

PREVISIÓN DE CRECIDAS EN EL RÍO SEGURA

*Angel Luis Aldana Valverde*¹

*Juan Alberto García Serrano*²

¹ *Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX*

² *Fundación Agustín de Betancourt*

RESUMEN: Se describen aquí los trabajos realizados para desarrollar y calibrar unos modelos de previsión de crecidas, en tiempo real y en conexión con el SAIH, en el río Segura. Se intenta poner de manifiesto la importancia de los estudios básicos para diseñar la aplicación y caracterizar sus modelos, y se muestran las posibilidades más relevantes de la aplicación PROC-Segura para la propagación de crecidas en el río Segura.

1 Introducción

El objetivo fundamental de los trabajos que se resumen en esta ponencia fue instalar modelos de previsión de crecidas en tiempo real en conexión con el SAIH en el río Segura, modelos que serían desarrollados específicamente para tal fin. Pero no hay que olvidar otros beneficios de este tipo de trabajo, aparezcan o no como objetivos explícitos:

- mejorar el conocimiento de la zona de aplicación y
- dotar de soluciones de primera aproximación independientes de programas informáticos (gráficos)

2 Zona de estudio y aplicación, y medios utilizados

La zona de estudio y aplicación ha sido el río Segura encauzado en su parte final, es decir, desde Contraparada hasta Guardamar, incluyendo también los principales afluentes al río Segura en este tramo:

- Río Guadalentín: desde la estación de aforos de El Palmar hasta la confluencia con el río Segura.
- Azarbe de Merancho: desde la estación de aforos de cola de Merancho hasta su confluencia.
- Azarbe de Hurchillo: desde la estación de aforos de cabecera de Hurchillo hasta su confluencia.
- Rambla del Derramador (desagüe del embalse de la Pedrera): desde la situación de la estación SAIH hasta su confluencia

Los medios utilizados han sido:

- Modelos:
 - Modelos numéricos en régimen permanente (Hec-Ras)
 - Modelos físicos (construidos en el Laboratorio de Hidráulica del Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX)
 - Modelos numéricos de régimen variable (ISIS y HMS)
- Entorno de desarrollo EDIMACHI
- Datos de episodios pasados
- Cartografía de los respectivos proyectos de obras de encauzamiento complementada con trabajos topográficos específicos.

3 Análisis realizados con modelos en régimen permanente

Los modelos hidráulicos de flujo en régimen permanente, son muy estables y se cuenta con aplicaciones que facilitan la realización de análisis diversos. Por su hipótesis fundamental de partida, la interpretación de sus resultados es más fácil que la que necesitarían los modelos de régimen variable, por lo que su uso es muy aconsejable. Además, ofrecen orientaciones al modelador en lo relativo

a la caracterización de un modelo de régimen variable, pudiendo además ofrecer estimaciones de parámetros.

3.1 Influencia de la rugosidad

Al ser la rugosidad variable en tiempo y circunstancias, y por la importancia que tiene en todo lo relacionado con la propagación de crecidas, resultan obligados los análisis de sensibilidad a la variación de este parámetro y la estimación de la variabilidad de otros parámetros en función del mismo.

3.2 Resguardos

Para una aplicación de previsión de crecidas, es fundamental identificar los puntos y circunstancias en las que pueden producirse desbordamientos.

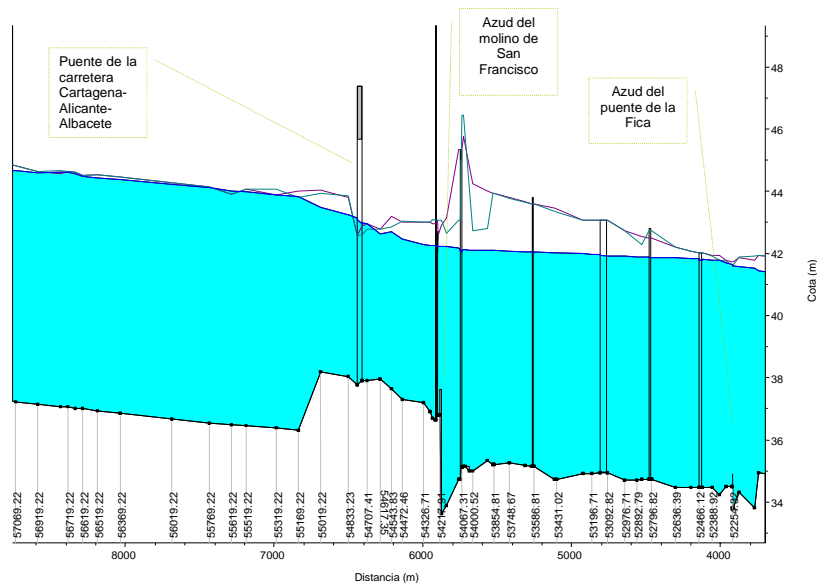


Ilustración 1: Ejemplo de lámina de agua calculada para determinar zonas y circunstancias en las que puedan producirse desbordamientos

3.3 Parámetros de propagación

Los análisis en régimen permanente pueden proporcionar estimaciones iniciales de algunos parámetros de propagación: relaciones caudal-almacenamiento, celeridades de onda cinemática, ...

3.4 Desembocadura en el mar

En un caso como éste había que evaluar la influencia de la condición de contorno aguas abajo, que en este caso es la desembocadura en el mar.

3.5 Efectos de remanso sobre los afluentes

Las curvas de remanso que puedan ascender por los afluentes, condicionadas por cuanto ocurra en el río principal, han de ser evaluadas, tanto para encontrar situaciones en las que se puedan producir desbordamientos, como para evaluar la influencia de este efecto en las medidas en las estaciones de aforo de los afluentes.

3.6 Curvas nivel-caudal de doble entrada

En los casos en los que se estimen influencia del nivel de la lámina en el río Segura sobre las relaciones nivel-caudal en los afluentes, puede resultar conveniente la utilización de curvas de doble entrada, las cuales pueden obtenerse con modelos en régimen permanente.

3.7 Simplificaciones en zonas singulares

Hay ocasiones en las que hay que evaluar si pueden aceptarse determinadas simplificaciones en los modelos de simulación, siempre deseables para los modelos de previsión para ser usados en tiempo real, pues ello contribuye a lograr una mayor robustez. Tal puede ser el caso de estructuras singulares, con obstrucciones o ensanchamientos dignos de consideración, o la existencia de algún bypass, como es el caso del existente en Beniel. El análisis del efecto de la simplificación, así como la caracterización para los modelos de previsión, pueden ser realizados sobre la base de cálculos con condiciones de régimen permanente.

3.8 Ensayos en modelos reducidos

Cuando se detecten fenómenos difícilmente simulables numéricamente y para los que se requiere un buen conocimiento de su funcionamiento, puede ser

recomendable un estudio basado en ensayos en modelo reducido. Con este tipo de estudio puede llegarse a una representación de una estructura hidráulica con otra equivalente de flujo unidimensional, que reproduzca los efectos sobre el resto del sistema hidráulico.



Ilustración 2: Ejemplo de uno de los modelos reducidos empleados (río Segura a su paso por la ciudad de Orihuela)

4 Análisis en régimen variable

Puesto que los modelos que vayan a emplearse en tiempo real, serán de flujo en régimen variable, es necesario realizar cálculos con diferentes métodos y caracterizaciones para así lograr criterios que contribuyan a definir una buena solución, a la vez que se continúa con el avance del conocimiento de la zona.

4.1 Fenómenos de histéresis

Los fenómenos de histéresis pueden suponer una fuente de incertidumbre en la estimación de caudales, por lo que hay que evaluar la importancia de estos efectos en cada zona del río, identificando también las circunstancias en las que son mayores. Para esto son necesario modelos que resuelvan las ecuaciones de onda dinámica en hidráulica.

4.2 Inversión de flujos

En zonas como la que aquí se trata, existe la posibilidad de que se presenten inversiones de flujo en los afluentes. Se buscará estimar, especialmente, si esto puede o no afectar a las estaciones de medida. Estos fenómenos también pueden analizarse con modelos de onda dinámica.

4.3 Efectos paradójicos en la laminación

Generalmente, se supone una laminación en cauce tal que, al descender por el río un hidrograma, los valores punta de caudal se van reduciendo. Con modelos de onda dinámica pueden detectarse casos en los que se den circunstancias en los que ocurra lo contrario, lo cual es, evidentemente, de gran importancia.

5 Análisis de avenidas históricas

Todos los análisis expuestos anteriormente, han de ser contrastados con la realidad, preferiblemente antes del uso operativo de los modelos, para lo cual es muy importante el análisis de avenidas históricas.



Ilustración 3: Fotografía de una avenida histórica en Orihuela

6 Aplicación PROC Segura.- Propagación de crecidas en el río Segura

La aplicación PROC Segura ha sido concebida para la previsión de propagación de crecidas en el río Segura en tiempo real en conexión con el SAIH, lo que ha implicado una metodología específica para su problemática de estimación de caudales y de propagación de crecidas, y un diseño que facilite al usuario las labores de análisis y previsión que ha de realizar en tiempos cortos.

Los modelos de simulación y previsión facilitan al personal del organismo de cuenca la labor de obtener el máximo beneficio de los datos que proceden del SAIH Segura. Este tipo de herramientas puede llegar a ser necesaria, en incluso imprescindible, para entender el comportamiento de zonas como la de aplicación de estos trabajos, dada la complejidad de los fenómenos de propagación que aquí se producen. Aunque la reproducción más fiel de estos fenómenos se puede lograr con complejos modelos hidráulicos, se han buscado las soluciones más simples para resolver este problema, las cuales se han traducido al código con el que opera este programa informático.

6.1 Bases metodológicas

La utilización de un método simplificado en un caso como el del río Segura, puede dar resultados con gran error dado que en un tramo como éste se producen un gran número de efectos similares a los mostrados anteriormente. Sin embargo, si se aprovechan los datos de las estaciones intermedias y se realizan reajustes basadas en las observaciones en el punto que se trata de analizar, puede llegarse a simulaciones aceptables que conduzcan a buenas previsiones, como las realizadas por la aplicación PROC Segura que se basan en:

- Aprovechar los hidrogramas más cercanos en la fase de simulación de tiempo pasado, para evitar la acumulación de efectos no modelables por las simplificaciones del método empleado.
- Aprovechar los hidrogramas más lejanos en la fase de estimación de previsión, para reducir la influencia de la hipótesis de evolución futura.
- Utilizar curvas de doble entrada para estimar caudales en puntos afectados por remansos.

Los modelos de simulación y previsión, que se incluyen en esta aplicación, se basan en las siguientes metodologías:

- Puls modificado o método de la piscina nivelada
- Muskingum (parámetros constantes)
- Muskingum-Cunge (parámetros variables con el caudal)

Cada uno de estos métodos ha dado lugar a un modelo según la parametrización empleada:

- QV.- La parametrización del método de piscina nivelada se realiza por tablas caudal-volumen almacenado, las cuales se han obtenido en los cálculos de los análisis básicos previos al desarrollo de la aplicación. Ofrece una línea de razonamientos en volúmenes.
- KX.- Al tener el método de Muskingum como parámetro más importante, para los cálculos, al desfase, se ofrece una posibilidad de razonamientos basados en desfases de hidrogramas. El usuario puede modificar, por tramos, dicho tiempo, la atenuación (parámetro relacionado con la capacidad de laminación) y el número de subtramos (necesario por razones metodológicas).
- KXVAR.- El método de Muskingum-Cunge, implementado en un modelo que parte de la definición de tramos por subtramos, cada uno de los cuales tiene una sección, rugosidad y pendiente representativa, ofrece una buena representatividad de los fenómenos de propagación en la zona. El

parámetro de calibración en este caso es la rugosidad, con lo que se cuenta así con una tercera vía de razonamiento.

6.2 *Uso general de la aplicación*

En principio, cabe plantearse un esquema de operación en tiempo real en el que se diferencian las siguientes fases:

- Consulta de datos SAIH
- Análisis básicos de los datos SAIH
- Análisis de la propagación de las crecidas
- Previsión

En la primera fase el usuario consultará los datos procedentes del SAIH específicos para esta aplicación (niveles en estaciones de aforo y opcionalmente caudales), u otros que le permitan tener una idea más global del evento de crecidas, no teniéndose que limitar la visión de cuanto ocurra a la zona que se analice con esta aplicación. Pueden realizarse algunos análisis básicos de transformación de niveles a caudales, en algunos casos con métodos alternativos, y diferentes análisis de propagación de la crecida. En este último paso, el usuario puede llegar a comprender lo que está sucediendo, e incluso, mejorar en algunos casos el funcionamiento de los modelos, pudiendo elegir el modelo o alternativa de cálculo básico que estime más acertado. Finalmente, el usuario puede hacer previsión de caudales según unas hipótesis de entradas futuras, que la aplicación ayuda a establecer.

La aplicación no obliga a que el usuario siga este esquema del proceso de operación, sino que le ofrece libertad de movimiento por una y otra fase, por una y otra de las partes a analizar, pudiendo incluso realizar procesos en paralelo. Todo esto se consigue gracias a la arquitectura interna de la aplicación y al diseño de menús y ventanas, que han buscado ofrecer un entorno de uso de modelos amigable y con las máximas posibilidades de interactividad.

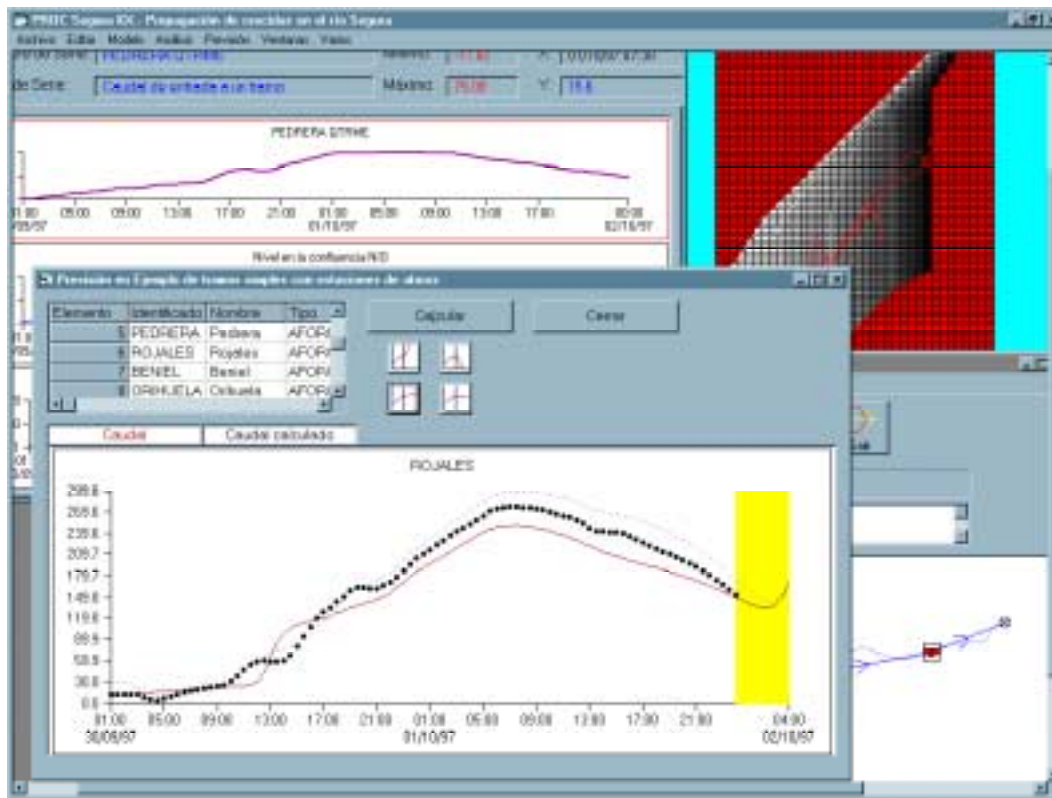


Ilustración 4: Aspecto general de la aplicación PROC.

6.2.1 Algunas de las posibilidades de análisis y ajustes

6.2.1.1 Consulta de datos temporales

La aplicación ofrece varios modos de acceder a la información de variables asociadas a las estaciones de aforo.

6.2.1.2 Relleno de series

Ante la posibilidad de que las series temporales de datos cuenten con huecos de información, se ha dotado a esta aplicación de la posibilidad de rellenar huecos. Esto puede ser realizado automáticamente (opción por defecto) o por orden del usuario.

6.2.1.3 Filtrado de series

Las series temporales de medidas pueden contar con oscilaciones que sean preferible suavizar, pues pueden estar asociados a ondulaciones de la lámina o a otros problemas de medición, por lo que puede aplicarse un filtro general a

todas las series (operación por defecto), o concretar el modo de suavizar una serie determinada (Ilustración 5).

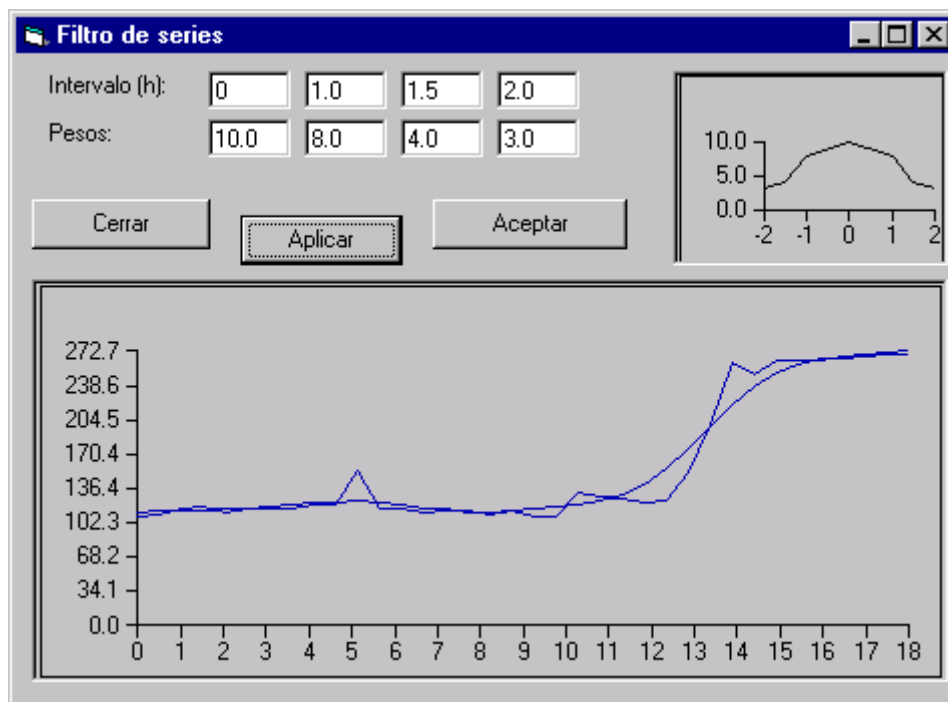


Ilustración 5: Ventana de filtro de una de las series asociada a un elemento concreto

6.2.1.4 Acumulación de series de caudal

Los datos de caudal para cada estación de aforos, independientemente del modo en que han sido obtenidos, se acumulan en el tiempo, lo que facilitará razonamientos y contrastes en volúmenes.

6.2.1.5 Posibilidades de obtención de caudales en estaciones de aforo

Los caudales de entrada a la aplicación, pueden ser obtenidos de diferentes modos:

- Por lectura de datos de caudal
- Por transformación de niveles a través de las curvas de gasto
- Por curva de remanso (curva de doble entrada en niveles)

6.2.1.6 Posibilidades de utilización y modificación de curvas de gasto

Ver ponencia "Métodos de estimación de relaciones nivel caudal. Aplicación en los sistemas en tiempo real".

6.2.1.7 Ajustes de modelos

Los parámetros de los modelos pueden ajustarse de forma interactiva, analizando tramos independientes o analizando las confluencias. Dada la topología de la zona de aplicación, éste último es el modo de realizar los ajustes para todas las estaciones, para poder contar con un valor observado para contrastar los resultados de cálculo.

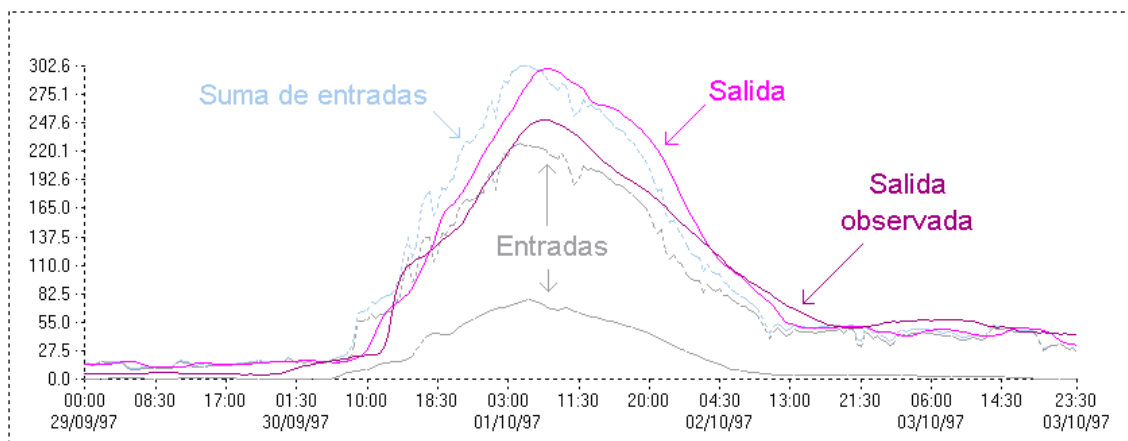


Ilustración 6: Gráfico de propagación en una confluencia

Según el modelo que se esté empleando, la ventana para analizar las confluencias aparecerá de un modo u otro.

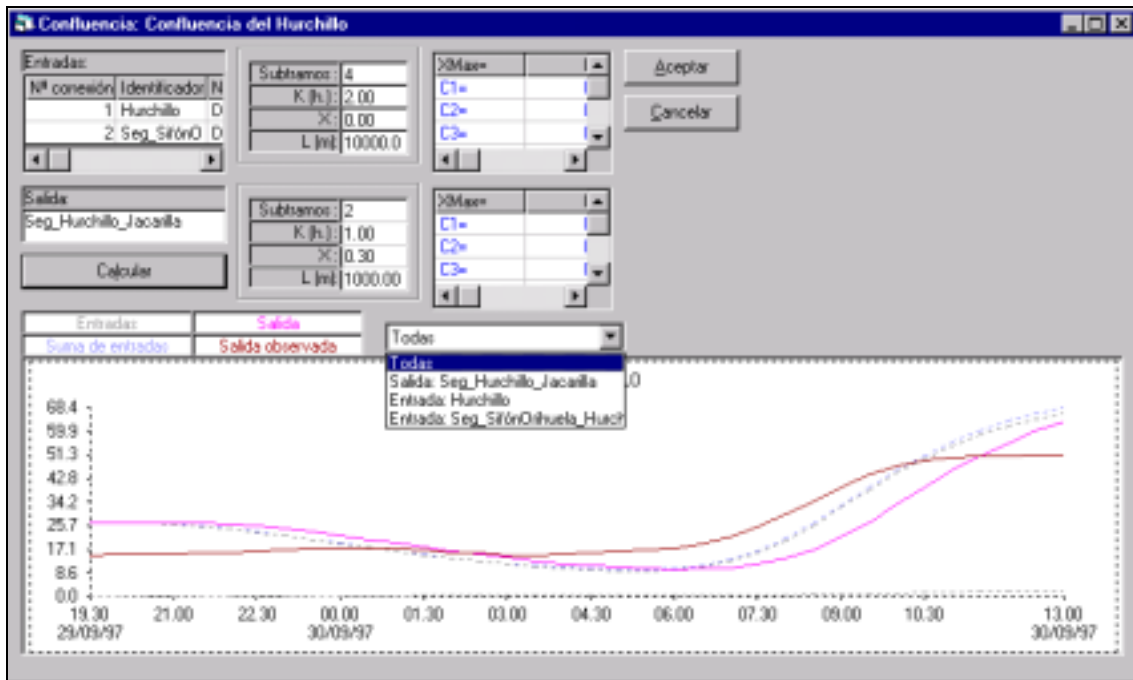


Ilustración 7: Ventana de análisis de confluencias con modelo KX

6.2.2 Definición de escenarios y cálculo de previsiones

Las previsiones se extienden hasta un horizonte que el usuario puede definir, aunque por defecto se ha fijado en cuatro horas.

La aplicación realiza un test de previsión cuyos resultados muestra gráficamente (Ilustración 8), el cual consiste en realizar cálculos de previsión en tiempos pasados suponiendo conocidas las entradas. De este modo, el usuario puede valorar la incertidumbre de las previsiones imputables al error de simulación.

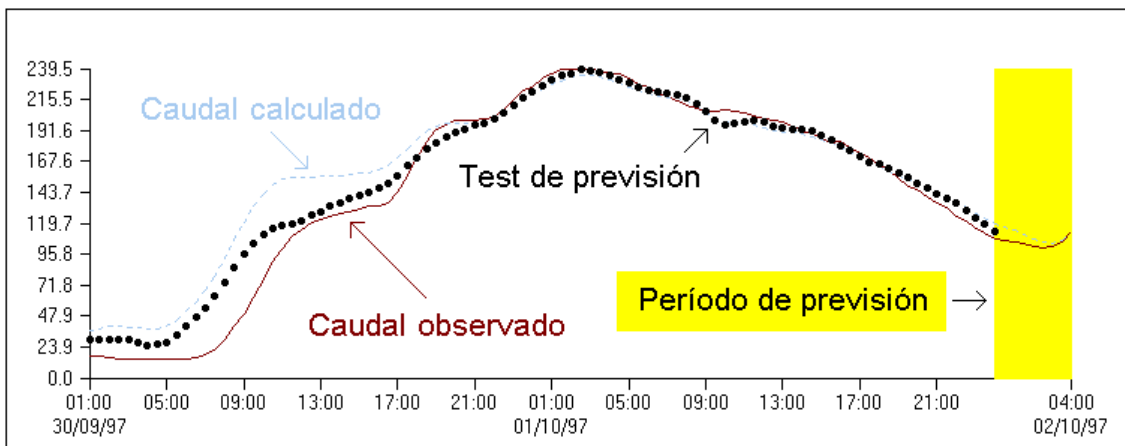


Ilustración 8: Gráfico de previsión en una estación de aforos

En una ventana (Ilustración 9) de sencillo uso, el usuario puede examinar las previsiones en cada uno de los elementos del esquema topológico con sus series correspondientes. En esta ventana también pueden fijarse las entradas futuras de caudal al sistema, las cuales son identificadas automáticamente por el programa por análisis de la topología. El relleno de cada una de las series de entrada en tiempo futuro es siempre lineal según una tendencia, la cual puede establecerse de diferentes modos, que pueden agruparse en dos:

- Establecimiento de tendencias independientes
- Establecimiento de tendencias por escenarios predefinidos

Mediante el primer sistema el usuario puede ir seleccionando cada una de las entradas en la tabla que lista todos los elementos (en la que se indica si es una entrada), y fijar la tendencia por la variación horaria en el cuadro de texto que aparece en el lado derecho de la ventana.

La segunda opción ha sido concebida para ayudar al usuario en análisis rápidos, ya que puede fijar las entradas al sistema según cuatro escenarios tipo:

- Creciente: según una variación por unidad de tiempo expresada como porcentaje del valor máximo registrado en el pasado.
- Decreciente: expresada del mismo modo.
- Según tendencia: el programa calcula la tendencia en un periodo anterior, a especificar en función de un determinado número de intervalos, y extrapola según esa pendiente.
- Entradas estables: los caudales de entrada se mantienen constantes e igual al último valor observado

Estos escenarios se establecen con el botón correspondiente, que al activarse uno de ellos se actualizan todos los cálculos del sistema completo.

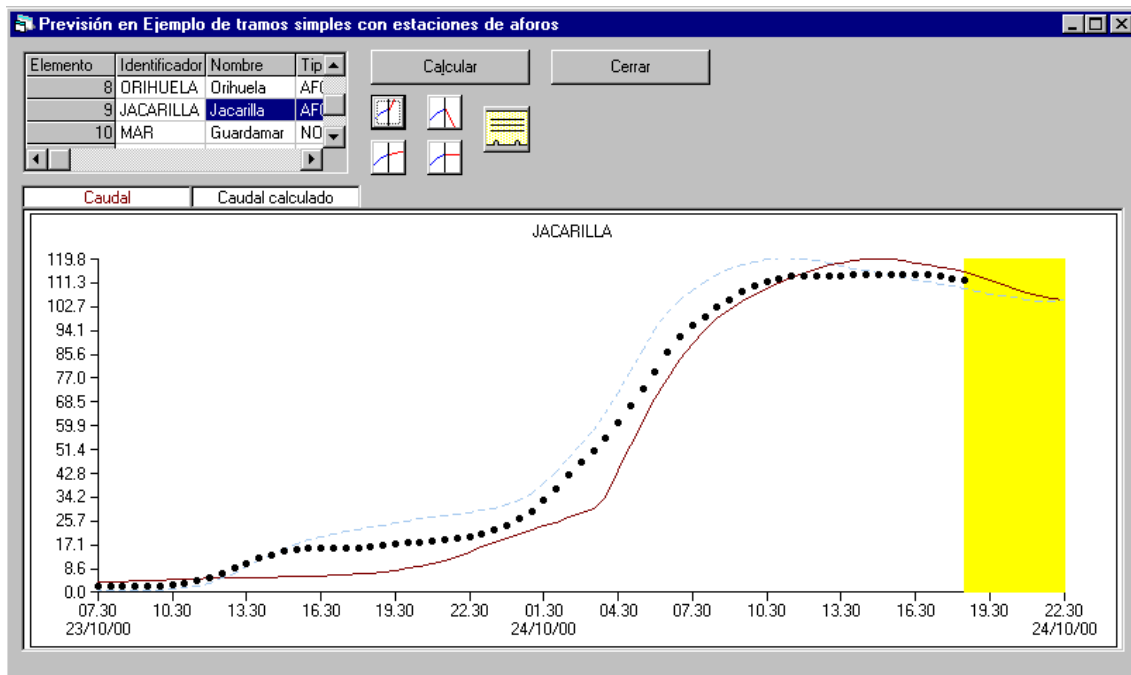


Ilustración 9: Ventana de cálculo de previsiones.

6.2.3 Informe alfanumérico

Desde la misma ventana de previsiones, el usuario puede ordenar la elaboración de un informe sobre los cálculos realizados. En este informe se encuentra información que no presenta la aplicación de forma gráfica, como pueden ser resultados en niveles o medidas de error de las simulaciones o de los test de previsión, tanto en caudales como en niveles.

Se estructura en dos bloques principales, separando las estaciones que son entradas topológicas al sistema hidrológico del resto:

- Entradas. Se informa de los datos en las entradas (topológicas) al sistema hidrológico utilizados para el cálculo en tiempo pasado, así como las hipótesis de previsión de tiempo futuro.
- Puntos de análisis. Se ofrecen datos en tiempo pasado en el resto de las estaciones de aforo, y los cálculos de previsión.

La aplicación dará la orden de que el archivo sea abierto por la aplicación "NOTEPAD.EXE".

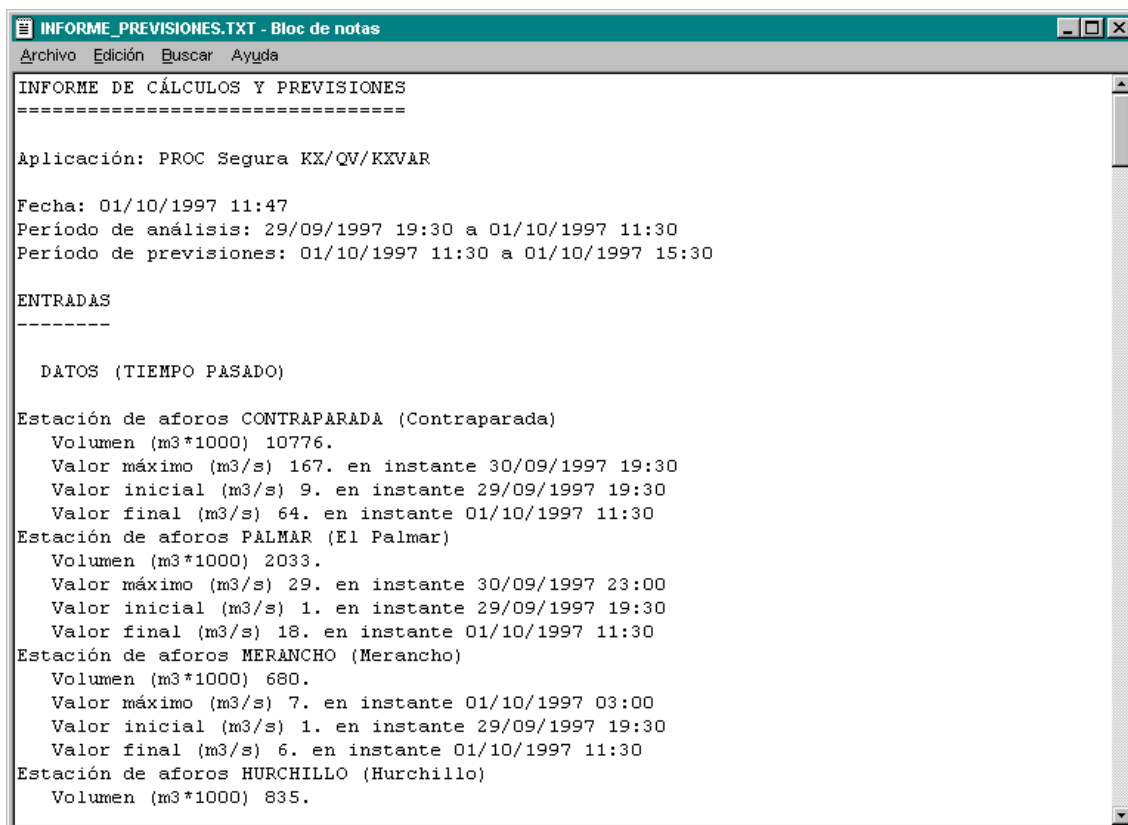


Ilustración 10: Ventana de “Informe de previsiones” abierto con la aplicación NOTEPAD.EXE del sistema operativo

7 Tablas y gráficos de ayuda

Se considera importante que, en tiempo real, se disponga de algún tipo de soporte de ayuda en situaciones de crecida independiente de los modelos, e incluso del ordenador, y que incluso sirvan para la interpretación de modelos. Tales bases se han concretado en un conjunto de tablas y gráficos, con magnitudes que sirvan para encontrar respuestas a preguntas de diversa naturaleza ante problemas relacionados con las crecidas:

- Curvas de capacidad
- Tiempos de viaje
- Desfases de propagación de ondas de gravedad
- Desfases en la propagación de ondas cinemáticas

Con estos tiempos, por ejemplo, se puede encontrar respuesta a cuestiones tales como:

- Tiempo en que tarda en desplazarse un flotante de un punto a otro (utilizando para ello el concepto de velocidad media en la sección multiplicada por un coeficiente que tenga en cuenta la distribución de velocidades)
- Tiempo que tarda en desplazarse el efecto de una perturbación hacia aguas arriba, para lo cual se utilizaría el concepto de celeridad de onda de gravedad.
- Tiempo estimado de propagación de un hidrograma, para lo que se utilizaría el concepto de celeridad de onda cinemática.

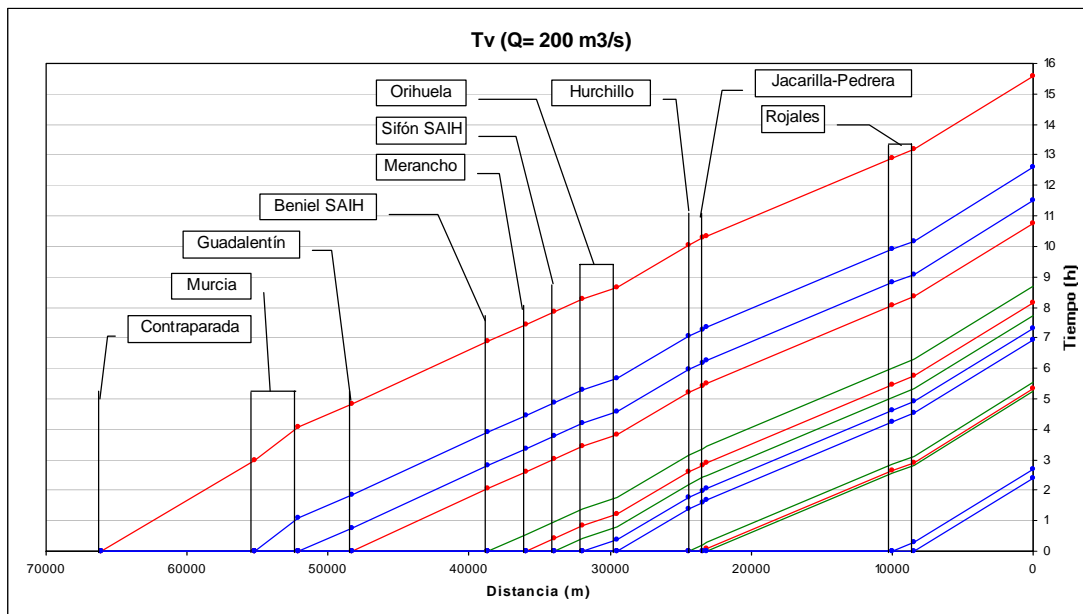


Ilustración 11: Tiempo medio de viaje (T_v). ($Q=200 \text{ m}^3/\text{s}$ en el Segura)

8 Conclusiones

Los trabajos de construcción y caracterización de modelos de propagación, para la previsión de crecidas en tiempo real, deben ir acompañados de estudios y análisis que contribuyan a alcanzar una solución aceptable para el problema correctamente planteado. Los modelos serán una gran ayuda, pero

no menos importante que la mejora del conocimiento de la zona y los fenómenos que se tratan que se deriva de su proceso de implantación.

Agradecimientos

Estos trabajos se han realizado en el marco del convenio de colaboración titulado “Realización y puesta a punto de modelos matemáticos de propagación de avenidas, para ser usados en tiempo real en conexión con el Sistema Automático de Información Hidrológica en el río Segura, desde su confluencia con el río Mundo hasta su desembocadura en el mar”, suscrito entre la Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de las Aguas de la Secretaría de Estado de Aguas y Costas del Ministerio de Medio Ambiente y el CEDEX.

Los desarrollos informáticos, con las extensiones oportunas, han partido del entorno de desarrollo y aplicación de modelos EDIMACHI, el cual es un resultado del proyecto “Construcción de un entorno integrado de aplicación de modelos en tiempo real para previsión de avenidas y gestión de embalses en el S.A.I.H.” (Ref: HID98-1120-C02-01 / 02), financiado a través de la CICYT dentro del Programa Nacional de Recursos Hídricos del III Plan Nacional de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico (período 1996-1999)