

SURCO, modelo numérico en régimen variable para el análisis del comportamiento hidrodinámico de canales de regadío.

Aplicación al Canal Toro-Zamora

BATEMAN PINZÓN, ALEN (*); DOLZ RIPOLLÉS, JOSÉ (*); GÓMEZ VALENTÍN, MANUEL (*); PRADO PÉREZ DEL RÍO, JULIO (**); ESTRADA LORENZO, FEDERICO (*); LUNA MACHICADO, MANUEL (*)

RESUMEN La constante presión que ejerce la demanda actual de agua en todas las regiones del mundo y en España en particular, tiene como consecuencia la necesidad de disponer de nuevas metodologías que permitan su ahorro. En este sentido, el Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX y la Sección de Ingeniería Hidráulica e Hidrológica de la Escuela de Caminos de Barcelona iniciaron en 1993 la elaboración de un modelo numérico, que permitiera conocer el funcionamiento hidrodinámico del agua en los canales de regadío, evaluando en todo momento los niveles de agua y caudales en cada una de las secciones del canal. En este artículo se presenta SURCO, un modelo que simula el flujo variable en canales de riego que incluye la mayor parte de las singularidades hidráulicas que se dan en este tipo de conducciones.

SURCO, VARIABLE RATE NUMERICAL MODEL FOR THE ANALYSIS OF HYDRODYNAMIC BEHAVIOUR IN IRRIGATION CANALS

ABSTRACT The constant pressure arising from the current demand for water in all parts of the world, and particularly in Spain, makes it essential to seek new methodologies that provide for savings in its consumption. To this end, the Centre of Hydrographic Studies of the CEDEX, together with the Hydraulic and Hydrological Engineering Department of the Civil Engineering College in Barcelona, initiated a project in 1993 to elaborate a numerical model which would facilitate knowledge of the hydrodynamic operation of the water in irrigation canals, constantly evaluating the water levels and the capacity of each of the sections of the canal. In this article, we present SURCO, a model that simulates the variable flow in irrigation canals, and which includes the majority of the hydraulic singularities to be found in this type of channel.

Palabras clave: Surco; Simulación; Canales.

1. INTRODUCCIÓN

Tradicionalmente los canales utilizados para el transporte de agua a las zonas regables han sido operados con base en la experiencia adquirida a lo largo del tiempo. Esta experiencia permitía conocer, de una forma más o menos aproximada, los caudales a introducir en cabecera del canal para poder satisfacer unas determinadas demandas en la zona regable. También con base en esta misma experiencia se operaban los elementos de control (compuertas) situados a lo largo del canal a fin de mantener los niveles en el mismo. En la actualidad existen una serie de factores que aconsejan replantearse esta explotación de tipo artesanal:

- La necesidad de optimizar el uso del agua al máximo.

- La demanda, por parte de los agricultores, de una mayor flexibilidad temporal en el riego. Para ello se construyen balsas de almacenamiento junto al canal. Estas funcionan como pulmones de agua, abastecen en horas de demanda y se llenan en horas de bajo consumo. Ello permite desacoplar parcialmente el riego del transporte de agua.
- La posibilidad de disponer sensores que nos permitan conocer de una forma centralizada la situación a lo largo de un canal o red de canales.
- La posibilidad de centralizar la operación de los elementos de control situados en el canal.
- El conocimiento riguroso de los fenómenos hidráulicos existentes en el transporte de agua en canales y su posible modelación matemática y numérica.
- La existencia de pequeños ordenadores personales con gran capacidad de cálculo, que permite la simulación numérica del comportamiento hidráulico de un canal o red de canales.

(*) Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Universitat Politècnica de Catalunya.

(**) Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX. M^o de Fomento.

- La existencia de pantallas gráficas con elevadas prestaciones y bajo costo, que facilitan un diálogo con el usuario. Incluso la existencia de software comercial de tratamiento de bases de datos que permiten acceder de forma sencilla a bancos de datos y tratarlos en forma adecuada.

Los factores anteriormente citados propician la utilización de modelos numéricos que permitan:

- Ajustar el suministro en cabecera.
- Determinar los criterios precisos para operar los elementos de control a fin de adecuar la situación del canal a la demanda: caudales, niveles y volúmenes embalsados.
- La realización de las anteriores actividades por personas no necesariamente especialistas en informática y/o hidráulica.

En 1993 se inició un convenio con el Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX que tenía como objeto desarrollar, a partir de un modelo existente, un nuevo modelo numérico que permita analizar el comportamiento hidráulico de los canales de riego. Este nuevo modelo denominado SURCO, debía incorporar los elementos esenciales que caracterizan a un canal de este tipo: aliviaderos, balsas de almacenamiento, escalones, compuertas, etc.

A finales de 1994 se puso a punto la mayor parte del modelo numérico y el software gráfico y se aplicó a un tramo central de 20 km del canal Toro-Zamora. A mediados de 1995 se continuó el proyecto y se introdujo en el modelo la longitud total del canal Toro-Zamora (cerca de 60 km).

2. ESTRUCTURA DEL MODELO

Con objeto de crear una herramienta lo más versátil y transparente en su empleo, apta incluso para un operador no experimentado, se decidió dotarle de una estructura modular, de manera que en cada paso del proceso de estudio tengamos claramente diferenciado donde nos encontramos (entrada de datos, análisis de resultados, etc.). El modelo está preparado en entorno de Visual Basic, de forma que es posible mediante menús acceder a las diferentes opciones que éste presenta. La estructura del modelo desarrollado presenta la siguiente disposición:

2.1. MÓDULO DE ENTRADA Y/O MODIFICACIÓN DE DATOS

En esta parte del modelo, un operador introducirá los datos de entrada para analizar una actuación sobre el canal, a definir también dentro de este apartado. Por la propia dinámica del estudio se ha subdividido este módulo en otros dos, encargados cada uno de ellos de partes más específicas.

2.1.1. Información de tipo geométrico y físico

La información relativa a las características geométricas, pendientes, tipo de sección, etc.; o físicas, se proporciona en este apartado. Como no suele sufrir modificaciones importantes, salvo en caso de estudios de remodelación, este módulo se empleará desligado del siguiente. En esta parte hay que proporcionar toda la información relativa a los puntos singulares del canal, compuertas laterales, aliviaderos, escalones de solera, sifones invertidos, coeficientes de pérdidas localizadas, etc.

2.1.2. Información relativa a las condiciones de explotación

Admitiremos condiciones de explotación cualesquiera, tanto en el extremo aguas arriba (modificación de las condiciones de toma) como en puntos intermedios (cierre o apertura de

compuertas). En este apartado se especificarán las hipótesis de explotación a analizar, por ejemplo el cierre en un tiempo determinado de una compuerta de toma seleccionado por el usuario. Está prevista la posibilidad de otras actuaciones en puntos intermedios del canal. Es posible reproducir el efecto de la entrada de un caudal exterior en puntos intermedios, o su detención mediante compuertas de limpia, aliviaderos, o tomas por bombeo.

2.2. MÓDULO DE SIMULACIÓN HIDRÁULICA

Este módulo, que es la base de cálculo, está escrito en lenguaje Fortran. Desde el menú principal se puede acceder directamente a la evaluación del canal predefinido.

2.2.1. Introducción y bases de cálculo

El tipo más general de movimiento que nos encontramos en esta clase de canales es el denominado movimiento no permanente gradualmente variable, aquel en donde las variaciones de caudal y altura de agua (calado) se producen en tiempos y distancias moderadas o largas. Incluiremos también la existencia de frentes de onda y resalto móvil, correspondientes a otros tipos de movimiento (rápidamente variable) por considerar que las variaciones de explotación a imponer en los regadíos a estudiar pudieran generar tales perturbaciones (cierres accidentales, etc.).

La descripción del movimiento gradualmente variable se realiza mediante las ecuaciones de Saint Venant, de conservación de la masa (continuidad) y de la cantidad de movimiento (equilibrio de fuerzas), que en el caso de cauces prismáticos (como lo son la gran mayoría de canales de este tipo) adoptan la siguiente expresión:

Ee. Conservación de la masa

$$\frac{\partial y}{\partial t} + v \frac{\partial y}{\partial x} + \frac{A}{b} \frac{\partial v}{\partial x} = 0$$

Ee. Conservación de la cantidad de movimiento

$$\frac{\partial v}{\partial t} + v \frac{\partial v}{\partial x} + g \frac{\partial y}{\partial x} - g(S_0 - S_f) = 0$$

donde y es el calado (altura de agua), v velocidad media en la sección considerada, A sección transversal de flujo, b ancho superficial de la sección, g aceleración de la gravedad, pendiente del canal, S_0 pendiente motriz, S_f coordenada longitudinal del canal, t tiempo. Estas ecuaciones se resuelven por procedimientos numéricos de integración al carecer de solución analítica. De entre los métodos usuales para su integración se ha escogido el método de las características en su variante de características rectas explícitas, uno de los más aconsejables a la hora de estudiar canales de este tipo por su gran facilidad de tratamiento de toda clase de condiciones de contorno. El intervalo máximo de discretización empleado ronda los 50 m, compromiso entre un estudio que describiera de manera correcta el comportamiento del canal y un tiempo de ejecución que para un modelo de ordenador personal similar a los existentes para la gama alta del mercado no sobrepasará unos límites razonables.

Desde el punto de vista de la modelación, un canal de longitud dada se divide en tramos de estudio, separados entre sí por nudos intermedios que les sirven de conexión. Estos nudos no son más que la materialización matemática de las secciones en donde o bien se produce una variación de las características geométricas y físicas, (cambio de pendiente, escalones en solera, variación de la rugosidad), o bien se encuentra situado en ella alguna de las estructuras

internas previstas (aliviaderos laterales o transversales, compuertas de contra, etc.) o una discontinuidad en el canal (sifón invertido). Por tanto desde el punto de vista de la esquematización del canal, la presencia de alguna de las circunstancias anteriormente reseñadas (sifones, compuertas, aliviaderos, cambios geométricos, etc.) determina la posición del nudo. Tramo será entonces aquella porción de canal comprendida entre dos nudos. En cada uno de los tramos en que dividimos el canal se consideran constantes las características físico-geométricas del mismo (sección, pendiente, rugosidad, etc.).

Con objeto de facilitar la modelación de muchos de los diferentes canales que pueden existir, con sus estructuras singulares intermedias o sus peculiaridades de construcción, se procedió a adoptar una esquematización del canal que respondiera al mayor porcentaje de los existentes. Se considera que todo canal está limitado en cabecera por una estructura de entrada mientras en su parte final existirá una balsa con nivel variable, o un vertido a un cauce. El esquema de la figura 1 representa un canal tipo, con varios tramos marcados por discontinuidades interiores (nudos).

Si bien el flujo del canal está convenientemente descrito por las ecuaciones representadas anteriormente, no debemos olvidar que tenemos incorporadas una serie de estructuras singulares que condicionarán en gran medida el flujo a lo largo del canal de transporte. Por ejemplo, la cámara de toma del canal desde el río o embalse, los aliviaderos o compuertas laterales anteriormente mencionados que podemos tener a lo largo del canal y finalmente las balsas intermedias o finales. Vamos a presentar brevemente las tipologías incluidas en el diseño del modelo.



FIGURA 1. Esquema de una parte del canal Iba-Zamora con varios tramos.

2.2.2. Estructura de toma del canal

Como premisa básica en la toma del canal se considera la existencia de un azud de derivación en el río, encargado de mantener un nivel mínimo de agua y dirigir los caudales del río hacia el canal. A partir de este elemento común en todos los casos, se han previsto las tipologías siguientes.

1. **Toma directa del río**, donde sin ningún tipo de estructura adicional el agua procedente del cauce del río entra en el canal en función de los niveles de agua existentes en el canal y río respectivamente. (figura 2).
2. **Compuertas de toma**, que en función de su abertura regulan la entrada de agua hacia el canal (figura 3).

Si bien estas son las principales estructuras de entrada en los canales a modelar, es lógico pensar que no todas que-

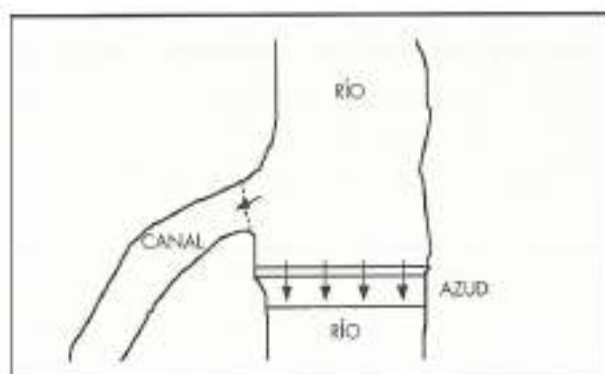


FIGURA 2. Toma directa del río.

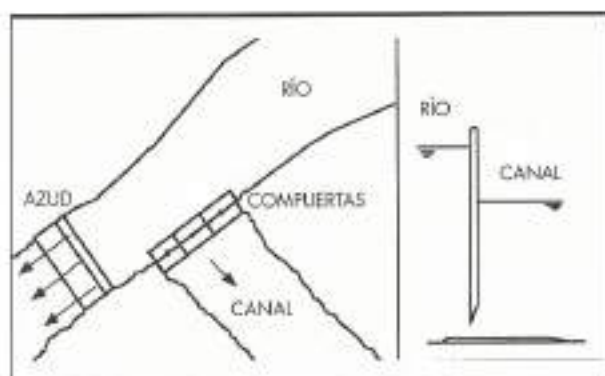


FIGURA 3. Compuertas de toma.

den englobadas en ellas. Sin embargo, dada la configuración modular del programa de cálculo, será posible incorporar nuevas tipologías en futuras versiones del código que recojan situaciones de interés para los usuarios de cada regadío.

2.2.3. Estructuras intermedias. Singularidades hidráulicas

Es frecuente que un canal de regadío se vea interrumpido por obstáculos que obliguen a variar sus características de sección, pendiente, etc. O aún mas, que deba recurrirse a unir mediante tuberías (sifones invertidos, etc.) tramos separados por valles anchos u obstáculos que impidan el trazado del canal. Para incluir la modelación de estas posibles singularidades recurrimos a lo que el modelo considera como estructuras intermedias, posicionadas en el nudo de conexión entre dos tramos. Los distintos tipos considerados, de acuerdo a la nomenclatura empleada en el modelo son:

- **Singularidad tipo I.** Corresponde a la más habitual y es aquella en que se produce una variación de las condiciones físico-geométricas del canal (sección, pendiente, rugosidad). Adicionalmente, se considera que en este punto se puede aliviar parte del caudal circulante, mediante estructuras de salida. Se ha incluido en el modelo la existencia de un azud de derivación de labio fijo que elimine el agua circulante a partir de cierta altura, o bien una compuerta cuya ley de apertura pueda ser fijada a voluntad del encargado de la explotación. Para completar las posibilidades de este tipo de singularidad, se ha previsto que se pueda incorporar o extraer un caudal con hidrograma de entrada variable.

- **Singularidad tipo 2.** Se trata, como se ha anticipado anteriormente, de la existencia de sifones invertidos para unir tramos de canal separados por algún obstáculo físico. A partir de una cámara de carga en cabecera del sifón invertido, discurren una o más tuberías, de iguales características físico geométricas, hasta la cámara de salida donde se restituyen las condiciones de flujo en lámina libre. Queda totalmente definida proporcionando las superficies de las cámaras de entrada y salida, número diámetro, longitud y rugosidad de las tuberías, así como diferencia de cotas entre las cámaras de entrada y salida.
- **Singularidad tipo 3.** Es el caso de una compuerta de control situada en una sección intermedia del canal. La ley de apertura puede regularse a voluntad en función de las condiciones de explotación. Esta compuerta puede reflejar la existencia de una compuerta de seccionamiento del canal, o encargada de mantener un nivel mínimo de agua en el vaso superior con objeto de mantener una servidumbre de riego.
- **Singularidad tipo 4.** Este tipo de estructuras corresponden a azudes transversales típicos o bien en forma de *pico de pato*, dispuestos para controlar los niveles aguas arriba de los mismos.
- **Singularidad tipo 5.** Esta singularidad representa las balsas de almacenamiento, dispuestas para almacenar los volúmenes de agua que no han sido utilizados por el riego en horas de bajo consumo, y que sirven para responder de forma más rápida a la demanda de riego.

2.2.4. Interfaz gráfico

El modelo SURCO está dotado de una interfaz gráfica que permite la visualización de los resultados en forma sencilla y modular. El módulo gráfico AUGÉ está construido en forma modular, de forma que mediante un menú es posible acceder a las diferentes zonas del código. Así, se puede visualizar la lámina de agua en el canal en instantes sucesivos, de forma que se pueden identificar puntos conflictivos en el canal en forma casi inmediata. En otra opción el código AUGÉ permite visualizar los limnigramas y los hidrogramas en diferentes tramos y nodos o compararlos entre sí. Todo ello facilita el análisis de los resultados del cálculo.

3. APLICACIÓN AL CANAL TORO-ZAMORA

3.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL CANAL

El canal Toro-Zamora tiene una longitud de 60266 m. La geometría del mismo está actualizada recientemente en un estudio en el que se levantaron topográficamente la solera, los ca-

jeros y las incidencias a lo largo del canal. Parte del canal discurre en lámina libre, parte en túneles y otra parte lo constituyen los sifones invertidos que suman una longitud 2990 m.

Entre las características principales del canal cabe señalar los 52 tipos de secciones y 72 tramos de pendiente uniforme. A lo largo del canal existen 23 aliviaderos laterales de seguridad, 17 sifones invertidos, de los cuales el de mayor envergadura es el sifón de Valeraduey con una longitud de 1043 m y 1,35 m de diámetro; 8 azudes transversales de control de los que 7 son del tipo *pico de pato*; 12 compuertas transversales de seccionamiento de las que 3 de ellas son automáticas de tipo mixto; y por último se distinguen 3 balsas de almacenamiento dispuestas en la mitad inferior del canal.

El canal se discretizó en 72 tramos y 71 singularidades. La modelización numérica se realizó en tramos de longitud mínima de 25 m y se simuló varias hipótesis de funcionamiento que se discuten a continuación. La primera de ellas consistió en analizar el llenado del canal durante 3,3 días; la segunda consistió en determinar la máxima capacidad de transporte del canal y la tercera se analizó la rotura de cajero y el comportamiento de una balsa de almacenamiento.

3.1.1. Llenado del canal

• Condiciones iniciales:

En esta hipótesis se impone como condición inicial un régimen permanente con un caudal muy bajo a lo largo de todo el canal y con alturas de agua también bajas. El mínimo de caudal escogido es $0.6 \text{ m}^3/\text{s}$ y un nivel en el extremo de aguas abajo de 1,20 m, con una extracción de caudal en el punto kilométrico PK49+341 de $1.92 \text{ m}^3/\text{s}$. Así se consigue que desde el inicio del canal hasta dicho punto el caudal circulante sea de $2.52 \text{ m}^3/\text{s}$.

• Explotación:

El régimen a que se somete el canal es un hidrograma a la entrada del mismo cuya evolución temporal es de tipo escalón. Se pasa desde el caudal inicial de $2.52 \text{ m}^3/\text{s}$ hasta $12 \text{ m}^3/\text{s}$ en 15000 segundos. Todos los demás parámetros se mantuvieron constantes durante el cálculo.

• Coeficiente de rugosidad:

El coeficiente se tomó con un valor mínimo aceptable para canales de hormigón recién reparados con un valor de 0,014.

• Tiempo de cálculo:

El tiempo de estudio del fenómeno fue de 3,5 días. En este tiempo el canal se ha llenado casi en su totalidad. En la figura 4 se observan los caudales que circulan en el canal en

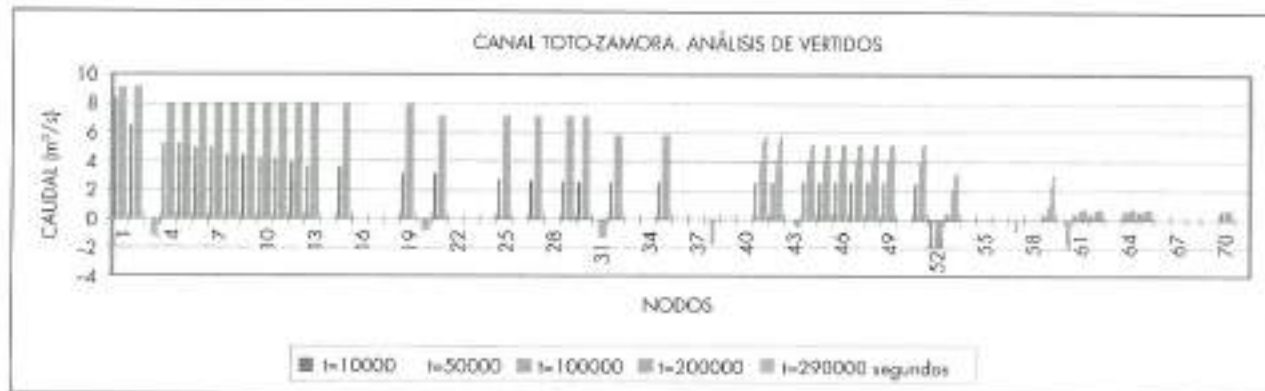


FIGURA 4. Situación de los caudales a lo largo del canal en diferentes instantes de tiempo.

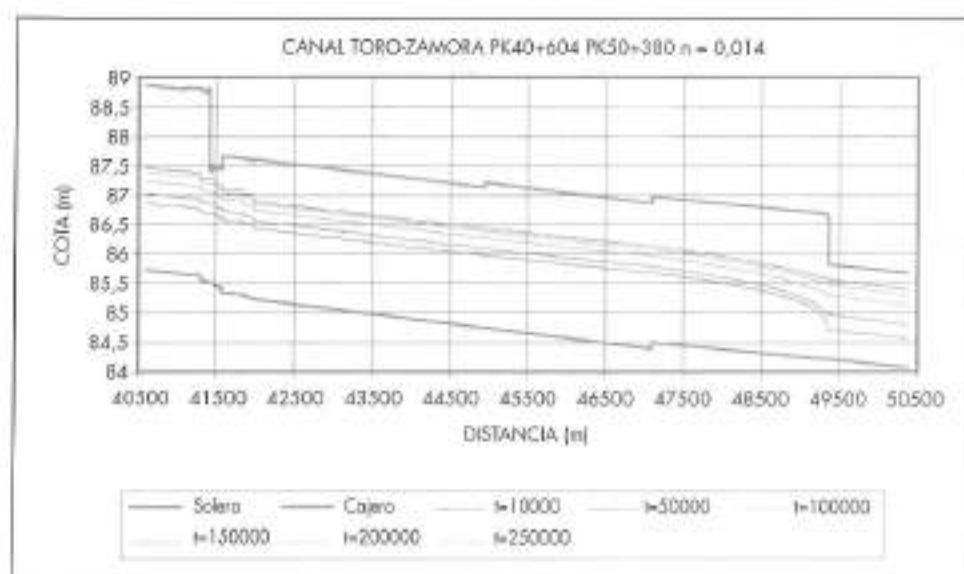


FIGURA 5. Evolución de niveles en un tramo del canal Toro-Zamora.

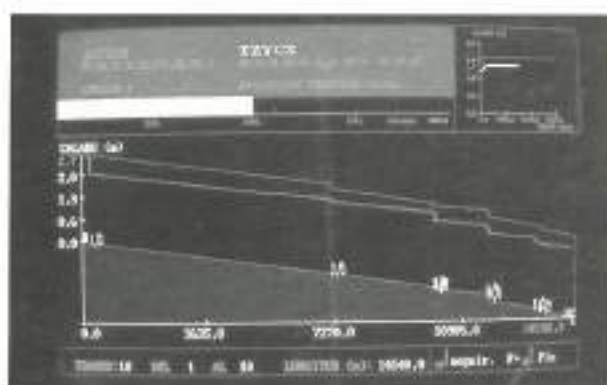


FIGURA 6. Situación de la lámina de agua en el instante 2495 en los 10 primeros tramos del canal Toro-Zamora. Una opción del interfaz gráfico.

los instantes 10000, 50000, 100000, 200000 y 250000 segundos después de iniciada la entrada del hidrograma. Se dedujo que la onda de llenado del canal avanza a una velocidad media de 2,5 m/s. Los resultados se presentan interesantes a la vista de la cantidad de información que un modelo de este tipo genera. En la figura 5 se observa la evolución de la lámina en un tramo de canal y diferentes instantes de tiempo, y en ella se puede apreciar que los niveles de agua sólo cambian sensiblemente entre los instantes 200000 y 250000.

En la figura 6 se aprecia una de las utilidades de la interfaz gráfica. En la misma se puede observar el perfil de agua en los primeros 10 tramos del canal Toro-Zamora. Se observa en color verde el cajero, y en azul la lámina de agua. En la esquina superior derecha se observa el limnigrama de la sección situada en el extremo aguas abajo de los 10 tramos seleccionados. Además, es posible distinguir el tiempo

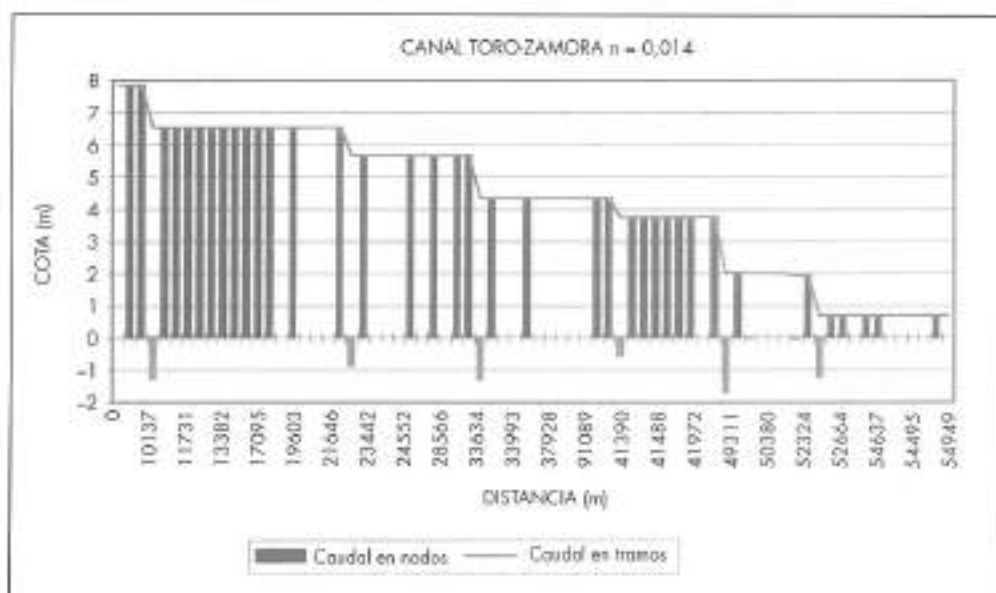


FIGURA 7. Caudales a lo largo del canal. En verde caudales en los tramos, en azul caudales en nodos y en rojo de extracción.

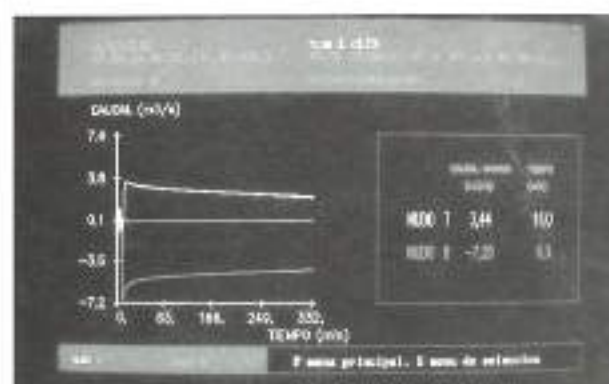


FIGURA 8. Caudal vertido por la brecha de rotura y caudal aportado por la balsa alimentando a la rotura. Opción de la interfaz gráfica.



FIGURA 9. Variación de las alturas de agua en secciones situadas aguas abajo de la zona de rotura en el canal Toro-Zamora. Opción de la interfaz gráfica.

en minutos a que corresponde esta situación del canal, en este caso el minuto 2495. Por otra parte en la escala inferior se muestran las abscisas correspondientes a los 10 tramos que en total suman una longitud de 14540 m. Los desniveles de agua que se aprecian en la figura son debidos a diferentes incidencias que allí se encuentran, como pueden ser, escalones, compuertas o azudes.

3.1.2. Evaluación de la máxima capacidad de transporte

Evaluar la capacidad de transporte de agua de un canal de estas características es en principio complejo. Es usual realizar este estudio en régimen permanente, imponiendo caudales de partida arbitrarios. Normalmente se imponen desde aguas abajo hacia aguas arriba y en un proceso de prueba y error se consigue dar una solución al problema, solución que no es única, dada la gran cantidad de vertidos que pueden ocurrir a lo largo del mismo. Por ello se propuso la realización de un evento en régimen no permanente, y así evaluar la capacidad máxima de transporte del canal. Se impusieron dos condiciones al problema: que el aliviadero extremo aguas arriba del canal no vertiese y que el nivel de aguas abajo en la entrega se mantuviese constante. El evento propuesto consistió en pasar un hidrograma de tipo escalón, como el realizado en el de llenado del canal y dejar al modelo de cálculo trabajar durante un tiempo tal que el flujo en el canal llegase a una situación de régimen permanente.

A partir del resultado obtenido se analizan los diferentes vertidos que puedan ocurrir en los aliviaderos laterales de seguridad. A partir de los valores de caudales de vertido, se tantearon una serie de caudales a extraer en las secciones donde existen aliviaderos laterales al objeto de que no se produjera vertido en ninguno de ellos y en particular, en el vertedor de seguridad situado en el inicio del canal. De este modo se obtiene la máxima capacidad del canal, contemplando extracciones de caudal en las mencionadas secciones con aliviadero. Ello permite conocer el caudal a extraer en el tramo situado inmediatamente aguas arriba de dicha sección de manera que el canal funcione con su máxima capacidad sin vertidos laterales en los aliviaderos.

El resultado de esta metodología se aprecia en la figura 7. En ella en línea verde aparecen los caudales que pasan por los tramos de canal, en barras azules se presentan los caudales que pasan por los nodos (sifones, compuertas y azudes) y en rojo se presentan los caudales extraídos en las secciones donde existen aliviaderos laterales.

3.1.3. Rotura de cajero y comportamiento de las balsas de almacenamiento

Se impone una rotura de cajero en medio del canal, para determinar en primer lugar la capacidad del modelo ante eventos bruscos y verificar el comportamiento de las balsas de almacenamiento ante demandas súbitas.

- Condiciones iniciales: El canal está transportando agua en régimen permanente con su máxima capacidad de transporte. El caudal a la entrada del mismo es de 7,90 m³/s.
- El evento que se simula es la rotura de cajero en forma súbita. La brecha de rotura tiene sólo 3 m de longitud y se abre en 200 segundos, lapso de tiempo suficientemente rápido para producir un efecto brusco en la lámina de agua y en el caudal circulante de los tramos adyacentes. Esta brecha se sitúa aguas abajo de la primera de las balsas de almacenamiento presentes en el canal.
- Tiempo del evento: El evento se estudia durante 20000 segundos, tiempo suficiente para que el flujo de agua en la zona adyacente a la brecha se estabilizara.

Se presenta en la figura 8 el caudal que se vierte por la brecha (nudo 8), se observa que llegan a salir 7.2 m³/s en el inicio del evento. Para luego estabilizarse en 4 m³/s. El caudal que aporta la balsa al canal debido a la rotura del cajero se muestra en la figura 8 (nudo 7). En ella se observa un gran pico de caudal en los instantes iniciales en que ocurre el evento de 3.4 m³/s para luego ir disminuyendo paulatinamente. A los 20000 segundos ya sólo está aportando 2.2 m³/s. En la figura 9 se puede apreciar la caída que sufren los niveles de agua en los tramos situados aguas abajo de la zona de rotura.

5. CONCLUSIONES

El convenio realizado entre el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) y la Escuela de Caminos de Barcelona (Sección de Ingeniería Hidráulica e Hidrológica), tiene como objeto realizar el estudio del régimen variable del canal Toro-Zamora en toda su longitud mediante el uso del modelo SURCO. El canal aproximadamente 60 km, se discretizó en 72 tramos con 71 singularidades interiores divididas en: 31 cambios de sección y/o alivio lateral, 17 sifones invertidos, 8 azudes transversales, 12 compuertas manuales y 3 balsas de almacenamiento.

Con esta discretización se utilizó SURCO para evaluar la capacidad máxima del canal y dos eventos en régimen variable: el fenómeno de llenado del canal y el fenómeno de rotura de un cajero con la respuesta de una de las balsas de almacenamiento ante solicitaciones bruscas. Ante el trabajo realizado se observa que:

- El modelo SURCO realizado para la evaluación y estudio de fenómenos variables en canales de riego se ha comportado bien, dando resultados excelentes incluso ante eventos bruscos como lo es la rotura de un cajero.
- El modelo SURCO tiene incorporadas 5 singularidades hidráulicas que se encuentran fácilmente en cualquier canal de este tipo. Entre ellas encontramos, cambios de sección y pendiente, extracciones y/o incorporaciones de caudal, escalones, aliviaderos laterales, compuertas laterales, compuertas de control, azudes de control, sifones invertidos y balsas de almacenamiento. Estas características del modelo lo hacen útil para el estudio de la gran mayoría de canales de regadío.
- El modelo tiene una interfaz gráfica que permite visualizar los resultados en forma rápida y sencilla. Además incorpora un postproceso de datos que lo hacen ideal para conocer las características más importantes de un evento determinado (salida ASCII).

Se han introducido los datos geométricos del canal Toro-Zamora. La longitud del mismo es de 60 km aproximadamente y tiene un número elevada de incidencias compuestas por azudes, compuertas, balsas y sifones invertidos.

BIBLIOGRAFÍA

BATEMAN, A. 1993. "Formación y propagación de frentes de onda en canales. Un estudio numérico y experimental". Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña.

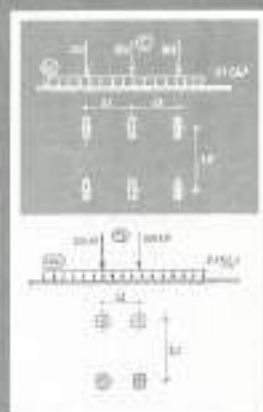
ABBOT, M. B.; 1979. "Computational Hydraulics". Elements of the Theory of Free Surface Flow. Pitman Press.

LAI, C.; 1988. "Comprehensive Method of Characteristics". Models for Flow Simulation. Journal of Hydraulic Engineering. Vol 114. Nº 9 pp 1074-1097.

DOLZ, J.; GÓMEZ, M.; BATEMAN, A.; PRADO, J. 1994. "Utilización de modelos numéricos en la explotación de canales de regadío". Symposium Nacional Presente y Futuro de los Regadíos en España. Madrid.

RICHTMYER, R. D., MORTON, K. W.; 1967. "Difference Methods for Initial Value Problems". 2da. Edición John Wiley & Sons. New York.

PROYECTO DE PUENTES DE HORMIGÓN: Normativa Española y Eurocódigo 2 TOMO I



TOMO I

220 páginas.
PVP 2.000 ptas.

- Planteamiento y ámbito del estudio.
- Descripción de los tableros.
- Determinación de esfuerzos: Modelos de Cálculo, Acciones, Esfuerzos y Combinaciones.
- Comprobaciones y armaduras.
- Estados límite de servicio: Fisuración y Descompresión.
- Estados límite últimos: Flexocompresión, Cortante, Torsión, Rasante y Fatiga.
- Croquis de armado. Comparación de cuantías.
- Conclusiones.

TOMO II

240 páginas.
PVP 2.000 ptas.

- Anejos A a F. Resultados para los seis tableros.
- Anejo G. Acciones de tráfico sobre tableros de puentes de carretera, según Eurocódigos.
- Anejo H. Combinación de acciones, según Eurocódigos.
- Anejo I. Borrador del Eurocódigo de Puentes de Hormigón (Traducción al castellano).

**SISTEMA AUTOMÁTICO DE INFORMACIÓN HIDROLÓGICA
(SAIH) CUENCA HIDROGRÁFICA DEL TAJO**



- SISTEMAS DE GESTIÓN INTEGRAL DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS (HIDROLOGÍA - CALIDAD).
- MODERNIZACIÓN DE REGADÍOS.
- SISTEMAS DE AUTOMATIZACIÓN DE CANALES.
- INGENIERÍA, SOFTWARE, EJECUCIÓN DE LA OBRA, MANTENIMIENTO, ASISTENCIA A LA EXPLOTACIÓN.
- PROYECTOS DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN A TODOS LOS NIVELES, DESDE ESTUDIOS DE VIABILIDAD HASTA LA PUESTA EN SERVICIO.



SEI

SISTEMAS E INSTRUMENTACIÓN, S.A.

Zona Franca, Sector B - Calle C, nº 15

Tel.: (93) 336 28 00 • Telefax: (93) 335 37 71

08040 BARCELONA

Planteando Soluciones Innovadoras

Muros de Contención
Estribos
Pasos Inferiores y Superiores
Sotanos - Parking

Depósitos y Depuradoras
de hormigón armado o postensados
Pantallas Acústicas
Muro Vegetal

Pretilos
Impostas
Barreras de Seguridad
Hastiales para Túneles

para sus
**Problemas
Cotidianos**

MUREBAL IBERICA

Polígono de Ibarrea, s/n.
31800 ALSASUA - NAVARRA
Tfno.: 948 - 46 80 00
Fax: 948 - 46 84 43

LA UNIÓN HACE LA

FUERZA

 EL COMPROMISO
U.E.E.

AHORRO

en costes y tiempo

CERCANÍA

a cada obra, en toda España

EJECUCIÓN

sencilla, capaz, limpia

EXPERIENCIA

más de cien años

FACILIDAD

nuestros técnicos se ocupan de todo

INGENIO

la eficacia dirigida

TÉCNICA

método, especialistas, un proyecto

PROBLEMA

resuelto

SATISFACCIÓN

por las cosas bien hechas

SOLUCIÓN

la mejor garantía



UNIÓN
UEE ESPAÑOLA DE EXPLOSIVOS, S.A.