

MODELACIÓN DEL FLUJO EN UN SEDIMENTADOR SECUNDARIO PARA EVALUAR SU EFICIENCIA HIDRÁULICA

FLOW MODELING IN A SECONDARY SEDIMENTATION TANK TO EVALUATE ITS HYDRAULIC EFFICIENCY

Melina B. Di Buó^{a,b}, I. Matías. Ragessi^{a,c}, Andrés, Rodríguez^{a,b} y Carlos M. García^b.

^a. Laboratorio de Hidráulica, Universidad Nacional de Córdoba,
laboratoriodehidraulicaunc@gmail.com, <http://www.dep.hidraulica.efn.uncor.edu/>

^b. Instituto de Estudios Avanzados en Ingeniería y Tecnología, andres.rodriguez@unc.edu.ar,
<https://fcefyn.unc.edu.ar/>

^c. Facultad de Ingeniería de la Universidad Católica de Córdoba, 1219228@ucc.edu.ar,
<https://www2.ucc.edu.ar/facultades/ingenieria/>
E-mail: melina.dibuo@unc.edu.ar

Palabras clave: Sedimentador, Dinámica de Fluidos Computacional, Eficiencia, Método de Volúmenes Finitos.

Resumen: En este estudio, se examina la hidrodinámica de un sedimentador con forma de succión vertical de 55.4 metros de diámetro, utilizado en el tratamiento secundario de aguas residuales mediante la tecnología de Lodos Activados Convencionales. Se observa un problema de re-suspensión de lodos en la zona de ingreso, posiblemente debido a un diseño deficiente, caudales excesivos o bacterias filamentosas. Para investigar esto, se empleó la Dinámica de Fluidos Computacional con el software OpenFOAM y el solver PIMPLE para modelar flujos no estacionarios con densidad y viscosidad constantes utilizando métodos de volúmenes finitos. Los resultados indican velocidades que superan las previstas en el diseño y una amplia gama de tiempos de permanencia, lo que disminuye la eficiencia de la unidad.

Key words: Sedimentation Tank, Computational Fluid Dynamic, Hydraulic Efficiency, Finite Volume Method.

Abstract: In this study, the hydrodynamics of a sedimentation tank with a vertical suction shape, 55.4 meters in diameter, used in the secondary treatment of wastewater through Conventional Activated Sludge technology, is examined. A problem of sludge resuspension is observed in the inlet zone, possibly due to poor design, excessive flow rates, or filamentous bacteria. To investigate this issue, Computational Fluid Dynamics was employed using the OpenFOAM software and the PIMPLE solver to model non-steady flows with constant density and viscosity, utilizing finite volume methods. The results indicate velocities that exceed the design expectations and a wide range of residence times, which reduces the unit's efficiency.

1 INTRODUCCIÓN

El agua es un elemento vital de la naturaleza fundamental para el sostenimiento y la reproducción de la vida en el planeta. Desde el punto de vista hidro-ambiental, desempeña un papel fundamental en el alcance de la Meta N°6: agua limpia y saneamiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) establecidos por las Naciones Unidas para la Agenda 2030. En las ciudades, el continuo aumento de la población ha supuesto la degradación de numerosos ecosistemas como ríos y lagos, en parte como consecuencia del vertido de aguas residuales e industriales inadecuadamente tratadas.

Las aguas residuales son tratadas dentro de plantas depuradoras con el objetivo de eliminar o modificar los contaminantes perjudiciales para la salud humana y proteger el cuerpo receptor de la descarga. El grado de tratamiento que se debe realizar al agua residual depende del destino final del líquido tratado, conforme a la Norma de aplicación en cada lugar. Los tratamientos pueden ser primario (físico), secundario (biológico) y terciario (químico).

El tratamiento primario es la etapa inicial en el proceso de depuración y está diseñado para eliminar los sólidos suspendidos y materiales gruesos presentes en el agua. Luego, el agua tratada es sometida a un tratamiento secundario que abarca procesos biológicos encargados de eliminar gran parte de la materia orgánica subsistente de las operaciones primarias. Una de las tecnologías más utilizadas es la tecnología de lodos activados (Tchobanoglous and Eddy, 1991).

La Tecnología de Lodos Activados (CAS, por sus siglas en inglés) se lleva a cabo en una serie de etapas. En primer lugar, el agua residual se introduce en un tanque de aireación, donde se mezclan los microorganismos y se suministra oxígeno para mantener una condición aeróbica. (Valle Medina, 2019). En este proceso, bacterias y aguas residuales están en contacto en un reactor con el fin de reducir la cantidad de material orgánico y otros nutrientes como nitrógeno y fósforo. La biomasa crece y forma flóculos biológicos que deben ser separados del agua tratada. Esta separación se realiza mediante gravedad en un clarificador, también llamado Tanque de Sedimentación Secundario (SST, por sus siglas en inglés). La geometría de los tanques es uno de los aspectos más importantes que pueden influir en el comportamiento de la sedimentación y en consecuencia en la calidad del efluente.

Actualmente, los manuales utilizados en Argentina para el cálculo y diseño de las unidades se basan en las Normas ENOHSA (Ente Nacional de Obras Hídricas de Saneamiento) y las especificaciones del Decreto 847/2016, que brindan los lineamientos a seguir para la proyección de la población y el dimensionamiento teniendo en cuenta solo los parámetros físicos como caudal, volumen, área superficial, entre otros parámetros medios del flujo y del barro, sin considerar los fenómenos de transporte que ocurren dentro de la unidad.

Por lo expuesto anteriormente, la simulación de la hidrodinámica del flujo en un sedimentador secundario mediante el uso de la Dinámica de Fluidos Computacional (CFD) ha permitido analizar en detalle las características del flujo. Los enfoques de modelación van desde modelos puntuales unidimensionales hasta modelos bidimensionales y tridimensionales. Los modelos unidimensionales sólo pueden brindar una descripción cualitativa de los procesos que ocurren en los tanques. Los detalles del campo de flujo sólo pueden ser resueltos por modelos de dimensiones superiores. Las simulaciones bidimensionales constituyen la parte principal del trabajo realizado en los tanques de sedimentación. Una desventaja de este tipo de enfoque es la incapacidad para capturar los efectos y fenómenos tridimensionales, presentando una gran debilidad, ya que los escenarios en la vida real son tridimensionales por naturaleza.

Actualmente, con el aumento de los recursos computacionales, los modelos numéricos tridimensionales para los SST están ganando popularidad.

Por otro lado, el análisis de la eficiencia hidráulica en un SST es fundamental para garantizar un adecuado tratamiento de las aguas residuales. La evaluación del rendimiento hidráulico debe realizarse mediante la comparación directa del patrón del flujo dentro de la unidad y el esperado para las condiciones de régimen de flujos ideales: flujo en pistón y mezcla completa. Se ha demostrado que el patrón de flujo dentro de las unidades se desvía de lo ideal, y por lo general, el rendimiento del proceso es inferior al esperado. La comparación directa mencionada anteriormente, no siempre es posible y generalmente se requieren métodos alternativos.

El método más utilizado se basa en la interpretación de las distribuciones del tiempo de residencia (RTD, por sus siglas en inglés). En un tanque, el tiempo de residencia es el tiempo que una partícula o escalar se encuentra dentro del sistema antes de salir. A partir de las curvas RTD se obtienen Índices de Eficiencia Hidráulicos (HEIs por sus siglas en inglés). Para analizar la desviación de la idealidad del flujo se comparan los valores obtenidos en los HEIs con los esperados para la condición de flujo ideal.

2 OBJETIVO

El objetivo general del presente trabajo es la caracterización del flujo en el sedimentador secundario de una Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR) de la Ciudad de Córdoba a partir del uso combinado de datos proporcionados por los operarios de la planta y de simulaciones numéricas de detalle. Actualmente, como parte de la puesta en marcha de la EDAR, se observaron problemas de re-suspensión de barros en el tratamiento de depuración. El sedimentador a estudiar presenta un diámetro de 55,4 m y su forma de succión es vertical (SV) con un fondo plano (Figura 1).

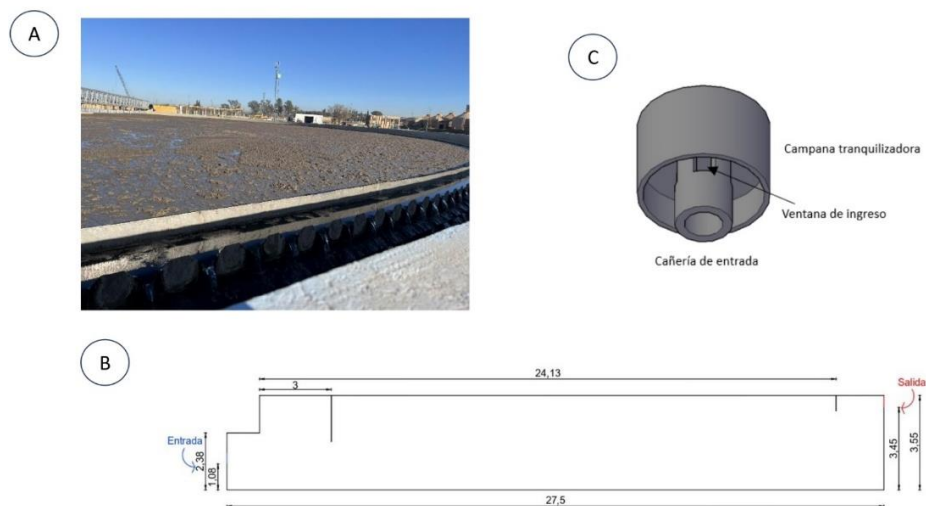


Figura 1: A) Sedimentador secundario estudiado, B) Detalles de la campana tranquilizadora en la entrada del SST y C) Corte longitudinal del SST.

Como posibles hipótesis a plantear sobre los problemas de re-suspensión presentes en la unidad de tratamiento, se detallan: velocidades de entrada mayores a la de diseño, distribución no uniforme de caudales al ingreso del SST, problemas de bulking (calidad del barro), entre otros.

3 MATERIALES Y MÉTODOS

El sedimentador presenta una altura de 3,55 m y un $\varnothing=54,4$ m. El caudal procesado está repartido en 4 ventanas de ingreso de 0,80 m de alto y 45° de inclinación. Estas ventanas se encuentran dentro de una cañería central de $\varnothing=1,13$ m. En la Figura 1 se presenta un corte longitudinal del SST estudiado. A su vez, la unidad presenta una campana tranquilizadora cuyo diámetro es de 4,36 m y altura 4,30 m (Figura 1). Se realizaron 3 simulaciones tridimensionales del sedimentador: 2 simulaciones fueron del SST completo, variando el caudal de ingreso (ver Tabla 1), y la tercera fue de $\frac{1}{4}$ de sedimentador. Esto último con el objetivo de analizar si el campo de velocidad obtenido es representativo comparándolo con la modelación del SST completo. La densidad y viscosidad cinemática del fluido simulado son 1000 kg/m^3 y $1.10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$, respectivamente.

Simulación	Caudal [m ³ /h]	Velocidad de ingreso [m/s]
SST completo 1	8000	0,37
SST completo 2	6500	0,30
$\frac{1}{4}$ SST	6500	0,30

Tabla 1: Valores de caudal y velocidad utilizados en las simulaciones.

La malla se resolvió mediante la combinación del mallador Gmsh y la herramienta snappyHexMesh de OpenFOAM. En este caso el dominio computacional se discretizó con celdas de 10 cm, refinando en la zona de entrada, en las paredes y en el fondo del sedimentador. Se siguieron criterios generales de convergencia de la malla aplicando la función *AdjustTimeStep* que garantiza que el Número de Courant permanezca por debajo de 0,4 para evitar inestabilidades en los cálculos.

Luego, se aplicó un modelo numérico basado en las ecuaciones promediadas según Reynolds (RANS: Reynolds- Averaged Navier-Stokes). El código computacional utilizado para resolver numéricamente estas ecuaciones pertenece al paquete libre y abierto OpenFOAM. Específicamente, se utilizó el solver PIMPLE de OpenFOAM para flujos no estacionarios, para densidad y viscosidad constantes. Este solver combina los algoritmos SIMPLE y PISO para resolver el sistema de ecuaciones. El cierre turbulento utilizado es un modelo de dos ecuaciones $k - \omega$ SST (Shear-Stress Transport), el cual, es una variante del modelo $k - \omega$ que incorpora capacidades adaptativas a la escala para capturar de manera más precisa la turbulencia en flujos complejos en una amplia gama de escalas turbulentas. El modelo $k - \omega$ SST utilizado es el descrito por Menter y Esch (2001), pero con los coeficientes actualizados por Menter et. al., (2003) y en The Menter Shear Stress Transport Turbulence Model (<https://turbmodels.larc.nasa.gov/sst.html>). En este caso el término adicional F3 (Hellsten A., 1998) para paredes rugosas e iguales a cero.

Por otro lado, para estudiar la distribución de tiempos de permanencia se suele introducir un material trazador (sin masa para no influir en el sistema) en el flujo. A medida que el trazador se mezcla y se transporta a través del sistema, se registran concentraciones a lo largo del tiempo de residencia, generando las curvas RTD (Retention Time Distribution). Este proceso es llevado a cabo mediante el software *paraView* por medio del filtro *IntegrateVariables*. Luego por medio de la curva RTD, se estiman los HEIs en su estado actual y se los compara con los valores del flujo idealizado (flujo pistón) obtenido de bibliografía.

Para el transporte del escalar, se ejecutó el solucionador básico `scalarTransportFoam` (del paquete `OpenFOAM`) que resuelve una ecuación de transporte para un escalar pasivo, utilizando un campo de velocidad estacionario especificado. La Ec. (1) que se resuelve es de difusión-convección completa en la forma incompresible:

$$\frac{\delta T}{\delta t} + \nabla \cdot (UT) - \nabla^2 (D_T T) = 0 \quad (1)$$

Donde $\frac{\delta T}{\delta t}$ representa la derivada parcial del escalar T transportado respecto del tiempo, ∇ es el operador de divergencia, U es el vector velocidad y D_T es el coeficiente de difusión molecular dividido por la densidad del fluido.

Las condiciones generales de contorno y las funciones de pared para los casos de simulación se muestran en la Tabla 2 con sus respectivas descripciones.

Patch	Velocity (U)	Pressure (p)	Kinetic turbulent energy (k)	Dissipation rate of k (omega)	Kinematic Viscosity (nut)
Inlet	fixedValue	zeroGradient	fixedValue	fixedValue	calculated
Outlet	pressureInletOutlet	fixedValue	inletOutlet	inletOutlet	calculated
Top	Slip	zeroGradient	Slip	Slip	Slip
Bottom	noSlip	zeroGradient	kqRWallFunction	omegaWall	nutUSpaldingWall
Walls	noSlip	zeroGradient	kqRWallFunction	omegaWall	nutUSpaldingWall
Front & Back (*)	Symmetry	Symmetry	Symmetry	Symmetry	Symmetry

Tabla 2: Condiciones generales para los casos de simulación. (*) Patch únicamente para la simulación de $\frac{1}{4}$ de sedimentador.

La condición *fixedValue* es una restricción de tipo Dirichlet en donde se fija un valor específico de una variable. En este caso se fijó el valor inicial de la velocidad de entrada para cumplir con el caudal de ingreso en cada una de las simulaciones (ver Tabla 1). Con respecto a la condición *zeroGradient* es del tipo Neuman en donde se conoce la tasa de cambio de la variable, pero no su valor absoluto. Con respecto a las condiciones restantes, son del tipo mixta, por ejemplo, *inletOutlet* permite el flujo bidireccional sin ajuste automático de la presión; a diferencia de *pressureInletOutletVelocity* que ajusta automáticamente la presión según la velocidad. Con respecto a las condiciones *slip* y *noSlip*, la diferencia radica en si se permite o no el deslizamiento entre el fluido y la pared. Por otro lado, la condición *calculated* calcula automáticamente el valor estimado derivado de otros campos. Con respecto a las funciones de pared, *kqRWallFunction*, *omegaWallFunction* y *nutUSpaldingWallFunction* calculan la energía cinética turbulenta (K), la tasa de disipación de la energía turbulenta (ω) y la viscosidad cinemática (ν), respectivamente. Finalmente, la condición *symmetry* únicamente se aplica para el patch Front & Back de la simulación de $\frac{1}{4}$ de sedimentador ya que, para el sedimentador completo, no aplica. En esta condición se establece que la velocidad normal al plano de simetría es cero y que las demás propiedades del flujo permanecen constantes a ambos lados del plano de simetría.

En la Figura 2 se observa la malla de $\frac{1}{4}$ del sedimentador con sus correspondientes Patches o caras. Para la simulación del SST completo, las caras son las mismas a excepción de del Patch Front & Back que no aplica. Además, se presenta un detalle de la zona de entrada y por último se destaca el refinamiento efectuado en la zona de los tabiques y del fondo.

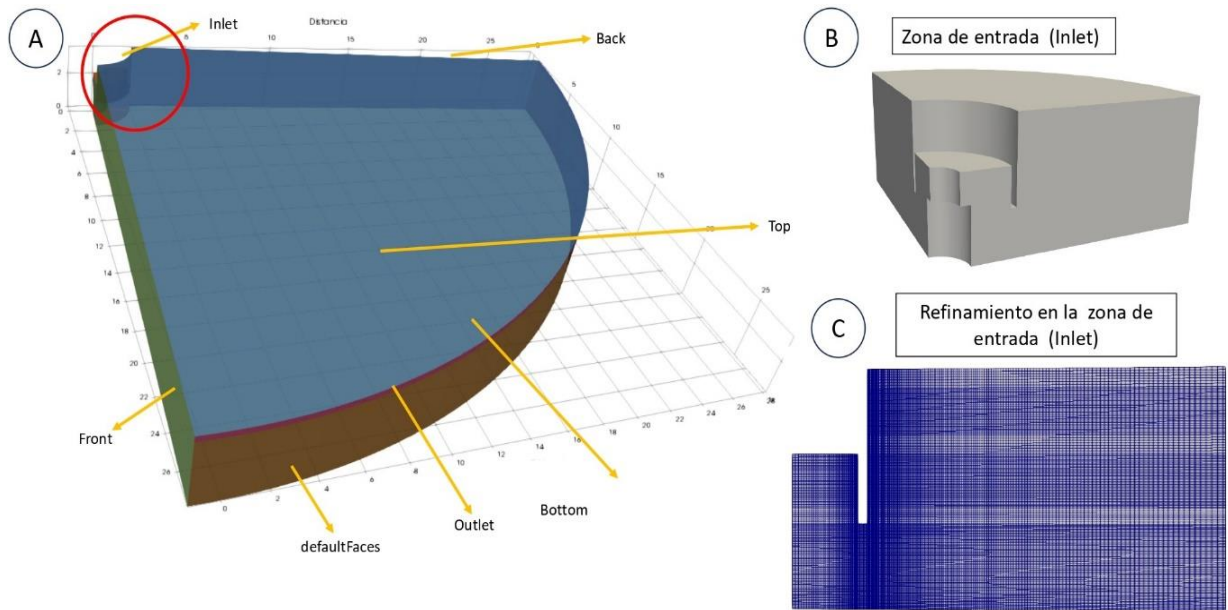


Figura 2: A) Patches (caras) definidas en la malla del sedimentador, B) Zona de entrada y C) Refinamiento en la zona de entrada.

4 RESULTADOS

Campo de velocidades

Según las indicaciones del manual utilizado para la construcción del sedimentador de Succión Vertical las velocidades máximas admisibles a la entrada y en el fondo son 0,2 m/s y 0,03 m/s respectivamente. La Figura 3 representa el campo de velocidades en el sedimentador a diferentes alturas con respecto al fondo (tanto para el para SST_completo_1 y SST_completo_2). Es interesante destacar que el comportamiento del flujo se repite tanto para $Q=8000 \text{ m}^3/\text{h}$ como para $Q=6500 \text{ m}^3/\text{h}$. Como se observa, en el fondo la velocidad es mayor a la máxima admisible hasta una altura de 0,5 m. Como la velocidad en el fondo es mayor a la de la superficie, las partículas sólidas en suspensión no tienen suficiente tiempo para asentarse adecuadamente, lo que provocaría una remoción ineficiente de partículas, ya que estas pueden ser arrastradas hacia el efluente antes de que tengan la oportunidad de asentarse por completo. Por otro lado, velocidades elevadas en el fondo pueden generar turbulencia en el sedimentador y provocar que las partículas permanezcan en suspensión y dificultar así su deposición en el fondo del sedimentador.

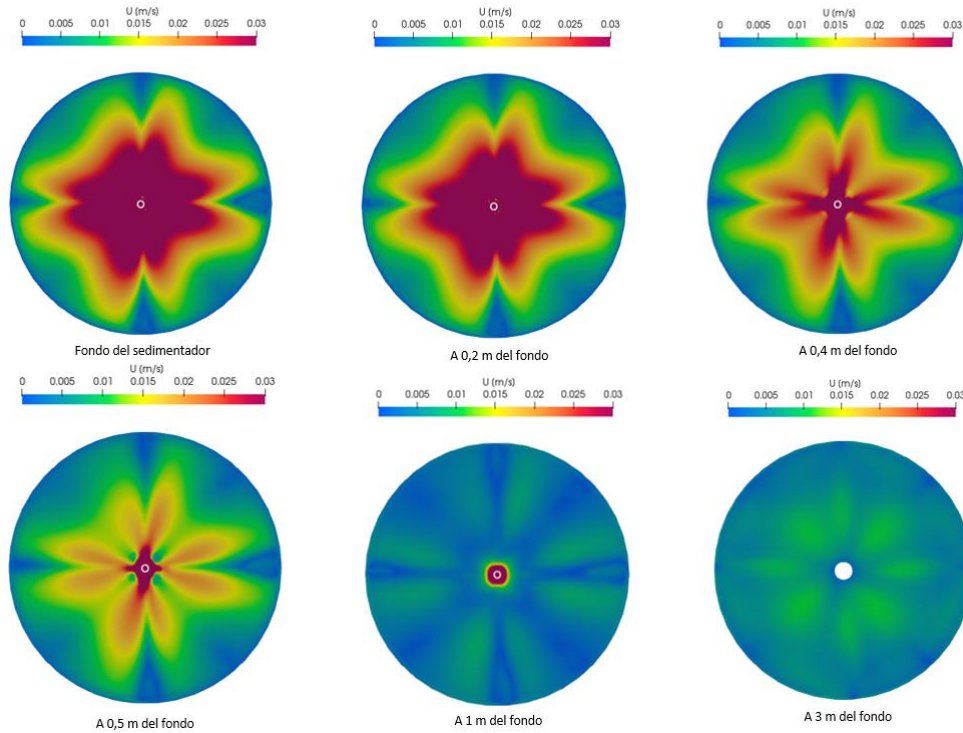


Figura 3: Campo de velocidades en el sedimentador completo.

El campo de velocidades varía significativamente en toda la altura y el radio del sedimentador. Para analizarlo en profundidad se lo dividió en secciones cada 45° (de 0° a 315°) subdividiendo el diámetro total cada 3 m.

En la Tabla 3 se observan las velocidades al ingreso del SST y en la Tabla 4 las velocidades correspondientes al fondo (se realizó un promedio en toda la vertical de los valores en cada ángulo, obteniendo 56 perfiles de velocidad).

Velocidad de ingreso [m/s]							
0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
0,20	0,19	0,21	0,18	0,22	0,18	0,23	0,18

Tabla 3: Velocidad al ingreso del sedimentador.

Velocidad de fondo [m/s]							
0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
0,04	0,03	0,04	0,04	0,06	0,03	0,04	0,03

Tabla 4: Velocidad al fondo del sedimentador.

Como se observa en las tablas anteriores, las velocidades en ambos casos varían entre los ángulos analizados, es decir, que el campo de distribución de velocidades no es uniforme, lo cual provocaría una deficiencia en el sistema de tratamiento, ya que no es posible establecer una velocidad de sedimentación única para toda la unidad.

Indicadores de eficiencia hidráulica

La Figura 4 muestra la evolución del trazador en la unidad en $t = 5,94 \text{ hs}$ para $Q=6500 \text{ m}^3/\text{h}$ y $Q=8000 \text{ m}^3/\text{h}$. El tiempo de permanencia calculado según parámetros físicos es de $7,89 \text{ hs}$ en el SST. Como se observa esta evolución no es uniforme. Comparándolo con las partículas que se encuentran en la unidad, como no estarían distribuidas de manera uniforme, es posible que no se logre una sedimentación efectiva, es decir, que algunas áreas del sedimentador acumulen más partículas que otra, lo que puede llevar a una sedimentación desigual y a la formación de zonas muertas. Sumando a lo anterior, si la distribución no es uniforme, afecta la eficiencia en el proceso de clarificación, entonces, es probable que la calidad del efluente no sea constante y pueda variar con el tiempo.

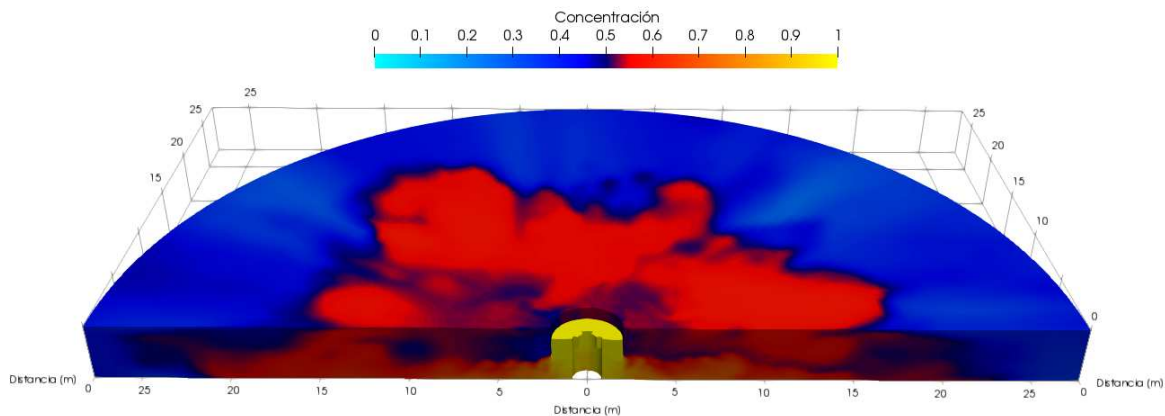


Figura 4: Evolución del escalar en el sedimentador.

A partir del seguimiento del escalar, se establecen los diferentes tiempos de residencia en el tanque, obteniéndose las curvas RTD acumuladas. Luego, mediante el análisis de las curvas RTD no acumuladas se obtienen índices de eficiencia hidráulicos (HEIs). Teixeira & Siquiera (2008) expusieron que existía una falta de criterio a la hora de elegir cuales eran los mejores índices para evaluar la eficiencia hidráulica en una planta de tratamiento. Es por esto que modelaron un sedimentador con el objetivo de evaluar la representatividad de los HEIs basándose en 3 criterios:

1. El índice debe estar relacionado con el fenómeno que representa.
2. El índice debe ser sensible a los cambios de la intensidad del fenómeno.
3. El índice debe ser reproducible, es decir, debe tener baja variabilidad estadística para que los cambios en el valor del índice representen cambios en la intensidad del fenómeno y no problemas relacionados con la forma en el cual se obtuvo el índice.

Como conclusión, afirman que existe un solo índice de corto circuito (t_{10}) que cumple con los 3 criterios expuestos anteriormente, mientras que para los indicadores de mezcla ninguno de los índices cumple con los requisitos, pero el más recomendable es σ^2 .

En la Tabla 5 se comparan los tres HEIs utilizados para estimar la eficiencia del sedimentador actual (Teixeira, 2008; Farjood et al., 2015). En donde,

- θ_{10} : tiempo normalizado desde la inyección para el paso del 10% de la masa del trazador inyectado a través de la sección de control.
- M_o : índice de Morril.
- σ^2 : índice de dispersión.

Donde el indicador $\theta_{10} = t_{10}/T_p$ sirve como una medida de la severidad de la interrupción de la conectividad, mientras que el índice de $M_o = \theta_{90}/\theta_{10}$ indica la cantidad de mezcla en el tanque. Por otro lado, el índice de dispersión se calcula como $\sigma^2 = \frac{\sigma_t^2}{T_p^2}$. El primer índice es un indicador de cortocircuito y los restantes de mezcla.

Indicador	Q=6500 m ³ /s	Q=8000 m ³ /s	Rango
θ_{10}	0,20	0,17	(0-1)
σ^2	0,90	0,85	(0-1)
M_o	11,54	14,1	(1-21,9)

Tabla 5: Indicadores de eficiencia hidráulica.

Para que la unidad sea eficiente, los valores deben asemejarse a valores de flujo en pistón (PF), ya que, en este tipo de sistema, se maximiza el tiempo de contacto entre los sólidos y el líquido, lo que permite una mejor separación de estos. Por lo que, θ_{10} debe converger a 1, σ^2 debe asemejarse a 0 y el índice de M_o a mayor número, mayor es la mezcla.

Como se observa en la Tabla 5, ninguno de los 3 índices tiende a un comportamiento de flujo en pistón. El valor θ_{10} indica que parte del fluido se escapa de la unidad por vías preferenciales, antes de cumplir con el tiempo de retención promedio. Mientras que, los valores de los índices σ^2 y M_o (mezcla) indican que parte del fluido queda atrapado en zonas muertas y en zonas de recirculación, reduciendo la eficiencia de la unidad de tratamiento.

Comparación entre simular el SST completo y ¼ de sedimentador

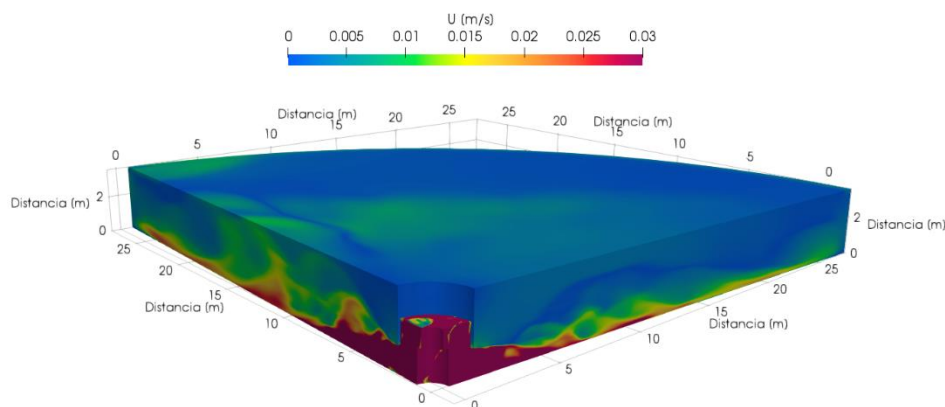


Figura 5: Campo de velocidades para ¼ de sedimentador.

En la Figura 5 se observa el campo de velocidades modelado en ¼ de sedimentador, en donde, en el fondo nuevamente se divisan velocidades mayores a las admisibles, coincidiendo con lo planteado en la modelación completa del SST. Si bien, modelar solo una parte del sedimentador requiere menos potencia de cálculo, existe la disminución de la precisión del modelo y la posibilidad de que no se estén representando todos los fenómenos que ocurren dentro de la unidad. Para el caso de la comparación del campo de velocidades, modelar una parte del SST es suficiente a los fines del caso de estudio.

5 CONCLUSIONES

La comprensión del campo de velocidades en un SST es importante para el diseño y la optimización del sistema de tratamiento de aguas residuales. Un campo de velocidades adecuado puede garantizar una sedimentación eficiente de las partículas suspendidas, reduciendo la carga en el proceso de tratamiento del efluente y mejorando la calidad del agua tratada. La elección entre modelar $\frac{1}{4}$ de un sedimentador o el sedimentador completo depende de las necesidades específicas del trabajo, los recursos disponibles y los objetivos de simulación, para comparar el campo de velocidades, modelar una sola parte, es suficiente.

Por otro lado, los indicadores de eficiencia hidráulica mostraron una tendencia a un comportamiento de mezcla completa, más que flujo en pistón, reduciendo así la optimización en la remoción de sólidos.

En general, simular un sedimentador en una EDAR es una herramienta valiosa para garantizar un funcionamiento eficiente de la unidad. Lo destacable radica en la posibilidad de encontrar las causas de los problemas y desarrollar soluciones efectivas de las distintas unidades de tratamiento.

6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Farjood, A., Melville, B.W., Shamseldin, A.Y., Adams, K.N. and Khan, S.D. Evaluation of hydraulic performance indices for retention ponds. *Water Science and Technology*, 72(1), pp.10–21. doi: <https://doi.org/10.2166/wst.2015.178>, 2015.

Hellsten, A. Some improvements in Menter's k-omega SST turbulence model. 29th AIAA, *Fluid Dynamics Conference*. doi: <https://doi.org/10.2514/6.1998-2554>, 1998.

Liu, X. and García, M.H. Computational Fluid Dynamics Modeling for the Design of Large Primary Settling Tanks. *Journal of Hydraulic Engineering*, 137(3), pp.343–355. doi: [https://doi.org/10.1061/\(asce\)hy.1943-7900.0000313](https://doi.org/10.1061/(asce)hy.1943-7900.0000313), 2011.

Decreto 847/2016: Anexo Único Reglamentación de Estándares y Normas sobre Vertidos para la Preservación del Recurso Hídrico Provincial. Provincia de Córdoba.

Valle Medina, M.E. Secondary settling tanks modeling: study of the dynamics of activated sludge sedimentation by computational fluids dynamics. *Chemical and Process Engineering*. Université de Strasbourg, 2019.

Menter, F. R. & Esch, T. Elements of Industrial Heat Transfer Prediction. *16th Brazilian Congress of Mechanical Engineering (COBEM)*, 2001.

Menter, F. R., Kuntz, M., and Langtry, R. Ten Years of Industrial Experience with the SST Turbulence Model. *Turbulence, Heat and Mass Transfer 4*, ed: K. Hanjalic, Y. Nagano, & M. Tummers, Begell House, Inc., 625 – 632, 2003.

Normas de estudio, Criterios de Diseño y Presentación de Proyectos de Desagües Cloacales. ENOHSA: Ente Nacional de Obras Hídricas y Saneamiento, 1993.

Su, J., Wang, L., Zhang, Y. and Gu, Z. A Numerical Study on Influent Flow Rate Variations in a Secondary Settling Tank. *Processes*, 7(12), p.884. doi: <https://doi.org/10.3390/pr7120884>, 2019.

Tchobanoglous, G. and Eddy, M. *Wastewater Engineering*. Metcalf & Eddy, Inc, 1991.

Teixeira, E.C. and do Nascimento Siqueira, R. Performance Assessment of Hydraulic Efficiency Indexes. *Journal of Environmental Engineering*, 134(10), pp.851–859. doi: [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9372\(2008\)134:10\(851\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9372(2008)134:10(851)), 2008.