

Comparativa de tres modelos CFD en la hidrodinámica de captaciones de fondo con tamices Coanda

Comparison of three CFD software modelling the hydrodynamics of bottom intakes with Coanda screens

José M. Carrillo ^{a1*}, Juan T. García ^{a2}, Luis G. Castillo ^{a3}

^a Universidad Politécnica de Cartagena *member of European University of Technology EUT+*, Grupo Hidr@m, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos e Ingenieros de Minas, Paseo Alfonso XIII, 52, 30203, Cartagena, España.

E-mail: ^{a1} jose.carrillo@upct.es, ^{a2} juan.gbermejo@upct.es, ^{a3} luis.castillo@upct.es

*Autor para correspondencia

Recibido: 24/09/2025

Aceptado: 30/10/2025

Publicado: 31/01/2026

Citar como: Carrillo, J.M., García, J.T., Castillo, L.G. 2026. Comparison of three CFD software modelling the hydrodynamics of bottom intakes with Coanda screens. *Ingeniería del agua*, 30(1), 1-13. <https://doi.org/10.4995/ia.24703>



RESUMEN

Este trabajo evalúa la capacidad de tres modelos de dinámica de fluidos computacional (*computational fluid dynamics*, CFD) para resolver el flujo sobre un tamiz Coanda de captación de fondo con agua clara. Se realiza una primera aproximación con dos enfoques Eulerianos (FLOW-3D® y Ansys CFX) y uno Lagrangiano (DualSPHysics), comparando sus resultados con mediciones de laboratorio. Para caudales específicos altos ($q \approx 72$ L/s/m) los tres modelos reprodujeron la evolución hidráulica con errores reducidos en espesor de la lámina sobre el tamiz. A caudales medios-bajos ($q \approx 45$ L/s/m) FLOW-3D® reproduce con mayor similitud las observaciones experimentales, mientras que los resultados en los otros dos programas muestran mayores diferencias. Finalmente, se discuten las fortalezas y limitaciones de cada enfoque (tratamiento aire-agua, discretización de ranuras y condiciones de contorno) y se proponen futuras mejoras.

Palabras clave | captación de fondo; tamiz Coanda; dinámica de fluidos computacional; FLOW-3D®; Ansys CFX; DualSPHysics.

ABSTRACT

This work assesses the capability of three computational fluid dynamics (CFD) models to simulate the flow over a Coanda-effect bottom intake screen under clear-water conditions. A first comparative assessment is carried out with two Eulerian approaches (FLOW-3D® and Ansys CFX) and one Lagrangian approach (DualSPHysics), benchmarking their results against laboratory measurements. For high unit discharges ($q \approx 72$ L/s/m), the three models reproduced the hydraulic evolution with small errors in the free-surface thickness over the screen. At moderate–low discharges ($q \approx 45$ L/s/m), FLOW-3D® reproduces better the experimental measurements, while discrepancies with laboratory increase in the other two codes. Finally, the strengths and limitations of each approach (air–water treatment, slot discretization, and boundary conditions) are discussed, and opportunities for future improvement are outlined.

Key words | bottom intake; Coanda screen; computational fluid dynamics; FLOW-3D®; Ansys CFX; DualSPHysics.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas de captación de agua mediante tamices con efecto Coanda (también denominados tamices Coanda) se emplean para extraer agua limpia de corrientes cargadas de sedimentos o detritos, aprovechando que el flujo tiende a adherirse a la superficie del tamiz debido al efecto Coanda. Cuando un chorro de agua pasa por un tamiz inclinado compuesto por barras transversales en forma de cuña, cada ranura del tamiz “captura” una fina capa de flujo adherida a la superficie de las barras, permitiendo que el agua pase a través del tamiz mientras los sólidos de mayor tamaño continúan por encima de ella (García et al., 2022). Este diseño logra una separación eficiente sin partes móviles, por lo que los tamices Coanda son prácticamente autolimpiantes y requieren un mantenimiento mínimo, resultando especialmente útiles en ubicaciones remotas (Wahl, 2013). Se han instalado con éxito en captaciones de pequeña escala (por ejemplo, minihidroeléctricas) y en sistemas de drenaje pluvial urbano, demostrando alta capacidad para remover sólidos del agua con mínimas obstrucciones (Wahl, 2013). El desempeño hidráulico de los tamices Coanda ha sido investigado experimentalmente desde finales del siglo XX. En particular, Wahl (2001) desarrolló un modelo teórico para predecir la capacidad de derivación de estos tamices a partir de parámetros adimensionales del flujo (Froude, Reynolds, Weber), basándose en ensayos de laboratorio con agua clara. Posteriormente, pruebas más amplias permitieron refinar dicho modelo considerando el ángulo de ataque del flujo sobre las ranuras (Wahl, 2013). Gracias a estas investigaciones, existen metodologías de diseño que permiten estimar el caudal derivado y optimizar la geometría de los tamices Coanda para distintas condiciones in situ (García et al., 2022; Senfter et al., 2023). No obstante, la complejidad del flujo sobre el tamiz (altas velocidades en un flujo de espesor reducido, presencia de aire en la lámina libre y en el flujo captado) plantea desafíos importantes para su simulación numérica.

En años recientes, los modelos de dinámica de fluidos computacional (CFD) se han aplicado para mejorar el conocimiento de distintos tipos de captaciones de fondo con rejillas. En particular, se han realizado estudios experimentales y numéricos de captaciones con rejillas tradicionales (barros circulares o rectangulares) bajo diferentes condiciones de flujo, incluyendo presencia de sedimentos (por ejemplo, Castillo et al., 2016; Carrillo et al., 2018a, 2018b). Estas investigaciones mostraron que la dinámica del flujo en las captaciones de fondo está dominada principalmente por la gravedad y la aceleración del chorro, más que por efectos viscosos, lo cual sugiere que ciertas simplificaciones en la modelación pueden ser aceptables (por ejemplo, el empleo de modelos de turbulencia estándar).

Sin embargo, la aplicación de herramientas CFD a tamices Coanda conlleva dificultades adicionales asociadas a la geometría de las barras (perfil triangular con pequeños espaciados), a su disposición (con inclinaciones relativas de sus barras tipo alambres en cuña respecto al plano principal del tamiz), y a la interacción aire-agua en una lámina delgada de alta velocidad. Estas características requieren resoluciones espaciales muy finas y plantean retos tanto para los métodos Eulerianos multifásicos (que deben resolver simultáneamente las fases aire y agua en mallas finas con altos gradientes de velocidad) como para los métodos Lagrangianos de partículas (que deben manejar eficazmente las condiciones de pared y capturar el efecto de adhesión del flujo sobre la superficie del tamiz).

En este contexto, el objetivo de este trabajo es evaluar comparativamente tres modelos CFD en la simulación de una captación de fondo con tamiz Coanda bajo condiciones de agua clara (sin sedimentos). En el estudio se emplearon dos códigos comerciales basados en métodos Eulerianos de malla: un modelo con malla estructurada (FLOW-3D® v12.0) y otro con malla no estructurada (Ansys CFX v2023); y un código abierto de tipo Lagrangiano sin malla (DualSPHysics v5.2, basado en la técnica *smoothed-particle hydrodynamics*, SPH). Los tres enfoques numéricos se validaron mediante datos experimentales obtenidos en un modelo físico de laboratorio. Se compararon los resultados numéricos con las mediciones de la lámina libre y de la distribución de velocidades sobre el tamiz, analizando las similitudes y discrepancias de cada modelo respecto al comportamiento observado en laboratorio. A partir de ello, se discuten las fortalezas y limitaciones de los métodos considerados para reproducir este tipo de flujos.

El estudio se centra exclusivamente en condiciones de agua clara (sin transporte de sedimentos) con el fin de aislar las diferencias atribuibles a la modelación hidráulica. Se espera que este análisis permita determinar la fiabilidad de cada modelo CFD en la resolución de captaciones con tamices Coanda, así como orientar su uso en futuros estudios sobre eficiencia de filtrado de sedimentos y optimización de diseño.

MATERIAL Y MÉTODOS

Instalación experimental

Los experimentos se llevaron a cabo en el laboratorio de hidráulica de la Universidad Politécnica de Cartagena (España), utilizando un canal de sección rectangular de 5.00 m de longitud y 0.50 m de ancho (García, 2016). En el extremo final del canal se instaló un sistema de captación de fondo consistente en un perfil de aceleración hidrodinámico seguido de un tamiz Coanda inclinado 60° respecto a la horizontal (Carrillo et al., 2024). El agua circula por el canal principal y, al pasar sobre el vertedero y el perfil de entrada, forma un chorro delgado paralelo al tamiz Coanda. Parte del flujo atraviesa el tamiz y es recogida en un canal colector ubicado bajo el sistema de captación, mientras que el resto del agua (caudal rechazado) continúa por el canal principal hacia el vertedero de salida.

El tamiz Coanda ensayado fue fabricado en acero inoxidable (AISI 304) por la empresa Hydroscreen®. El sistema de captación se ensaya a escala de prototipo (escala 1:1), lo que evita la posible aparición de efectos de escala. Los alambres en forma de cuña se disponen transversalmente al flujo, con su arista aguas arriba ligeramente elevada respecto al plano del tamiz, de modo que intercepta el chorro y provoca la adherencia del flujo sobre la superficie del alambre, favoreciendo la entrada de agua por la ranura inmediatamente posterior. Las principales características geométricas del tamiz ensayado se resumen en la Tabla 1 y en la Figura 1, incluyendo la longitud (L) en la dirección del flujo, el ancho total (W), el espesor (w) y separación (s) de los alambres en cuña, el ángulo de inclinación del tamiz (φ), la longitud de superposición de los alambres (y_{off}), la relación de área de huecos o índice de vacío (m) y el ángulo del borde inferior del perfil triangular de los alambres (λ).

Tabla 1 | Geometría del tamiz Coanda ensayado (modelo H4).

Tamiz (#)	L (m)	w (mm)	s (mm)	φ (°)	y_{off} (mm)	m (%)	λ (°)
H4	0.50	0.48	2.4	5	0.30	0.29	10

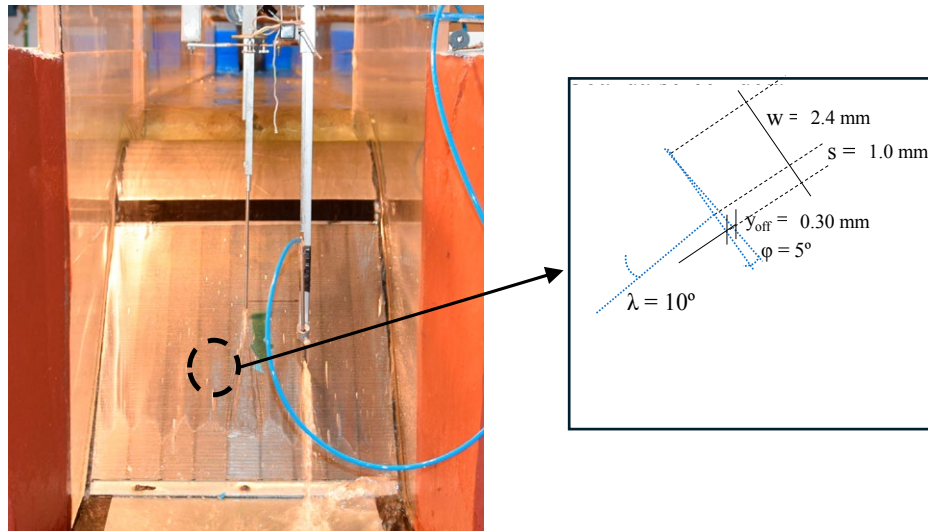


Figura 1 | Esquema del tamiz Coanda empleado en el estudio.

Para alimentar el modelo se utilizó un circuito de bombeo con caudalímetro electromagnético Endress+Hauser Promag 53W de 125 mm, alcanzando caudales específicos (por unidad de ancho) de hasta ~ 72 L/s/m. El caudal rechazado (no capturado por el tamiz) se midió mediante un vertedero triangular de 90° , previamente calibrado, instalado al final del canal de desagüe. El caudal derivado a través del tamiz se determina por diferencia entre el caudal de entrada y el rechazado (García, 2016).

Se realizaron ensayos con tres caudales específicos (de 45.55, 61.11 y 72.22 L/s/m). Durante cada experimento se registró el perfil de la lámina libre sobre el tamiz mediante un limnómetro puntual montado en un carro móvil, con una precisión de ± 0.5 mm en vertical y ± 1.0 mm en la posición horizontal. Se tomaron mediciones de calado en múltiples secciones a lo largo del eje central del tamiz (a 3, 5, 7, 9, 12 y 14 cm del inicio del tamiz, correspondientes a fracciones equidistantes de la longitud total), y la distancia hasta la que alcanza la zona mojada. Asimismo, para analizar la distribución de velocidades sobre el tamiz, se midió la presión total con un tubo de Pitot alineado con el plano del mismo en diferentes puntos a lo largo del mismo. La altura piezométrica registrada por el Pitot se convirtió en velocidad promedio local sobre el tamiz (velocidad total) asumiendo flujo paralelo al mismo. Cabe señalar que la instalación experimental y la instrumentación empleada se han utilizado en trabajos previos de investigación sobre captaciones de fondo con distintos tipos de rejillas, incluyendo estudios con presencia de sedimentos (García, 2016; García et al., 2022), por lo que proporciona un marco de referencia contrastado para la evaluación de las simulaciones.

Modelos numéricos

En las mediciones realizadas en el modelo experimental no se apreciaron variaciones significativas en distintos perfiles longitudinales distribuidos a lo ancho del canal. Por ese motivo, para simular el flujo con diferentes aproximaciones numéricas se consideró una representación bidimensional en el plano longitudinal vertical del canal (plano vertical X - Z , siendo Y la componente transversal al flujo), a escala real (1:1), asumiendo condiciones de simetría en la dirección transversal (esto es, modelando una franja longitudinal representativa de la zona central del canal). El dominio computacional incluyó el perfil de entrada hidrodinámico y el tamiz Coanda con geometría fiel a la real (perfil triangular de los alambres y ranuras entre ellos). El modelo se extendió 0.50 m aguas arriba del inicio del tamiz para definir la condición de entrada, y abarcó tanto el canal superior de desagüe como el inferior de recogida hasta 0.20 m aguas abajo del final del tamiz, donde se impuso la condición de salida. Las condiciones de contorno de entrada se definieron a partir de los datos experimentales: se fijó una altura inicial de lámina libre correspondiente al calado medido a 0.5 m antes del tamiz, con una distribución de presión hidrostática en dicha sección. De ese modo, el caudal específico impuesto queda determinado por la profundidad y velocidad asociadas a esa condición inicial. En el modelo SPH se incluyó además la velocidad media en la sección transversal. En las fronteras de salida (bajo el tamiz y al final del canal de desagüe) se aplicaron condiciones de flujo libre, sin presión hidrostática, permitiendo que el agua saliera del dominio sin reflexión. Las paredes sólidas (lecho, paredes laterales y superficie del tamiz) se trataron como fronteras fijas impermeables con condición de no deslizamiento. En los modelos eulerianos se incluyó la rugosidad de los materiales. A continuación, se describen las particularidades de cada modelo numérico considerado.

Todos los modelos se simularon en régimen transitorio con condiciones de contorno constantes en el tiempo. Una vez alcanzado la situación de régimen permanente (equilibrio entre el flujo que entra y abandona el dominio de cálculo, y mantenimiento en el tiempo de la lámina libre sobre el perfil hidrodinámico), se extrajeron las propiedades del flujo en estado estacionario. El análisis presentado corresponde a ese estado estacionario, en el que la lámina de agua permanece adherida al tamiz Coanda y su espesor se reduce progresivamente al ser captada por el propio tamiz; no se estudia la evolución temporal de las variables analizadas.

Ansys CFX (modelo Euleriano, malla no estructurada)

El software comercial Ansys CFX (versión 2023 R1) es un código de dinámica de fluidos computacional (CFD) de propósito general que resuelve las ecuaciones de Navier-Stokes mediante el método de volúmenes finitos en mallas que pueden ser estructuradas o no estructuradas. Como esquema temporal emplea un esquema implícito, acoplando las ecuaciones de presión y velocidad, lo que le permite considerar tamaños de paso superior a los códigos basados en esquemas explícitos (aunque requiere varias iteraciones por paso temporal). CFX resuelve las ecuaciones de fase gaseosa y la fase líquida en todas las celdas del dominio de cálculo. Ambas fases se configuraron como fluidos continuos y se optó por realizar un modelo homogéneo donde los fluidos comparten el mismo campo de velocidades (Carrillo et al., 2018a, 2018b). El rastreo de la interfaz de la lámina libre se abordó mediante el enfoque Euleriano multifásico denominado “*free surface*”, disponible en el modelo. La malla computacional se generó con elementos tipo hexaedro predominantemente, refinados en las proximidades del tamiz para representar adecuadamente las pequeñas ranuras. Se estableció un tamaño de celda de 0.5 mm en la vecindad de los alambres y de 1 mm en el resto del dominio, lo que resultó en del orden de 10^5 elementos en total en el dominio fluido (Figura 2). A diferencia de otros códigos, Ansys CFX no

permite realizar una simulación con elementos bidimensionales (sin espesor) en la componente fuera del plano. Por ello, la malla se generó con un único elemento en la dirección transversal de 0.5 mm (dimensiones similares a las empleadas en el mallado del plano X-Z). El análisis del tamaño del mallado fue evaluado en estudios previos (Carrillo et al., 2024). Cada alambre del tamiz se discretizó con ~4–5 celdas en su espesor para resolver su forma triangular y el flujo a través de las ranuras.

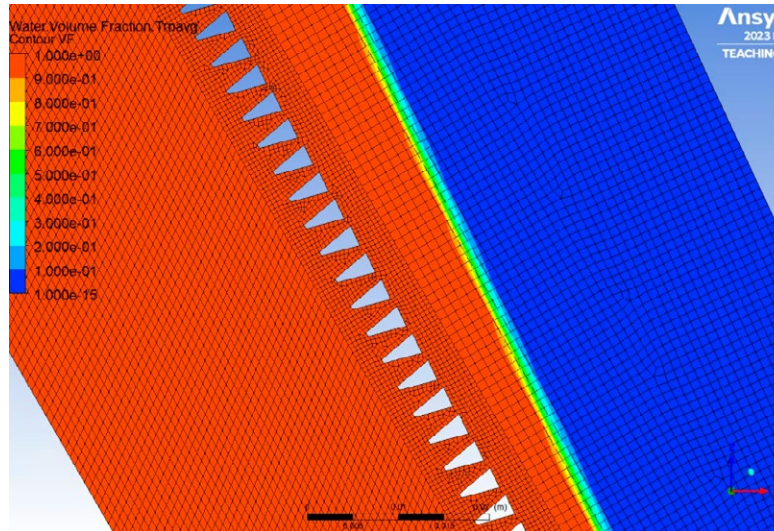


Figura 2 | Perfil de lámina libre para $q = 45.55$ L/s/m.

Se seleccionó un tamaño de paso de tiempo fijo $\Delta t \approx 0.05$ s, y un criterio de convergencia de los residuos de 10^{-4} , requiriendo cada paso unas 10 iteraciones, empleado cada simulación aproximadamente 1.5 horas usando 4 procesadores en un equipo Intel® Core™ i9-12900KF a 3.19GHz. La tensión superficial aire-agua se consideró con un valor de 0.072 N/m. Para cerrar las ecuaciones de Navier-Stokes promediadas (RANS) se utilizó un modelo de turbulencia de dos ecuaciones. En concreto, se adoptó el modelo *Shear Stress Transport* (SST) desarrollado por Menter (1994), que combina las ventajas de los modelos κ - ϵ y κ - ω y es adecuado para capturar con precisión la separación de flujo y las zonas de elevada cizalla cerca de superficies sólidas. Aunque estudios previos indicaron que el flujo sobre rejillas de fondo está fuertemente dominado por la gravedad y que la elección del modelo de turbulencia no es un factor crítico en estos casos (Carrillo et al., 2018a, 2018b), el modelo SST proporciona en teoría mayor fidelidad en la capa límite cerca del tamiz en comparación con variantes más sencillas. Las simulaciones en CFX se corrieron en régimen transitorio hasta alcanzar un estado casi estacionario (flujo permanente), monitorizando el caudal derivado y el campo de presiones hasta que sus variaciones en el tiempo fueran despreciables.

FLOW-3D® (modelo Euleriano, malla estructurada)

FLOW-3D® (v12.0) es un código CFD comercial especializado en la simulación de flujos con superficie libre, ampliamente utilizado en ingeniería hidráulica. Emplea un enfoque Euleriano basado en un esquema de diferencias finitas en una malla cartesiana estructurada fija para resolver las ecuaciones de Navier-Stokes en volúmenes de control. Como esquema temporal considera un modelo basado en un esquema explícito (requiere que la condición Courant-Friedrichs-Lewy o $CFL \leq 1$). Para representar la geometría compleja de las barras en una malla cartesiana, FLOW-3D® utiliza la técnica FAVOR (*Fractional Area/Volume Obstacle Representation*), que asigna porciones de celdas como sólidas o fluidas según la intersección con los alambres. Esto permite modelar el tamiz Coanda dentro de la malla estructurada conservando la forma triangular de los alambres y el espaciamiento de 1 mm entre ellos. En las simulaciones realizadas, se definió una malla 2D con tamaño de celda uniforme de 0.5 mm en toda la región del tamiz y 1 mm en el resto del dominio, similar al caso de CFX, totalizando aproximadamente 1.2×10^5 celdas. Dicho tamaño de mallado fue analizado en estudios previos (Carrillo et al., 2023). El método *Volume of Fluid* (VOF) incorporado en FLOW-3D® se utilizó para rastrear la superficie libre aire-agua en cada celda, asegurando la conservación de masa del líquido, lo que permite no resolver la fase gaseosa (Hirt y Nichols, 1981). La interacción entre el agua y el aire se resolvió con el supuesto de que existe una

condición de aire atmosférico a presión constante en la lámina libre. Se empleó el modelo de tensión superficial aire-agua con un valor de 0.072 N/m. Dentro de los modelos de turbulencia disponibles en el programa, se adoptó el modelo de turbulencia RNG κ - ϵ (*Renormalization Group*), recomendado por la documentación de FLOW-3D® por su mejor desempeño en flujos con zonas de cizalla intensa. El intervalo de paso de tiempo se definió para ser controlado por criterios de estabilidad y convergencia, resultando en un intervalo $\Delta t \approx 2.5 \times 10^{-5}$ s, requiriendo cada simulación aproximadamente 1.3 días empleando 78 procesadores en un equipo Intel® Xeon® Gold 6230 @2.10GHz. Las simulaciones en FLOW-3D® se ejecutaron en régimen transitorio hasta alcanzar flujo permanente, juzgado por la estabilización del caudal derivado en el tiempo.

DualSPHysics (modelo Lagrangiano, sin malla)

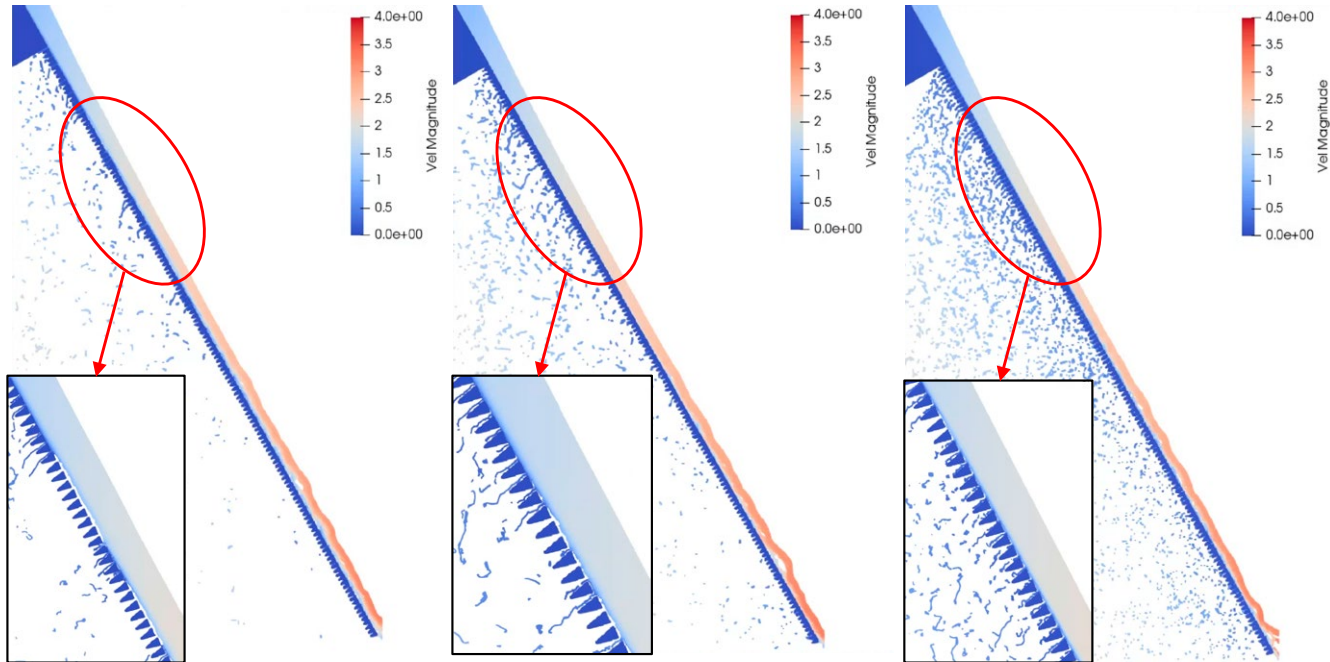
DualSPHysics (v5.2) es un código abierto basado en el método de *smoothed particle hydrodynamics* (SPH), derivado originalmente del proyecto *SPHysics*. En el método SPH el fluido se representa mediante un conjunto de partículas discretas que se mueven siguiendo las ecuaciones de Navier-Stokes en forma Lagrangiana, sin necesidad de una malla fija. Los modelos SPH normalmente implementan un esquema SPH débilmente compresible (*weakly compressible* SPH, WSPH), en el cual el agua se modela como un fluido ligeramente compresible mediante una ecuación de estado para calcular la presión a partir de pequeñas variaciones de densidad (López-Gómez et al., 2015). Esto evita la resolución de una ecuación de Poisson para la presión en cada paso de tiempo, a costa de admitir fluctuaciones menores de densidad (habitualmente <1%). Recientemente, DualSPHysics ha incorporado importantes mejoras que amplían su campo de aplicación, como la incorporación de condiciones de contorno abiertas (entrada/salida) para permitir flujos permanentes y transitorios a través del dominio. Estas fronteras abiertas se implementan mediante la técnica de partículas virtuales, según el algoritmo descrito por Domínguez et al. (2021), y resultan esenciales para simular adecuadamente el flujo a través del tamiz Coanda en régimen estacionario.

En este estudio se utilizó DualSPHysics en configuración de unidad de procesamiento gráfico (*graphics processing unit*, GPU), ejecutándose en una tarjeta NVIDIA GeForce RTX 3080 para acelerar los cálculos. La configuración SPH empleada contempló un *kernell* de interpolación *Wendland* de orden 5, un esquema de integración temporal simbólico (*Symplectic*), y un término de viscosidad artificial $\alpha = 0.01$ para estabilidad numérica y modelación de la disipación. El programa emplea un esquema de resolución temporal explícito con valores muy restrictivos de la condición CFL (habitualmente, $CFL \leq 0.2$ -0.4), por lo que se escogió un valor de 0.2 como criterio de estabilidad de CFL. Las condiciones de pared (alambres del tamiz y demás fronteras sólidas) se impusieron mediante condiciones de contorno dinámicas modificadas (mDBC), técnica que reduce el espacio no físico entre partículas de fluido y frontera, y mejora el cálculo de la presión en la interfaz. Esta metodología, desarrollada por English et al. (2022), asigna propiedades de densidad a las partículas frontera extrapolando las propiedades desde el fluido, logrando que la presión en reposo sobre paredes sea hidrostática y eliminando prácticamente la cavidad artificial que aparece con el método dinámico estándar. Sin embargo, este modelo no incorpora la rugosidad de las superficies (rugosidad del material o equivalente parámetro de Manning empleado en hidráulica), uno de los problemas habituales en los esquemas SPH (López et al., 2010; López-Gómez y Gassó-Sánchez, 2025).

Se realizó un análisis de sensibilidad de la resolución espacial en el modelo Lagrangiano en DualSPHysics (Tabla 2), considerando tres distancias interpartículas iniciales (d_p de 2.0×10^{-4} , 1.5×10^{-4} y 1.0×10^{-4} m). Para cada caso se compararon los perfiles de la lámina libre sobre el tamiz Coanda y la posible separación del chorro. En la Tabla 2 se muestran las resoluciones espaciales testeadas, especificando el número resultante de partículas de fluido para el caso de caudal específico $q = 45.55$ L/s/m una vez alcanzado el régimen permanente. Se observó que la solución convergía al disminuir la distancia entre partículas: no se apreciaron diferencias significativas en el perfil de lámina libre entre $d_p = 1.5 \times 10^{-4}$ m y 1.0×10^{-4} m, salvo en las secciones finales del tamiz donde una resolución más fina retrasa ligeramente el inicio de la separación del flujo (Figura 3). En base a ello, para la comparación con los otros dos modelos numéricos se adoptó $d_p = 1.0 \cdot 10^{-4}$ m, que equivale a resolver la altura de los alambres con ~4-5 partículas, equivalente a la resolución empleada en Ansys CFX y FLOW-3D®. Con esta discretización fina se obtuvieron del orden de $1.4 \cdot 10^6$ partículas fluidas en el dominio (ver Tabla 2), requiriendo cada simulación ≈ 2.0 días en una tarjeta NVIDIA GeForce RTX 3080.

Tabla 2 | Resolución SPH y tamaño del modelo.

d_p (m)	Partículas de fluido (aprox.)
2.0×10^{-4}	3.46×10^5
1.5×10^{-4}	6.21×10^5
1.0×10^{-4}	1.38×10^6

**Figura 3** | Detalle del flujo en DualSPHysics para $q = 45.55$ l/s/m, comparando distintos tamaños interpartículas d_p .

Tras un tiempo de simulación suficiente para alcanzar condiciones de régimen permanente (considerado cuando se alcanza el equilibrio entre las partículas que entran y abandonan el dominio de cálculo, y se llega a la estabilidad de la lámina libre sobre el perfil hidrodinámico), se extrajeron las propiedades del flujo en estado estacionario. El perfil de lámina libre se obtuvo identificando las partículas de superficie. Cabe destacar que, a diferencia de los modelos Eulerianos, en DualSPHysics no se impone una presión de aire ni se modela explícitamente la fase gaseosa. La lámina libre se forma de manera natural por la ausencia de partículas por encima del fluido. No obstante, este enfoque implica que ciertos fenómenos asociados al aire (por ejemplo, el efecto Coanda estrictamente dicho, relacionado con la adherencia del flujo debida a una zona de menor presión en torno a las barras) puedan no reproducirse fielmente, lo que debe ser considerado al analizar los resultados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Evolución de la lámina libre

En la Figura 4 se presenta el perfil de lámina libre medido en laboratorio sobre el tamiz Coanda (modelo H4) para un caudal específico de entrada $q = 72.22$ L/s/m, junto con los perfiles calculados mediante los modelos numéricos Eulerianos (Ansys CFX y FLOW-3D®), el modelo Lagrangiano DualSPHysics y la solución obtenida con el software Coanda desarrollado por Wahl

(2001; 2013) y Wahl et al. (2021). Se observa una adecuada correspondencia entre las distintas metodologías, tanto en la forma de la lámina libre como en la longitud del tamiz mojado necesario para derivar este caudal en la mayoría de los casos. En particular, las diferencias de calado entre las simulaciones CFD, la solución de Wahl y los datos de laboratorio son inferiores al 5% a lo largo de todo el tamiz, salvo el modelo DualSPHysics que subestima en mayor medida el calado al inicio del tamiz. Todos los modelos predicen correctamente la formación de una lámina delgada y supercrítica que se acelera sobre el perfil hidrodinámico de la entrada, reduciendo su espesor mínimo hasta el inicio del tamiz. A partir de ese punto, el espesor de la lámina decrece gradualmente en la dirección del flujo a medida que parte del caudal es derivado a través del tamiz, hasta que finalmente la lámina libre deja de cubrir el tamiz (punto donde el tamiz deja de mojarse). En términos generales, para $q = 72.22$ L/s/m los modelos CFD (Eulerianos) y el cálculo de Wahl ofrecen predicciones muy similares, validando la capacidad de estas herramientas para reproducir el comportamiento del flujo sobre el tamiz en régimen de caudales altos. Las diferencias encontradas se considera que entran dentro del orden de magnitud de la incertidumbre experimental y de las simplificaciones inherentes a los modelos numéricos, por lo que se consideran satisfactorias para fines de ingeniería. Sin embargo, se observa que el modelo SPH muestra mayores dificultades para reproducir el espesor de la lámina libre sobre el tamiz y sus resultados deben ser considerados con mayores precauciones.

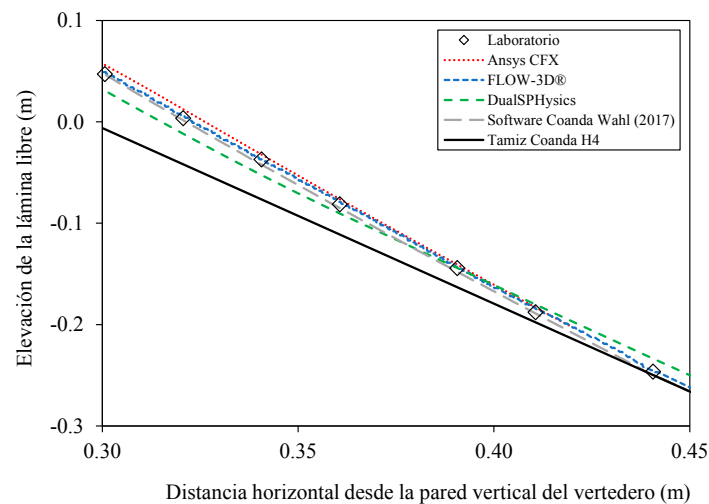


Figura 4 | Perfil de lámina libre para $q = 72.22$ l/s/m.

La Figura 5 muestra la comparación de perfiles de lámina libre para un caudal específico menor, $q = 45.55$ L/s/m. Se aprecia que el espesor de la lámina libre es algo mayor en las simulaciones numéricas que el estimado por la hoja de cálculo de Wahl en la sección inicial del tamiz. En particular, FLOW-3D® muestra un calado aproximadamente un 3% más alto que la solución teórica en el arranque del tamiz, mientras que DualSPHysics tiende a subestimarlos en torno a un 22%. Por su parte, Ansys CFX presenta las mayores desviaciones, con un calado inicial hasta 3 cm superior al del software de Wahl (2017) y al medido en laboratorio, lo que equivale a un error relativo del orden del 100% en esa sección. Estas discrepancias indican que, a bajos caudales, los modelos CFD tienen mayores dificultades para resolver el flujo sobre el tamiz Coanda, y tienden a subestimar la capacidad de derivación del tamiz (es decir, predicen que se requiere una mayor longitud de tamiz mojado para derivar el mismo caudal). De los tres modelos CFD, FLOW-3D® obtiene los resultados más similares a los datos experimentales, tanto en calados a lo largo del tamiz como en longitud necesaria para derivar todo el caudal. Ansys CFX requiere una mayor distancia de tamiz para derivar todo el caudal frente lo observado en el laboratorio. Por su parte, el modelo Lagrangiano (DualSPHysics) tiende a sobreestimar el espesor de la lámina residual que sigue sobre el tamiz (calado mayor que el medido en laboratorio, que el del software de Wahl y el de los otros CFD). Esto se atribuye a que, en la simulación SPH, el flujo se separa del tamiz, generando una cavidad de aire entre el chorro y el tamiz que reducen la funcionalidad. Al producirse esta separación prematura, el volumen de agua capturado por el tamiz en DualSPHysics es menor, por lo que queda más agua fluyendo por encima del tamiz (lámina más gruesa). No obstante, cabe destacar que las diferencias entre los modelos tienden a reducirse al aumentar el caudal, tal y como se observaba en la Figura 4. En resumen, los resultados sugieren que a mayor carga hidráulica las predicciones de los modelos convergen y se acercan a las mediciones

experimentales, mientras que a cargas menores pueden presentarse discrepancias más pronunciadas, particularmente en la zona final del tamiz (donde influye la precisión al representar la fina capa límite sobre los alambres) y en la zona final (donde influye la correcta captura de la separación del flujo y el efecto de los alambres en cuña).

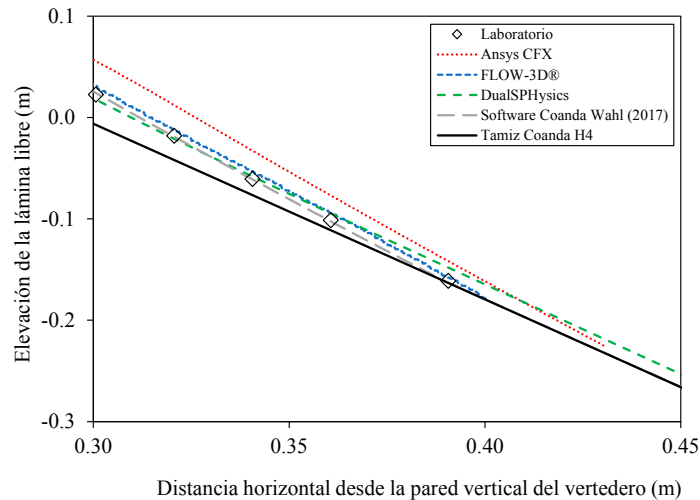


Figura 5 | Perfil de lámina libre para $q = 45.55$ L/s/m.

Análisis de velocidades sobre el tamiz

Para complementar la comparación de la lámina libre, se llevó a cabo un análisis de la distribución de velocidades sobre el tamiz Coanda, utilizando los datos del tubo Pitot en la instalación experimental y los resultados numéricos de los diferentes modelos. La Figura 6 presenta los valores de la velocidad total (módulo de la velocidad) a lo largo del tamiz para un caudal intermedio ($q = 61.11$ L/s/m). En esta figura, la abscisa corresponde a la distancia medida desde el inicio del tamiz, y la ordenada a la velocidad paralela al tamiz. Los resultados muestran, en primer lugar, que las velocidades simuladas están del mismo orden de magnitud que las observadas. Los modelos CFD muestran una gran variación de la velocidad instantánea, con velocidades que tienden a cero (punto de estancamiento) en las proximidades del tamiz). Considerando una línea paralela al tamiz desplazada 1 mm del mismo, las velocidades instantáneas calculadas son menores que el valor obtenido con el software de Wahl (velocidad promediada en la sección transversal), y con oscilaciones cerca de los alambres en cuña, lo cual era esperable dado el desarrollo de una capa de corte sobre la superficie del tamiz que limita la velocidad cerca de la pared en los modelos CFD.

Al comparar entre modelos CFD, se observa que Ansys CFX presenta oscilaciones marcadas en la velocidad local. Estas oscilaciones se deben a la representación explícita de los alambres en cuña en la simulación. El flujo en Ansys CFX acelera ligeramente al pasar sobre cada ranura y luego desacelera justo detrás de cada alambre, reflejando la influencia directa de los obstáculos transversales en el campo de velocidades. En cambio, FLOW-3D® ofrece una variación más suave de la velocidad a lo largo del tamiz, sin fluctuaciones significativas. Esto podría atribuirse a que la naturaleza del mallado estructurado y el modelo de turbulencia RNG κ - ϵ en FLOW-3D® introducen un mayor efecto promediado, difuminando las variaciones locales inducidas por cada alambre. Si se aplica un filtro de media móvil a los resultados de Ansys CFX para eliminar esas oscilaciones, se comprueba que ambos modelos Eulerianos concuerdan muy bien entre sí a partir de aproximadamente 7 cm del inicio del tamiz. Por otro lado, con la configuración empleada, DualSPHysics muestra una mayor oscilación de la velocidad cerca de los alambres en cuña, con caídas de velocidad que tienden a cero debido a pequeñas separaciones entre el flujo y los elementos sólidos (véase Figura 3). Sus valores máximos son ligeramente inferiores a los obtenidos en los otros dos programas de CFD lo que está vinculado con la generación de una delgada capa sobre el tamiz con una menor velocidad. Sin embargo, fuera de esa capa de espesor milimétrico, el flujo se acelera rápidamente, alcanzando velocidad promedio de la sección transversal similares a las obtenidas con las diferentes metodologías.

Las mayores discrepancias entre los modelos se localizan cerca del borde de entrada del tamiz (0–5 cm), donde Ansys CFX tiende a dar velocidades ligeramente superiores. Esto coincide con la diferencia de calado inicial observada en Ansys CFX. Por otro lado, en la parte final del tamiz (>20 cm), DualSPHysics predice que el flujo se separa del sistema de captación y forma una capa de aire debajo del chorro, lo que implica que la velocidad sobre el tamiz cae a cero a partir de ese punto de desprendimiento. Dicha separación del flujo respecto al tamiz no se observó ni en los ensayos experimentales ni en los modelos Eulerianos. Esta diferencia cualitativa resalta la dificultad del método SPH para mantener la adherencia del flujo en la última parte del tamiz, posiblemente debido a la ausencia de una presión continua de aire forzando el flujo contra el tamiz. En términos cuantitativos, hasta el punto de separación, DualSPHysics mostró una distribución de velocidades similar a la de los otros modelos para resoluciones suficientemente finas.

En resumen, el análisis de velocidades confirma que los modelos CFD reproducen razonablemente la dinámica del flujo sobre el tamiz: ambos códigos Eulerianos capturan la formación de una capa de flujo con velocidades oscilantes por el efecto de los alambres en cuña, si bien Ansys CFX evidencia más claramente efectos locales de los barrotes individuales. DualSPHysics, por su parte, logra representar la aceleración inicial, pero experimenta dificultades para mantener el flujo pegado al tamiz en la zona final, lo que concuerda con las observaciones realizadas sobre los perfiles de lámina libre.

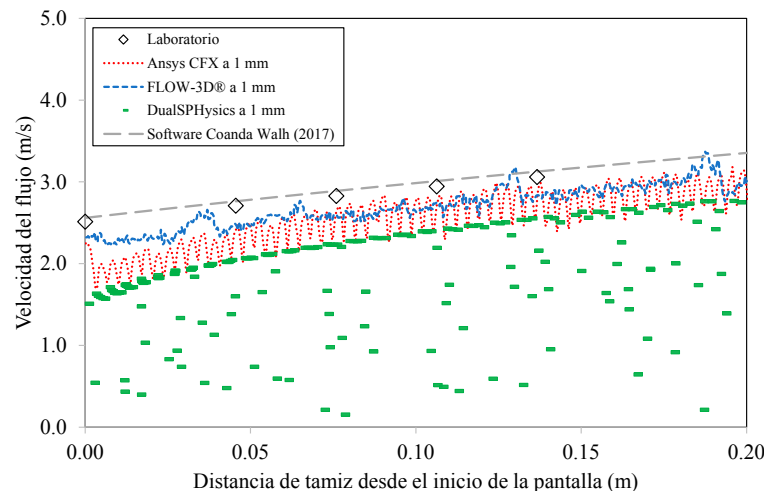


Figura 6 | Distribución de velocidad a lo largo del tamiz ($q = 61.11$ L/s/m).

CONCLUSIONES

Este trabajo constituye una primera aproximación comparativa a la simulación numérica de captaciones de fondo con tamices Coanda en agua clara, con resultados alentadores a caudales altos y discrepancias desiguales a caudales medios-bajos. Una conclusión fundamental es que la representación del paso entre alambres en cuña exige resoluciones locales equivalentes a al menos 4–5 elementos/partículas a través de los espaciamentos. Para espaciamentos de 1 mm, ello implica tamaños de malla/partícula del orden de 0.1–0.2 mm, frente a los 0.5 mm adoptados en este estudio inicial en los modelos Eulerianos. En el modelo Lagrangiano DualSPHysics se empleó una distancia interpartículas de 0.1 mm, pero las simulaciones no fueron capaces de captar un espesor de 4–5 partículas entre espaciamentos de los alambres, lo que igualmente sugiere la necesidad de reducir dicha distancia. Esta brecha de resolución puede explicar parte de las diferencias observadas, especialmente en la sección final del tamiz, donde las diferencias en la capacidad de captación resaltan claramente.

Desde el punto de vista de esquemas numéricos, los métodos implícitos aparecen como una alternativa ventajosa cuando la resolución local (mallado o distancia interpartículas) impone pasos de tiempo muy restrictivos por la condición CFL. La elección

del paso temporal debe considerarse conjuntamente con estrategias de refinamiento local para concentrar una mayor resolución en la vecindad de las ranuras sin penalizar todo el dominio. En términos de coste computacional, esta combinación permite alcanzar estados cuasi-permanentes con tiempos de cálculo razonables para su uso ingenieril.

En Ansys CFX, el empleo de mallado con elementos tipo “*inflation*” incrementaría la resolución cercana a los alambres en cuña sin disparar el recuento global de elementos y mejoraría la predicción de la capa límite sobre el tamiz. No obstante, el tratamiento de lámina libre sigue requiriendo varios elementos a través de la interfaz y puede introducir problemas de “*smearing*” si no se trata adecuadamente.

En FLOW-3D® se han obtenido los resultados más similares a los ensayos experimentales, aunque los tiempos de cálculo necesarios son muy superiores a los requeridos en Ansys CFX, a similitud de configuración. La migración a FLOW-3D® HYDRO ofrece módulos orientados a hidráulica que pueden mejorar la robustez de las simulaciones con nuevas opciones numéricas (por ejemplo, de las condiciones de contorno) y el manejo de obstáculos delgados como los alambres en cuña, manteniendo la eficiencia del mallado estructurado. Aun así, el éxito en la resolución del tamiz seguirá dependiendo de alcanzar resoluciones del orden de 0.1–0.2 mm en la vecindad de las ranuras.

En DualSPHysics, aunque las distancias interpartículas empleadas permitirían en teoría que varias partículas “pasen” entre alambres de 1 mm, en la práctica solo unas pocas atraviesan el hueco, lo que sugiere reducir aún más el d_p y mejorar la representación geométrica de los alambres (aspecto difícil en un esquema de partículas). El uso de una GPU más potentes es conveniente para sostener ese refinamiento, y la versión v5.4 (mayo 2025) incorpora resolución local embebida, facilitando sub-resoluciones superpuestas en zonas críticas (ranuras y borde de ataque de los alambres) sin sobredimensionar el resto del dominio.

Adicionalmente, debe tenerse en cuenta que un enfoque bidimensional resulta una simplificación adicional de la componente espacial de un flujo turbulento, cuyo comportamiento es marcadamente tridimensional. Aunque los modelos de turbulencia empleados son simplificaciones de ese carácter tridimensional, futuros estudios deberían abordar comparaciones con modelos de al menos 5-10 celdas, o el ancho equivalente en distancias interpartículas, para comprobar si hay influencia en los resultados al considerar modelos numéricos con el enfoque 2D empleado.

Finalmente, la validación experimental sigue siendo un elemento a tener en cuenta: la medición de la superficie libre sobre el tamiz es sensible y proclive a errores con sondas intrusivas. Es recomendable incorporar técnicas no intrusivas capaces de capturar la geometría 3D de la lámina, como medidores láser, cámaras de alta velocidad con grabación en estéreo (permitiendo realizar reconstrucciones fotogramétricas) o cámaras de profundidad (Casa-Tipán et al., 2025).

En conjunto, los enfoques Eulerianos (FLOW-3D® y CFX) muestran solidez en la predicción de lámina libre y velocidades cuando la malla resuelve las ranuras y la interfaz; el enfoque Lagrangiano (SPH) gestiona con naturalidad superficies libres altamente deformables, pero requiere mayor refinamiento local y potencia de cálculo para evitar la separación prematura del chorro en la zona final. Las mejoras propuestas (resoluciones de 0.1–0.2 mm en las ranuras, esquemas implícitos y refinamiento local, migración a FLOW-3D® HYDRO y actualización de GPU en SPH) constituyen una hoja de ruta realista para reforzar la precisión y la viabilidad computacional de futuras simulaciones con los tres códigos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo financiero del Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades – Agencia Estatal de Investigación y de la Unión Europea a través de los fondos del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia “*NextGenerationEU*”, al proyecto “Evaluación de la capacidad de retención de sólidos en imbornales para la captación de la escorrentía urbana”, Ref: TED2021-132098B-C21.

REFERENCIAS

- Ansys Inc. 2023. *CFX-Solver Theory Guide*. Release 2023 R1.
- Ansys Inc. 2023. *CFX-Solver Modeling Guide*. Release 2023 R1.
- Carrillo, J.M., Castillo, L.G., García, J.T., Sordo-Ward, Á. 2018a. Considerations for the design of bottom intake systems. *Journal of Hydroinformatics*, 20(1), 232–245. <https://doi.org/10.2166/hydro.2017.008>
- Carrillo, J.M., García, J.T., Castillo, L.G. 2018b. Experimental and numerical modelling of bottom intake racks with circular bars. *Water*, 10(5), 605. <https://doi.org/10.3390/w10050605>
- Carrillo, J.M., García, J.T., Castillo, L.G. 2023. Modelización de la hidrodinámica de tamices con efecto Coanda. *Proc. VII Jornadas de Ingeniería del Agua*. Cartagena (Spain): Universidad Politécnica de Cartagena, 210–217. <http://hdl.handle.net/10317/16758>
- Carrillo, J.M., García, J.T., Guachamín-Paladines, K., Ros-Bernal, A., Castillo, L. G. 2024. Testing a smoothed-particle hydrodynamics (SPH) code to solve the hydrodynamics of a bottom intake Coanda screen. *Proc. 10th International Symposium on Hydraulic Structures* (Zurich, Switzerland). <https://doi.org/10.3929/ethz-b-000675921>
- Casa-Tipán, E., Carrillo, J.M., Castillo, L.G., García, J.T. 2025. Análisis de la superficie libre de un resalto hidráulico usando una cámara de profundidad. *Ingeniería Del Agua*, 29(2), 90–104. <https://doi.org/10.4995/ia.2025.23207>
- Castillo, L.G., García, J.T., Carrillo, J.M. 2016. Experimental and numerical study of bottom rack occlusion by flow with gravel-sized sediment. Application to ephemeral streams in semi-arid regions. *Water*, 8(4), 166. <https://doi.org/10.3390/w8040166>
- Domínguez, J. M., Fourtakas, G., Altomare, C., Canelas, R. B., Tafuni, A., García-Feal, O., Martínez-Estévez, I., Mokos, A., Vacondio, R., Crespo, A. J. C., Rogers, B. D., Stansby, P. K., Gómez-Gesteira, M. 2021. State-of-the-art SPH solver DualSPHysics: from fluid dynamics to multiphysics problems. *Computational Particle Mechanics*. <https://doi.org/10.1007/s40571-021-00404-2>
- DualSPHysics. 2023. *DualSPHysics open-source code*, versión 5.2 [Computer software]. Recuperado de <https://dual.sphysics.org/> (30 de septiembre de 2023).
- English, A., Domínguez, J. M., Vacondio, R., Crespo, A. J. C., Stansby, P. K., Lind, S. J., Chiapponi, L., Gómez-Gesteira, M. 2022. Modified dynamic boundary conditions (mDBC) for general-purpose smoothed particle hydrodynamics (SPH): application to tank sloshing, dam break and fish pass problems. *Computational Particle Mechanics*, 9(1), 21–35. <https://doi.org/10.1007/s40571-021-00403-3>
- Flow Science, Inc. 2015. *FLOW-3D® User's Manual*, Version 12.0. Santa Fe, NM.
- Flow Science, Inc. 2015. *FLOW-3D® (Version 12.0)* [Computer software]. Santa Fe, NM.
- García, J. T. 2016. *Estudio experimental y numérico de los sistemas de captación de fondo* (Tesis doctoral). Universidad Politécnica de Cartagena, España. <http://dx.doi.org/10.31428/10317/5582>
- García, J. T., Castillo, L. G., Carrillo, J. M. 2022. Experimental analysis of Coanda-effect bottom screens efficiency with clear water and suspended solids. *Proc. 39th IAHR World Congress* (Granada, Spain), 2249–2256. <https://doi.org/10.3850/IAHR-39WC252171192022228>
- Hirt, C.W., Nichols, B.D. 1981. Volume of fluid (VOF) method for the dynamics of free boundaries. *Journal of Computational Physics*, 39(1), 201–225. [https://doi.org/10.1016/0021-9991\(81\)90145-5](https://doi.org/10.1016/0021-9991(81)90145-5)
- López, D., Marivela, R., Garrote, L. 2010. Smoothed particle hydrodynamics model applied to hydraulic structures: A Hydraulic jump test case. *Journal of Hydraulic Research*, 48, Extra Issue, 142–158. <https://doi.org/10.1080/00221686.2010.9641255>
- López-Gómez, D., Cuellar-Moro, V., Díaz-Martínez, R. 2015. Corrección termodinámica de la difusión numérica del método W-SPH. *Ingeniería Del Agua*, 19(1), 1–16. <https://doi.org/10.4995/ia.2015.3140>

- López-Gómez, D., Gassó-Sánchez, A. 2025. La turbulencia en canales abiertos. Un enfoque lagrangiano. *Ingeniería del agua*, 29(3), 202-212. <https://doi.org/10.4995/ia.2025.23538>
- Menter, F. R. 1994. Two-equation eddy-viscosity turbulence models for engineering applications. *AIAA Journal*, 32(8), 1598–1605. <https://doi.org/10.2514/3.12149>
- Senfter, T., Berger, M., Schweiberer, M., Knitel, S., Pillei, M. 2023. An Experimentally Validated CFD Code to Design Coandă Effect Screen Structures. *Applied Sciences*, 13(9), 5762. <https://doi.org/10.3390/app13095762>
- Wahl, T. L. 2001. Hydraulic performance of Coanda-effect screens. *Journal of Hydraulic Engineering*, 127(6), 480–488. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(2001\)127:6\(480\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(2001)127:6(480))
- Wahl, T. L. 2013. New testing of Coanda-effect screen capacities. *HydroVision International 2013*, 1–10. Denver, CO: HCI Publications.
- Wahl, T. L. 2017. *Improving Coanda-Effect Screen Technology*. Hydraulic Laboratory Report HL-2017-08. U.S. Department of the Interior, Bureau of Reclamation, Denver, CO.
- Wahl, T.L., Shupe, C.C., Dzafo, H., Dzaferovic, E. 2021. Surface Tension Effects on Discharge Capacity of Coanda-Effect Screens. *Journal of Hydraulic Engineering*, 147(8), 04021026. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HY.1943-7900.0001902](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0001902)