

# *Diseños especiales en grandes colectores: contraste de la modelación física con técnicas CFD.*

## *D. Estructuras hidráulicas (1ª opción), C. Agua y ciudad (2ª opción)*

*F. J. Vallés Morán<sup>(1)</sup>, D. Valero Huerta<sup>(2)</sup>, I. Andrés-Doménech<sup>(3)</sup>, R. García Bartual<sup>(4)</sup>*

*(<sup>1</sup>)Profesor Titular de E. U. (<sup>2</sup>)Becario de Colaboración. (<sup>3</sup>)Profesor Asociado. (<sup>4</sup>)Catedrático.*

*Instituto de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente (IIAMA). Área de Hidráulica e Hidrología. Universidad Politécnica de Valencia. Cno. de Vera s/n 46022 Valencia.*

[igando@hma.upv.es](mailto:igando@hma.upv.es)

### **1. Introducción.**

La llegada de la Alta Velocidad a la ciudad de Valencia está suponiendo una gran reestructuración urbana, que afecta, entre otros, a la adaptación de la red de colectores, interferida por los nuevos túneles de acceso ferroviario. El caso analizado es la interferencia del Colector Sur de la red principal (capacidad máxima de 100 m<sup>3</sup>/s), para la que existen condicionantes geométricos en planta y alzado muy restrictivos, obligando a una solución hidráulica compleja cuyo diseño exige recurrir a técnicas más allá del ámbito de las herramientas más populares. En la investigación se han empleado conjuntamente la modelación física reducida en laboratorio, y la mecánica de fluidos computacional (CFD). Se ha conseguido verificar satisfactoriamente un diseño hidráulico optimizado, comprobándose el correcto funcionamiento del colector en todo el rango de caudales previsto. El contraste entre los dos enfoques pone de manifiesto la bondad de las técnicas CFD como herramientas de análisis eficaces en diseños hidráulicos especiales, permitiendo una selección de alternativas que optimice el trabajo final en el laboratorio, así como la estimación detallada de las distribuciones espaciales de velocidades, vorticidad, turbulencia, presiones, etc. La singularidad del diseño hidráulico propuesto exige el análisis tridimensional del flujo, justificándose plenamente el uso de una modelación híbrida numérico-experimental como la empleada.

### **2. Descripción del diseño estudiado.**

Se analiza un tramo de nuevo diseño en el Colector Sur de la red principal de Valencia. La solución adoptada, coordina la geometría y el funcionamiento hidráulico del colector con ciertos aspectos singulares (fig. 1) como el diseño de transiciones de secciones ovoideas existentes a rectangulares en la reposición, curvas en planta, caídas localizadas en el perfil longitudinal y la inclusión singular de elementos de macrorrugosidad propios de las rápidas para estabilizar el consiguiente resalto hidráulico, fijándolo al pie de la caída (perfil WES), para todo el rango de caudales (3.5–100 m<sup>3</sup>/s).

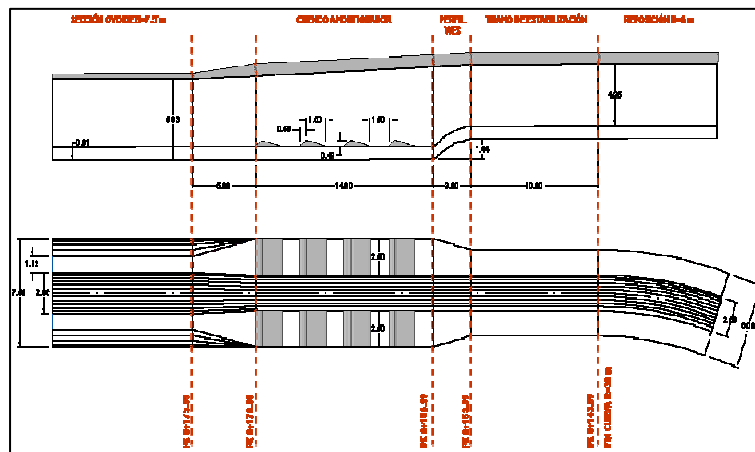


Figura 1 Definición geométrica del tramo de colector estudiado.

### **3. Modelación física reducida.**

La modelación física del flujo a través de un diseño tan singular, envuelve componentes tridimensionales de la velocidad, por lo que resulta obligada la reproducción del prototipo mediante un modelo a escala geométrica no distorsionada. Al estar el flujo dominado por la relación entre las fuerzas inerciales y gravitatorias la semejanza de Froude es la adecuada, resultando válida una escala geométrica no distorsionada  $\lambda=1/20$  para el estudio planteado. El modelo físico se construye combinando materiales plásticos (PVC y metacrilato) para los nuevos hastiales y elementos de la sección ovoide existente, con elementos de hormigón para la solera y caz del nuevo diseño propuesto. De los ensayos en laboratorio se desprende que el resalto queda adecuadamente fijado en la estructura de disipación de energía diseñada al efecto, de manera que la transición final del entronque aguas abajo con el colector existente de sección ovoide funciona siempre en régimen lento (fig. 2a). Destaca también que el calado crítico observado en cabecera del perfil WES es del orden de 2/3 del teórico, valor ampliamente sancionado por la experiencia. Por último, y como era de esperar, en la alineación curva aguas arriba del WES se

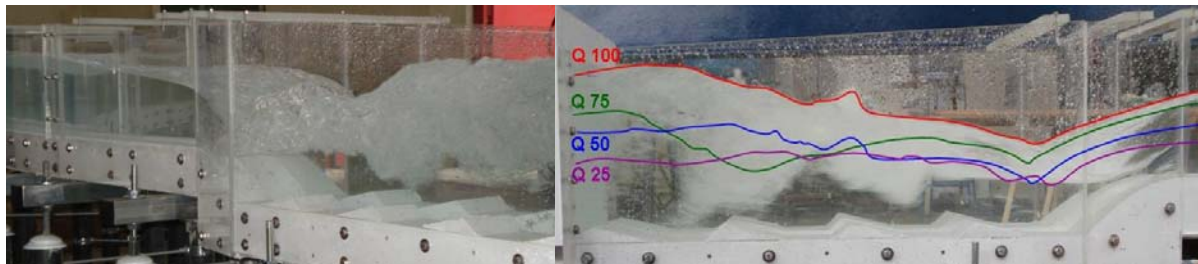


Figura 2 (a) Resalto hidráulico para  $100 \text{ m}^3/\text{s}$  y (b) comparativa de perfiles para caudales menores.

produce el peralte de la lámina libre, que en ningún caso compromete el resguardo admisible en el colector. La comparación del funcionamiento con caudales menores permite afirmar que para el rango de caudales esperables en el colector, se sigue el mismo patrón de respuesta hidráulica en la zona de vertedero-cuenca que para el caudal de diseño de  $100 \text{ m}^3/\text{s}$  (fig. 2b). Estos aspectos se contrastan a continuación con la modelación numérica.

#### 4. Modelación numérica.

Se analizó el caso  $Q=100 \text{ m}^3/\text{s}$ . La definición geométrica se realizó con Autocad, incluyendo las transiciones (perfil WES y ensanchamiento, transición suave del cuenco a la sección ovoide) así como la totalidad de los detalles geométricos relevantes (tamaño, diseño y disposición de los elementos de macrorrugosidad, tramo en curva del colector, caz, sección ovoide, etc.). Para el cálculo se usó el programa *FLOW3D*, organizándolo en tres etapas o tramos con solape, optimizando así la capacidad computacional disponible con mallados de mayor resolución. Los solapes garantizan la continuidad de la solución, y en ellos se copian las distribuciones de velocidades en la sección, presiones, intensidad y disipación turbulenta. El control hidráulico lógicamente se encuentra en el calado crítico al inicio del WES. El tramo más delicado y de cálculo más costoso es el tramo final (45 m) de longitud, iniciado del WES, e incluyendo el cuenco, transición a sección ovoide y un tramo final rectilíneo (sección ovoide).

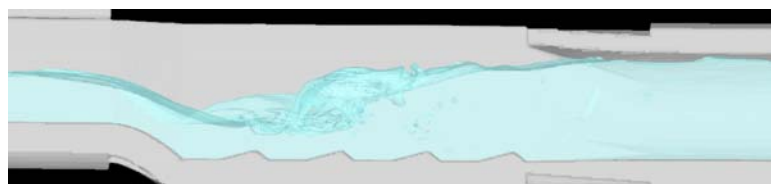


Figura 3 Instantánea del resalto hidráulico.

Se ha empleado un mallado estructurado de hexaedros regulares con tamaño variable, referidos a unos ejes fijos x-y-z, con el eje z vertical y el eje “y” coincidente con el eje en planta del tramo ovoide. Para el último tramo, el número de celdas

empleado fue de 6 millones, con  $\Delta t=0.7 \cdot 10^{-3}$  s. Las celdas de borde presentan una representación fraccional mediante intersección geométrica con el contorno sólido del colector, permitiendo una adecuada representación de las variables de flujo (caras intersectadas) como en las variables volumétricas (fracción de volumen útil en la celda). Las tensiones de Reynolds se aproximan mediante la hipótesis de viscosidad turbulenta (Kolmogorov-Prandtl), empleándose el modelo de turbulencia  $\kappa-\epsilon$  (*RNG*) con sendas ecuaciones de transporte para la energía cinética turbulenta ( $\kappa$ ) y para la tasa de disipación ( $\epsilon$ ). Los resultados obtenidos permiten conocer los campos de velocidades, presiones, vorticidad e intensidad de la turbulencia en todos los puntos. Se adjuntan dos videos con la síntesis de los cálculos realizados. El primero de ellos permite visualizar el flujo 3D en la zona del cuenco (fig. 3), y en el segundo se muestran las soluciones sección a sección, conforme se avanza a lo largo del eje del colector a la velocidad promedio del flujo. La figura 4 muestra el contraste entre las mediciones en laboratorio y el modelo numérico, para el perfil de la lámina en la sección crítica. El error es de 1,3 %. Otros aspectos de la geometría del flujo (el resalto hidráulico, los calados normales, la separación de la lámina en el ensanchamiento previo al cuenco) contrastan muy favorablemente con las mediciones del laboratorio.

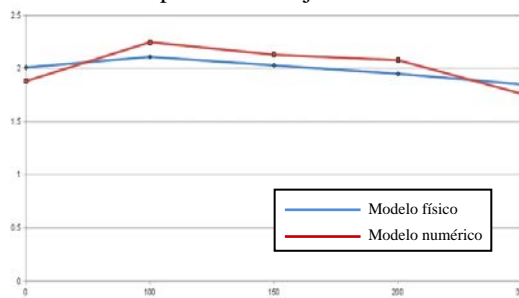


Figura 4 Perfil de la lámina en la sección crítica.

#### 5. Conclusiones.

Los resultados obtenidos confirman el importante potencial en diseño hidráulico urbano de las herramientas CFD como complemento a los modelos físicos, reduciendo la carga de trabajo en el laboratorio (selección del número de diseños a probar), y ampliando el abanico de variables cuantitativas derivadas, algunas de ellas de difícil medición en el laboratorio, en especial, para aquellas zonas o regiones de flujo con problemáticas locales o más decisivas en el diseño global del dispositivo hidráulico. Esta estrategia conjunta supone un incremento de fiabilidad y reducción de costes totales, mejorándose tanto la extensión como la calidad de los resultados finales.