

COMPARACIÓN DE CAUDAL MEDIDO EN CANAL CON DIVERSOS EQUIPOS Y AJUSTE A PERFIL DE VELOCIDADES TEÓRICO

J. A. Figuérez¹, J. González² y A. Galán²

¹Hidralab Ingeniería y Desarrollos, S.L., Spin-Off UCLM. Laboratorio Hidráulica Universidad de Castilla-La Mancha. Av. Pedriza-Camino Moledores s/n, 13071, Ciudad Real, España.

²Universidad de Castilla-La Mancha, ETSI Caminos, Canales y Puertos Ciudad Real, Departamento de Ingeniería Civil y de la Edificación. Edificio Politécnico. Av. Camilo José Cela s/n, 13005, Ciudad Real, España.

E-mail: juanalfonso.figuerez@hidralab.com, javier.gonzalez@uclm.es, alvaro.galan@uclm.es

Resumen

Conocer el caudal circulante en un canal de riego es una tarea imprescindible para poder realizar una correcta gestión y explotación del canal. Sin embargo, actualmente no se dispone de un sistema de medida de caudal en régimen de lámina libre con el nivel de precisión garantizada en aplicaciones reales y que pueda ser acreditado dentro de la metodología.

El desarrollo de este trabajo se ha llevado a cabo para dar solución a un problema real existente en el Canal de distribución de agua para regadío de la Zona Regable de Orellana. El Canal de Orellana pertenece a la Confederación Hidrográfica del Guadiana y es uno de los mayores de España con 113 km de longitud de canal principal.

Se trata de un canal de riego antiguo sobre el que recientemente se han ejecutado obras de modernización como la construcción de nuevas compuertas de regulación tipo taintor, construcción de aliviaderos de pico de pato, revestimiento del canal con lámina impermeable, etc. La sección del canal es trapezoidal en su mayor parte, pero existen tramos donde la sección es rectangular. La pendiente media del canal es de aproximadamente 0,2%. Durante a los picos de demanda se alcanzan caudales de entrada de 60 m³/s que riegan un total de 60.000 hectáreas de cultivo. El canal ha llegado a su máximo de capacidad ya que, en estos picos de demanda la canalización tiene dificultades para transportar el agua que demandan los cultivos. Por este motivo, para gestionar el transporte de agua a lo largo de todo el canal resulta indispensable conocer con el mayor grado de detalle el caudal circulante.

Para conocer el caudal circulante a lo largo del canal, hay instalados varios caudalímetros ultrasonido de tiempo de tránsito que miden e informan a los gestores y explotadores del canal de los caudales que se producen en cada momento. Esta información es totalmente necesaria ya que les sirve de orientación para poder maniobrar las compuertas de regulación de cara a conseguir satisfacer la demanda. No obstante, en ocasiones los operarios observan que en algunos puntos las medidas proporcionadas por los equipos de medida no son coherentes con el resto de las medidas. Por consiguiente, es conveniente y necesario verificar que los caudalímetros midan correctamente y corregir el posible error que están cometiendo.

Para cumplir este propósito, durante la campaña de riego se toman numerosas medidas con un perfilómetro Doppler en las mismas secciones donde están instalados los caudalímetros ultrasonidos de tiempo de tránsito. Esto permite comparar las mediciones de ambos equipos.

Los caudalímetros ultrasonidos de tiempo de tránsito miden la velocidad media del flujo en una horizontal o cuerda a la altura a la que se encuentra instalado cada haz. Para calcular dicha velocidad se utiliza la siguiente ecuación:

$$V = \frac{T_1 - T_2}{T_1 T_2} \cdot \frac{L}{2 \cos \theta} \quad [1]$$

Donde (ver Figura 1) T1 es el tiempo de viaje del pulso ultrasonido entre el transductor A y el transductor B, T2 es el tiempo de viaje del pulso ultrasonido entre el transductor B y el

transductor A, θ es el ángulo formado entre la trayectoria del pulso ultrasonido y la dirección del flujo de agua y L es la longitud entre los transductores.

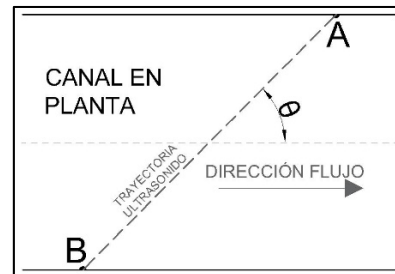


Figura 1.- Disposición de un haz ultrasonido de un caudalímetro de diferencia de tiempo de tránsito.

Con base en lo anterior, la velocidad media del flujo a lo largo del recorrido del pulso ultrasonido se puede calcular conociendo la longitud total de su trayectoria (L), el ángulo que forma la trayectoria con la dirección del flujo (θ) y la medida del tiempo de viaje que tarda el pulso ultrasonido en llegar de un transductor a otro, tanto en sentido ascendente como descendente. El tiempo de viaje del pulso ultrasonido hacia aguas arriba es mayor que el tiempo empleado en recorrer la misma distancia hacia aguas abajo como consecuencia de la desaceleración producida por el flujo de agua. Dicho fenómeno se constituye como principio de medida del caudalímetro ultrasonido de diferencia de tiempo de tránsito.

A partir de este valor de velocidad media calculado, del nivel de agua existente y de las características geométricas de la sección transversal, el fabricante del caudalímetro infiere el valor del caudal circulante. Como únicamente se conocen velocidades medias a determinadas alturas, para calcular el caudal circulante se emplean distribuciones teóricas asumidas en función de la geometría de la sección y/o factores de corrección de la velocidad medida basados en relaciones de velocidad/profundidad con base en la bibliografía existente (ISO 6416:2017).

Sin embargo, la distribución de velocidades asumida en una sección particular para calcular el caudal final puede que no coincida exactamente con la que se produce en la realidad, conllevando un error en la medida. La distribución de velocidades real puede medirse empleando el mencionado perfilómetro Doppler sobre la sección donde se encuentra instalado el caudalímetro. Los resultados que se muestran en el trabajo corresponden a la sección del Grupo de Compuertas (GC) N° 15 del Canal de Orellana (ver Figura 2).

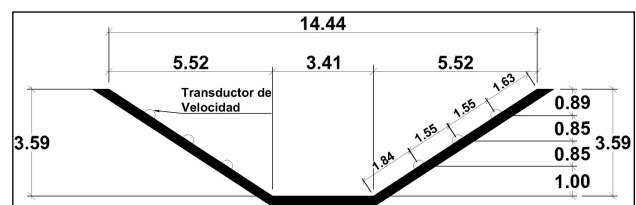


Figura 2.- Sección del canal del caudalímetro del GC N° 15. Caudales en esta sección: Hasta 32 m³/s. S₀=0,15‰. (Cotas en m).

Al realizar mediciones simultáneas con el caudalímetro ultrasonido de tiempo de tránsito del canal y con el perfilómetro Doppler (ver Figura 3), y tras realizar un procesado correcto de las medidas brutas (Lee, 2014) ambas mediciones pueden compararse.



Figura 3.- Ejecución de aforo con perfilómetro Doppler sobre el Canal de Orellana.

La ventaja de medir con un perfilómetro Doppler es que se realizan medidas de velocidad del flujo a lo largo de la anchura del canal y en toda su profundidad consiguiendo obtener la distribución de velocidades discretizada en celdas producida en la sección transversal medida. En la Figura 4 se puede observar una de las distribuciones de velocidades medida en la sección tomada para realizar el trabajo (ver Figura 2).

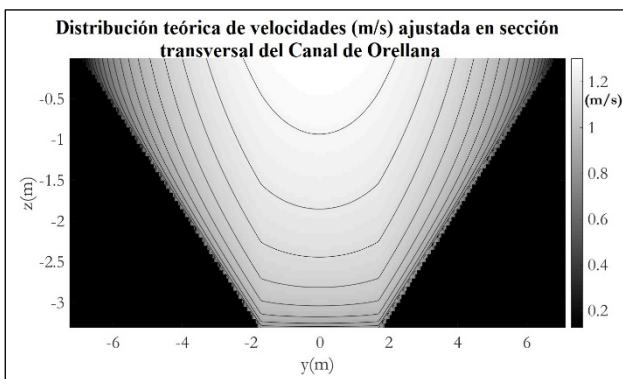


Figura 4.- Distribución de velocidades (m/s) medidas con perfilómetro Doppler en sección del GC 15 del Canal de Orellana.

Para poder comparar directamente las medidas arrojadas por ambos equipos es necesario realizar un tratamiento de esta distribución de velocidades de flujo obtenida con el perfilómetro Doppler. Para ello, es necesario integrar y promediar dentro de la distribución las velocidades medidas en la altura en la que se encuentra cada haz del caudalímetro de tiempo de tránsito. De esta forma, se puede llevar a cabo la comparación entre la velocidad media en una horizontal a una determinada altura medida por ambos equipos.

Generalmente, tras la comparativa entre las medidas tomadas por ambos equipos se ha observado que los valores obtenidos son similares.

Además, al contar con la distribución de velocidades real que se produce en la sección transversal, es posible relacionar la velocidad media en una horizontal (que es medida continuamente por el caudalímetro ultrasonido de tiempo de tránsito) con la velocidad media en toda la sección transversal. De esta forma, para cada haz se puede obtener un factor

corrector para calcular la velocidad media en la sección y, por tanto, calcular el caudal circulante minimizando el error.

Por otro lado, la distribución de velocidades sólo se conoce en los momentos en los que se realiza una medición con el perfilómetro Doppler. Para conocer la distribución de velocidades durante el resto de la campaña en aquellos momentos que no se usa el perfilómetro se puede partir del calado y de las medidas tomadas por los caudalímetros de tiempo de tránsito ya que estos equipos sí funcionan de forma permanente. Para ello, se han tratado de ajustar las mediciones realizadas utilizando la formulación empleada en varios modelos de distribución de velocidades (Ackers, 1993; Knight, 2007; Liao, 2007; Zeng, 2012). Se han parametrizado para que se asemejen en mayor medida a las medidas realizadas.

Debido a la no concordancia y reproducción fehaciente de las medidas realizadas por parte de los modelos estudiados, se ha desarrollado, parametrizado y ajustado un nuevo modelo numérico para obtener la distribución de velocidades teóricas en cada una de las secciones estudiadas (ver Figura 5).

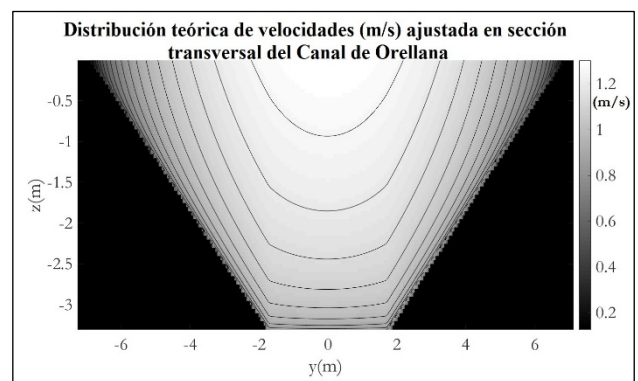


Figura 5.- Distribución teórica de velocidades ajustada en sección transversal del Canal de Orellana.

Referencias bibliográficas

- Ackers, P., (1993). "Flow formulae for straight two-stage channels". *Journal of Hydraulic Research*. 31:4, 509-531.
- ISO 6416 (2017), "Hydrometry – Measurement of discharge by the ultrasonic transit time (time of flight) method"
- Knight, D.W., Obran, M. and Tang, X., (2007), "Modeling depth-averaged velocity and boundary shear in trapezoidal channels with secondary flows". *Journal of Hydraulic Engineering*. ASCE 2007;133(1):39-47.
- Lee, K. Ho, H.C., Marian, M. and Wu, C.H., (2014). "Uncertainty in open channel discharge measurements acquired with StreamPro ADCP". *Journal of Hydrology*. 509 (2014) 101-114.
- Liao, H. and Knight, D.W., (2007). "Analytic stage-discharge formulae for Flow in straight trapezoidal open channels". *Journal of Hydraulic Engineering*". ASCE 2007;133 (10):39-47.
- Zeng, Y.H., Gymer, I., Spence, K.J., and Huai, W.X., (2012). "Application of analytical solutions in trapezoidal compound channel flow". *River research and applications*. 28: 53-61.