

COMITÉ NACIONAL ESPAÑOL DE GRANDES PRESAS

AUSCULTACIÓN EN TIEMPO REAL EN LAS PRESAS DEL CANAL DE ISABEL II

Francisco Blázquez Prieto ¹

RESUMEN: El Canal de Isabel II está implementando la transmisión y el tratamiento en tiempo real de los datos de auscultación de 15 presas en su Centro Principal de Control (CPC). En dicho centro se dispone de personal técnico las 24 horas y de una infraestructura informática que permite el completo proceso de la medida, la detección de posibles alarmas y el archivo masivo de valores. En el artículo se describen los diferentes pasos desde que se capta una señal hasta que sus resultados llegan finalmente al equipo técnico. Igualmente se comentan las condiciones a las que ha sido preciso adaptarse pues la infraestructura del CPC y del sistema de comunicaciones ya estaba implementada. Se hace mención a la labor previa de selección de las medidas a tratar para cumplir la normativa legal y optimizar el conocimiento de la presa. Todo ello con el objetivo final de maximizar su seguridad. En otro apartado se señalan las razones que han primado para la elección de los equipos de medida. Como resultado se puede controlar desde cualquier punto, vía Internet, la situación en tiempo real de las presas así como la evolución de todas las magnitudes de auscultación tratadas.

¹ Jefe de la División de Seguridad de Presas. Canal de Isabel II.

1. INTRODUCCIÓN Y SITUACIÓN DE PARTIDA

El Canal de Isabel II es una empresa pública creada en 1851 con el objetivo de suministrar agua a la villa de Madrid.

Desde 1984 es dependiente de la Comunidad de Madrid y gestiona el ciclo del agua en la práctica totalidad de sus núcleos urbanos. En la actualidad abastece a más de seis millones de personas, lo que supone uno de cada siete españoles. Para cumplir con esta misión el Canal de Isabel II es propietario o explotador de 16 grandes presas.

En 1992 se estructuró un plan de auscultación en cuatro fases: toma de datos, procesado, análisis e interpretación y emisión de informes. Esta sistemática se reforzó con la adaptación de las actuaciones del Canal de Isabel II a la Norma ISO-9002 que dio origen, en este campo, a las Instrucciones Técnicas en las que se normalizan las fases citadas.

Por otra parte, en las Normas de Explotación redactadas para las diferentes presas se han definido dos categorías de instrumentos de auscultación:

- a) Instrumentos detectores. Se caracterizan por su número reducido y ser leídos con una frecuencia diaria. Su misión es detectar inmediatamente toda desviación respecto al estado normal de la presa. Para cada uno de estos instrumentos se ha establecido un valor umbral de alerta.
- b) Instrumentos de apoyo. Son los instrumentos cuyo fin es ayudar a la interpretación de todo fenómeno anormal que pueda presentarse durante la vida de la obra. La frecuencia de sus lecturas es variada (diaria, semanal o mensual). Sus datos son verificados y a continuación se clasifican para una eventual utilización posterior.

El número total de instrumentos detectores es de 159 con la distribución del cuadro siguiente. No se incluyen los datos de variables exteriores (cota, temperatura, lluvia). Como resumen se señala que diariamente se toman, analizan y contrastan con modelo 224 datos y que el conjunto de lecturas (en instrumentos detectores y de apoyo) supone un total de 248.309 datos/año.

Presa	Instr. Detectores
Pinilla	9
Riosequillo	5
Puentes Viejas	3
El Villar	3
El Atazar	72
El Vado	19
Pozo de los Ramos	2
Pedrezuela	9

Presa	Instr. Detectores
Manzanares el R.	3
Valmayor	11
La Jarosa	5
Navalmedio	5
Navacerrada	4
La Aceña	7
Las Nieves	2
Pontón de la Oliva	0

2. EL TELECONTROL EN EL CYII

El Canal de Isabel II tiene instalado un sistema de telecontrol que permite el conocimiento en tiempo real (24 horas/día y 365 días/año) de la situación hidráulica de la red de aducción, calidad de las aguas, captaciones subterráneas y otros parámetros. Se monitorizan desde el Centro Principal de Control (CPC) por personal propio del Canal de Isabel II, 445 estaciones remotas con un total de 7.900 instrumentos de medidas. Además se dispone de 13 instalaciones de telemando que permiten realizar maniobras sobre 26 válvulas y compuertas.

El telecontrol se apoya en un sistema de comunicaciones que cubre el área geográfica de actuación del Canal de Isabel II con una red que integra todos los servicios de comunicaciones de la empresa (telecontrol y telemando, telefonía fija, telefonía móvil y comunicación de datos entre ordenadores) mejorando la eficacia de la gestión hidráulica, administrativa y comercial.

La disponibilidad del conjunto de sensores e instrumentos de campo ha sido del 96,5 % y la disponibilidad del sistema general de comunicaciones ha superado el 99,94 %.

La nueva estructura de la red de transmisión de datos está compuesta por una estación maestra concentradora ubicada en el CPC, que establece comunicación Ethernet con las estaciones concentradoras locales ubicadas en presas y demás instalaciones (depósitos, nudos, etc.).

En todas las instalaciones se ha optado por una arquitectura distribuida, centralizando por vía digital la información en el autómata concentrador de la estación local. El soporte de la transmisión de datos es la fibra óptica. De esta forma en cada presa se ubican estaciones periféricas en los puntos estratégicos que por medio de fibra óptica establecen una comunicación con protocolo Profibus con la estación concentradora local.

Las estaciones periféricas recogen informaciones agrupadas de captadores de instrumentación próximos: niveles de embalse, posición de compuertas, caudales, etc. De esta forma las informaciones procedentes de captadores de auscultación son enviadas al CPC aprovechando las estaciones periféricas más próximas a su entorno, utilizando separaciones galvánicas como medio de aislamiento entre equipos de campo que se conectan a sistemas de alimentación diferentes.

3. CONEXIÓN DE LA AUSCULTACIÓN AL CPC

La política de la empresa es incorporar progresivamente todos los datos que deban ser origen de una actuación en la que la velocidad de respuesta sea un factor importante. Los datos de los instrumentos detectores se incluyen de una forma prioritaria en este conjunto, por lo que hace ocho años se iniciaron los estudios para su incorporación.

En dichos estudios se concluyó la conveniencia de comenzar por la presa de El Atazar, igualmente se determinó que la transmisión de datos se efectuara a través del sistema de telecontrol del Canal de Isabel II.

Una última exigencia fue que las medidas a seguir en tiempo real deberían de conectarse con arreglo a unas condiciones normalizadas.

Con el fin de optimizar los conocimientos de cada departamento y facilitar las tareas, se decidió que la transmisión de datos al CPC desde cada presa se haría en tres fases no simultáneas:

- En la primera se instalarían los sensores, los convertidores y la transmisión de datos en el interior de la presa hasta los armarios de concentración. Estos sensores reciben la energía mediante un sistema de alimentación ininterrumpida (SAI) y en los armarios se ubican todos los sistemas de alimentación, protección y separación galvánica de la red.
- En una segunda fase se instalaría en cada punto de centralización un convertidor que transforma las señales eléctricas procedentes del citado armario en señales ópticas que serían transmitidas por el sistema de comunicaciones hasta el CPC.
- La tercera fase correspondería al tratamiento y archivo de las señales en el propio CPC y la transmisión de los resultados mediante protocolo TCP/IP a los ordenadores personales de los técnicos del Departamento de Presas.

En la presa de El Atazar se realizó la primera fase a lo largo de 2001, la segunda fase se concluyó a finales de 2002, a mediados de 2003 comenzaron las pruebas y ajustes finales de la tercera y la puesta en servicio se efectuó a principios de 2004.

De modo sucesivo, desde 2003 se han ido realizando las diferentes fases en las restantes presas, siendo la situación en septiembre de 2008 la siguiente:

- Está finalizada la primera fase en las 15 presas cuyas lecturas se centralizan, incluso en algunas presas se ha incrementado el número de medidas a transmitir. En la presa del Pontón de la Oliva no se centralizará ningún dato al ser una presa cuyo embalse ordinariamente está vacío
- La segunda fase está finalizada en 10 presas, en obras en 2 y se proyecta realizar en 2009 la transmisión de datos en las presas de Pozo de los Ramos, Manzanares el Real y Las Nieves.
- La tercera fase está finalizada o en pruebas en 10 de las 15 presas a centralizar. Las presas que faltan son Pozo de los Ramos, Pedrezuela, Manzanares el Real, Las Nieves y La Aceña, previstas todas ellas para 2009.

Como caso representativo de la estrategia seguida, se describen las actuaciones en la presa de El Atazar. En ella se automatizaron y centralizaron las siguientes lecturas:

- 32 medidas de desplazamiento en péndulos (16 radial y 16 tangencial).

- 10 medidas de caudal en puntos de aforo zonal.
- 12 medidas de presión para control de subpresiones en cimentación.
- 12 medidas de deformación zonal en extensómetros de varilla.
- 12 medidas de temperatura del hormigón mediante termorresistencias.

Posteriormente (en 2007) se sensorizó y centralizó un nuevo conjunto de medidas que comprende las siguientes:

- 18 medidas de desplazamiento en péndulos (9 radial y 9 tangencial).
- 6 medidas de caudal en puntos de aforo zonal.
- 45 medidas de deformación zonal en extensómetros de varilla.
- 1 medida de temperatura del hormigón mediante termorresistencias.

Se espera que estas medidas se transmitan al CPC a lo largo de 2009.

4. PROCESO DE LA SEÑAL

En este apartado se describen los diferentes pasos desde que se capta una medida hasta que sus resultados llegan finalmente al equipo técnico de auscultación.

El primer paso (obvio) para la captación de medidas es disponer de una línea de alimentación eléctrica para el sensor, en este aspecto se ha optado además por incluir un SAI capaz de alimentar todo el sistema de auscultación de la presa durante un periodo mínimo de dos horas.

En la mayoría de los casos, el sensor transforma la magnitud en señal de intensidad de 4-20 mA. Cuando esto no es así, como en el caso de los piezómetros de cuerda vibrante, se instala en punto anejo al sensor una placa con los circuitos precisos para transformar la señal del sensor en otra del tipo citado.

Una vez que la medida es captada y normalizada, se transmite al armario de centralización correspondiente. En la mayoría de las presas ha bastado con un único armario, pero en El Atazar han sido precisos tres armarios independientes que reciben cada uno las señales de su zona. En estos armarios se sitúan los separadores galvánicos cuya misión es permitir el paso de la señal al mismo tiempo que independizan los circuitos de auscultación de los circuitos de transmisión de datos del telecontrol.

En la salida de los citados separadores se conecta la línea de telecontrol que finaliza en una estación periférica del telecontrol, cada presa dispone de varias estaciones de este tipo. En ellas los datos pasan de modo analógico a digital, se efectúa el multiplexado de las señales y se transmiten a través de una fibra óptica hasta la estación concentradora local, suele haber una estación de este tipo por presa.

Desde esta estación concentradora, los datos son transmitidos mediante comunicación Ethernet a la estación maestra concentradora ubicada en el CPC junto con los correspondientes a otras magnitudes (niveles en embalse o en canal, apertura de válvulas, etc.) procedentes de diferentes sensores ajenos a la auscultación.

Cuando la medida se recibe en el CPC, sigue un proceso de forma automática formado por los siguientes pasos:

- Filtrado de la señal (sólo se acepta un cambio cuando el porcentaje de cambio supera un valor prefijado). Su objetivo es eliminar los cambios muy pequeños en los valores debidos al “ruido” en la transmisión.
- Alisado (para eliminación de datos instantáneos espurios).
- Comprobación de límites (los datos se comparan con valores umbral de alerta y alarma fijados previamente).
- Comprobación de gradiente (la velocidad de cambio de valores se compara con un porcentaje límite de cambio sobre el rango de la medida fijado previamente).
- Archivo del dato.

Existen cuatro valores umbral para la señal: dos inferiores (alerta y alarma) y dos superiores. La superación de estos valores o la superación del gradiente fijado generan un aviso que deberá ser reconocido de modo manual por el personal del CPC. Para estos casos se han establecido protocolos de actuación ante situaciones anómalas. En relación con este tipo de análisis se ha definido el concepto de “situación anómala” como aquella que se produce cuando, al tomar un dato de auscultación, se observa un valor que sobrepasa los valores umbral y queda fuera del intervalo de aceptación.

Para facilitar el conocimiento de los valores de la señal, el propio sistema de telecontrol dispone de programas para visualización instantánea de la medida y de su evolución en el tiempo, pudiendo seleccionarse directamente el periodo de análisis.

Estos programas de visualización también pueden ser activados desde los ordenadores personales pues se ha establecido una conexión mediante protocolo TCP/IP con protección por contraseña que permite el acceso directo al banco de datos del CPC. Esto permite un mejor control y la posibilidad de una rápida respuesta, lo que implica un notable incremento de la seguridad.

5. SELECCIÓN DE MEDIDAS

Como se ha comentado en los puntos anteriores, en la Norma de Explotación de cada presa se determinaron sus instrumentos detectores que son los que se automatizan y centralizan.

En el siguiente cuadro se resumen los tipos de sensores y el número de presas en los que se han instalado. Como criterio básico se tomó el cumplimiento de la normativa legal vigente y la optimización del conocimiento de la presa.

Tipo de sensor	Nº sensores	Nº de presas
Caudalímetro	43	13
Aforo Thompson	33	12
Lector en péndulos	42	8
Termorresistencia	15	2
Lector extensómetros	57	1

Piezómetro	15	2
Piezóm. cuerda vibrante	6	1
Medidor apertura juntas	4	1

Esto supone un total de 215 sensores y 257 medidas a transmitir pues los lectores en péndulos transmiten tanto los desplazamientos radiales como los tangenciales.

Se observa que el número de sensores es superior en 56 unidades al de elementos detectores (215 frente a 159). La diferencia se debe en su práctica totalidad a los 61 sensores instalados o centralizados en 2007 en la presa de El Atazar.

6. ELECCIÓN DE EQUIPOS DE LECTURA

Las razones que han primado para la elección de un tipo de equipos cuando había diferentes opciones son muy variadas. A continuación se expondrán algunas aplicables a diferentes equipos.

El principal problema surgió con el empleo de caudalímetros o medidores de nivel en aforos Thompson. Inicialmente se optó por los caudalímetros a pesar de su precio algo más elevado, pero aparecieron tres situaciones que han obligado a optar por medidores de nivel, estas han sido:

- Con algunos tipos de filtraciones, los caudalímetros pierden sección rápidamente por sedimentación en la conducción.
- Los caudalímetros producen un desnivel aguas arriba que a veces es imposible asumir.
- Para caudales muy bajos o con sólidos en suspensión su fiabilidad es menor.

Otra situación parecida es la relativa al empleo de piezómetros. Tradicionalmente habíamos empleado equipos de cuerda vibrante dada su fiabilidad y duración (hay equipos en servicio satisfactorio desde 1992) pero algunas situaciones hacen que también se haya optado por sensores de presión con salida directa de 4-20 mA. Estas son:

- Los piezómetros de cuerda vibrante no son recuperables en caso de avería. En una presa quedaron inservibles por un rayo y fue preciso realizar nuevos taladros para instalar otros equipos.
- Precisan un conversor adicional para el paso de la señal en frecuencia a la señal normalizada de 4-20 mA.
- La fiabilidad y duración de los nuevos modelos de sensores piezométricos es superior a la de los antiguos equipos y hay más facilidad para instalar un piezómetro manual anexo como medida de comprobación.

La tercera duda surgió a la hora de instalar sensores de desplazamiento en los péndulos. Los de tipo óptico, sin contacto con el hilo eran preferibles desde el punto de vista técnico por la precisión, facilidad de lectura y fiabilidad del equipo. El inconveniente era de tipo económico, pues son claramente más caros. En este caso se decidió primar la técnica a costa de comprar los equipos

poco a poco (el primero se instaló en 1993 y el último se ha adquirido en 2007 sin que ningún año se hayan instalado más de cinco).

Para la lectura de desplazamientos en extensómetros y medidores de apertura de juntas se han adquirido sensores del tipo LVDT con funcionamiento satisfactorio. En todo caso, la disposición al instalarlos debe permitir una lectura de comprobación manual, bien sea con comparador o con calibre.

7. SOFTWARE ESPECÍFICO IMPLEMENTADO

La problemática de la auscultación presenta diferencias con la del control de una red de abastecimiento, ello ha supuesto un esfuerzo de adaptación a las condiciones generales de tratamiento de señales. Igualmente ha sido preciso realizar algunas aplicaciones de software específicas para el tratamiento de los datos de auscultación.

Entre ellas se destaca un programa para volcado diario de datos seleccionados. Este programa se activa de forma automática a las 8:00 y partiendo de los datos de las 24 horas anteriores remite a los ordenadores del personal técnico de auscultación un archivo con los siguientes datos para cada señal de lector de péndulo:

- Valor actual
- Valor máximo
- Hora y minuto del valor máximo
- Valor mínimo
- Hora y minuto del valor mínimo
- Valor medio de las 24 horas

Para las restantes señales se remite un informe simplificado con el dato del valor actual, pues en general las variaciones de ciclo diario son despreciables.

Como el acceso a los datos del CPC está restringido, para poder efectuarlo desde cualquier punto se han suministrado ordenadores portátiles con validación mediante tarjeta codificada aptos para conectarse mediante Internet para la recepción de datos.

8. SITUACIÓN ACTUAL Y OBJETIVOS

Como conclusión se recalca que ya se puede controlar desde cualquier punto, vía Internet, la situación en tiempo real de 10 presas y se estima que en el plazo de un año se podrán controlar todas ellas. Igualmente se puede visualizar la evolución de las magnitudes de auscultación tratadas en dicha presa.

De todas formas hay que comentar que este sistema no ha desbancado a los métodos tradicionales de lectura manual. Se ha optado por una solución conjunta que se piensa que reúne las ventajas de ambos y que se describe de forma resumida a continuación.

El oficial de la presa realiza las lecturas en los displays de los sensores con el objetivo de que no se pierda el contacto directo con ella. Estas lecturas son

introducidas en un pequeño ordenador portátil y al finalizar la toma vuelve al centro de trabajo (anejo a la presa) y vuelca las lecturas a una base de datos, en ella se detecta la superación de valores umbral y las alarmas generadas llegan al equipo técnico mediante mensaje SMS.

Las lecturas de los sensores se comprueban semanalmente con otras lecturas manuales y en caso de que la diferencia supere un valor predeterminado, los sensores son revisados para averiguar el origen de dicha diferencia.

Como objetivo para el futuro sobresale conseguir el pleno funcionamiento de este sistema. En cualquier caso, está previsto mantener la estrategia de que el personal de presa continúe realizando las labores de toma de datos "in situ" pues de este modo se incorporan dos importantes ventajas:

- El valor añadido la vigilancia visual diaria.
- El crear un conocimiento de la presa por dicho personal, aspecto que se ha revelado como muy útil en diferentes ocasiones.

Otro objetivo técnico es la conexión de algunos datos especiales como las lecturas de las redes de sismómetros instaladas en las presas de El Atazar, Manzanares el Real y Valmayor.

REFERENCIAS

F. Blázquez (2002). "La auscultación en las presas del Canal del Canal de Isabel II. Situación actual y adaptación de los sistemas de información". VII Jornadas Españolas de Presas. Zaragoza 2002. Vol. III. Págs. 279-287.