

ASPECTOS INNOVADORES DEL TELECONTROL DE LA RED DE ABASTECIMIENTO DE AGUA DE GRANADA

Miguel DAMAS HERMOSO/***, R. Carlos VALOR LÓPEZ ***
Francisco GÓMEZ MULA*, Gonzalo OLIVARES RUIZ**/***.**

(*) Dpto. Arquitectura y Tecnología de Computadores. Universidad de Granada.

(**) Ingeniería y Control Remoto, S.A.

(***) Empresa Municipal de Abastecimiento y Saneamiento de Granada.

RESUMEN

Se presenta, en este trabajo, una visión general de las principales funciones operativas implementadas en el sistema de telecontrol de la red de abastecimiento de agua de la ciudad de Granada. Se describirán con más detalle algunos aspectos concretos, que se consideran más innovadores, tales como: a) optimización en el consumo de energía en grupos de bombeos, b) supervisión de caudales y presiones por sectores, c) control de reductoras de presión, d) sistema experto para la regulación de la distribución en la red de alta en función de la demanda, y e) sistema de alarmas vía GSM.

INTRODUCCIÓN

El sistema instalado permite disponer de un control centralizado, y en tiempo real, sobre el ciclo integral del agua en la ciudad de Granada. La sala de control central está ubicada en las oficinas principales de la empresa EMASAGRA, desde donde se establece comunicación vía radio (Sistema Spiral de ICR), con un conjunto de estaciones remotas controladas por PLCs (Siemens Simatic S5), y otras basadas en el sistema de telecontrol distribuido SPIRAL-5000. En algunos puntos de la red, cercanos a estaciones remotas enlazadas por radio, se ha empleado un bus de campo (Siemens Sinec L1/L2). El *software* de aplicación se ha desarrollado en base al paquete SCADA INTOUCH.

Los principales elementos del ciclo integral del agua, de la ciudad de Granada, que hasta el momento son supervisados en tiempo real son:

- Red de alta, formada por 14 depósitos, 7 bombeos y 2 partidores o bifurcaciones, con: válvulas de apertura y cierre (control continuo o todo/nada), válvulas reguladoras, compuertas (control continuo o todo/nada), medidores de consumo de energía, caudalímetros, medidores de nivel, medidores de presión, sondas de máximo y mínimo, y detectores de presencia.
- 4 estaciones reguladoras de presión, con dos reductoras de presión en cada una.
- Red de baja, dividida en 45 sectores, con telemedida de caudal, presión y cloro.
- 10 sondeos de emergencia, telecontrolados por una única estación remota, más otros dos conectados por radio.
- 1 ETAP (Lancha de Cenés), formada por tres plantas, de diferente época de construcción y por tanto de diferente tecnología, totalmente automatizadas mediante una red de 10 PLCs. Toda la supervisión (incluida la de una mini-central hidroeléctrica) se realiza desde la sala de control ubicada en la misma ETAP, que a su vez actúa como estación remota de la red de telecontrol prin-

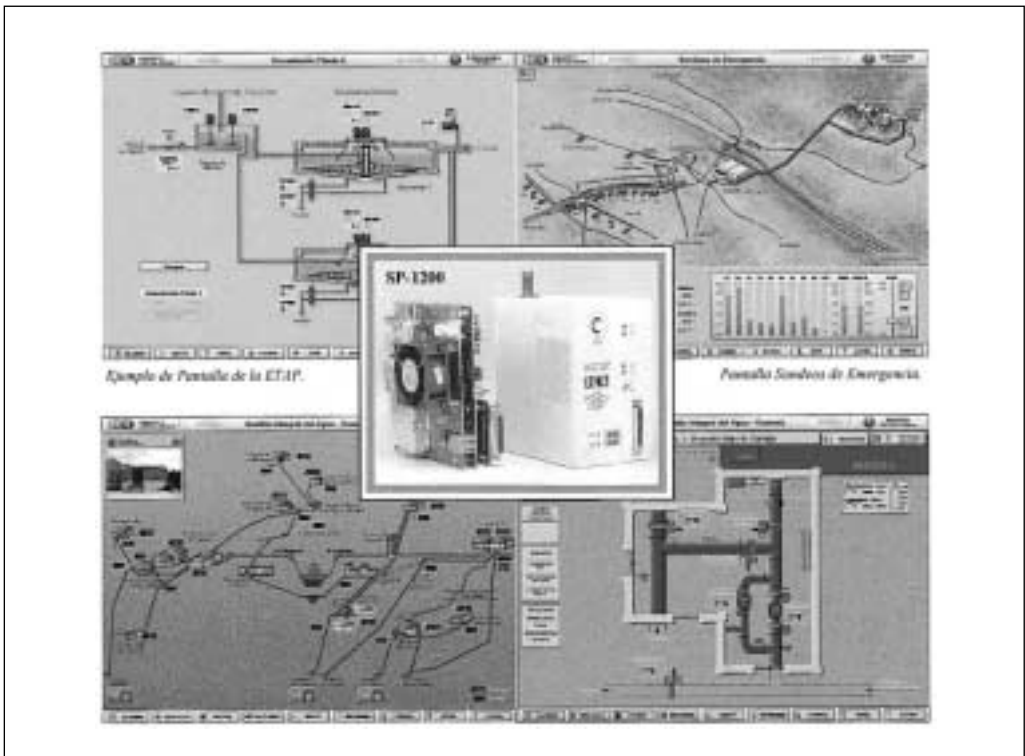


Figura 1. Pantallas de ETAP, sondeos de emergencia y red de alta (esquema general y detalle).

cial.

- 2 EDAR's (Churriana y Los Vados), que se integrarán también en el sistema.

Una vez descrito el sistema de telecontrol pasamos a ver algunos aspectos más detallados del mismo, que tienen algunas características que pueden considerarse como innovadoras.

OPTIMIZACIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA EN GRUPOS DE BOMBEO

Problemática general

Todos los servicios de explotación, de agua potable, han tenido siempre como objetivo minimizar el coste del consumo de energía, en los bombeos a depósitos de suministro de diferentes formas:

- En muchas ocasiones, sólo existen unas sondas que detectan la falta de agua en el depósito, por lo que el bombeo es a la demanda directa, sin posibilidad de previsión ni de discriminación horaria.
- En otras ocasiones, se realiza una discriminación con reloj sobre varios grupos de sondas detectoras de nivel. Este procedimiento permite una programación horaria del funcionamiento de la bomba, con el correspondiente ahorro en el coste de la energía, pero requiere revisar periódicamente la posición de las

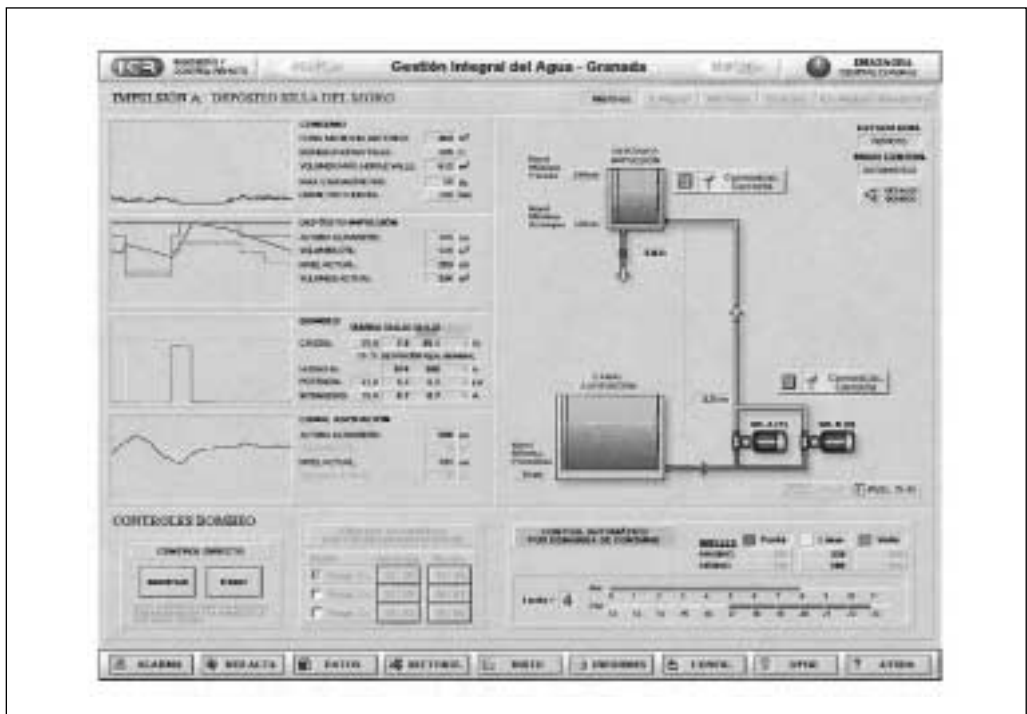


Figura 3. Pantalla para la optimización de bombeos.

sondas en función de los consumos de temporada.

En cualquiera de los dos casos anteriores siempre pueden surgir dos problemas:

1. Si el depósito es excesivamente grande para la demanda, podemos bombear en horas valle (incluidos sábados y domingos), con el consiguiente ahorro económico, pero con el inconveniente de pérdida de calidad, al desaparecer el efecto del cloro por exceso de permanencia del agua en el depósito, lo que obligaría a una cloración local.
2. Si el depósito es excesivamente pequeño, estamos obligados a bombear más por demanda que por discriminación horaria.

Cualquiera de las situaciones anteriores es difícil de controlar, dado que tanto el funcionamiento de las bombas como la demanda de consumo quedan sin registrar, y por tanto son variables cuya evolución dinámica se desconoce (en algunas ocasiones, con importante esfuerzo de personal se suelen sacar curvas de consumo, que sólo sirven como testimonio ocasional).

La solución que hemos implantado consiste en un método que permita el funcionamiento de los bombeos principalmente en horas valle, en segundo lugar en horas llanas, y en horas punta sólo si es realmente imprescindible.

Hasta aquí, la aplicación es similar a las existentes con sondas o niveles de consigna, con distintos periodos de discriminación horaria, ya que los periodos horarios son los convencionales: horas valle, llana y punta. La novedad está en que los niveles se calculan dinámicamente para cada intervalo horario, en función de la demanda del día anterior, en esos intervalos horarios, con una corrección en función de la demanda del día actual. Los detalles de este procedimiento se explican en el apartado siguiente.

Objetivos del método

El método pretende dos objetivos:

- Bombear el máximo de agua necesaria para el suministro fuera de las horas punta, y si es posible también fuera de las horas llanas, con el consiguiente ahorro económico.
- Evitar la acumulación innecesaria de agua en el depósito, si éste es excesivamente grande, para impedir la pérdida de eficacia del cloro.

Dadas las herramientas de control, que nos permite el *software* SCADA empleado, construir una aplicación que cumpla estos objetivos se reduce a definir los algoritmos de cálculo que permitan prever los consumos, y establecer los niveles de los diferentes periodos horarios de forma dinámica, de un día para otro.

El Jefe del servicio sólo debe proponer las consignas generales, como volumen mínimo a contener en el depósito (nivel mínimo de seguridad), volumen máximo antes de rebosar (nivel de rebose) y porcentaje de volumen de seguridad a bombear.

El sistema evalúa el consumo del día anterior para cada período horario y establece, de forma dinámica, los niveles mínimo y máximo (arranque y parada) para el día siguiente. La evaluación se debe realizar sobre el histórico de consumos a medio plazo (teniendo en cuenta la incidencia de cada día de la semana).

El funcionamiento de la bomba de elevación al depósito se adaptará a los criterios manuales y automáticos establecidos anteriormente. La única condición que se impone, al sistema, es el arranque del bombeo al pasar por las 00:00 horas, con motivo de iniciar el llenado del depósito, aunque no se haya alcanzado el nivel de arranque.

Por tanto, sólo queda definir los algoritmos de cálculo que nos establecerán los niveles de arranque y parada para cada periodo horario.

Criterios de optimización

Los criterios que se han adoptado en este trabajo no son los únicos, pero se ha observado que son suficientemente eficientes (el término punta es próximo al 43% de descuento). Veamos los criterios adoptados:

- 1º Al inicio de un nuevo día se calcula el volumen consumido el día anterior y se establece éste, multiplicado por el porcentaje de seguridad, como el volumen a bombear el día siguiente.
- 2º Con el dato anterior se establece para las horas valle:
 - nivel de arranque = volumen consumido el día anterior,
 - nivel de parada = volumen anterior más el porcentaje de seguridad.
- 3º Para las horas llanas se establece que:
 - nivel de arranque = nivel correspondiente al volumen previsto a consumir a partir de la última hora llana (con lo que nos aseguramos que el depósito va a tener un volumen de agua suficiente para cubrir el resto del día, incluidas las horas punta),
 - nivel de parada = nivel correspondiente al volumen previsto a consumir durante el resto del día, incrementado por el porcentaje de seguridad.
- 4º Para las horas punta se establece que:
 - nivel de arranque = nivel correspondiente al volumen previsto a consumir a partir de la última hora punta (con lo que nos aseguramos que el depósito va a tener un volumen de agua suficiente para cubrir el resto de las horas posteriores a dichas horas),
 - nivel de parada = nivel correspondiente al volumen previsto consumir

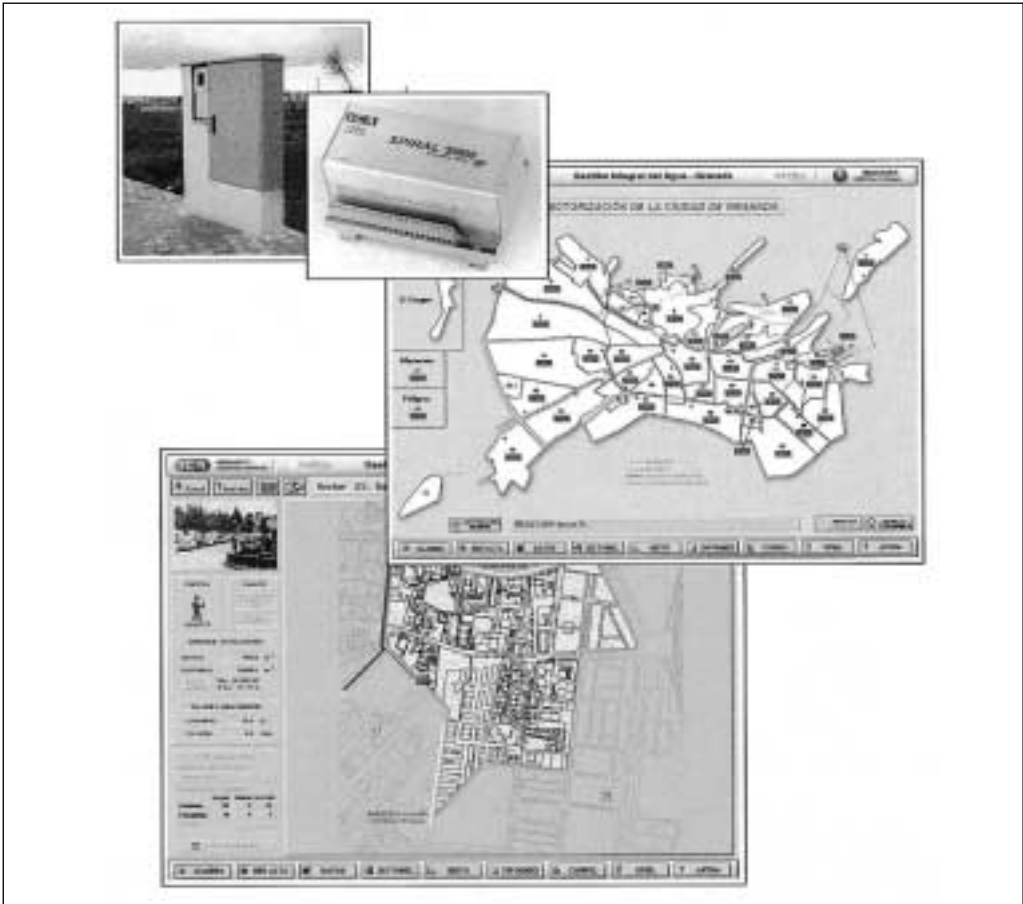


Figura 4. Elementos hardware y software de la supervisión de sectores.

durante las horas punta, incrementado por el porcentaje de seguridad.

- 5º Los niveles de arranque se comparan siempre con el nivel correspondiente al volumen mínimo de seguridad a contener en el depósito, escogiendo siempre el mayor de los dos, con lo que nos aseguramos el arranque de la bomba en caso de cualquier eventualidad.

Como primeras consecuencias de los criterios establecidos tenemos que:

- 1º Tiene prioridad el llenado del depósito en horas valle.
- 2º Sea cual sea el nivel del depósito al inicio del día (00:00 horas), al final del día siempre se concluye con el depósito cerca del volumen mínimo de seguridad, al menos.
- 3º Sólo se bombea el volumen necesario para el consumo del día (con el margen de seguridad adecuado).

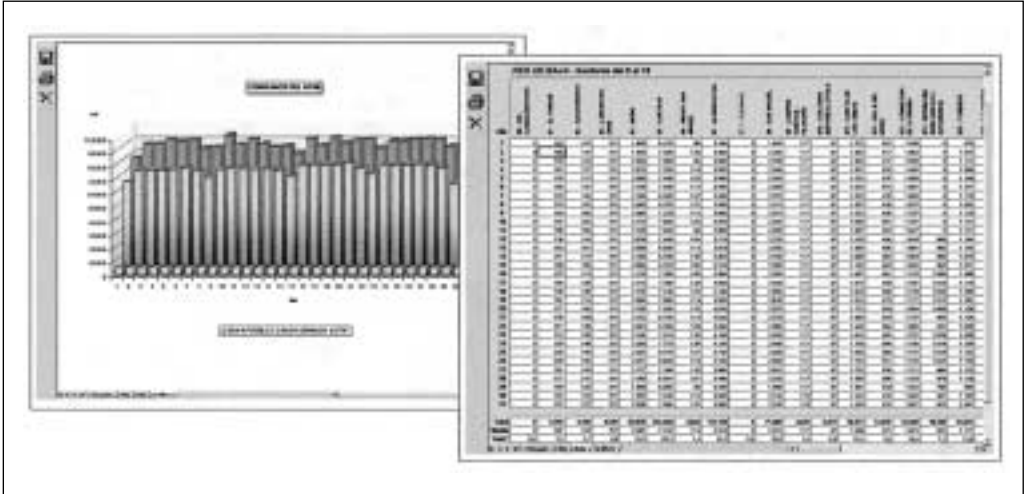


Figura 5. Informes de explotación.

4º Si un día atípico el sistema deja el depósito más lleno de lo normal, se corrige al día siguiente con un menor bombeo.

Además, la aplicación incorpora las siguientes funciones, implementadas por *software* sin necesidad de instrumentación adicional:

- Detección de una fuga importante por posible rotura en la red.
- Evaluación del caudal de las bombas.
- Detección de la pérdida de rendimiento de la bomba o falta de flujo de caudal.
- Seguridad ante posibles fallos de comunicaciones con la estación remota del bombeo (el sistema tiene implementado un algoritmo que calcula el tiempo de bombeo hasta el llenado del depósito).

La implementación de este sistema permite ahorros económicos importantes a lo largo del año, y evita que mantengamos en el depósito más agua de la estrictamente necesaria, lo que cubre los dos objetivos descritos al principio.

SUPERVISIÓN DE CAUDALES Y PRESIONES POR SECTORES

El control de abastecimiento a sectores de la ciudad, permite seguir exhaustivamente la evolución de los caudales y presiones de entrada en todos los sectores de la red (45 en total), permitiendo localizar, en tiempo real, averías y roturas en la red de abastecimiento (de unos 500 km de tuberías), así como, en un futuro próximo, la telemedida de la concentración de cloro disuelto en algunos puntos de test. Este sistema permite:

- Aislamiento de un sector de forma inmediata, en caso de que se detecte una fuga importante, mediante la actuación sobre la válvula motorizada de cabecera de dicho sector, y su puesta en carga una vez restablecida la avería de forma controlada.
- Detección de fugas, fraudes y consumos temporalmente anormales.
- Cómputo de caudales, reflejado en informes diarios.

Cada estación remota de supervisión de un sector está compuesta por un sistema de telecontrol distribuido, marca ICR modelo Spiral-5000, un radio-modem Spiral 1200, sistema de alimentación ininterrumpida y antena UHF. Las medidas se realizan con un caudalímetro electromagnético Danfoss (MAG 3100) y un medidor de presión (WIKA 891).

SPIRAL 5000 es un sistema de telecontrol distribuido basado en un micro-PC de muy bajo consumo (< 100 mA, 12V), programado en C/C++ que dispone de 11 entradas analógicas de 12 bits, 8 entradas digitales optoacopladas, 8 salidas de relés, dos puertos series RS-232C, un puerto RS-485 para conexión en red, 512 Kbytes de RAM, 512 Kbyte de EPROM, 8 Kbyte de EEPROM, reloj calendario en tiempo real, y reset guardián.

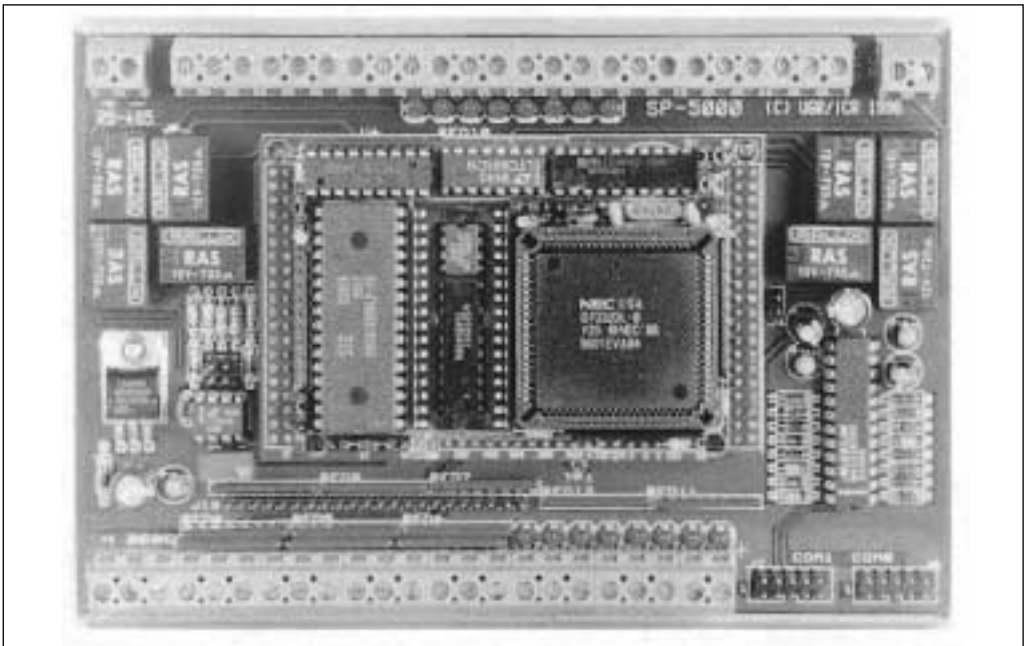


Figura 6. Sistema SPIRAL 5000.

CONTROL DE REDUCTORAS DE PRESIÓN

La red de suministro de Emasagra, debido a los desniveles tan importantes, requiere diferenciar entre la red de alta y la red de baja, con las pertinentes reductoras de presión. Actualmente existen cuatro estaciones para el control de la presión en la arteria principal. Cada una de ellas incorpora dos reductoras, una para caudales altos (régimen diurno, de 400 mm de diámetro) y otra para caudales bajos (régimen nocturno, de 150 mm de diámetro). La válvula es de control hidráulico (URA-CONTROL), accionada por diafragma (para una operación precisa), y controlada por un piloto con accionamiento eléctrico continuo y una serie de electroválvulas de apertura y cierre, sobre las que actúa el PLC para hacer el control automático.

El control de reductoras permite:

- Programar una reducción de presiones en función de las horas del día, lo que puede producir un ahorro importante de agua por la noche (sobre todo en épocas de sequía).
- Debido a la diferencia entre los caudales diurnos y nocturnos, se puede hacer

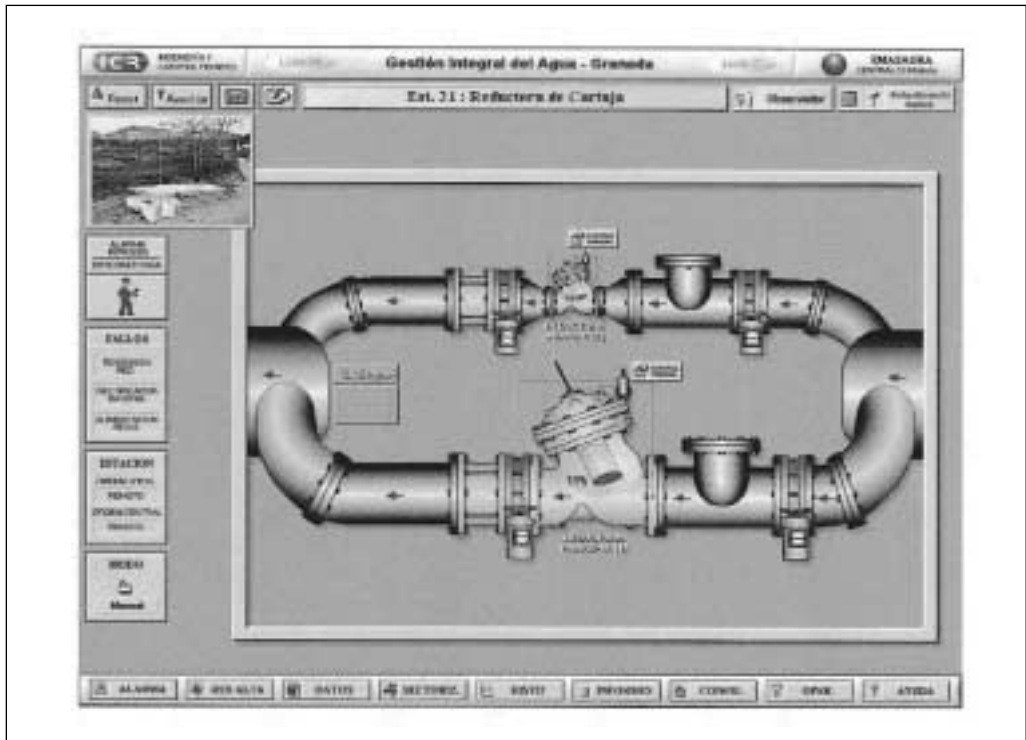


Figura 7. Pantalla de supervisión de las válvulas reductoras.

una conmutación automática entre las dos reductoras (que forman el sistema), en función de los caudales demandados.

La estación está compuesta por un PLC Siemens S5-95U para el control y un radio-modem Spiral 1200 para la comunicación vía radio.

REGULACIÓN DE LA RED DE ALTA EN FUNCIÓN DE LA DEMANDA

La red de distribución en alta se compone de una serie de depósitos conectados por canales, tuberías y bombes, que permiten distribuir el agua suministrada por la ETAP hacia los diferentes sectores de la ciudad, ya sea directamente o mediante la conexión a las reductoras y arteria.

Aparentemente el sistema no es muy complejo, pero debido a la existencia de los canales y algún sifón (cuello de botella), el reparto del agua en los depósitos no es tan simple. Esto requiere la supervisión de un operador que, periódicamente y según su experiencia, controla la apertura de las válvulas de entrada a depósitos, regulando el suministro a los mismos y evitando el rebose en los partidores o depósitos. Este sistema tiene el inconveniente de que cada operario actúa según sus propios criterios, no existiendo uniformidad en los mismos.

La aplicación de control permite realizar el reparto a cada uno de los depósitos de forma automática y continua, implantando los lazos de control adecuados en las válvulas de entrada a cada depósito. Además, el criterio será homogéneo, para todas las desviaciones, al ser independiente del operario.

La novedad de la aplicación radica en la definición de un nuevo parámetro de control, definido como tiempo de reserva, que es el parámetro director de la coordinación del reparto. Tradicionalmente el parámetro de coordinación del reparto ha sido el nivel de los depósitos vigilado por el operador. Este método no es objetivo, pues un depósito puede estar más vacío que los otros (lo que implicaría que hay que darle prioridad en el llenado) y sin embargo puede suceder que el suministro de ese depósito sea muy bajo y no necesite estar muy lleno.

El tiempo de reserva se calcula de forma continua, y tiene en cuenta el volumen almacenado y el caudal de salida del depósito, con lo que obtenemos el tiempo que tardaría en vaciarse dicho depósito en esas condiciones. Este criterio nos permite abrir o cerrar las válvulas de entrada a los depósitos, manteniendo el mismo tiempo de reserva en todos los depósitos, incluso, dar prioridad al llenado de los mismos modificando los tiempos de reserva individuales. Con los cálculos del tiempo de reserva se calculan caudales de consigna de entrada a depósitos, y se ajustan las válvulas a estos caudales de consigna de forma automática.

Por otro lado, en el Departamento de Arquitectura y Tecnología de



Figura 8. Sistema SPIRAL GSM-9000.

Computadores, y como parte de un proyecto de investigación financiado por la CICYT, se está abordando este mismo problema mediante el uso combinado de algoritmos genéticos y programación dinámica. En este caso, también se ajustan los caudales solicitados a las capacidades de los depósitos existentes y a la demanda, pero para la predicción de los niveles de demanda se aplican técnicas basadas en el uso de redes neuronales. Los datos recogidos, junto con las acciones óptimas determinadas a partir de los procedimientos desarrollados, permitirán, a su vez, aplicar técnicas basadas en lógica difusa para obtener las reglas de control de las válvulas.

SISTEMA DE ALARMAS VÍA GSM

Como sistema auxiliar, la sala de control incorpora un equipo SPIRAL GSM-9000 de ICR que transmite al teléfono móvil de guardia, seleccionando las posibles alarmas críticas que se producen en la red fuera del horario laboral del personal de explotación. Se utiliza la modalidad de comunicación GSM SSMS (mensajes cortos) y permite la transmisión de mensajes de hasta 160 caracteres con un coste muy bajo de la llamada (25 pta). El módulo de *software* desarrollado para este sistema permite la supervisión en tiempo real de cualquier variable de INTOUCH, de manera que se establece la llamada cuando las condiciones lógicas superan los umbrales de seguridad programados.

CONCLUSIONES

Los sistemas de control distribuido implantados en las instalaciones del ciclo inte-