

Modelación numérica 3D de la evolución de la temperatura en un tramo de río vinculado a la refrigeración de una central térmica

Marina Arbat-Bofill, Ernest Bladé, Martí Sánchez-Juny, Daniel Niñerola,
Josep Dolz

Instituto Flumen UPC-CIMNE.

Universidad Politècnica de Catalunya. Campus Nord. D1, 08034 Barcelona

Luis Cea

*GEAMA ETSE Caminos, Canales y Puertos. Universidade da Coruña. Campus de Elviña,
15071 A Coruña*

1. Introducción

La polución térmica es la degradación de la calidad del agua por cualquier proceso que cambia la temperatura ambiente del agua (Hinrichs and Kleinbach, 2001). Una causa común de la polución térmica es el uso de agua de un río como refrigerante por las centrales nucleares o las centrales termoeléctricas. El combustible que utilizan se transforma en calor para producir esa energía y para enfriar una central se necesita mucha cantidad de agua, por lo que suelen construir sus instalaciones cerca de ríos, embalses o zonas costeras (EPA, 2008). Cuando el agua utilizada como refrigerante se devuelve al medio natural a una temperatura más alta, el cambio en la temperatura puede afectar al ecosistema, provocando problemas en las comunidades de flora y fauna, eutrofización, desequilibrios biológicos o aumentando la proliferación de organismos patógenos (Goel, 2006).

2. Caso de estudio

Con tal de estudiar los efectos de la descarga de agua caliente en un tramo de río se presenta un caso de estudio teórico: un tramo de río rectilíneo de 10 kilómetros en tres dimensiones con un a toma de caudal a los 4 kilómetros y una entrada de caudal 2 kilómetros aguas abajo (ver figura 1).

3. Modelo FreeFlow

El modelo FreeFlow (Cea et al., 2009) es un modelo hidrodinámico tridimensional en volúmenes finitos, diseñado para el cálculo de los caudales ambientales y que todavía está en desarrollo. El modelo resuelve las ecuaciones RANS. El código sigue en desarrollo pero ya ha sido probado y validado en varios casos demostrando exactitud en predicción de velocidades y en la representación de estructuras de flujo en 3D. Recientemente (Arbat-Bofill, 2015) se ha implementado un módulo para simular la temperatura del agua de la superficie, lo que permite el cálculo de balance de calor de superficie en función de las variables meteorológicas.

4. Simulaciones

4.1 Mallas de estudio

La discretización de la malla de cálculo se puede observar en la figura 1, está formada por 10.000 elementos cuadriláteros de 100 m longitud, 10 m de ancho y de grosor es variable (siempre hay 10 capas, por lo que el grosor varía gradualmente de 0.34 m a 1.14 m).

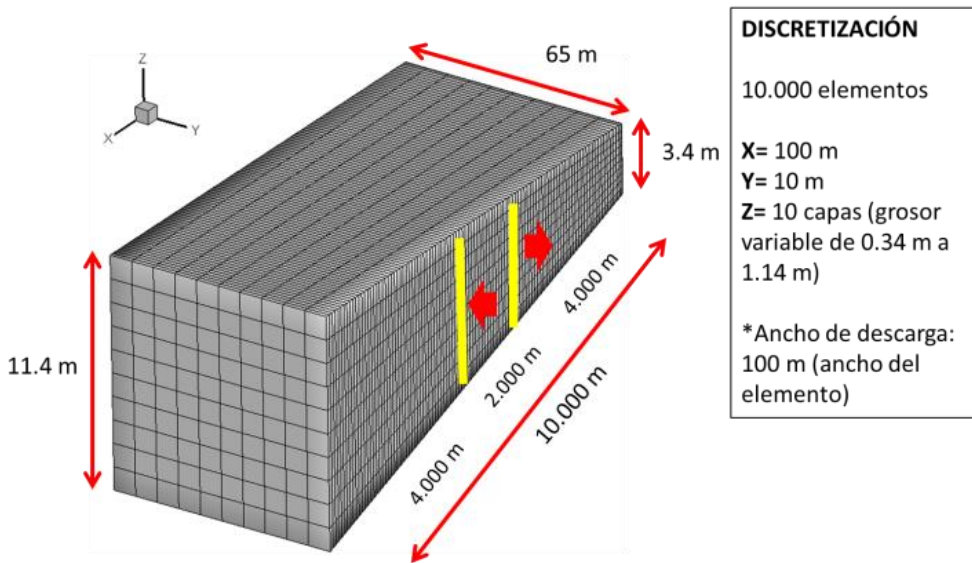


Figura 1. Discretización de la malla 3D del caso de estudio.

4.2 Condiciones iniciales

Se han estudiado los efectos de la hidrodinámica (velocidades en x-y-z) en función del caudal y la evolución térmica considerando que el caudal de entrada en el PK 6 Km es de 30 °C (figura 2).

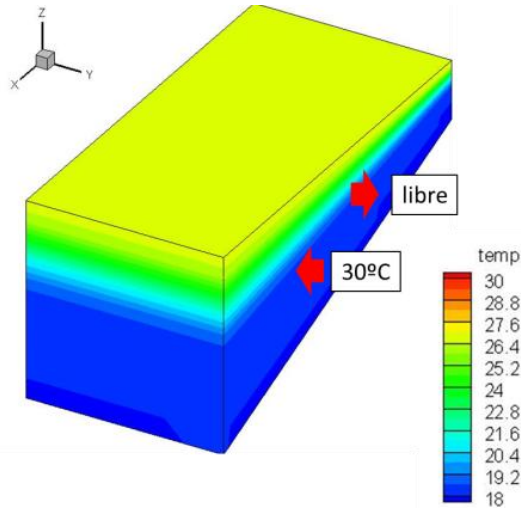


Figura 2. Condiciones iniciales de estratificación térmica, toma de agua libre (según perfil vertical de la toma) y descarga a temperatura constante (30 °C).

4.3 Condiciones de contorno

Las condiciones de contorno de caudales se imponen en los contornos de entrada (ya sean 2D o 3D) y son: entrada río Ebro (caudal constante y temperatura del agua constante), entrada río Segre (caudal constante y temperatura del agua constante), salida río Ebro (contorno abierto).

Se han estudiado varias combinaciones de caudales de entrada aguas arriba y salida aguas abajo (10, 20 y 30 m³/s) mientras que los caudales de la toma y el vertido térmico se dejaron constantes a 20 m³/s.

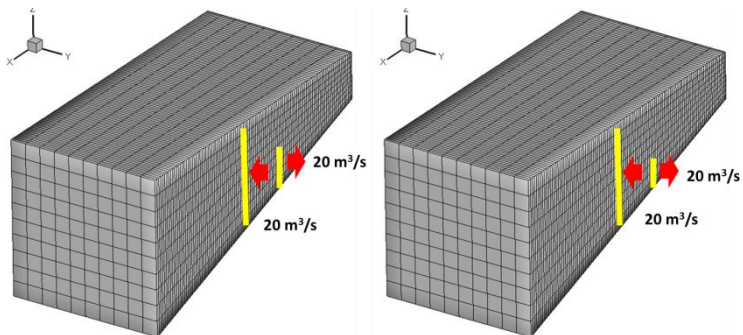


Figura 3. Malla con pantalla del 50% (3.35 m) **Figura 4.** Malla con pantalla del 50% (4.69 m)

Se han realizado las mismas combinaciones de caudal (figura 5) suponiendo la existencia de una pantalla protectora en la toma (del 50 % y del 70 % en la vertical) que provoque que la

toma se realiza con el agua del fondo como se puede ver en las figuras 3 y 4 (más fría que la superficial) y se han comparado los resultados en cuanto a temperaturas e hidrodinámica.

CAUDAL	SIN PANTALLA	PANTALLA1	PANTALLA2
Qe10	Qe10_sinpantalla	Qe10_pantalla1	Qe10_pantalla2
Qe20	Qe20_sinpantalla	Qe20_pantalla1	Qe20_pantalla2
Qe30	Qe30_sinpantalla	Qe30_pantalla1	Qe30_pantalla2

Figura 5. Combinaciones de las condiciones de caudales y geometría estudiadas (caudales de 10, 20 y 30 m³/s combinando con geometrías de la toma (sin pantalla, con pantalla del 50% -1- y con pantalla del 70% -2-).

5. Resultados y discusión

El agua caliente tiende a flotar al tener menor densidad. Si los caudales de entrada son iguales o menores a los de toma y descarga (inferiores a los 20 m³/s, figura 6) se puede llegar a producir recirculación, y el agua caliente puede subir hacia aguas arriba. Por este motivo en los casos Qe10 se puede observar como desde el punto de descarga hacia aguas abajo todo el perfil sería a 30 grados, también se da cierta recirculación, y las aguas calientes de la descarga suben aguas arriba llegando a la toma (ver figura 6). Si esto ocurre en la toma entraría agua más caliente por lo que sería menos efectiva para la refrigeración.

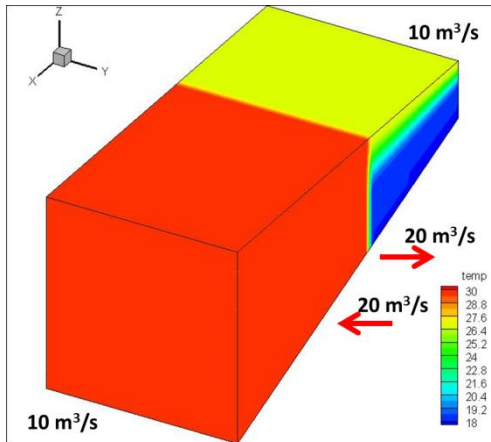


Figura 6. Mapa de temperaturas 3D.
Caudal de entrada de 10 m³/s.

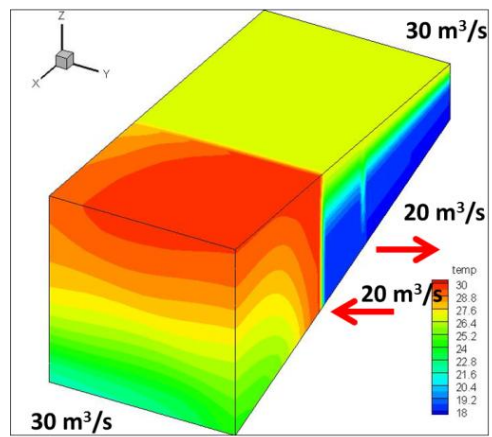
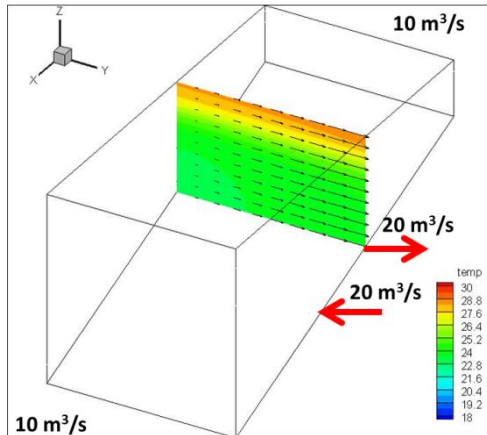


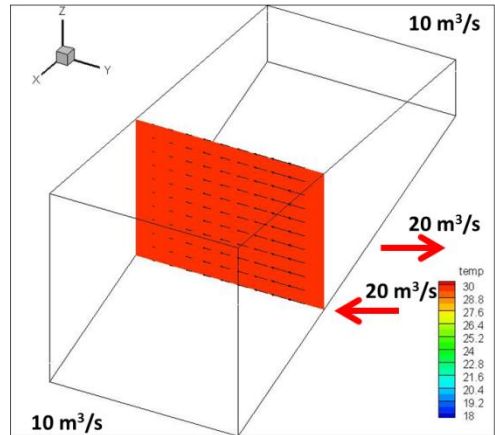
Figura 7. Mapa de temperaturas 3D.
Caudal de entrada de 30 m³/s.

Por otro lado, en el caso de los caudales de entrada superiores a los de toma y descarga no hay recirculación hacia aguas arriba, como es el caso de 30 m³/s (ver figura 7). Desde el punto de descarga se observa un penacho térmico asimétrico con mayores temperaturas en la margen de la descarga. Este penacho se puede alargar varios centenares de kilómetros.

Para analizar lo que pasa en las secciones de toma y descarga se estudia la evolución térmica del plano correspondiente a ambas secciones para el caso de 10 m³/s (figuras 8 y 9) y el de 30 m³/s (figuras 10 y 11).



Sección x = 4050 m



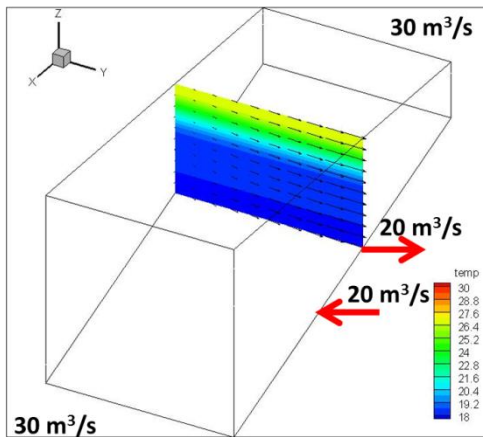
Sección x = 6050 m

Figura 8. Mapa de temperaturas 3D.
Caudal de entrada de 10 m³/s. Sección de
toma (x= 4050 m).

Figura 9. Mapa de temperaturas 3D.
Caudal de entrada de 10 m³/s. Sección de
descarga (x = 6050 m).

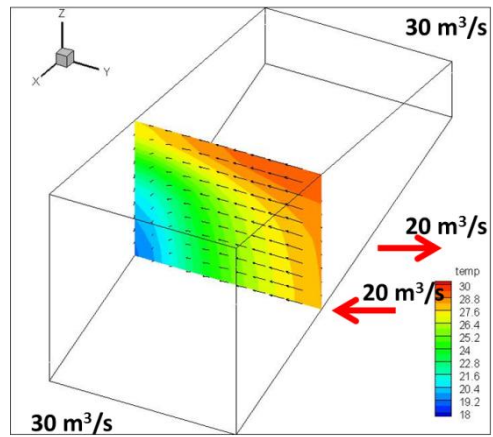
Mientras que en el caso de 10 m³/s se observa cierto calentamiento en la sección de toma (figura 8) en el caso de 30 m³/s (figura 10) no se observa alteración de la estratificación inicial.

En el caso de la descarga térmica de los 20 m³/s a 30 °C se puede observar como en el caso de caudales inferiores a la descarga se calienta toda la sección (figura 9) mientras que en el caso de caudales de río superiores se forma una cuña con forma de plano inclinado (figura 10). En la circulación de la figura 10 se puede observar como el agua caliente (color rojo y naranja, figura 10) tiende a flotar por encima del agua fría, por lo que las aguas más frías del río circulan por la margen opuesta a la descarga y por el fondo (tonos azules de la figura 10).



Sección x = 4050 m

Figura 10. Mapa de temperaturas 3D. Caudal de entrada de 30 m³/s. Sección de toma (x= 4050 m).



Sección x = 6050 m

Figura 11. Mapa de temperaturas 3D. Caudal de entrada de 30 m³/s. Sección de descarga (x = 6050 m).

5.1 Efectos de las pantallas

También se ha estudiado la afectación de la toma de agua y sus consecuencias en la temperatura de la misma. Con tal de minimizar la captura del agua superficial (más caliente ya sea por recirculación como debido al calentamiento superficial) se propusieron geometrías con pantallas verticales que inhibían la toma en las secciones superiores.

A modo de ejemplo se muestran los resultados de los perfiles de temperatura y vectores de velocidad en la sección de la toma para los casos de pantalla del 70% en los casos Qe10 y Qe30 en las figuras 12 y 13 respectivamente.

Como se observa con los vectores de la toma, los mayores caudales se tomarían del fondo y a menores temperaturas. Aun así, el perfil vertical de temperaturas se vería alterado con el paso del tiempo, el grueso del epilimnion (capa de agua caliente superficial) tiende a aumentar a medida que se toma agua del fondo y la superficial se va acumulando. Este efecto de calentamiento junto con la recirculación hacia abajo en la pared de la pantalla debida a la toma provoca que las temperaturas del agua de toma se incrementen y no sean exactamente las que se tenían en el fondo. Se recomienda estudiar este efecto con mayor detalle para ver el alcance de los efectos provocados por la pantalla.

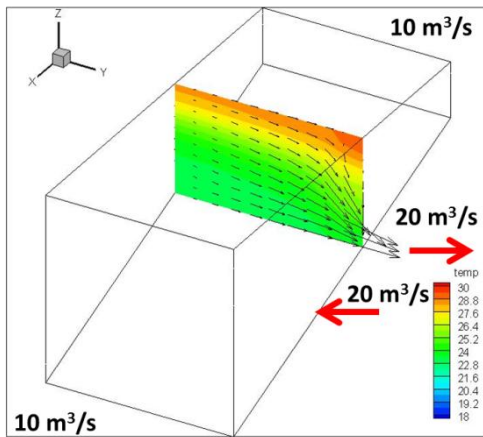


Figura 10. Perfil de temperaturas en la sección de toma ($x= 4050$ m). Caso Qe10 con pantalla del 70%.

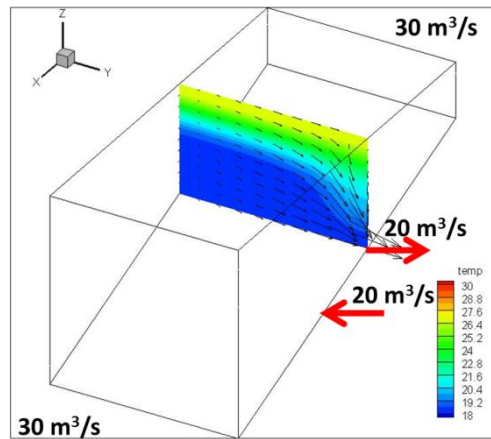


Figura 11. Perfil de temperaturas en la sección de toma ($x= 4050$ m). Caso Qe30 con pantalla del 70%..

6. Conclusiones

El trabajo de modelado ha consistido en la verificación de las predicciones del comportamiento hidrodinámico global así como de la capacidad del modelo para predecir la dinámica térmica de la descarga térmica y sus efectos aguas arriba y aguas abajo en función de los caudales relativos en el caso concreto de estudio que se presenta en esta comunicación.

El modelo simula la hidrodinámica y la evolución térmica del agua así como los efectos de la entrada y salida de caudal por la margen izquierda del río. El FreeFlow también permite dar condiciones iniciales de estratificación y flujo. Además el modelo tiene implementado un módulo para calcular el flujo de calor superficial.

Las limitaciones de las simulaciones con el modelo FreeFlow son el número y el tamaño de los elementos de la malla, puesto que influyen en el tiempo de cálculo.

A la hora de estudiar casos reales semejantes al caso de estudio presentado en esta comunicación es altamente importante considerar la geometría real o batimetría de la zona de estudio puesto que puede influenciar de manera importante la hidrodinámica y los patrones térmicos resultantes.

Referencias

Cea, L., Stelling, G. y Zijlema, M. 2008. Non-hydrostatic 3D free surface layer-structured finite volume model for short wave propagation. En: International Journal for Numerical Methods in Fluids 61, 382–410.

EPA - U.S. Environmental Protection Agency. 2008. Washington, D.C. "Cooling Water Intake Structures - Basic Information." June 2, 2008.

Goel, P.K. 2006. Water Pollution - Causes, Effects and Control. New Delhi: New Age International. ISBN 978-81-224-1839-2.

Hinrichs, R. y Kleinbach, M. 2001. Energy: Its Use and the Environment, 3rd edition. Monterey, CA: Brooks/Cole Publishing Company.