



# La simulación hidráulica como herramienta de apoyo a la toma de decisiones en Global Omnium

La moderna gestión de los sistemas de abastecimiento de agua requiere el uso de modelos matemáticos como herramienta de soporte para la toma de decisiones, tanto en el ámbito de la planificación como en la operación diaria de la red. Los modelos son, además, claves para garantizar una gestión eficiente de los recursos hídricos y energéticos disponibles, así como una reacción rápida y segura frente a una situación de emergencia. Con este objetivo Global Omnium tiene implantado desde hace años en su Centro de Control de la red de abastecimiento a Valencia y su área metropolitana un modelo matemático de simulación hidráulica de la red capaz de trabajar en tiempo real. Una aplicación se encarga de almacenar y tratar la información recibida del sistema de telecontrol, unos 20.000 datos horarios por día, y de alimentar con ella el modelo para simular el comportamiento de la red bajo cualquier circunstancia, actuando así como un Sistema de Apoyo a la Toma de Decisiones (DSS). Los últimos avances, realizados en colaboración con el IIAMA de la UPV, se han orientado a mejorar las capacidades de simulación del modelo, a su calibración automática, y a integrar fugas y demandas dependientes de la presión.

### Palabras clave

Monitorización, tiempo real, modelos hidráulicos, simulación, soporte toma decisiones, SCADA, gestión inteligente, gestión red, operación red.

### HYDRAULIC SIMULATION AS A TOOL TO SUPPORT DECISION MAKING IN GLOBAL OMNIUM

*The modern management of water supply systems requires the use of mathematical models as a decision support system, both in the field of planning and in the daily network operation. Moreover models are key to the efficient management of available water and energy resources and to having a rapid and safe reaction to emergencies. Therefore, the water supply and distribution network of Valencia (Spain) and its metropolitan area has implanted for years in its Control Center a highly accurate hydraulic simulation model, able to work in real time, which is fed through the measures received from the remote control system, with approximately 20,000 hourly data per day. The model simulate the behavior of the network under any scenario, acting as a DSS. Recent advances, in collaboration with the IIAMA of UPV, are focused to improve the capabilities of the model, to keep the model permanently calibrated, and to consider pressure dependent leakage and demands.*

### Keywords

Monitoring, real-time, hydraulic models, simulation, support decision systems, SCADA, intelligent management, network management, network operation.

### Pilar Conejos Fustes

doctora ingeniera industrial, responsable de Planificación, Regulación y Control Agua en Alta de Empresa Mixta Metropolitana, S.A. (Emimet)

### Arantxa Gamón Company

ingeniera técnica de telecomunicaciones, responsable del Sistema de Telemando Agua en Alta de Empresa Mixta Metropolitana, S.A. (Emimet)

### Patricia Urbán Torres

ingeniera agrónoma, responsable de Control de Red Agua en Alta de Empresa Mixta Metropolitana, S.A. (Emimet)

### Fernando Martínez Alzamora

catedrático del Instituto de Ingeniería y Medio Ambiente (IIAMA) de la Universitat Politècnica de València (UPV)

### Joan Carles Alonso Campos

estudiante de doctorado del Instituto de Ingeniería y Medio Ambiente (IIAMA) de la Universitat Politècnica de València (UPV)



## 1. INTRODUCCIÓN

Hasta la fecha, los modelos matemáticos han sido ampliamente utilizados por los gestores de los abastecimientos en el área de planificación y diseño de la red, para lo cual era suficiente que dichos modelos fueran capaces de representar su comportamiento en un día tipo o en el día de mayor consumo. Sin embargo, para que dichos modelos puedan asistir a la toma de decisiones en la operación diaria de la red es necesario que estén continuamente actualizados conforme el estado de operación de la misma, y sean capaces de representar su comportamiento en cualquier instante, presente, pasado e incluso futuro.

La información necesaria para cargar y actualizar el modelo matemático reside hoy en día en los diversos sistemas de gestión que tiene implantados el operador del abastecimiento. Así, el trazado, la topología y los atributos de la red están disponibles en el Sistema de Información Geográfica (SIG); las demandas, en el Sistema de Facturación de los Clientes; la operación diaria, en los sistemas SCADA; y las operaciones de mantenimiento, en el sistema de Gestión del Mantenimiento (GMAO). De toda esta información, la más dinámica y variable en el tiempo es, sin duda, la relativa a la operación diaria de la red. Por lo tanto, para que los modelos puedan ser utilizados en la gestión día a día del abastecimiento, es fundamental su conexión con el sistema SCADA al objeto de realizar funciones de asistencia en tiempo real a los operadores del sistema.

## 2. EL MODELO MATEMÁTICO COMO SOPORTE A LA TOMA DE DECISIONES

Disponer de un modelo matemático calibrado y actualizado de la red constituye hoy en día un soporte fundamental para la toma de decisiones, tanto en el ámbito de la planificación como en la operación diaria de la red, como se pone de manifiesto a continuación.

### 2.1. AYUDAS PARA LA TOMA DE DECISIONES EN LA PLANIFICACIÓN

Algunos ejemplos de ayudas en la planificación son:

- Análisis de la capacidad de transporte de la red a fin de determinar el grado de saturación actual de las mismas.
- Valoración de la capacidad de la red para atender a los caudales de incendio.
- Asistencia en la sectorización, a fin de determinar los sectores óptimos desde el punto de vista de la calidad del servicio.
- Previsión del comportamiento de la red ante las demandas futuras a fin de planificar el desarrollo de las nuevas infraestructuras.
- Asistencia en las operaciones de rehabilitación y mejora de la red, necesarias para implantar un Sistema de Gestión de Activos.
- Análisis de fiabilidad de la red ante averías, a fin de determinar las infraestructuras más críticas, y evaluar el plan de actuación en su caso como soporte a un Sistema de Gestión de Riesgos.

- Asistencia en la revisión del modo de regulación de la red. El modelo puede utilizarse para valorar nuevas propuestas de operación basadas en la introducción de nuevos elementos de regulación o en la modificación de los esquemas básicos, para optimizar la regulación desde el punto de vista energético, de calidad del servicio o de calidad del agua.

- Evaluación y reducción de los tiempos de permanencia del agua en la red. En función de estos, cabe sugerir políticas de explotación óptimas para reducir dichos tiempos, planificar un plan de purgas periódicas e incluso detectar los puntos idóneos donde convendría instalar estaciones de reclaración.

- Localización óptima de sensores, ya sea para la detección de fugas y niveles de calidad del agua fuera de rango.

### 2.2. AYUDAS PARA LA TOMA DE DECISIONES EN LA OPERACIÓN DIARIA DE LA RED

La conexión del modelo matemático con el SCADA de operación permite simular el comportamiento de la red en cualquier escenario, inclusive en tiempo real. De esta manera, el modelo matemático se convierte en un verdadero asistente en la toma de decisiones diaria. A continuación, se enumeran diversos ejemplos:

- Reproducción de escenarios pasados para cotejar los resultados del modelo con las variables reales telemidas verificando la calibración del modelo e incluso permitiendo detectar estados de la red no registrados.

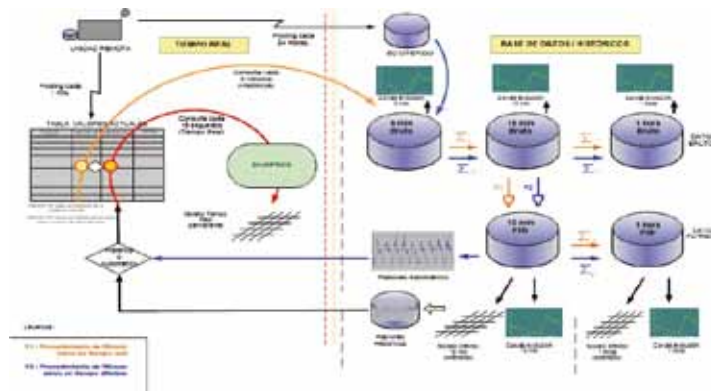
» Disponer de un modelo matemático calibrado y actualizado de la red constituye hoy en día un soporte fundamental para la toma de decisiones, tanto en el ámbito de la planificación como en la operación diaria de la red

- Reproducción de escenarios pasados para analizar situaciones anómalas, o para el entrenamiento de los operadores.
- Evaluación del comportamiento global del sistema a lo largo de cualquier periodo pasado, para obtener indicadores de calidad del servicio, eficiencia hidráulica, eficiencia energética.
- Aplicación sobre escenarios pasados de leyes de operación distintas de las reales, para observar la respuesta potencial del sistema.
- Seguimiento en tiempo real de variables de campo no telemetadas, pero contempladas en el modelo, con el consiguiente ahorro de instrumentación.
- Evaluación del efecto de una posible orden de control (arranque y paro de una bomba...) antes de ser aplicada, simulándola al momento sobre el modelo en tiempo real.
- Simulación de acciones de respuesta ante una situación de emergencia no prevista, como una rotura, la intrusión de un contaminante, etc.
- Programación de actuaciones de mantenimiento de cierto alcance y duración, a fin de garantizar el servicio durante las mismas, o analizar posibles alternativas de suministro.
- Optimización de la explotación del sistema a corto plazo, en base al estado actual del mismo y las previsiones de demanda, a fin de reducir fugas, consumo energético o costes de operación.

### 3. COMPONENTES DE UN SISTEMA DE APOYO A LA TOMA DE DECISIONES EN TIEMPO REAL BASADO EN EL MODELO HIDRÁULICO DE LA RED

Para conseguir los objetivos indicados anteriormente, debe disponerse de un modelo fiable de la red que reproduzca con fidelidad su com-

**FIGURA 1.** Captura y sincronización de los datos de campo en tiempo real y diferido.



portamiento en cualquier instante y bajo cualquier circunstancia. Para ello, el modelo debe ser un elemento vivo y adaptable a las circunstancias de operación del sistema. Además, debe ser sencillo de utilizar y proporcionar información fácilmente interpretable por los operadores o los gestores del sistema. Ello supone desarrollar y mantener una plataforma informática en torno al modelo, que permita integrarlo con las variables de campo, ejecutarlo en función de los objetivos buscados, y visualizar sus resultados de diversos modos según las necesidades. La aplicación SCARed 2.0 (Bou, 2006, Martínez, 2013), desarrollada por el Instituto de Ingeniería del Agua (IIA-MA) de la Universitat Politècnica de Valencia (UPV) se concibió con este fin, y recientemente ha sido mejorada e integrada en los sistemas de gestión de Global Omnium, en colaboración con los Departamentos de Operación de Red y de Sistemas, a través de un acuerdo de transferencia tecnológica.

El sistema de apoyo a la toma de decisiones con el que actualmente cuenta Global Omnium se compone fundamentalmente de:

- Una base de datos propia, que almacena las variables hidráulicas a

manejar por el modelo, en un formato idóneo para facilitar la carga rápida del mismo, y sometidas a un proceso de filtrado previo para evitar inconsistencias en la respuesta del modelo. Uno de los principales retos de la base de datos era almacenar en una misma estructura tanto las variables leídas en tiempo real, como las leídas en tiempo diferido procedentes de las estaciones remotas, lo que se lleva a cabo a través de un proceso continuo de sincronización. Por su parte, el proceso de filtrado se lleva a cabo en distintas fases: en una primera se detectan los valores claramente anómalos, en una segunda se identifican y actualizan los patrones de comportamiento, en la tercera fase se identifican los valores sospechosos con un comportamiento anormal respecto a los patrones y, finalmente, se restituyen los valores defectuosos si procede, utilizando interpolaciones, los propios patrones o predicciones a corto plazo. Además de ello, se mantiene activo siempre un *front-end* para mostrar los últimos valores adquiridos en tiempo real. En la **Figura 1** se muestra el proceso completo de captura, sincronización, almacenamiento y filtrado de los datos.

- Herramientas de visualización adecuadas, de fácil comprensión por



**FIGURA 2.** Sinóptico general de un subsistema y balance hidráulico en tiempo real.



parte de los operadores y gestores del sistema, que permitan mostrar simultáneamente tanto los valores reales de las variables hidráulicas como los valores filtrados o simulados para el periodo de consulta. A tal fin se han desarrollado diversos entornos de visualización, como son sinópticos generales del sistema hidráulico, sinópticos de las estaciones remotas, fondos geográficos o ventanas especiales para mostrar información específica como balances hídricos o perfiles piezométricos.

Sobre los sinópticos generales se pueden observar simultáneamente los valores numéricos de las variables hidráulicas medidas, filtradas o simuladas, y compararlas entre sí (**Figura 2**, izquierda). Estas se distinguen mediante códigos de colores en función de su magnitud, valor, procedencia, etc. Pinchando sobre

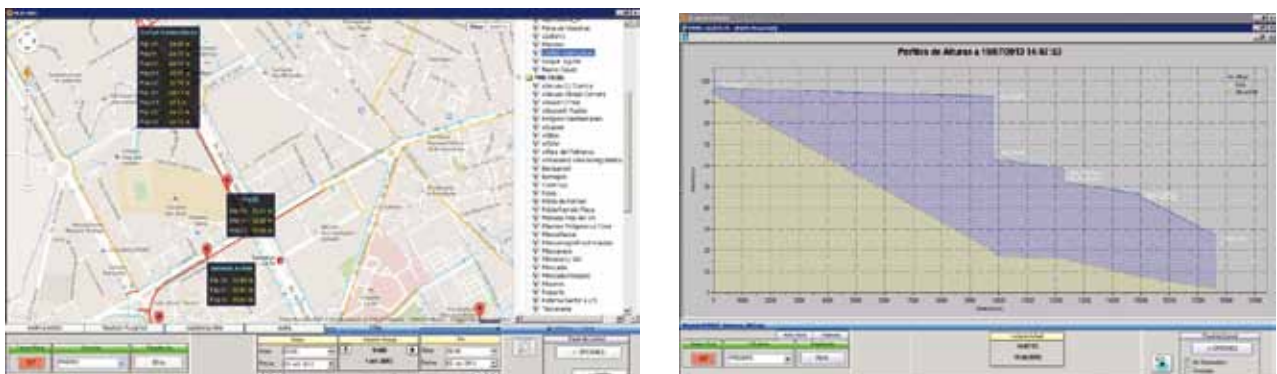
cada una de ellas es posible observar gráficamente su comportamiento. Sobre los sinópticos se incorporan también balances de caudales en formato numérico o con gráficos de tartas, los cuales permiten realizar un seguimiento en tiempo real del reparto de caudales y posibles déficits (**Figura 2**, derecha). Se dispone de múltiples sinópticos para mostrar los diferentes sistemas y subsistemas con distinto nivel de detalle. Por su parte, los sinópticos de las estaciones permiten observar la totalidad de las variables y se utilizan para aplicar nuevas estrategias de simulación.

También es posible observar los valores de campo sobre un fondo geográfico soportado por Google maps (**Figura 3**, izquierda) y mostrar en ventanas aparte diversos perfiles piezométricos y su evolución en el

tiempo (**Figura 3**, derecha). Todos los sinópticos, mapas, ventanas y su conexión con el modelo se gestionan desde un panel de control ubicado en la parte inferior de la pantalla, a fin de seleccionar el visor deseado y reproducir escenarios presentes, pasados o futuros.

- Una herramienta de consulta potente y flexible orientada a visualizar y contrastar la evolución temporal de cualquier conjunto de variables hidráulicas, ya sean reales, filtradas o simuladas (**Figura 4**, izquierda). Las consultas pueden referirse a cualquier variable simple o combinada; a valores brutos, filtrados o simulados; y alimentarse desde la base de datos de 5 min, 15 min o 1 hora. La base de tiempos del gráfico puede ser diaria, semanal, mensual o anual, y se pueden aplicar diferentes intervalos de agrupación para mostrar los

**FIGURA 3.** Monitorización de los puntos de medida sobre Google maps y un perfil piezométrico.



**FIGURA 4.** Consulta del caudal demandado *versus* inyectado, e informe anual de la demanda diaria.



datos. En una misma consulta puede mostrarse la evolución de una señal para diversos periodos consecutivos, o superponer para el mismo intervalo diversas señales, de la misma o de diferentes magnitudes. Cada consulta ocupa una pestaña distinta en el visualizador, de modo que estas pueden revisarse, almacenarse para ser recuperadas en otro momento debidamente actualizadas, exportarse a un fichero Excel, o remitirse en un mensaje de correo.

- Una herramienta orientada a la confección de informes de diversa naturaleza, para facilitar el análisis del comportamiento general del sistema (**Figura 4**, derecha). Así, unos informes muestran la evolución completa de cualquier variable a lo largo de un año, agrupada o clasificada por días, semanas o meses; otros muestran los balances hídricos por sectores y para un periodo especificado; y finalmente otros permiten comparar determinados valores acumulados en una fecha dada frente a sus valores acumulados en fechas anteriores, para efectuar un seguimiento de la evolución del sistema.

#### 4. CONFECCIÓN, USO Y MANTENIMIENTO DEL MODELO HIDRÁULICO

El componente más importante del sistema de ayuda a la toma de decisiones es, sin duda, el modelo hi-

dráulico. Dicho modelo puede confeccionarse aparte con herramientas auxiliares, por ejemplo, directamente sobre EPANET, o mediante la ayuda de un GIS conectado con el modelo, por ejemplo, con la aplicación GISRed desarrollada también por el IIAMA (Martínez, 2005).

El modelo debe contemplar las tuberías y válvulas sectoriales del sistema en su estado usual, así como todos los elementos de regulación, incluidos depósitos, bombas, válvulas telemandadas y válvulas automáticas. Es importante realizar un análisis previo de todas las variables hidráulicas almacenadas en la base de datos, y mantener su correspondencia en el modelo. La adecuación del modelo estratégico base a cada escenario de simulación se basa en aplicar en cada momento las cargas de consumo en los nudos, y las leyes de control sobre bombas y válvulas que corresponda. Sin embargo, aun habiendo establecido una correspondencia entre las variables de campo y los elementos del modelo, ello no es tan directo como puede parecer en un principio.

Para empezar, es diferente reproducir un escenario pasado, la situación presente actual, imponer ciertas estrategias de operación para simular una maniobra o reproducir un futuro a corto plazo.

Reproducir escenarios pasados resulta importante para calibrar el modelo y garantizar la fidelidad de su respuesta. Además, permite observar cómo se comporta el sistema, reproducir situaciones anómalas o entrenar a los operadores, como ya se dijo. Puesto que los modelos hidráulicos conducidos por caudales, asumen la continuidad de los flujos en cada nudo, el caudal total entrante al sistema debe ser igual al demandado, más/menos el caudal entrante o saliente de los depósitos.

En una red en alta se puede tener medida de todos los caudales satisfechos en los puntos de suministro, pero si se mide también el caudal aportado al sistema y la variación de nivel en los depósitos, raramente las medidas verificarán el balance anterior. Hay que proceder por tanto a revisar los consumos para cuadrar dicho balance, de modo que el modelo reproduzca con exactitud los caudales suministrados y las variaciones de nivel en los depósitos.

En un sistema complejo como la red de Valencia, en el que número de depósitos y de caudalímetros es elevado, para alcanzar este objetivo hay que realizar primero una sectorización adecuada del sistema, y a continuación aplicar algoritmos que corrijan los desajustes observados en cada sector.



El siguiente reto es reproducir con el modelo el estado de todos los elementos de regulación, incluyendo bombas y válvulas. Mientras que reproducir el estado de las válvulas automáticas es sencillo si se miden los valores de consigna, imponer el estado de bombas y válvulas telemandadas resulta más problemático. En general, las bombas actúan por consignas de nivel o son accionadas remotamente por el operador de la planta, mientras que las válvulas de regulación telemandadas, en el caso de Valencia, se operan en función de la evolución de determinadas variables de referencia, como presiones o caudales. Las leyes de control de estos elementos deben deducirse mediante algoritmos apropiados a partir de las variables observadas (no siempre se dispone de todas las deseadas), y acoplarse al intervalo de simulación, ya que dichos elementos pueden cambiar su estado varias veces en dicho intervalo.

No todas las variables medidas pueden imponerse al modelo, pues se violarían las leyes de la hidráulica en que se basa su respuesta. Por ello, una vez seleccionadas las variables a imponer, las medidas de las restantes variables serán contrastadas con los resultados del modelo, para verificar la bondad del mismo. Una ventaja del entorno de trabajo descrito es la facilidad para generar múltiples escenarios en los que contrastar medidas reales y resultados del modelo, lo que permitirá mantener el modelo permanentemente calibrado. Para ello hay que desarrollar previamente algoritmos capaces de ajustar los parámetros del modelo en cada momento de forma automática.

Finalmente cabe indicar que, una vez se dispone del modelo calibrado, su utilización para reproducir nue-

vos escenarios, pasados, presentes o futuros, requerirá revisar los datos impuestos al mismo. Por una parte, las leyes de control temporales aplicadas a los elementos de regulación según las medidas observadas deben sustituirse por otras leyes basadas en reglas o consignas, para simular cómo se comportaría el sistema bajo la acción de las mismas. Por otra parte, en una simulación a futuro, los consumos observados en los nudos deben sustituirse por una predicción de la demanda en los mismos; además en este caso hay que especificar el punto de partida de la simulación, que puede ser la situación actual de la red, una situación pasada, o bien una situación estándar, en función de las decisiones que se quieran tomar.

Si se quiere utilizar el modelo para simular situaciones de emergencia o de insuficiencia de presión, es posible aún sustituir las demandas futuras aplicadas en los nudos por una ley de dependencia de estas con la presión de suministro, y considerar asimismo las fugas como dependientes de la presión. Los parámetros que caracterizan estas dependencias pueden estimarse en cada momento a partir de las medidas de campo, siguiendo un procedimiento

que ha sido objeto de una tesis doctoral recientemente defendida por la primera autora de esta comunicación (Conejós, 2015).

## 5. CASO PRÁCTICO: EL MODELO MATEMÁTICO COMO SOPORTE DE AYUDA A LA TOMA DE DECISIONES EN GLOBAL OMNIUM. EL ABASTECIMIENTO A VALENCIA Y SU ÁREA METROPOLITANA

### 5.1. LA RED DE ABASTECIMIENTO A VALENCIA Y SU ÁREA METROPOLITANA

La red de suministro de agua a Valencia y su área metropolitana se alimenta desde dos plantas de tratamiento, ambas distantes más de 10 km de la ciudad, con diferentes garantías de suministro y calidad del agua en origen, distintos costes de producción, y depósitos de almacenamientos de diferente capacidad y cota, siendo necesario bombear el agua antes de aportarla a la red (Figura 5).

Desde dichas plantas el agua es distribuida mediante gravedad a la ciudad y los 45 municipios que constituyen el área metropolitana, a través de una red en alta de 200 km de

**FIGURA 5.** Trazado de la red de suministro a Valencia y su área metropolitana. A la derecha, listado de estaciones remotas para su control en tiempo real.



longitud, que alimenta directamente a las redes de distribución en baja de cada municipio. Las presiones son reguladas gracias a un conjunto de válvulas y depósitos intermedios, todos ellos controlados y operados en tiempo real desde un Centro de Control, donde se recibe la información de 175 estaciones remotas.

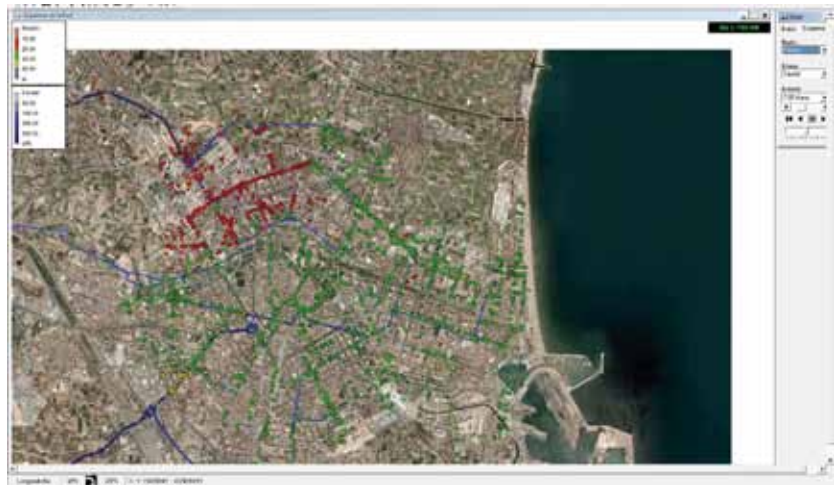
Tras la creación de la empresa Emimet, empresa mixta constituida por la Entidad de Servicios Hidráulicos y Aguas de Valencia para gestionar la red del área metropolitana, se puso en marcha un ambicioso plan de sectorización de la misma, a fin de independizar y controlar el suministro de agua a cada una de las 45 poblaciones, incluida Valencia, más algunas zonas residenciales y polígonos industriales que configuran el área metropolitana. Se instalaron caudalímetros en los puntos de entrega, la mayoría provistos adicionalmente de una válvula reductora para regular las presiones de suministro. Los nuevos medidores, junto a los caudalímetros existentes sobre la red arterial, han permitido identificar y delimitar 3 grandes sistemas de demanda globales y 7 subsistemas de reparto del agua en el área metropolitana, además de los propios de la ciudad creados en la sectorización de la misma.

El carácter mallado de red y la interconexión de los distintos sistemas de demanda le confiere un grado de flexibilidad importante para responder ante situaciones imprevistas, si bien su control exige un conocimiento profundo del sistema y una operación en tiempo real.

## 5.2. MODELO MATEMÁTICO DE LA RED

Desde el año 1993, en el que se confeccionó el primer modelo estratégico de la ciudad de Valencia con 500

**FIGURA 6.** Mapa de presiones previsto ante una actuación. En color rojo las zonas afectadas.



nudos utilizado para la planificación de varias arterias, muchos han sido los avances realizados en la modelización matemática del sistema. Así en el año 2003 se confeccionó adicionalmente un modelo de detalle de la ciudad con más de 25.000 nudos gracias a la información que residía en el SIG (Díaz, 2004). Dicho modelo se empleó para realizar la propuesta de sectorización de la red de Valencia así como analizar los tiempos de permanencia del agua en la misma. Sin embargo, el uso de los primeros modelos quedaba limitado a tareas de planificación, debido a que sólo eran capaces de simular el comportamiento de la red un día tipo.

La introducción de los SCADA en la operación de la red abrió nuevas oportunidades para los modelos matemáticos. En efecto, para que el modelo fuera útil en la toma de decisiones diaria de operación tenía que ser capaz de simular el comportamiento de la red en cualquier situación y, a la vez, estar perfectamente calibrado, lo cual solo era posible si se conectaba dicho modelo con el sistema SCADA de operación de la red. En el año 2007

se realizó la conexión del modelo matemático con el sistema SCADA y desde dicho año se dispone en el Centro de Control de la red de abastecimiento de Valencia y su área metropolitana un simulador de la red en tiempo real (Bou, 2006). Dicho simulador actualmente se sustenta en un modelo matemático de trabajo que no se limita únicamente a la ciudad de Valencia, sino que abarca todo el sistema completo de abastecimiento metropolitano en alta (Martínez, 2013).

El modelo matemático actual ha sido confeccionado a partir de las medidas recibidas en tiempo real y diferido a través del sistema de telemando, procedentes de 204 caudalímetros (96 caudalímetros en tiempo real y 135 en tiempo diferido), 26 sensores de nivel (todos ellos en tiempo real), 426 sensores de presión (203 en tiempo real y 222 en tiempo diferido). Con esta información se ha construido el modelo matemático configurado por 625 km de tubería, 6660 nudos, 7125 tuberías, 28 depósitos, 47 bombas, 219 válvulas de regulación, y un total de 4.000 leyes de control horarias por día.



Los caudalímetros han permitido identificar un total de 91 DMA y 18 sectores de inyección, constituyendo 135 patrones de demanda. Además de la información hidráulica proporcionada por los sensores de caudal, presión y nivel, se han tenido en cuenta los estados de las bombas y las posiciones de las válvulas remotas, lo que suministra diariamente un total de 20.000 datos horarios. Algunos de ellos se han impuesto en el modelo, obteniendo alrededor de 4.000 reglas de control cada día, mientras que el resto, 16.000 datos, se han utilizado como puntos de calibración para verificar que la información proporcionada por el modelo coincide con la realidad, garantizando así la fiabilidad del mismo.

La calibración de un modelo de este tipo parece un trabajo inabordable, pero aplicando criterios racionales de ingeniería, se ha conseguido calibrarlo con éxito, con un error inferior al 2% para las presiones, e inferior al 4% para todos los caudales, en el día de calibración elegido. Para ello, en lugar de formular un problema de optimización general buscando minimizar el error cuadrático medio mediante el ajuste de ciertos parámetros como la rugosidad de las tuberías, se ha aplicado un procedimiento basado en la declaración de rutas y cortes hidráulicos estratégicos, para acotar el problema sector a sector.

### 5.3. CONEXIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO CON EL SCADA PARA LA SIMULACIÓN DE OPERACIONES EN TIEMPO REAL EN LA SALA DE CONTROL

En la actualidad el modelo matemático de Valencia y su área metropolitana está conectado con el sistema SCADA de operación del abastecimiento y funciona junto al sistema de telemando como un sistema de

soporte a la toma de decisiones diaria en la red desde el año 2007.

Para facilitar su manejo se utiliza un entorno gráfico muy similar al SCADA de operación donde se han confeccionado unos sinópticos *ad hoc*. Dichos sinópticos son configurables y muestran a través de varias pantallas todos los elementos de producción, transporte, almacenamiento y regulación del sistema, algunos de los cuales pueden tener un comportamiento dinámico según el valor de la variable.

El sistema trabaja en tiempo real, lo que permite monitorizar *on line* el valor de la presión en los puntos críticos de los sectores, sin necesidad de ser instrumentados. Asiste en la planificación y análisis de la afección de las actuaciones programadas por obras (23 durante el año 2016). Sirve de soporte a la toma de decisiones en condiciones de emergencia, como las motivadas por una avería que deja sin servicio una tubería arterial o una parada de planta siendo una herramienta integrada en el Sistema de Gestión de Riesgos implantado (**Figura 6**).

## 6. CONCLUSIÓN

Muchas de las utilidades del modelo hidráulico están aún por explotar. El modelo es cada vez un instrumento más imprescindible para la toma de decisiones. Su uso ha mostrado que no siempre la intuición es certera; en cambio, las predicciones del modelo se han cumplido cada vez que se ha utilizado.

La política de Global Omnium, tras diez años de experiencia en la explotación de la conexión modelo-SCADA para la toma de decisiones, es continuar potenciando el uso de los modelos y mejorar sus capacidades más allá de las actuales, para continuar siendo un referente nacional en

la gestión avanzada de los abastecimientos, en un proceso de transición gradual hacia la gestión inteligente del servicio. En este sentido, la empresa sigue haciendo nuevos desarrollos orientados a facilitar el mantenimiento de la base de datos y de todos los componentes del sistema de cara a su implantación en otros abastecimientos.

### Bibliografía

- [1] Escó Bou, V.; Martínez, F.; Conejos, P. (2006). SCA-Red, a general purpose SCADA application for taking decisions in real time with the aid of a hydraulic model. 8th Annual Water Distribution Systems Analysis Symposium. WDSA. Cincinnati (Ohio).
- [2] Bou Soler, V. (2016). Optimización en tiempo real del modo de operación de un abastecimiento de agua mediante técnicas metaheurísticas. Aplicación a la red de suministro a Valencia y su área metropolitana. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Valencia.
- [3] Conejos, P. (2015). Desarrollo e implementación de un modelo realista de demandas y fugas dependientes de la presión para redes de distribución de agua urbana. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Valencia.
- [4] Conejos, M.P.; Martínez Alzamora, F.; Alonso, J.C. (2016). A Water Distribution System Model to Simulate Critical Scenarios by Considering both Leakage and Pressure Dependent Demands. WDSA 2016. Cartagena de Indias (Colombia).
- [5] Díaz, J.; Conejos, P.; Ponz, R.; Martínez, F.; Bou, V. (2004). Mejora de la gestión del agua en alta. Simulación de operaciones con nuevas tecnologías. XXIV Jornadas Técnicas de la AEAS. Barcelona. Junio 2004. Actas del Congreso. Tomo II, pág. 157-172.
- [6] Martínez, F. (2004). Integración SIG-SCADA para la explotación de redes de abastecimiento con la ayuda de modelos hidráulicos. Jornada AEAS: Integración SIG con otros sistemas de información en empresas nacionales de servicios. Madrid.
- [7] Martínez, F.; Bartolín, H. (2005). Integración de EPANET en ArcView-GIS. La extensión GISRed 1.0. Análisis, Diseño, Operación y Gestión de Redes de Distribución de Agua con EPANET. ITA Universidad Politécnica de Valencia. ISBN: 84 609 6384 5.
- [8] Martínez, F.; Hernández, V.; Alonso, J.M.; Rao, Z.; Alvisi, S. (2007). Optimizing the operation of the Valencia water-distribution network. Journal of Hydroinformatics, vol. 9, núm. 1, págs. 65-78.
- [9] Martínez Alzamora, F.; Bou Soler, V.; Conejos, P.; Díaz Martínez, J. (2013). Conexión SCADA-modelo para la simulación en tiempo real del sistema de abastecimiento de agua a Valencia y su área metropolitana. III Jornadas Ingeniería del Agua. Valencia, Universidad Politécnica. Octubre 2013. Actas JIA 2013, vol. 2. Ed. Vallés, F.J. *et al.*
- [10] Martínez, F.; Conejos, P. (2015). SCARed 2.0. Herramienta para la simulación y ayuda a la toma de decisiones en tiempo real de abastecimientos de agua. Vanguardias en Ciencia y Tecnología para la Innovación en la gestión del agua. AEAS-CYII. Madrid. Salón actos Colegio ICCyP.
- [11] Velitchko Tzatchkov (2012). Improving efficiency of water utilities: real-time modelling and Scada data assimilation. Smart Water Network Conference. Utrecht. 