

INFORME DEL PROYECTO REF.SV-24-GIJÓN-1-09

Modelado numérico para el análisis y reducción de los tiempos de residencia del agua en depósitos municipales de Gijón

Fechas inicial y final del proyecto:

01 / 07 / 2024 al 31 / 12 / 2024

Investigador/a Principal:

Pedro García Regodeseves

Otros investigadores:

Jorge Luis Parrondo Gayo, Raul Barrio Perotti, Rodolfo Espina Valdes, Eduardo Blanco Marigorta, Carlos Santolaria Morros

Personal contratado:

Rogelio Amado Peón García

Fechas inicial y final de contratación:

01 / 09 / 2024 al 31 / 12 / 2024

Empresas o instituciones colaboradoras:

Empresa Municipal de Aguas S.A. (EMA).

Redes sociales de investigadores y empresas:

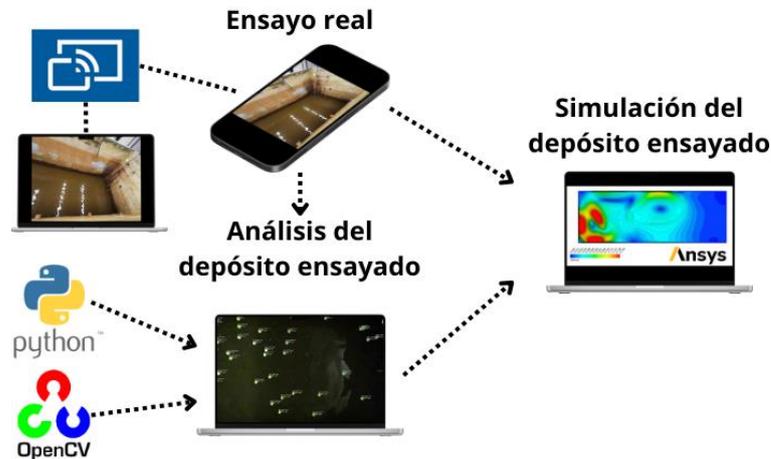
EMA web: <https://www.gijon.es/es/directorio/ema>

EMA facebook: <https://www.facebook.com/AGUAGIJON/>

EMA youtube: <https://www.youtube.com/channel/UCB9rIckZvMcFHt3k7I3gk0g>

Departamento de Energía de la Universidad de Oviedo: <https://energia.uniovi.es/>

Resumen Gráfico



Memoria descriptiva del proyecto

1. Resumen ejecutivo

El agua es esencial para la vida humana puesto que la salud y numerosos aspectos de la vida cotidiana dependen de su disponibilidad y de su calidad, de modo que es importante una gestión eficiente y sostenible [1]. La calidad del agua potable se asegura mediante la evaluación del riesgo [2] para llegar a identificar los peligros y las posibles fuentes de contaminación. Dentro del ciclo integral del agua, los depósitos de potable cumplen la función de regulación del caudal y de la presión, es decir, permiten satisfacer la demanda punta diaria y proporcionan una presión mínima. El agua que se almacena en los depósitos ha sido tratada previamente; por lo que, una vez en la red de abastecimiento, va directamente a consumo. El cambio climático está llevando a un incremento de la temperatura y a situaciones climáticas anuales extremas en las que se está observando que los periodos de sequía llevan a restricciones y cortes del suministro de agua. Por esta razón, los depósitos de potable tienen que operar en unas condiciones en las que se mantenga una adecuada calidad [3], para que no se produzca el desarrollo de algas, la proliferación de microorganismos, o cualquier otro factor externo que pudiese comprometer la calidad. En consecuencia, se hace cada vez más necesario identificar los flujos internos en los depósitos de potable para tener un mayor conocimiento de la existencia de zonas críticas, con especial atención a las zonas de baja velocidad [4].

Dado que el acceso a los depósitos es restringido, la caracterización experimental para detectar posibles zonas de estancamiento o de muy baja velocidad es muy laboriosa [5], por lo que la Dinámica de Fluidos Computacional (CFD) es una alternativa a las técnicas experimentales para predecir los patrones del agua y realizar análisis de los tiempos de residencia o de retención del agua. Así, las simulaciones numéricas permiten estudiar los patrones del movimiento del agua en los depósitos [6] e introducir elementos que mejoren los efectos de mezcla [7]. Sin embargo, el comportamiento es dependiente de la geometría de los depósitos, por lo que es necesario particularizar las simulaciones a cada depósito de agua en particular [8].

En este proyecto, se ha desarrollado un modelo numérico para depósitos de agua que se aplicará a los depósitos de la EMA. La validación del modelo numérico requiere contar con datos experimentales, por lo que se diseñó un experimento usando el tanque del que dispone el área de Mecánica de Fluidos para realizar prácticas de laboratorio y experimentación:

- Modelo numérico:** La geometría tridimensional completa del tanque se empleó para desarrollar el modelo numérico, de modo que los resultados predichos por las simulaciones se pudieron validar a partir de los patrones de flujo obtenidos con datos experimentales. Así, mediante el método de Volúmenes Finitos se resolvieron las ecuaciones de gobierno: Ecuación de conservación de masa, ecuaciones RANS con modelo de turbulencia $k-\epsilon$ RNG, formulación no estacionaria y efectos de gravedad. El modelo VOF permitió incorporar como fluidos el agua y el aire. Una vez que el modelo numérico permite predecir satisfactoriamente los patrones del flujo en el tanque en condiciones controladas, se empleará para simular el comportamiento del agua en los depósitos de potable de la EMA.
- Experimentación en laboratorio:** El tanque en el que se realizaron los experimentos se muestra en la Figura 1. La red de tuberías cuenta con válvulas en puntos estratégicos para tener distintos escenarios de estudio. Así, el variador de frecuencia (1) actúa sobre el motor eléctrico acoplado a la bomba centrífuga (2). La instalación cuenta con una placa orificio y un manómetro diferencial en U (3) para obtener el caudal circulante a partir de la lectura de la diferencia de altura en los ramales. Los colectores que actuaron como Entrada/Salida, junto con el sentido del agua, se indican en la misma figura. Para conocer el patrón del flujo se colocaron bolas en la zona de ensayo y se instaló una videocámara para grabar su movimiento al poner en marcha la bomba. Se desarrolló un código en Python que usa redes neuronales para procesar los fotogramas e identificar el movimiento de las bolas.



Figura 1. Tanque de ensayos: Configuración de las tuberías y delimitación de la zona de ensayo

2. Objetivos iniciales del proyecto y grado de consecución

Tipo	Objetivo	Imagen	Grado de consecución
Principal	Generación de conocimiento científico-técnico para el análisis y reducción de los tiempos de residencia del agua en depósitos de potable del municipio de Gijón mediante simulaciones CFD.		90%
Secundario/ Específico	Revisión de la literatura para determinar los fenómenos que se producen en el interior de depósito en función de la geometría y de los aportes y demandas.		100%
Secundario/ Específico	Desarrollo de un modelo numérico para predecir y visualizar el movimiento del agua en depósitos de agua.		75%
Secundario/ Específico	Diseño del experimento para la validación del modelo numérico. Desarrollo de un código en Python para el post-procesado de los videos.		100%
Secundario/ Específico	Transferencia y difusión de los resultados.		60%

3. Tareas realizadas

ID	Descripción	MESES					
		1	2	3	4	5	6
Fase 1	Coordinación del proyecto y revisión bibliográfica	■		■	■	■	■
Tarea 1.1	Reuniones de coordinación.				■	■	■
Tarea 1.2	Revisión bibliográfica.	■		■	■	■	■
Fase 2	Desarrollo del modelo numérico			■	■	■	■
Tarea 2.1	Desarrollo del modelo CFD con Ansys Fluent.			■	■	■	■
Tarea 2.2	Diseño del experimento y campaña de mediciones.			■	■	■	■
Fase 3	Resultados y conclusiones				■	■	■
Tarea 3.1	Procesado de resultados, discusión y conclusiones.				■	■	■
Tarea 3.2	Resumen de escenarios y propuestas.					■	■
Tarea 3.2	Redacción de la memoria final.						■
Fase 4	Difusión de resultados						■
Tarea 4.1	Preparación de artículos y conferencias/congresos.						■
Tarea 4.2	Participación en actividades de difusión.						

Figura 2. Planificación del proyecto

4. Resultados obtenidos:

Simulaciones. El comportamiento del flujo en el interior del tanque se ha simulado satisfactoriamente usando técnicas de Dinámica de Fluidos Computacional (CFD) mediante el método de Volúmenes Finitos. La Figura 3 resume el proceso seguido. El dominio computacional empleado en las simulaciones se corresponde con las paredes interiores del tanque (a). La discretización del dominio en celdas se realizó con el software Ansys ICEM empleando una estrategia multibloque. Así, el dominio computacional se dividió en bloques rectangulares y con topología en O (b). La malla resultante (c) es estructura y con celdas hexaédricas, para tener un mayor control sobre la densidad de celdas en las zonas de interés; y reducir el tamaño de la malla y el tiempo de cálculo. Para estudiar el efecto de la densidad de malla se hicieron mallas con distinto número de celdas. La malla final tiene aproximadamente 1.5 millones de celdas.

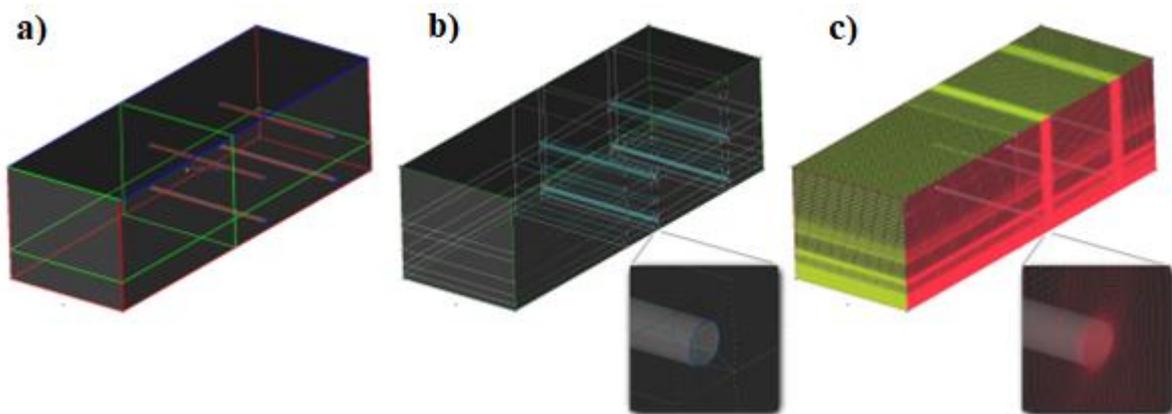


Figura 3. Estrategia de generación de la malla: a) Geometría del tanque con las paredes interiores; b) Descomposición del dominio computacional en bloques; y c) Mallado resultante.

Las principales características del modelo numérico son:

- Las simulaciones son RANS con modelo de turbulencia $k-\varepsilon$ RNG y función de pared mejorada, estado no estacionario y con la gravedad activada.
- Todas las discretizaciones son de segundo orden. En el caso de las ecuaciones de momentum y de las variables turbulentas se usó un esquema UPWIND.
- La evaluación de los gradientes se hizo con el esquema *Least-Squares Cell Based*. El acoplamiento velocidad-presión usa el algoritmo SIMPLE.
- El tratamiento multifase con agua y aire se hizo con el modelo VOF de dos fases eulerianas, esquema implícito y con la opción de flujo en canal abierto activada. El valor de referencia (cut-off) para la fracción del volumen se estableció en $1e-6$. El modelo numérico no tiene en cuenta la tensión superficial.
- Para capturar la interfaz entre ambos fluidos se tuvo que incrementar la densidad de malla. Sin embargo, puesto que el nivel del agua se mantuvo constante durante los experimentos, la región de la interfaz se tuvo en cuenta durante la fase de mallado.

- Con respecto a las condiciones de contornos, en las paredes se impuso la condición *Wall*, en la superficie superior se usó la condición de presión estática (*Pressure-Outlet*), y en los colectores de entrada y salida se impuso la misma velocidad (*Velocity-Inlet*).
- En la inicialización se creó una región con la misma altura que la de la superficie libre durante el ensayo. Se empleó la herramienta Patch para imponer la altura del nivel de agua del tanque en el instante inicial de la simulación.

La Figura 4 muestra las paredes Sur, Este e Inferior del tanque en gris como referencia. La superficie de color azul claro es la superficie libre del agua al final de la simulación empleando una isosuperficie con criterio de fracción de volumen de agua 0.5 para su identificación. Además, el movimiento del fluido se visualiza mediante líneas de corriente en el seno del fluido agua y en la propia superficie libre. Para poder comparar los resultados numéricos con los datos experimentales se representan los contornos de velocidad en módulo y mediante vectores.

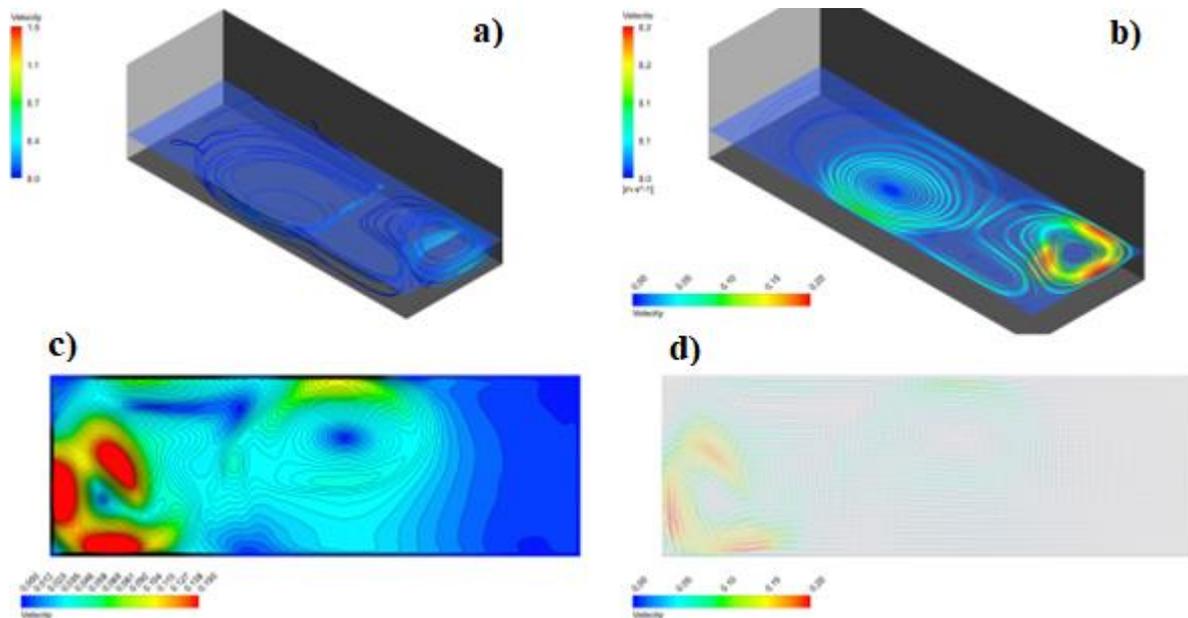


Figura 4. Resultados del modelo numérico: a) Líneas de corriente y superficie libre; b) líneas de corriente superficiales; c) Perfiles de velocidad y d) Campo de velocidades en forma vectorial.

Experimento. El objetivo del experimento fue obtener datos experimentales con los que validar el modelo numérico. El experimento consistió en dejar flotando bolas en la superficie del tanque y capturar su movimiento con una cámara en posición cenital una vez que se puso en marcha la bomba. Para procesar el video resultante, durante el proyecto se desarrolló un código escrito en Python. La función principal del código que permite la identificación de las bolas a partir de fotogramas usa un algoritmo basado en redes neuronales. Las condiciones del experimento se tuvieron que adaptar para mejorar la identificación de las bolas en los fotogramas del video.



Figura 5. Preparación del ensayo e identificación de las bolas mediante redes neuronales



Figura 6. Trayectorias de las bolas y campo de velocidad predicho por el modelo VOF

En la Figura 5 se muestra la zona de ensayo y cómo se desarrolló el experimento. El perfil de aluminio se usó como soporte/guía para el utillaje impreso en 3D que alojó al móvil. Los elementos para el posicionado de los listones de madera y la recogida de las bolas también se fabricaron con impresión 3D. Las principales características del experimento son:

- Los colores blanco y amarillo facilitan la identificación de las bolas. Las condiciones de iluminación también son importantes. El video se grabó en 4k para que la densidad de píxeles fuera suficiente. Esto incrementó el tamaño de los videos y se tuvo que controlar la temperatura del móvil para que no se apagase por sobrecalentamiento. Además, debido al efecto de tensión superficial, se redujo el número de bolas.
- La conversión de píxeles a unidades de longitud requirió consideraciones trigonométricas basadas en la distancia de grabación y de las características específicas de la lente de la cámara del móvil.
- La Figura 5 muestra las bolas identificadas por el código, mientras que la Figura 6 es una superposición de varios fotogramas con opacidad 50% para visualizar el movimiento. Así, la bolas más oscuras representan instantes más recientes, lo que permite distinguir la trayectoria.

5. Trabajos o necesidades futuras

El desarrollo del modelo numérico se ha realizado con éxito. Además, el experimento diseñado para obtener datos experimentales con los que validar el modelo también se ha completado. El código desarrollado en Python para la identificación de la posición/velocidad de las bolas también se ha completado satisfactoriamente. La colaboración con la EMA continuará con reuniones previstas para el mes de enero (2025). Las nuevas simulaciones aplicadas a los depósitos de potable incorporarán las propuestas de mejoras específicas para cada configuración planteada. Esta línea de investigación es muy interesante y se continuará trabajando en ella en el futuro inmediato.

6. Divulgación de los resultados

Se tiene previsto asistir a congresos internacionales de reconocido prestigio y preparar un artículo para enviarlo a revistas científicas indexadas con factor de impacto. También se dará visibilidad al proyecto con la publicación de las actividades cuando se finalice el proyecto en la página del Departamento de energía. Los resultados finales se presentarán en la Jornada de Presentación de Proyectos del IUTA y en los Desayunos Tecnológicos que organizan el IUTA y Gijón Impulsa.

Memoria económica:

1. Gastos:

Concepto	Gasto
Personal (IUTA)	3.400 €
Fungibles	0.0 €
Amortización	0.0 €
Otros (Desplazamientos, Inscripciones a Congresos, etc)	0.0 €
TOTAL GASTOS	3.400 €

2. Ingresos:

Entidad/Empresa financiadora Ref. Proyecto/Contrato	Concepto	Ingreso
IUTA	Ayuda IUTA: Contratación de personal	3.400 €
Otras entidades / empresas financiadoras		0.0 €
Financiación propia		0.0 €
TOTAL INGRESOS		3.400 €

Bibliografía:

- [1] Víctor Manuel Fernández Pacheco, Rodolfo Espina Valdés, Enrique Bonet Gil, Antonio Navarro Manso, Eduardo Álvarez Álvarez. 2020. **Techno-Economic Analysis of Residential Water Meters: A Practical Example**. Water Resources Management. <https://doi.org/10.1007/s11269-020-02564-x>
- [2] Emilio Bonet Domingo, Manuel Borrego Herrera, Antonio Cabeza, Josepa Fábregas Serra, Josefina Revilla Álvarez, Luis Eyre Rodríguez, Esperanza Ligia Guevara Alemany, Milagros Moreno Seisdedos, Soledad Lizana Gavira. (2023). **Guía práctica para la elaboración de un plan sanitario del agua en una zona de abastecimiento. Tomo I. Evaluación semicuantitativa**. Ministerio de Sanidad. <https://www.sanidad.gob.es/areas/sanidadAmbiental/calidadAguas/evaluacionSemicuantitativa.htm>
- [3] Michale Marek, Thorsten Stoesser, Philip J.W. Roberts, Volker Wetbrecht and Gerhard H. Jirka. (2007). **CFD modeling of tubulent jet mixing in a water storage tank**. IAHR Document Library. <https://www.iahr.org/library/infor?pid=15362>
- [4] Alizadeh Fard, M., Baruah, A., & Barkdoll, B. D. (2021). **CFD modeling of stagnation reduction in drinking water storage tanks through internal piping**. Urban Water Journal, 18(8), 608–616. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2021.1918184>
- [5] M. R. Templeton, R. Hofmann, and R. C. Andrews. (2006). **Case study comparisons of computational fluid dynamics (CFD) modeling versus tracer testing for determining clearwell residence times in drinking water treatment**. Journal of Environmental Engineering and Science. <https://doi.org/10.1139/s06-007>
- [6] Nadja Rabizadeh. 2023. **Study of mixing and Exchange in a drinking wáter reservoir using CFD modeling**. <https://kth.diva-portal.org/smash/get/diva2:1799891/FULLTEXT01.pdf>
- [7] Ashraful Islam, Joseph Orlins, and Zeenat Chandrasekhar. (2018). **Improving Mixing In A Water Storage Reservoir Using CFD Modeling**. <https://www.wateronline.com/doc/improving-mixing-in-a-water-storage-reservoir-using-cfd-modeling-0001>
- [8] **Cuadernos I+D+i: Modelización de depósitos en 3D**. Canal de Isabel II. (2024). https://www.canaldeisabelsegunda.es/estatico/idi_depositos/index.html.