

B-19

SEGUIMIENTO Y CONTROL EN TIEMPO REAL DEL CANAL DE ORELLANA CON HIDRASMART OPEN CHANNEL

González, Javier (1) (P), Galvez, Francisco (2) Figueres, Juan Alfonso (3)

¹ Profesor, Universidad de Castilla-La Mancha, Departamento de Ingeniería Civil, E-mail: Javier.Gonzalez@uclm.es y CEO Hidralab Ingeniería y Desarrollos, S.L.: Javier.Gonzalez@hidralab.com

² Jefe de Servicio, Confederación Hidrográfica del Guadiana, Avenida Badajoz, s/n, 06400 Don Benito, Badajoz, E-mail: fgalvez@chguadiana.es

³ Investigador, Hidralab Ingeniería y Desarrollos, S. L., Avda. Camilo José Cela s/n 13005 Ciudad Real, E-mail: JuanAlfonso.Figuerez@hidralab.com

Resumen

Este trabajo presenta la aplicación al Canal de Orellana del software *Hidrasmart Open Channel* para el control automático de canales de regadío en tiempo real. Hidrasmart Open Channel, aplicando las técnicas más modernas de modelado numérico del flujo en lámina libre, junto con la asimilación automática de medidas instrumentales, permiten la estimación continua del estado más probable del canal en todo su conjunto, así como el control y previsión de maniobras para asegurar la satisfacción de las demandas de forma continua, evitando sobrevertidos, o descensos de niveles en tomas y aprovechando al máximo los recursos hídricos disponibles. La combinación de un modelo numérico con medidas instrumentales permite a su vez el control del estado de los sensores, su corrección, la actualización de su incertidumbre, y la detección de anomalías, con la generación automática de alarmas para su revisión. Así mismo, permite flexibilizar el funcionamiento de un canal, dando respuesta inmediata a cambios en el régimen de consumos sin necesidad de su planificación y previsión, reajustando automática y sincronizadamente todos los grupos de compuertas o almenaras de regulación del canal. La herramienta se ha implantado con éxito en un tramo de unos 67 km del Canal de Orellana, con multitud de elementos singulares: sifones, tramos en túnel, variaciones bruscas de geometría, compuertas Taintor, presencia de picos de pato, aportaciones y detracciones laterales a lo largo de todo el canal, aliviaderos laterales. En definitiva, una amplia amalgama de elementos típicamente empleados en este tipo de canales, que demuestran el potencial de la herramienta para la gestión. En este trabajo se muestran algunos de los resultados obtenidos, los cuales no dejan lugar a duda del alto grado de confianza que tiene el modelo con asimilación de datos para reproducir el comportamiento del canal en todo su conjunto.

1- HidraSmart Open Channel (HOC)

La herramienta *HidraSmart Open Channel*, surge como complemento perfecto a los sistemas de Supervisión, Control y Adquisición de Datos (Supervisory Control And Data Acquisition, SCADA) que se están implantando en multitud de canales hidráulicos. Y se plantea como un equipo de procesamiento independiente del SCADA, con su propia CPU, tal y como se muestra en la Figura 2, y que tiene las siguientes relaciones con los elementos del sistema:

- Lectura del Servidor OPC (Codesys OPC), que sirve los datos al SCADA, desde el que actualizaremos la base de datos del software *HOC*.

- Existe un PLC ABB general al que están conectados los PLC's de todas las islas. Este PLC es el que suministra los datos al Servidor OPC.

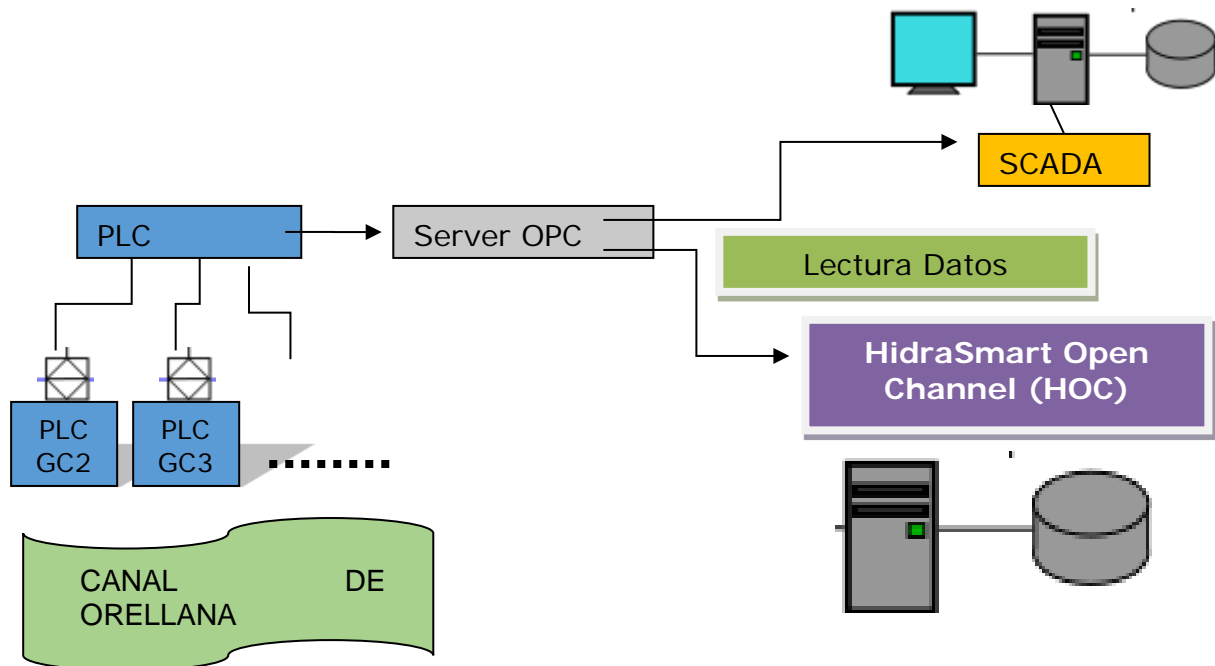


Figura 2. Visión esquemática del sistema integrado para el control en tiempo real de canales hidráulicos.

Dentro del sistema, el *HOC* constituye el sistema experto que permite solventar los siguientes problemas típicos de un SCADA:

1. Información puntual asociada a los dispositivos de medidas. *HOC* permite extender la información puntual a información en la totalidad del canal.
2. Inconsistencias en las lecturas de caudal y niveles, que permiten comprobar que no se cumplen en muchos casos los balances de agua. *HOC* permite incorporar la física del movimiento del agua para dar coherencia a las estimaciones, filtrando los errores de las medidas.
3. Presencia de datos anómalos, interrupciones de comunicación, o fallos de los equipos. *HOC* permite detectar esas anomalías, lanzar alarmas para la comprobación de equipos, y extrapolar el resto de medidas de forma coherente para disponer de estimaciones incluso sin la presencia de los equipos.

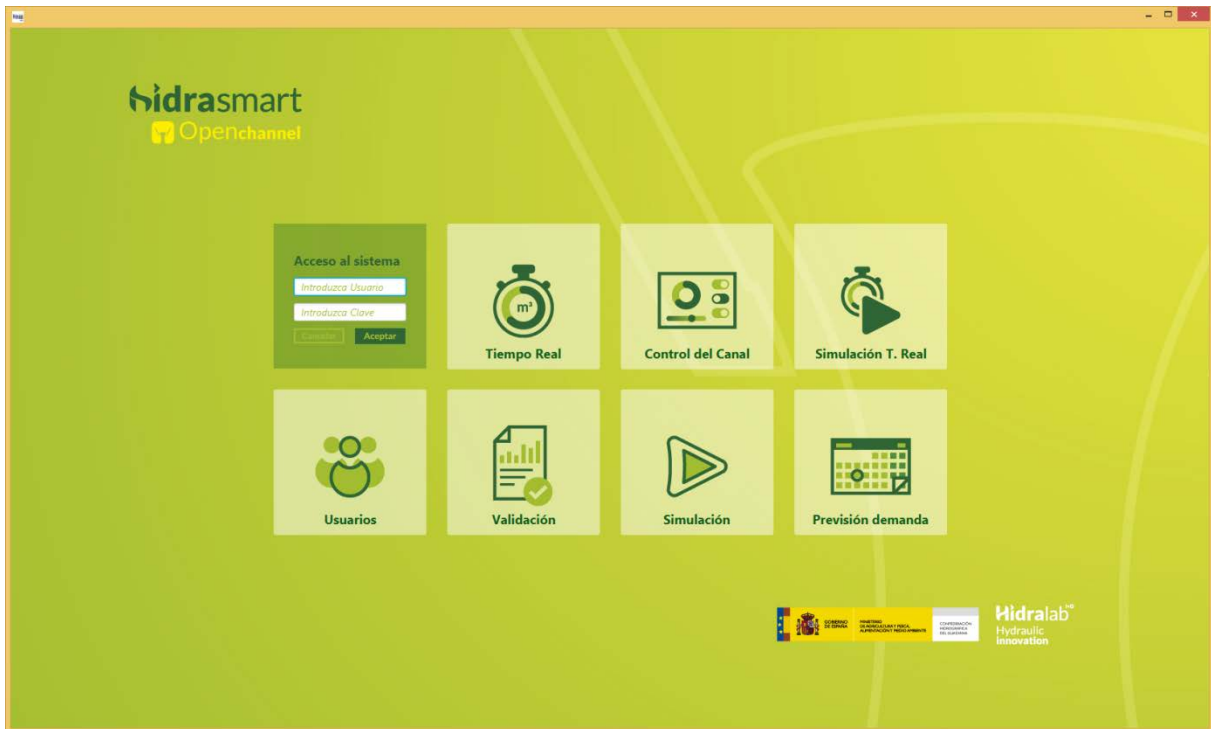


Figura 3. Funcionalidades del HidraSmart Open Channel (HOC).

Además de ser una herramienta complementaria al sistema al SCADA, HOC permite tener las siguientes funcionalidades adicionales (véase la Figura 3):

1. **Actualización y visualización de datos**, el sistema tiene una base de datos asociada a la aplicación servidor que será actualizada con los datos del Servidor OPC, procedentes del PLC general, que son los mismos que usa el SCADA. La actualización se realizará de forma periódica (1 minuto) y a los datos almacenados en la BBDD se les aplicará una validación detectando las inconsistencias en las señales de los instrumentos de medida, a través de la evaluación de coherencia con el comportamiento hidráulico verosímil, con el fin de detectar datos anómalos y averías en sensores del canal. Se muestran visualmente (véase la Figura 4).

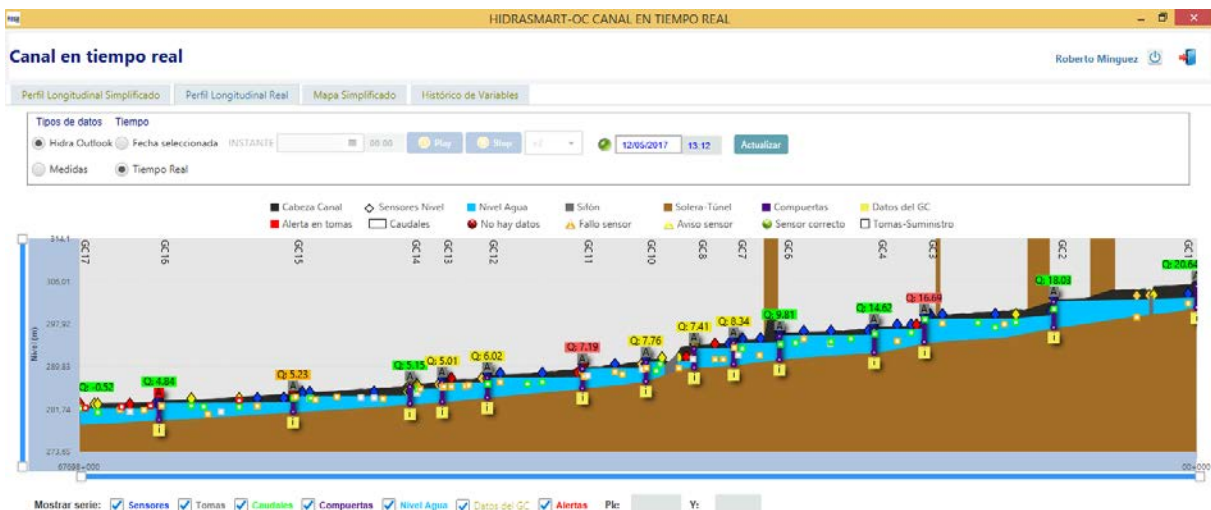


Figura 4. Pantalla de visualización en tiempo real del estado estimado del sistema y de las medidas de sensores.

2. El sistema cuenta con una funcionalidad para visualizar los datos en tiempo real de cada una de las variables monitorizadas y se puede acceder al historial de datos registrados para uno o más sensores.
3. Permite la estimación en tiempo real del estado más probable del sistema (estimación de estado) mediante la combinación de un modelo numérico para la resolución de las ecuaciones de Saint Venant unidimensionales, con un esquema de volúmenes finitos (Bladé, 2005), junto con la asimilación de las medidas instrumentales mediante un filtro de Kalman (Kalman, 1960).
4. Permite la simulación en tiempo real, a partir de la última estimación disponible del estado del canal, de distintas estrategias de operación, con la posibilidad de lanzar alarmas de predicción de rebosamientos acorde a la configuración seleccionada del canal con respecto al posicionamiento de los elementos de control, o alarmas de insatisfacción de demandas en tomas.
5. Permite la automatización de los grupos de compuertas con distintas configuraciones:
 - a. Mantener niveles asignados por el usuario de forma constante aguas arriba de todos los grupos.
 - b. Mantener niveles asignados por el usuario de forma constante aguas arriba de los grupos seleccionados por el usuario.
 - c. Modo vigía, supervisión de los niveles para evitar alivios o desbordamientos accidentales, siempre que exista posibilidad del almacenamiento del agua sobrante en grupos aguas abajo.
 - d. Control global del canal, para la regulación automática del conjunto de elementos de compuertas para dar respuesta a los consumos que se presentan en tiempo real, con un riego a la demanda.
6. Permite la planificación de maniobras excepcionales, tales como operaciones de llenado, vaciado total, vaciados parciales debido a roturas o averías, etc.

2- Aplicación al Canal de Orellana

El Canal de Orellana tiene una longitud de 112,780 km y el caudal en toma es de 61 m³/seg. Su sección es principalmente trapezoidal. Atiende las demandas de la Zona Regable de Orellana (57.258 ha) desde el embalse de Orellana por la margen derecha del Guadiana y desde las presas de regulación de la margen derecha. A lo largo del canal existen 27 grupos de compuertas.

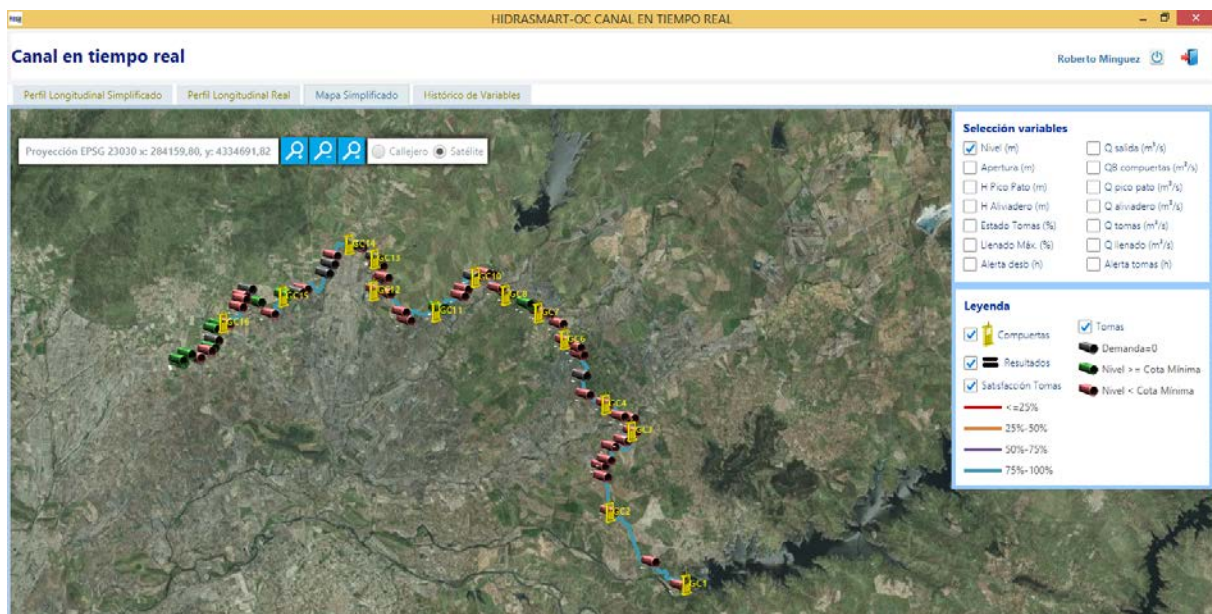


Figura 5. Pantallazo de la visualización en 2D de la traza del Canal de Orellana.

El tramo de canal implementado en la actualidad se muestran en la Figura 5, tiene unos 68 kilómetros de longitud y tiene los siguientes elementos de regulación típicamente empleados en canales de este tipo:

- 13 grupos de compuertas que combinan la presencia de aliviaderos de picos de pato junto con compuertas Taintor con control de regulación automática (Figura 6).



Figura 6. Detalle de una compuerta y vista de un aliviadero de picos de pato.

- La sección genérica es trapezoidal, con algún tramo de sección rectangular, y con 6 tramos de sección cerrada (sifones y túneles) como los mostrados en la Figura 7.

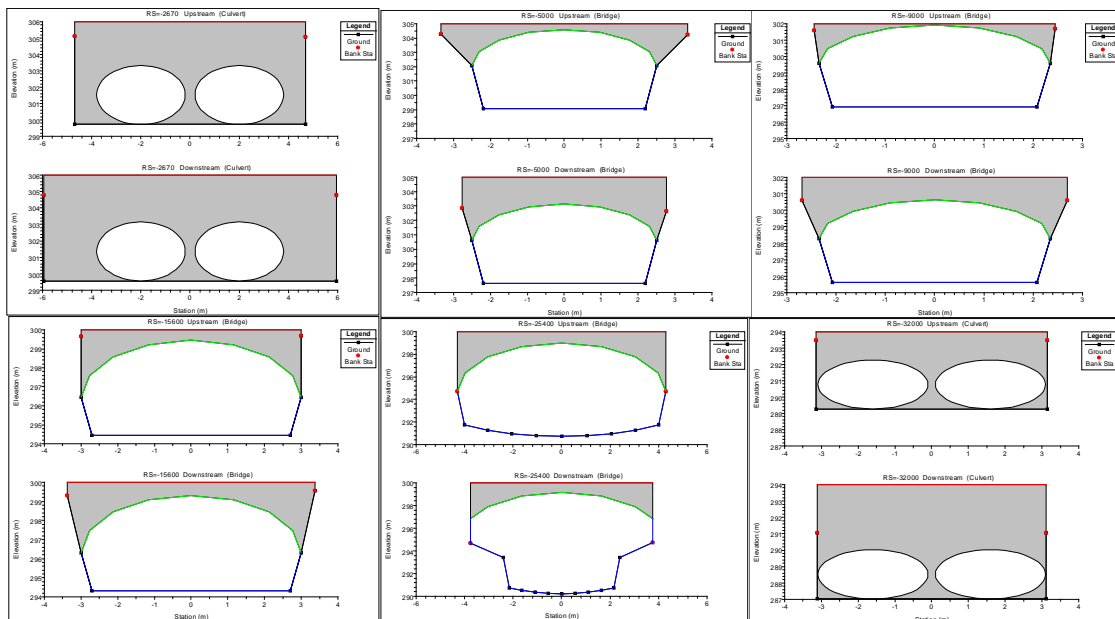


Figura 7. Detalle de las secciones cerradas presentes a lo largo del canal.

- 4 aliviaderos laterales.
- 71 tomas laterales de detración de agua como las mostradas en la Figura 8, y una aportación lateral procedente del embalse de Sierra Brava.

Las dimensiones del canal, junto la gran cantidad de elementos diferentes, constituyen un reto desde el punto de vista computacional, ya que es necesario, por un lado, realizar el filtro de Kalman con una periodicidad de un minuto, y a su vez, poder efectuar simulaciones del modelo a partir del estado estimado con el filtro.



Figura 8. Ejemplos de tomas laterales.

3- Resultados

Para mostrar la eficacia de HidraSmart Open Channel en la simulación, estimación y control del Canal se muestran resultados asociados a distintos fenómenos:

- **Planificación del llenado:** Se pueden hacer planificaciones de llenado para evitar el rebosamiento debido a las ondas que se producen en el cierre de compuertas.

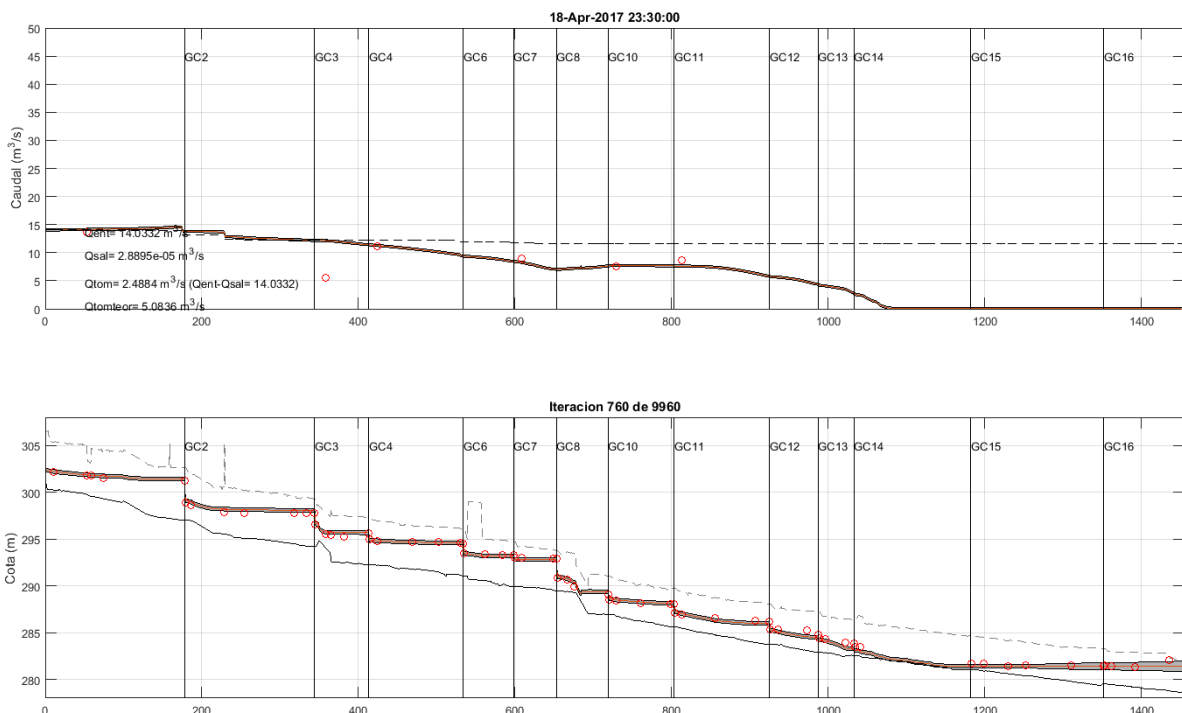


Figura 9. Maniobra de llenado del canal completo.

- **Llenado del canal:** Estimación mediante filtro de Kalman en la operación de llenado del canal. En este caso, se ha hecho el seguimiento del llenado del canal combinando el modelo numérico con la asimilación de las medidas. Como se puede comprobar en la Figura 9, el modelo es capaz de reproducir el avance de la onda de

llenado, filtrando de forma eficiente anomalías puntuales y claras de los sensores de caudal, como por ejemplo el caudalímetro justo aguas abajo del grupo de compuertas número 3 (GC3).

- Maniobra transitoria:** Maniobra de vaciado parcial del canal entre los grupos de compuertas 4 y 10 y llenado posterior. En la Figura 10 se muestran la evolución de caudales y de los niveles a lo largo de todo el canal estimados, incluyendo sus bandas de confianza, junto con los valores instrumentales de caudalímetros y sensores de nivel (puntos rojos). Puede comprobarse la bondad del ajuste del modelo y de los sensores, obteniendo estimaciones de caudal a lo largo del todo el canal, incluso en posiciones en las que se han caído los sensores de caudal (de los grupos de compuertas 15 y 16).

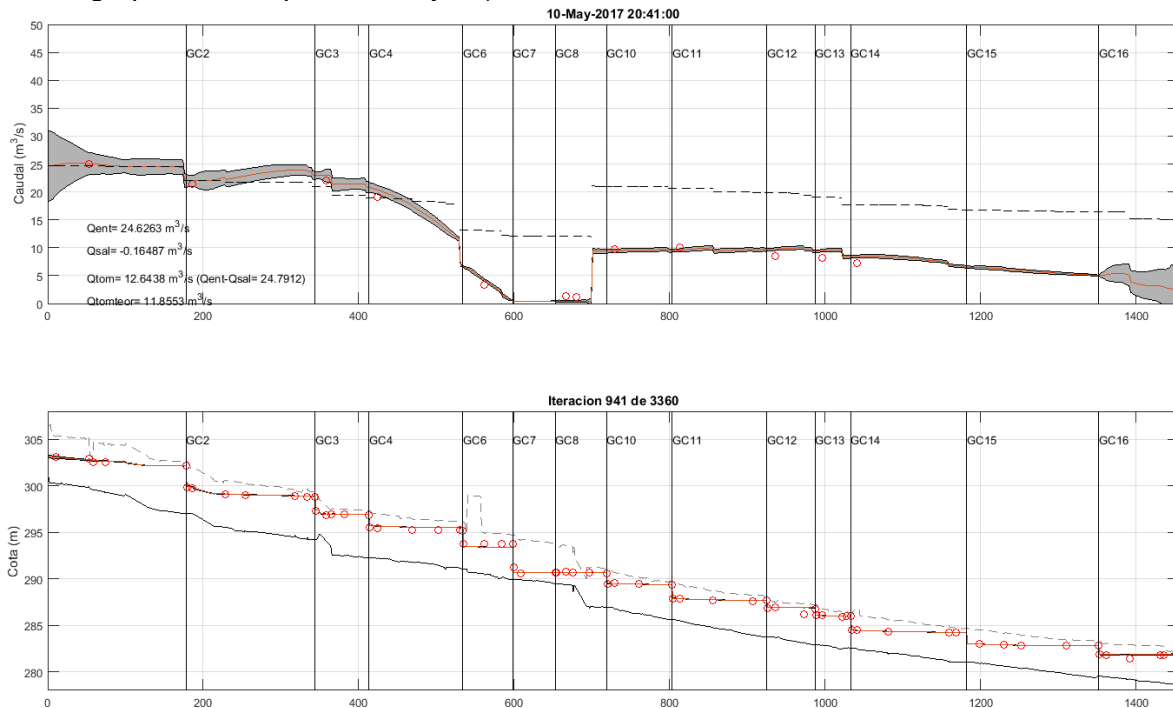


Figura 10. Maniobra transitoria de llenado parcial de varios grupos.

- Control de compuertas.** Por último se muestran los resultados de la planificación de movimientos de compuertas del GC3 con el propósito de mantener un caudal constante incluso en una situación transitoria. Se parte de un caudal de salida por el GC3 de unos 19 m³/s y se analiza la evolución de la apertura de las compuertas del GC3 para mantener un caudal de 22 m³/s. Como puede apreciarse en la Figura 11, las compuertas se abren de forma gradual para alcanzar el caudal objetivo y mantenerlo aproximadamente constante durante el tiempo que es posible mantenerlo.

4.- Conclusiones

La herramienta **HidraSmart Open Channel** es el complemento perfecto a los sistemas de adquisición de datos de sensores instrumentales en tiempo real, ya que permiten un grado de control total en la gestión de los recursos hídricos regulados con canales, maximizando el aprovechamiento del agua disponible.

Por otro lado, la aplicación práctica en el canal de Orellana, demuestra que su aplicación a canales reales es viable, obteniendo muy buenos resultados independientemente de la complejidad del canal. La combinación de modelos numéricos en la vanguardia del conocimiento, junto con herramientas de asimilación de datos diseñadas

específicamente para estas aplicaciones, permiten una reproducción altamente fiable del comportamiento de los canales. Con las ventajas que ello representa.

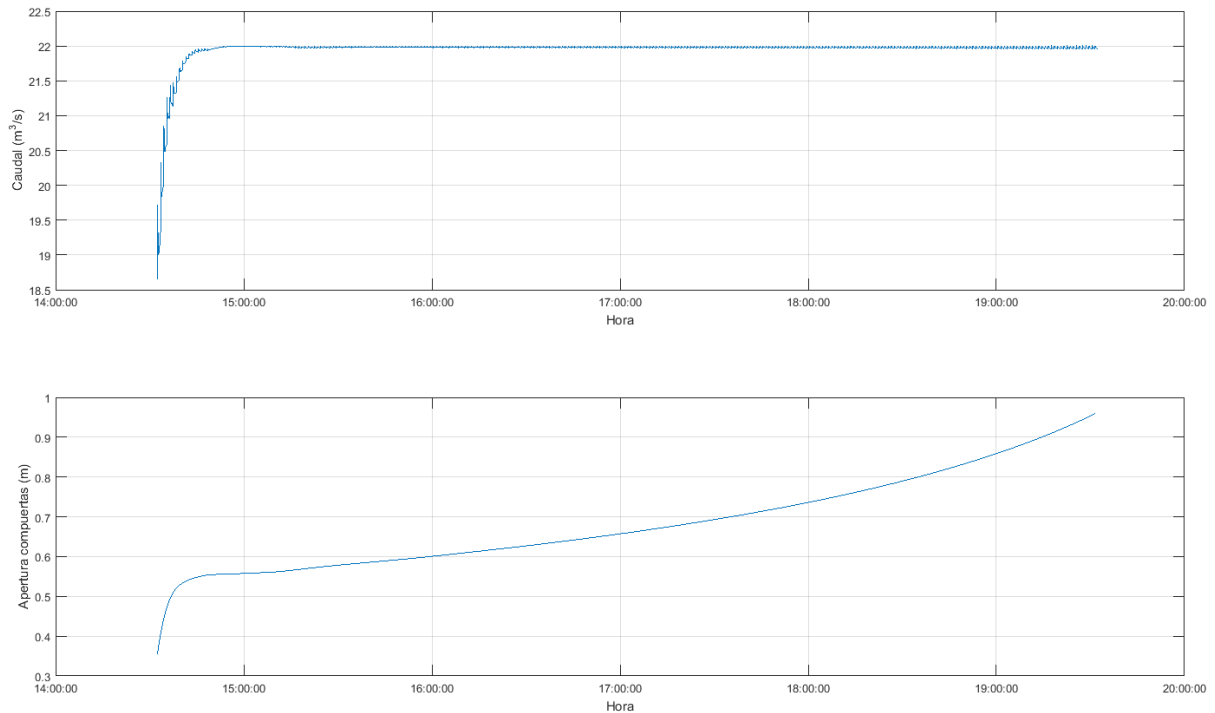


Figura 11. Evolución del caudal objetivo y de la apertura de compuertas para el control del GC3.

5- Bibliografía

Bladé, E. (2005). Modelación del flujo en lámina libre sobre cauces naturales. Análisis integrado con esquemas en volúmenes finitos en una y dos dimensiones. Tesis Doctoral de la Universidad Politécnica de Cataluña.

Kalman, R. E. (1960). A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems, Transactions of the ASME - Journal of Basic Engineering Vol. 82: pag. 35-45.