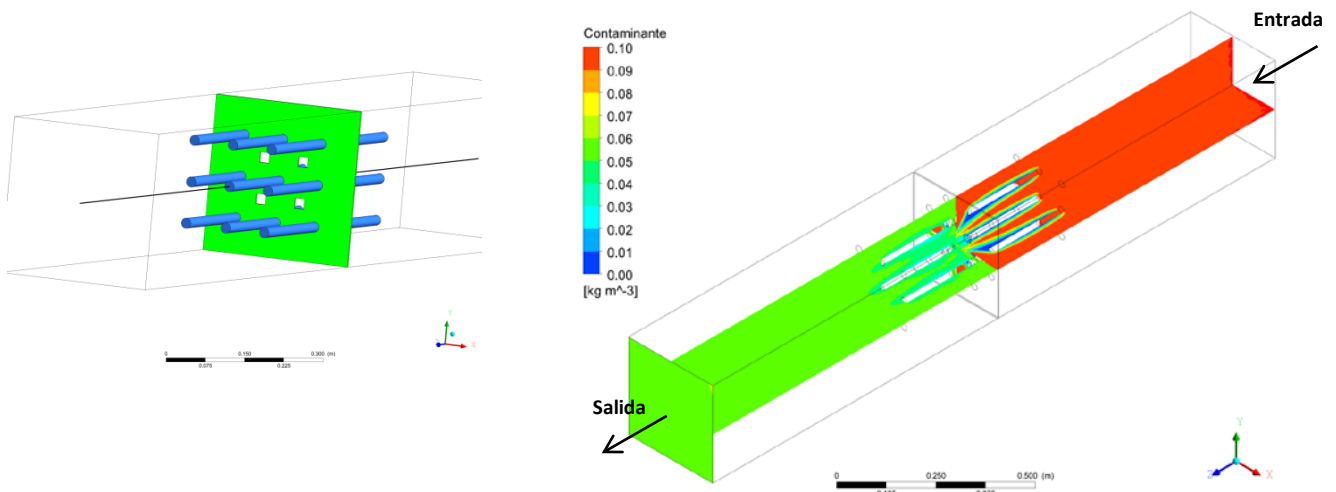


Figura 13. Inserción de una placa agujereada en el canal de ultravioletas

Como se puede observar en la figura 13, al introducir el deflector agujereado en el canal se consigue reducir, considerablemente, la concentración de contaminante. La eficiencia utilizando este tipo de elementos es la mayor de todas, llegando a ser de hasta un **44,2%**.

4.2.5 Tabla resumen de eficiencias

Se muestra el resumen de las eficiencias de desinfección conseguidas para las configuraciones:

Tipo de distribución	Eficiencia (%)
Banco simple ubicado en paralelo	14,2
Banco simple ubicada en Cross Flow	20,3
Dos bancos colineales	20,2
Dos bancos con desplazamiento lateral	26,4
Combinación Cross Flow-paralelo a la misma altura	25,7
Combinación Cross Flow-paralelo a diferentes alturas	31,4
Inserción del deflector tipo placa perforada	44,2

Tabla 1. Resumen de las eficiencias relativas de desinfección calculadas

5 CONCLUSIONES

Se ha elaborado un modelo CFD novedoso de un canal abierto UV en el cual se ha implementado un modelo de radiación en 3D. A partir de este, se han explorado diferentes modelos conceptuales con los que se ha realizado un estudio comparativo para cuantificar la eficiencia en el canal UV bajo diferentes configuraciones según la disposición de los bancos y elementos internos en el canal. El modelo muestra cómo, dependiendo de la configuración y posicionamiento de las lámparas respecto al flujo, se puede modificar el rendimiento alcanzado.

Por otra parte, tras obtener como mejor opción la inserción del deflector tipo placa perforada, se llevó la implementación del mismo en un canal real y las medidas hidráulicas para explicar y validar el modelo CFD.

Actualmente, se están realizando más medidas experimentales en el canal con un trazador reactivo para complementar las medidas hidráulicas, a partir de las cuales se podrán extraer conclusiones robustas sobre la influencia de los cambios hidráulicos en la eficiencia de la desinfección de canales UV. Una vez validada la hidráulica y el rendimiento de desinfección, se dispondrá de una herramienta con un elevado valor comercial a la hora de proponer nuevos diseños y modificaciones sobre canales UV existentes.

6 AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la colaboración del Excmo. Ayuntamiento de Castellón de la Plana en el presente trabajo.

7 REFERENCIAS

- Blatchley III, E. R., Do-Quang, Z., Janex, M. L., and Lainé, J. M. (1998). Process modeling of ultraviolet disinfection. *Water Science and Technology*, 38(6):63–69. 1.4, 6.1
- Chick, H. (1908). An investigation of the laws of disinfection. *Journal of Hygiene*, 8:92–158. 2.5.1
- Chiu, K., Lyn, D.A., Savoye, P., Blatchley III, E.R. (1999). Integrated UV disinfection model based on particle tracking. *Journal of Environmental Engineering* 125. (1), 7–16.
- Clancy, J.L., Hargy, T.M., Marshall, M.M., Dyksen, J.E. (1998). UV light inactivation of *Cryptosporidium* oocysts. *Journal American Water Works Association* 90 (9), 92–102.
- Watson, H. E. (1908). A note on the variation of the rate of disinfection with change in the concentration of the disinfectant. *Journal of Hygiene*, 8:536–542. 2.5.1
- Wols, B. A. (2010) Thesis: CFD in drinking water treatment. ISBN: 978-90-8957-013-0.