

Q-78

AUSCULTACIÓN DE PRESAS Y SUS CIMENTACIONES

Jürgen Fleitz

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Ofiteco

RESUMEN

La mayoría de los artículos presentados para el XX Congreso del ICOLD se refieren a la Cuestión 78 que trata de la auscultación de presas y sus cimientos, lo que pone de manifiesto la creciente importancia de este tema para los titulares de presas en todo el mundo. Como tendencia general se puede observar que la evolución de la auscultación se caracteriza por el uso de nuevas tecnologías, especialmente en el campo de sistemas de adquisición de datos, software de presentación y análisis así como modelos de simulación y predicción. Los avances tecnológicos no reducen la importancia de las inspecciones visuales por personal cualificado, que siguen siendo fundamentales en la evaluación del comportamiento de una presa.

ABSTRACT

The majority of the articles presented at the XX Congress of the ICOLD referred to question 78 which dealt with the auscultation of dams and foundations, and goes to show the growing importance of this subject for dam owners throughout the world. The development of auscultation generally tends to be characterised by the use of new technologies, particularly in the areas of data collection systems and presentation and analysis software and in simulation and forecast models. However, these technical advances do not undermine the importance of visual inspections by qualified personnel, which continue to be fundamental in the evaluation of dam behaviour.

1. INTRODUCCIÓN

Por quinta vez en la historia de los Congresos Internacionales de Grandes Presas de ICOLD, se ha elegido el tema de la auscultación para ser tratada como "Cuestión 78" en las sesiones técnicas del XX Congreso, celebrado del 19 al 22 de septiembre de 2000 en Pekín, China. El título elegido para la Cuestión 78, en adelante Q. 78, es: "Auscultación de presas y sus cimentaciones."

En presente artículo pretende describir los principales asuntos tratados, tanto en los 85 artículos presentados y publicados en el tomo III de la documentación del Congreso como en las sesiones técnicas. El presidente de la Q. 78 fue el Dr. Jiao Yong (China), el vicepresidente D. Alejandro Pujol (Argentina) y el secretario D. Lu Zhengchao (China). El presentador (General Reporter) fue el Profesor Elmo Dibiagio (Noruega), que hizo una excelente presentación del tema

principal y los distintos aspectos tratados con detalle. A todos los ingenieros interesados en temas relacionados con la instrumentación de obras civiles en general, se recomienda la lectura del Informe General de Dibiagio, que se incluye al final del citado tomo III. En este informe no sólo se presenta un resumen general del contenido de los artículos presentados, sino también una recopilación del desarrollo de la instrumentación a lo largo del siglo XX. Se incluye un capítulo sobre el estado del arte actual y tendencias nuevas en el campo de sensores y sistemas automáticos de adquisición y proceso de datos. Como los artículos enviados contienen relativamente poca información sobre la fiabilidad del comportamiento de los sensores y componentes asociados, Dibiagio dedica un capítulo de su trabajo a este tema, analizando varios aspectos y consideraciones dirigidas a mejorar la calidad de las medidas y a optimizar el diseño de la topología de las redes de control.

El resumen recogido en el Informe General de las comunicaciones presentadas para la Q. 78, fue una ayuda importante para el presente artículo, ya que ocupan un total de 1420 páginas. Con mayor detalle se comentan los ocho artículos españoles.

2. LA IMPORTANCIA DE LA AUSCULTACIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN Y EXPLOTACIÓN DE LAS PRESAS

El correcto y seguro comportamiento de las presas es un asunto de extrema importancia para la seguridad de la población y la economía de un país. Por consiguiente resulta imprescindible disponer de medios de recogida de información que sea útil para evaluar el comportamiento y la seguridad de las presas. Para conseguir este objetivo, tradicionalmente los ingenieros de la especialidad de presas han recorrido a medidas directas en campo, es decir la técnica de monitorizar y cuantificar el comportamiento de estructuras y otras obras de ingeniería mediante medidas físicas. Programas de auscultación de presas han contribuido significativamente a los avances en el estado del arte de la ingeniería de presas del siglo XX. La siguiente lista de "Cuestiones" tratadas en anteriores congresos de ICOLD y relacionadas con instrumentación y auscultación de presas, indica claramente la importancia de esta actividad en la ingeniería de presas:

- ▼ Cuestión 9: Métodos e instrumentos para medir tensiones y deformaciones en presas de materiales sueltos y presas de hormigón, Estocolmo 1948
- ▼ Cuestión 21: Observaciones de tensiones y deformaciones en presas y sus fundamentos y estribos; comparación de estas observaciones con cálculos y ensayos de modelos reducidos, Nueva York, 1958
- ▼ Cuestión 29: Resultados e interpretación de medidas realizadas en grandes presas de todos los tipos, incluidas observaciones sísmicas, Edimburgo, 1964
- ▼ Cuestión 56: Auscultación de presas y cimientos, Lausana, 1985

De ninguna manera la importancia de la auscultación de presas está disminuyendo. La aparición de la informática en los años sesenta hacía posible realizar cada vez mejores predicciones analíticas avanzadas del comportamiento de presas. La primera sensación en aquella época era que se pudiera producir una menor atención a la instrumentación de campo, ya que la capacidad analítica había incrementada tremendamente. Sin embargo, realmente pasó lo contrario. Hoy en día la instrumentación es aún más importante como complemento para los métodos analíticos que en el pasado.

Con las medidas realizadas en campo, se puede analizar la validez de estas predicciones analíticas avanzadas, y es en este campo donde se encuentran las continuas mejoras del estado del arte de la ingeniería de presas.

3. ASPECTOS DE LA INSTRUMENTACIÓN TRATADOS EN LA Q. 78

Cuatro aspectos destacados de la auscultación de presas y sus cimientos fueron seleccionados para la Cuestión 78:

- ▼ 1. Sistemas de auscultación y tratamiento de datos con referencia especial a las instalaciones automáticas
- ▼ 2. Comparación del comportamiento observado con predicciones y simulaciones analíticas
- ▼ 3. Optimización de sistemas de auscultación, fiabilidad e incertidumbres en su explotación
- ▼ 4. La importancia de inspecciones visuales en comparación con la instrumentación

Ochenta y cinco (el 34,4%) de los 247 artículos presentados al XX Congreso del ICOLD han sido dirigidos a la Cuestión 78, por tanto ha resultado ser el tema más popular.

En la tabla 1 se presenta la distribución por países de los artículos presentados.

No era tarea fácil agrupar los artículos en los cuatro temas principales mencionados anteriormente, ya que muchos abarcan varios temas, mientras otros son difíciles de asociar con ninguno. No obstante el Informe General intenta este agrupamiento, tal como se refleja a continuación.

3.1. TEMA 1: SISTEMAS DE AUSCULTACIÓN Y TRATAMIENTO DE DATOS CON REFERENCIA ESPECIAL A LAS INSTALACIONES AUTOMÁTICAS

Treinta y dos artículos se refieren a sistemas automáticos de auscultación. A pesar de que estos artículos están relacionados o describen este tipo de sistemas, prácticamente

TABLA 1

Nº de artículos	País
8	España, Japón
6	Alemania
5	Brasil, Estados Unidos
4	Canadá, Francia, Marruecos, Suiza
3	Austria, Irán, Italia, Portugal, Reino Unido, Suecia
2	Australia, China, Polonia, República Checa, Venezuela, Yugoslavia
1	Bulgaria, Méjico, Nueva Zelanda, Noruega, Rumania, Rusia, Sudáfrica

ninguno da información sobre los problemas de su explotación. Implícitamente se puede sacar la conclusión –debido a las numerosas y positivas comparaciones con cálculos teóricos– que los datos suministrados por los sistemas de auscultación son de una calidad suficiente para llevar a cabo este tipo de análisis con buen éxito.

Sólo se comentan dos problemáticas de estos sistemas dignas de mención, aunque sólo sean pequeños detalles. No obstante, ponen de manifiesto dos aspectos importantes de los sistemas automáticos, y es por un lado la necesidad de “auscultar” el sistema de auscultación y por otro lado evitar que se puedan realizar modificaciones por personal no autorizado.

En el artículo R. 22, los autores Hughes y Lovenbury (Reino Unido) describen un sistema automático para controlar las obras de reforma de una presa de materiales sueltos destinada al abastecimiento de la ciudad de Manchester. Durante un mes se perdieron parte de los datos de auscultación por un fallo en el sistema automático de adquisición (datalogger). Finalmente se determinó que la causa del fallo era un fusible del circuito de alimentación. Aunque la pérdida de los datos no fue de una mayor importancia para el proyecto, la avería pone de manifiesto un importante aspecto: el intervalo de tiempo entre el momento en que se produce cualquier tipo de fallo o anomalía en un sistema automático hasta que sea detectado. Para evitar en lo posible o detectar estos problemas de funcionamiento del sistema, es imprescindible contar con el mantenimiento adecuado, tanto preventivo como correctivo. La tecnología disponible hoy en día facilita el control remoto del estado de los distintos componentes del sistema, permitiendo acortar sustancialmente el tiempo de respuesta del mantenimiento correctivo. Se puede concluir que no se trata de un problema técnico (excepto los casos de sistemas muy sofisticados con una susceptibilidad muy alta de fallar o sistemas con deficiencias en su diseño, como puede ser la falta de protecciones adecuadas contra sobretensiones), sino de un problema de organización; de prever no solamente el proyecto y la ejecución de un sistema de auscultación, sino también su correcto mantenimiento.

El segundo ejemplo se refiere a copias de seguridad de datos adquiridos por un sistema automático. En el artículo R. 56 de los autores Boncompain y Capelle (Canadá), se describe un sistema de control distribuido para auscultar a 20 presas en 10 localizaciones geográficas distintas. Se comenta que el programa de adquisición de datos fue diseñado inicialmente muy abierto, dando mucho margen de maniobra al operador a la hora de validar los datos. Este margen de maniobra creó problemas y fue necesario modificar el software para que se requiriese menos intervención de parte del operador. Este aspecto se puede convertir a menudo en un problema, pero se puede evitar con el adecuado diseño del software de adquisición y tratamiento de datos y mediante unas claramente definidas manuales de operación.

3. 2. TEMA 2: COMPARACIÓN DEL COMPORTAMIENTO OBSERVADO CON PREDICCIONES Y SIMULACIONES ANALÍTICAS

Treinta y un artículos se refieren a modelos numéricos y simulaciones matemáticas del comportamiento observado.

El tema 2 trata la comparación del comportamiento observado de una presa con las predicciones obtenidas a través de modelos numéricos. Los principales objetivos de estos estudios son la verificación del comportamiento previsto en el proyecto y el análisis de las posibles causas de anomalías detectadas durante la construcción o explotación de una presa. La combinación de medidas de auscultación y análisis matemático proporciona una herramienta potente para la evaluación de la seguridad de una presa.

La mayoría de los artículos relacionados con la simulación del comportamiento de presas tratan temas específicos de los siguientes tipos:

- ▼ Inestabilidad de taludes de presas de materiales sueltos o laderas de embalse
- ▼ Subpresiones altas
- ▼ Filtraciones
- ▼ Problemas de pantallas de impermeabilización
- ▼ Deformaciones irreversibles, desplazamientos grandes y asentamientos
- ▼ Fisuras
- ▼ Distribución de temperaturas en el cuerpo de presas

En líneas generales se puede deducir de los artículos presentados, que la calidad de las predicciones es suficientemente buena, es decir que hoy en día con los medios informáticos disponibles y los conocimientos sobre el comportamiento de los materiales, especialmente en el caso de materiales sueltos con un comportamiento elástico no lineal, se está en condiciones de simular satisfactoriamente el comportamiento de una presa y por tanto evaluar su seguridad.

La mayoría de los artículos españoles trata sobre este tema. A continuación se resume el contenido principal de estos cinco artículos.

3.2.1. La presa bóveda de Las Cogotas

Las tensiones deducidas de los extensómetros de hormigón de la presa bóveda de Las Cogotas es el tema del artículo R. 46, presentado por Marciano Guerreiro, Ricardo Fernández Cuevas (ambos Ingenieros Consultores), Moisés Rubín de Célix Caballero (Ministerio de Medio Ambiente) y Isidro Lázaro Martín (Confederación Hidrográfica del Duero). Se trata de un minucioso análisis de los datos de auscultación de esta presa de una altura desde cimientos de 66 m. Se estudian los datos procedentes de varios grupos de extensómetros de cuerda vibrante y termómetros. La mayoría de los extensómetros se ha-

lla en las proximidades de los paramentos (a aproximadamente un metro de la superficie) con excepción de cuatro ubicaciones cercanos a la coronación, donde se encuentran en el centro de la sección. Se describen los resultados obtenidos en distintas fases, como cuando el embalse estaba vacío y antes de inyectar las juntas (marzo –septiembre 1990), con la misma situación de embalse vacío pero después de inyectar las juntas (febrero –septiembre 1992) y finalmente la primera puesta en carga (noviembre 1993– febrero 1994). Se presentan 14 figuras con los estados tensionales, variaciones de temperatura y variaciones volumétricas del hormigón para distintas fechas.

Como se puede observar en la figura 1, para el embalse vacío se registran sorprendentemente tracciones en las zonas centrales de la coronación, tanto aguas arriba como aguas abajo, provocadas por calentamiento, lo que constituye una contradicción si se compara con el cálculo estructural. Se contrastan las diferencias térmicas producidas en dos intervalos de tiempo, el de febrero-agosto 1992 y marzo-septiembre 1992. A consecuencia de los cambios térmicos entre febrero y agosto de 1992 (y con el embalse vacío) se produce un mayor movimiento de la presa hacia aguas arriba. Según el modelo de cálculo, tal movimiento provocaría mayores tracciones subnormales y compresiones subparalelas a la cimentación. Los registros de los extensómetros confirman las mayores compresiones, pero presentan menores tracciones que en el intervalo marzo-septiembre. Los autores opinan que los mayores gradientes de temperatura producidas en el intervalo febrero-agosto, producen compresiones que se superponen a las tracciones producidas por el movimiento de la presa hacia aguas arriba. El estado más crítico para la presa es cuando se minimiza este efecto de superposición y las tracciones llegan a valores importantes. Relacionado con este hecho, los autores expresan sus críticas a los métodos habituales de cálculo: *“...los gradientes térmicos son muchas veces ignorados en ellos y resultan, sin embargo, mucho más poderosos generadores de tracciones que los simples incrementos térmicos”*.

Por consiguiente las conclusiones básicas de los autores hacen hincapié en la importancia de un correcto análisis de los datos suministrados por un sistema de auscultación de una presa, para comprender su comportamiento y opinan que los

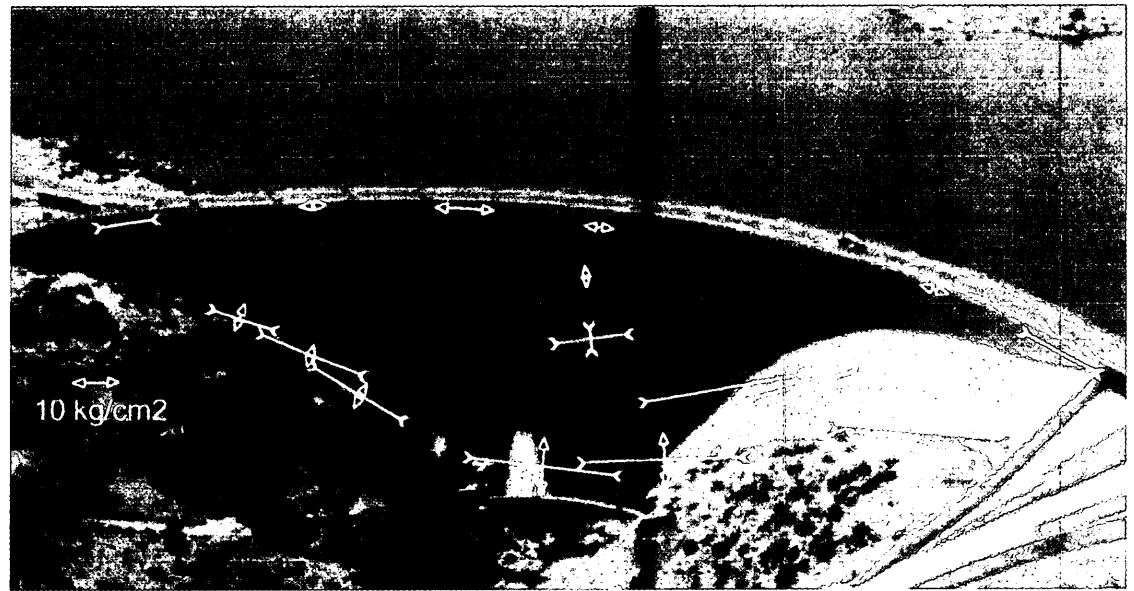


Figura 1: Tensiones aguas abajo por calentamiento con embalse vacío, febrero-agosto 1992.

modelos de cálculo *“marginan, por muy complejos y completos que parezcan, importantes parcelas de comportamiento estructural, de transcendentales repercusiones para la obra”*.

3.2.2 Reconocimientos geológicos y geofísicos de la presa de Rules

El artículo R. 48 de Miguel Fernández-Bollo (S.R.G.) y Antonio Nevot (Confederación Hidrográfica del Sur) trata sobre los reconocimientos geológicos de la cimentación de la presa de Rules.

La presa de Rules es una presa bóveda con una altura de 140 m, situada en el río Guadalfeo en la provincia de Granada. Por su situación geográfica en una zona de sismicidad media, es especialmente importante garantizar un muy buen contacto entre la presa y la roca del cimientto. Por este motivo se realizó un reconocimiento geológico detallado de la fracturación del macizo rocoso, inmediatamente antes de colocar las primeras capas de hormigón. Además se llevó a cabo una inspección geofísica que consistió en la exploración de la microsismicidad de la zona del cimientto por medio de los registros de un total de diez sismógrafos distribuidos en aproximadamente 20 alineaciones distintas en la zona de la margen izquierda.

En el estudio geológico se llegaron a identificar las principales fracturas existentes en la roca del cimientto y con las velocidades de propagación registradas con los sismógrafos durante una serie de cinco ensayos por cada alineación, se pudo ajustar un modelo sobre la elasticidad del terreno.

La bondad del modelo se presenta gráficamente (fig. 2) en la comparación de las dromocronas (líneas continuas que representan en la abscisa la distancia y en la ordenada el tiempo

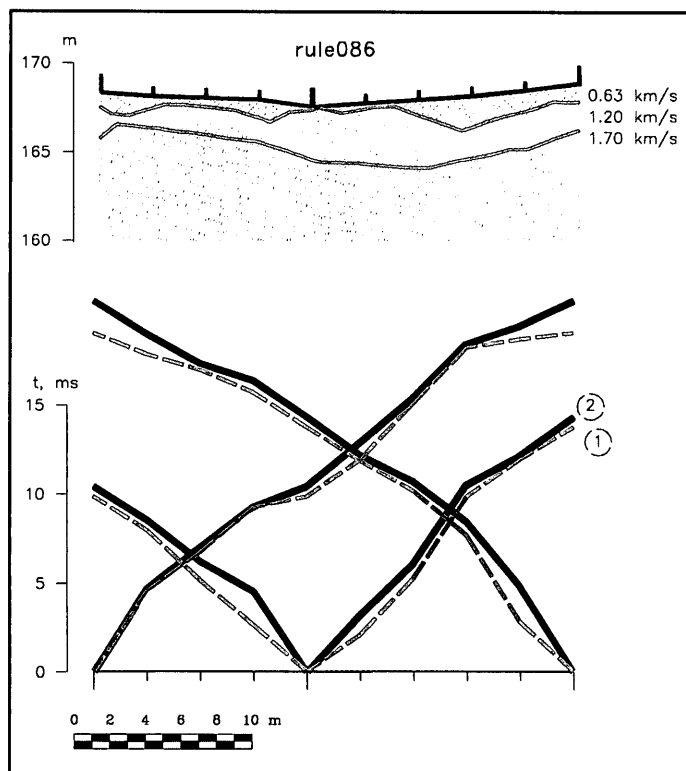
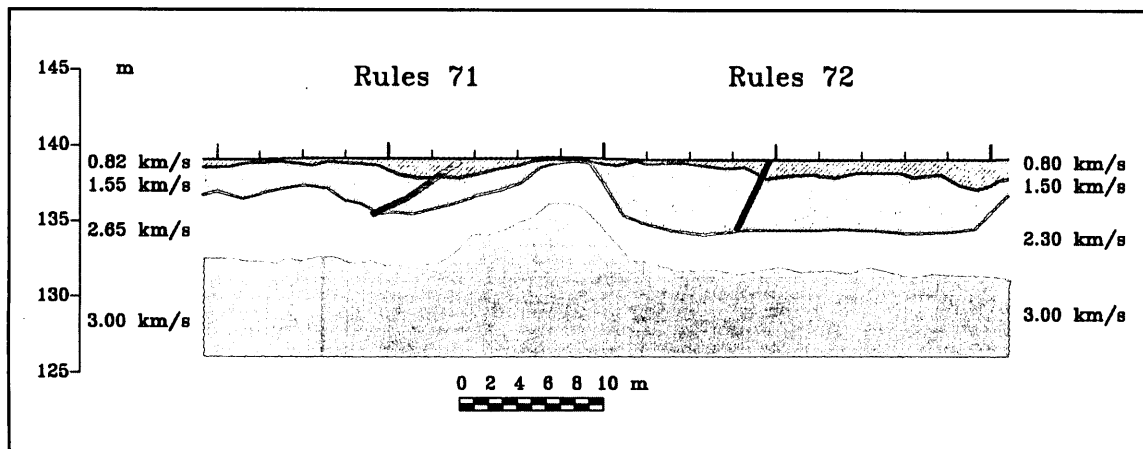


Figura 2: Comparación de los resultados de los ensayos microsísmicos (1) con el modelo elástico del terreno (2).

de recorrido de una onda elástica de compresión) generadas por el modelo que utiliza distintos módulos de elasticidad por capa y las obtenidas directamente por los ensayos microsísmicos.

El artículo concluye con la comparación de los resultados de ambos métodos, comentando que ambos son válidos como método de reconocimiento del cimiento antes de colocar el hormigón.

Figura 3: Fracturas principales detectados por el estudio geológico y relación con el modelo elástico calibrado con los resultados de los ensayos microsísmicos.



Contrastando los resultados de ambos métodos, se puede observar que las fracturas coinciden con las zonas de mayor alteración y decompresión detectadas en los ensayos geofísicos (fig. 3).

Los autores recomiendan la inspección geológica del cimiento inmediatamente antes de iniciar las obras de hormigonar, ya que aporta informaciones muy válidas sobre la estructura y configuración del macizo rocoso. Con un reconocimiento geofísico mediante refracción microsísmica y el correspondiente análisis de los datos así obtenidos por medio de un modelo elástico, se pueden obtener perfiles que coinciden muy satisfactoriamente con los resultados del reconocimiento geológico y permiten definir con detalle suficiente la campaña de inyecciones de la zona del contacto hormigón-roca.

De esta manera se puede garantizar una estructura elástica homogénea y por consiguiente un estado de tensiones favorable en el contacto presa-cimiento.

3.2.3. Los asentamientos de la presa de Yeguas

Los asentamientos de la presa de Yeguas durante y después de su construcción es el tema del artículo R. 49 presentado por José L. Justo, Agustín Pastor, Stéphanie Lemerrier, Enrique Justo y Percy Durand (Universidad de Sevilla y Confederación Hidrográfica del Guadalquivir).

Se trata de una presa de materiales sueltos de 87 m de altura con núcleo central de arcilla, que ha sufrido importantes asentamientos. Cuatro meses y medio después de terminar su construcción, los asentamientos en coronación eran superiores a un metro, obligando a realizar recrecimientos del mismo orden. Once años y medio después de aquel recrecimiento, la coronación ha asentado unos 90 cm más. En la actualidad se siguen produciendo asentamientos. El artículo describe el ajuste de un modelo tridimensional de elementos finitos para analizar el comportamiento tenso-deformacional de la presa y simular los asentamientos producidos durante y después de la construcción. También se

quiere estudiar el efecto del llenado del embalse para la estructura y la eventual posibilidad de una fisuración del núcleo impermeable.

Para la calibración del modelo se dispone de las lecturas del sistema de auscultación compuesto por células de asiento y de presión total, piezómetros e inclinómetros.

Se formulan varias leyes alternativas sobre

la disminución del módulo de elasticidad con el tiempo (fluencia de materiales) para tener en cuenta los factores reológicos o propiedades plásticas de los materiales.

El cálculo se realiza en etapas, simulando el avance del proceso constructivo. Se supone un comportamiento elástico lineal de los materiales para compresiones, la resistencia a tracción de los materiales granulares se anula según el método de Zienkiewicz.

En primer lugar se analiza el proceso constructivo. En los primeros cálculos se utilizan los valores de módulos de elasticidad procedentes de los ensayos de los distintos materiales. Para mejorar los resultados se varían los módulos con el fin de reproducir con el modelo los asentamientos medidos al final de la construcción de la presa. Finalmente se obtiene una muy buena modelización, como demuestran las comparaciones gráficas (fig. 4) de los asentamientos medidos y calculados en cuatro verticales (dos en el núcleo de arcilla, una en el espaldón de aguas arriba y una en el espaldón de aguas abajo). Cabe comentar que los módulos optimizados son del mismo orden de magnitud que los obtenidos en ensayos, en la condición saturada de humedad, salvo en el espaldón de aguas arriba, donde el del modelo es inferior. En el mismo espaldón de aguas arriba se producen los asentamientos absolutos más grandes, hecho que se justifica con un colapso de los materiales producido por la subida del embalse que tuvo lugar al final de la construcción.

En un paso posterior se han ajustado las leyes de fluencia de los materiales, comparando los asentamientos medidos 136 días después de la terminación de la presa. La mejor coincidencia de valores medidos y calculados se ha obtenido con las mismas leyes de fluencia para los materiales del núcleo y espaldones. Como para el cálculo anterior, se adjuntan gráficas de comparación de asentamientos medidos y calculados, que demuestran la bondad del modelo tridimensional de elementos finitos.

3.2.4. Control de deslizamientos de la presa de Giribaile

José Martín Pérez (Confederación Hidrográfica del Guadalquivir), Antonio Soriano Peña (Universidad Politécnica de Madrid), Manuel Valderrama Conde y Jesús González Galindo (ambos de Ingeniería del Suelo S.A.) comentan en su artículo R. 53

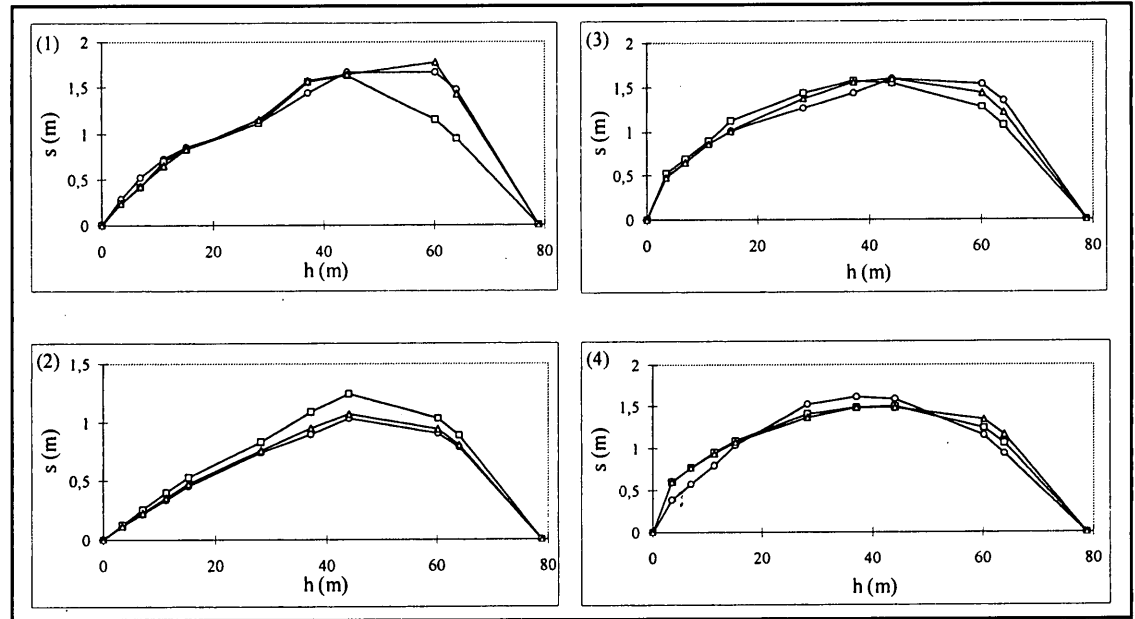


Figura 4: Comparación entre asentamientos medidos y calculados a final de construcción en cuatro verticales: (1) espaldón de aguas arriba, (2) espaldón de aguas abajo, (3) y (4): núcleo. El símbolo \diamond se refiere a asentamientos medidos, los demás a asentamientos calculados.

el comportamiento de la presa de Giribaile durante su construcción. La presa se encuentra en el río Guadalimar, situada en la provincia de Jaén, es de materiales sueltos con una altura de 90 m desde la cimentación y crea un embalse de 475 hm³. El elemento impermeable de la presa está formado por un núcleo central de arcilla, procedente de préstamos próximos a la obra, los espaldones se componen de gravas del río y los taludes se han protegido con una capa de escollera.

Durante la construcción de la presa se produjeron varias incidencias. En muchas de ellas el extenso sistema de auscultación sirvió para interpretar y analizar la situación de la obra, lo que facilitó el proyecto de soluciones.

La sección tipo de la presa es muy particular como se puede apreciar en la figura 5

El proyecto original preveía realizar una pantalla de inyecciones para impermeabilizar el cimientto. Durante el inicio de las obras, los primeros ensayos indicaron que el tipo de areniscas de la cimentación no garantizaba conseguir una impermeabilización suficiente. Por este motivo se optó por extender una capa de arcilla por debajo del espaldón de aguas arriba desde el núcleo central hasta el núcleo de la ataguía, con el fin de alargar los caminos de filtración. Esta medida conllevó modificar el talud del espaldón de aguas arriba de 2,1 H : 1 V a 2,3 H : 1 V en base a un cálculo de estabilidad, suponiendo determinadas presiones intersticiales máximas en la capa de arcilla. Las experiencias posteriores demostraron que la hipótesis sobre las presiones intersticiales fue optimista, es decir que en la realidad fueron más altas.

Durante su puesta en obra, la arcilla tenía un contenido de agua próximo al de la saturación, es decir el material resultó ser

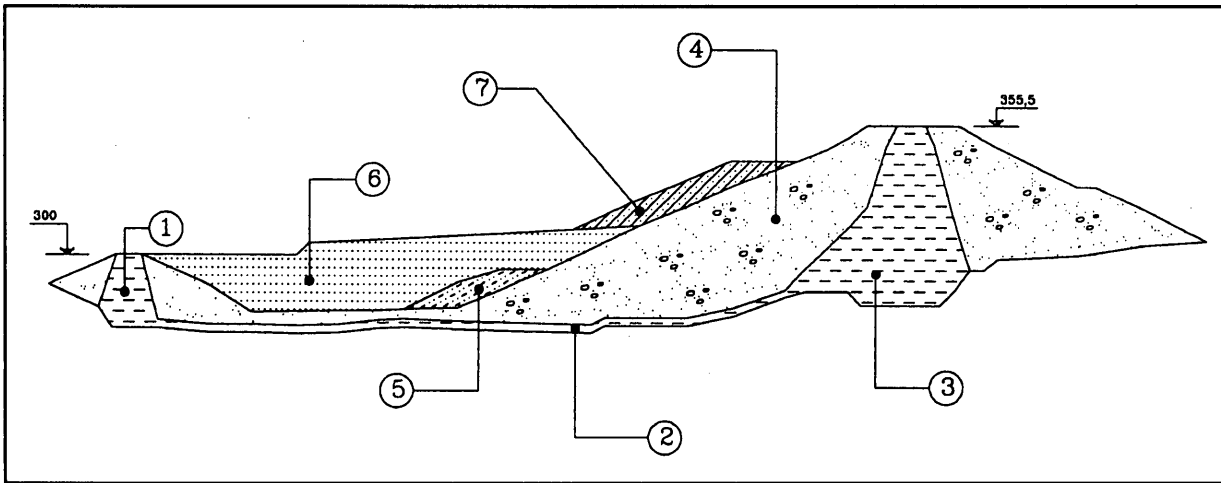


Figura 5:
Sección transversal de la presa:
(1) Ataguía,
(2) Capa de arcilla,
(3) Núcleo de arcilla,
(4) Espaldones de grava,
(5) Primer refuerzo,
(6) Segundo Refuerzo,
(7) Tercer refuerzo.

muy blando, dificultando el movimiento de vehículos durante la construcción. Como consecuencia del alto grado de humedad, se generaron unas presiones intersticiales muy altas, con niveles muy por encima de la distancia vertical entre piezómetro y superficie de construcción.

En octubre de 1993 se observaron movimientos de una magnitud desproporcionada. En este momento faltaron unos 20 m para llegar a la cota de coronación y se rompieron las conducciones de las células hidráulicas de asiento. Por levantamientos topográficos se pudieron registrar desplazamientos horizontales en el talud del espaldón de aguas arriba (en dirección hacia aguas arriba) muy grandes, del orden de 1 m por mes. Los movimientos del espaldón de aguas abajo eran mucho menores, del orden de pocos centímetros por mes. Se estima que los asentamientos máximos verticales alcanzaron hasta 4 m a finales de noviembre de 1993. Se tenía que interrumpir la construcción, ya que la colocación de las nuevas tongadas produjo asentamientos del orden de casi el espesor de la tongada.

Se revisó la estabilidad del espaldón de aguas arriba, y se optó por la construcción de una berma de apoyo, que luego se extendió entre la presa y la ataguía. Después de realizar estas medidas, se reanudaron las obras de la presa principal y en mayo de 1994 sólo faltaron 4 m hasta la cota de coronación. Por razones no técnicas se interrumpieron las obras de la presa principal hasta mayo de 1996. Mientras, se decidió construir un tercer refuerzo e iniciar una campaña de inyecciones desde la galería longitudinal de la presa, con el fin de mejorar la cimentación, considerada poco estable frente a los altos gradientes hidrostáticos que provocaría el futuro embalse lleno.

La campaña de inyecciones provocó otro incidente: la aparición de lechada de cemento procedente de las inyecciones en la coronación de la presa a través de una fisura vertical.

El artículo describe las simulaciones matemáticas del comportamiento de la presa en distintas fases de su construcción y para distintas hipótesis del estado de las presiones intersticiales en la capa de arcilla por debajo del espaldón de aguas arriba. Se incluyen gráficas con la distribución de las presiones

intersticiales, asentamientos y desplazamientos horizontales. Se observa que las deformaciones calculadas por el modelo, aumentan conforme que se incrementan las presiones intersticiales en la capa de arcilla.

Las conclusiones principales, obtenidas a partir de los datos de auscultación y la interpretación de los cálculos realizados, son las siguientes:

- ▼ La inestabilidad del espaldón de aguas arriba durante la fase de construcción se produce por el aumento temporal de las presiones intersticiales en la capa impermeable de arcilla y por las presiones intersticiales altas desarrolladas de manera más permanente en el núcleo.
- ▼ Si el ritmo de las obras hubiese sido menos rápido, no se hubiera producido esta inestabilidad. Las presiones intersticiales en la capa de arcilla prácticamente se disiparon en pocos años.
- ▼ Los refuerzos estructurales y el aplazamiento del final de la construcción, fueron medidas suficientes para conseguir un estado seguro de la presa, justo antes de iniciar su llenado.
- ▼ Las previsiones del comportamiento futuro de la presa durante el llenado del embalse e incluso en caso de desembalses rápidos, apuntan a coeficientes de seguridad aceptables.

A pesar de estas conclusiones, se recomienda un llenado lento y una continua y detallada auscultación de la presa.

3.2.5. La auscultación de la presa de Tous

José Luis Utrillas Serrano (Confederación Hidrográfica del Júcar) y José Manuel Sampedro Quijano (Ingeniería de Instrumentación y Control) escriben en el artículo R. 54 sobre la auscultación de la presa de Tous, situada en el río Júcar y construida sobre los restos de otra más antigua que fue destruida por la conocida avenida de Octubre de 1982.

Se trata de una presa de materiales sueltos con núcleo de arcilla y espaldones de escollera. La altura de la presa sobre cimientos es de 135,5 m, la cota de coronación es la 162,50 msnm y su longitud 1.024 m.

Para la construcción de la nueva presa se aprovecharon algunos elementos de la antigua presa: bloques de hormigón de las márgenes, desagüe de fondo, así como la zona inferior del núcleo de la antigua presa que no había sufrido daños por la riada y que ha pasado a formar parte del núcleo actual.

La importancia de la presa debido a su gran riesgo potencial para el valle del Bajo Júcar junto con la problemática específica de que se ha construido sobre los restos de la presa anterior, han dado lugar a un sistema de auscultación mucho más sofisticado de lo habitual para presas de dimensiones similares.

Para facilitar la explotación del complejo sistema de auscultación, que además del cuerpo de presa se extiende a estructuras anexas como el desagüe intermedio, puente del aliviadero, etc. y también incluye una red de acelerometría con siete puntos de control, ubicados alrededor del embalse para detectar la sismicidad natural y la inducida posteriormente por el llenado del embalse, se ha instalado un sistema automático de adquisición de datos.

En el artículo se describe con detalle el sistema, indicando el tipo de sensores y controles, el número de equipos y su ubicación.

Los autores mencionan las siguientes ventajas de la implantación de un sistema automático de adquisición de datos:

- ▼ Facilitar la realización de lecturas que en el caso de la presa de Tous, debido al número elevado de sensores y en algunos casos a su complejidad es especialmente laboriosa.
- ▼ Permitir la observación prácticamente en tiempo real en situaciones especiales, principalmente en caso de avenidas.
- ▼ Agilizar el proceso de elaboración y gestión de la información.
- ▼ Integrar en un único centro de control, tanto la información dada para la auscultación de la presa, y las redes de sismicidad y acelerometría como la relativa al estado de las válvulas y compuertas de los desagües y tomas de la presa y los caudales aforados.

El resultado obtenido con la instrumentación de la presa de Tous se puede considerar muy satisfactorio. Los equipos han



Figura 6: Zonas de contacto entre los bloques de hormigón de la antigua presa y el nuevo núcleo de arcilla.

funcionado en general correctamente, prueba de ello es que en la actualidad siguen en servicio un porcentaje mayor del 90% de ellos.

Las incidencias más importantes han sido la pérdida de las células de asiento instaladas en la cota 80 debido al corte por cizalla de los tubos en la zona de contacto hormigón-arcilla del núcleo y la puesta fuera de servicio de algunos extensómetros de gran base potenciométricos, atribuible a la entrada de humedad en el sensor, falseando las lecturas.

En cuanto a la pérdida de las células de asiento, no hace más que confirmar la necesidad de extremar las precauciones cuando las conducciones atraviesan la presa, pasando por zonas de diferente deformabilidad.

Se recomienda utilizar extensómetros de gran base de cuerda vibrante para evitar los problemas que la humedad puede provocar a medio y largo plazo en los extensómetros dotados de transductores potenciómetros.

Los autores opinan que los espectaculares avances de la electrónica y la informática han logrado que los sistemas de adquisición de datos sean cada vez más eficaces y de gran ayuda tanto para agilizar el proceso de ejecución de las lecturas como para facilitar su tratamiento y presentación posterior.

Como conclusión se puede apuntar, que una gran parte del éxito de la auscultación están en la planificación y coordinación de los trabajos que conlleva y que se debe tener en cuenta que la auscultación es un proceso complejo con diversas fases: proyecto, suministro de equipos, instalación, realización de lecturas y redacción de informes, que tienen que llevarse a cabo correctamente para que su resultado sea el deseado.

En su intervención durante la sesión técnica, José Luis Utrillas aprovechó para hacer un comentario crítico respecto a la red de acelerometría. Según su experiencia, el coste de los equipos y el de su mantenimiento y control es muy elevado en relación con los resultados que se pueden obtener.

3.3. TEMA 3: OPTIMIZACIÓN DE SISTEMAS DE AUSCULTACIÓN, FIABILIDAD E INCERTIDUMBRES EN SU EXPLOTACIÓN

Veintitrés artículos tratan el diseño de sistemas y la fiabilidad de equipos de auscultación.

Sobre el primer asunto, la optimización de sistemas de auscultación sólo hay siete comunicaciones, que abarcan los siguientes aspectos tecnológicos importantes:

- ▼ Control distribuido para la adquisición de los datos
- ▼ Redes locales y remotas
- ▼ Uso de distintos medios de comunicación de datos (líneas telefónicas, GSM, radio digital y fibra óptica) entre unidades remotas y el centro de control
- ▼ Transmisión de datos por Internet
- ▼ Sistemas de software para la gestión de los datos
- ▼ Control de accesos y sistemas contra intrusismo

3.3.1. El control automatizado de la auscultación de seis presas del Guadalquivir

Entre las siete comunicaciones citadas se encuentra el artículo R. 45 de Angel Pérez Saiz, Armando Molina Pérez (ambos de OFITECO) y Agustín Argüelles Martín (Confederación Hidrográfica del Guadalquivir), que comentan el diseño y la imple-

mentación de un sistema de información para el control automatizado de la auscultación y la gestión del mantenimiento de seis presas situadas en la cuenca del Guadalquivir.

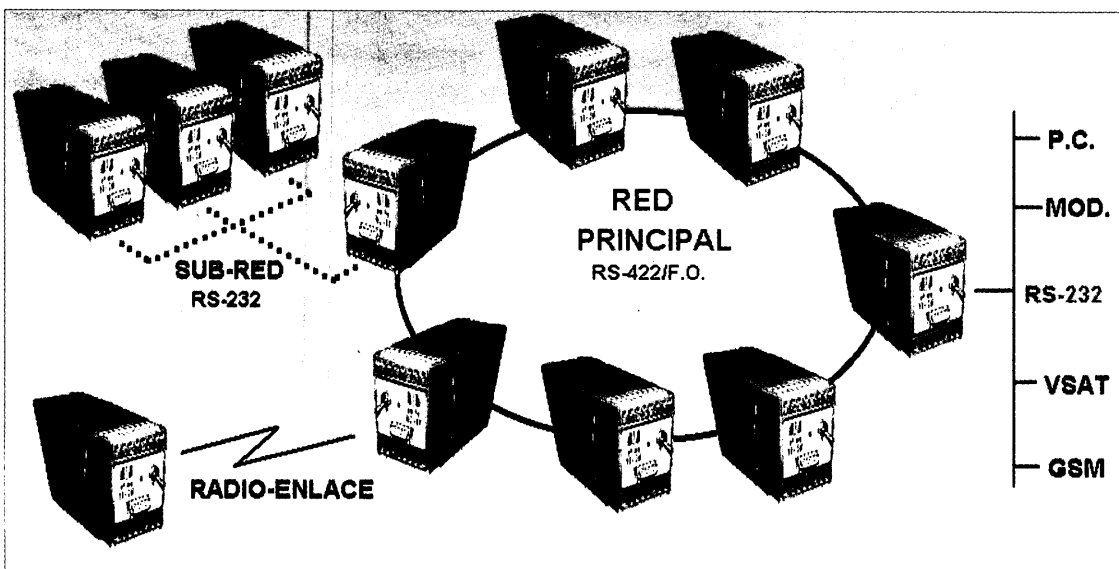
Se ha elegido un sistema de control distribuido, instalado en cada presa. Este control distribuido consiste en disponer varias unidades de adquisición de datos, denominadas Transductores Inteligentes (TI) con las siguientes características:

- ▼ Basado en un microcontrolador "monochip" que integra todas las prestaciones de un sistema independiente de adquisición de datos
- ▼ Integra todos los dispositivos de hardware necesarios para adquirir correctamente las señales eléctricas procedentes de los distintos sensores
- ▼ Convierte las señales recibidas en unidades ingenieriles, aplica fórmulas de conversión no lineales, obtiene variables calculadas en base a las medidas de uno o varios sensores, calcula medias, máximas y mínimas, almacena los datos obtenidos, genera avisos cuando se superan los valores máximos o mínimos o se pasa de determinados incrementos, varía su modo de operación en función del estado de los avisos y se comunica en red con otros equipos informáticos
- ▼ Incorpora dos puertos de comunicación (RS 422 y RS 232)
- ▼ Incluye una memoria no volátil para configuración de parámetros y almacenamiento de datos
- ▼ Incorpora reloj y calendario
- ▼ Ejecuta comandos y funciones de autochequeo

En cada presa los sensores del sistema de auscultación están conectadas a los Transductores Inteligentes, lo que

ha supuesto un importante ahorro en el coste de la instalación, no sólo por la reducción de la longitud de cableado (los TI se comunican vía protocolo RS 422 por un cable de dos pares), sino también por la optimización de la inversión en equipos, como consecuencia de un mejor ajuste del dimensionamiento del sistema implantado a las necesidades de cada presa, lo que se podía conseguir gracias al alto grado de modularidad del sistema distribuido.

Figura 7: Ejemplo de una red formado por Transductores Inteligentes TI.



Cada presa funciona como unidad independiente, dotado de un ordenador con el software necesario para realizar lecturas y tratar los datos suministrados por el sistema. Existe un total de 181 sensores, incluyendo péndulos, piezómetros, células de presión total, extensómetros de hormigón, extensómetros de suelos, extensómetros de varillas, termómetros de hormigón, medidores de juntas, aforadores, sensores meteorológicos y niveles de embalse.

Cada presa a su vez forma parte de una red controlada por un Centro de Operación, ubicado en Sevilla. Además existe la posibilidad de un acceso remoto vía módem.

Cabe destacar el software específico desarrollado para la adquisición y el tratamiento de los datos de auscultación, que se ha compatibilizado con programas comerciales de ofimática, planificación y bases de datos.

El programa GESRETI permite consultar en tiempo real los datos de la red de sensores y gestiona los volcados de la información almacenada en los TI al servidor principal. GESRETI realiza una validación de los datos que a partir de este proceso de validación se consideran históricos y pasan a tratamientos posteriores.

DAMDATA realiza un primer tratamiento de los datos, no sólo elaborando distintas listas, tablas o representaciones gráficas con la evolución de las distintas variables, sino también calculando variables derivadas y estableciendo comparaciones entre ellas.

Las variables de control más importantes reciben un tratamiento estadístico, utilizando el modelo AUSMODEL, que permite diferenciar los distintos factores de influencia que actúan sobre la variable en cuestión (factor térmico, variación del nivel de embalse, efectos irreversibles, etc. y conocer sus tendencias y sus futuros rangos de fluctuación.

El uso conjunto de estas herramientas por ingenieros experimentados permite detectar de forma rápida y sistemática anomalías en el comportamiento de la obra.

Finalmente conviene mencionar un comentario de los autores, repetido en muchas comunicaciones: la automatización completa de los sistemas de auscultación no debe eliminar las habituales y periódicas inspecciones visuales de las presas y obras auxiliares. Estas observaciones siguen siendo igual de importantes que antes, ya que ningún sensor puede sustituir los ojos de un cualificado técnico.

3.3.2. La fiabilidad de los sistemas de auscultación

16 artículos comentan las experiencias con la fiabilidad de los sistemas. El Informe General recomienda estudiar dos tablas que se presentan en los artículos R. 13 y R. 56. El artículo R. 13 de Ruiz, Bastidas y Choudry (Venezuela) incluye una tabla con las estadísticas de fallo para un total de 1942 equipos, formados por 22 tipos de sensores distintos. El artículo R. 56 incluye una tabla con una estadística sobre fallos de seis sensores distintos producidos por tormentas eléctricas.

3.4. TEMA 4: LA IMPORTANCIA DE INSPECCIONES VISUALES EN COMPARACIÓN CON LA INSTRUMENTACIÓN

Muchos artículos subrayan la importancia de las observaciones visuales de presas y se dan varios ejemplos de anomalías en el comportamiento detectadas por la inspección visual y no por el sistema de auscultación.

Tres artículos se refieren específicamente a la importancia de las inspecciones visuales, dos de ellos son comunicaciones españolas.

3.4.1. Experiencias de IBERDROLA en la inspección visual de presas

Jesús Cajete y Arturo Gil (ambos de IBERDROLA) describen en la comunicación R. 47 la experiencia en la auscultación de 70 grandes presas, la mayoría de ellas construidas con hormigón, de propiedad de IBERDROLA. Se propone una sistemática de las inspecciones visuales, no con el fin de sustituir la auscultación por equipos de instrumentación, como se podría mal entender la definición literal del tema 4 en el Informe General ("La importancia de inspecciones visuales en comparación con la instrumentación"), sino como una valiosa información complementaria.

Se parte del hecho que en todas las actividades relacionadas con una presa, desde el estudio previo pasando por el proyecto, la construcción y finalmente la explotación, se va acumulando una gran carga de información visual, que debería ser registrada y documentada sistemáticamente y acompañar para siempre al conocimiento de la obra.

Se comenta que habitualmente las visitas de los ingenieros a las presas se documentan de forma escueta, únicamente indicando la fecha y la inexistencia de variaciones significativas, sin considerar que los pequeños cambios continuos, de lento desarrollo, alteran las situaciones de forma importante a medio o largo plazo.

Se propone la adopción sistemática de una guía o cuestionario a cumplimentar en cada una de las visitas de inspección. El artículo incluye una amplia lista de elementos y fenómenos a inspeccionar, que abarca datos generales, fisuras, filtraciones, juntas, discontinuidades geométricas, aliviaderos, desagües y tomas, dispositivos y equipos electromecánicos, paramentos, inspecciones subacuáticas, galerías y pozos, embalse, deslizamientos, línea del perímetro del embalse, taludes, cauce de aguas abajo, obras de fábrica, obras y servicios auxiliares. Para cada punto se pide una determinada información detallada, que ayuda a definir las observaciones de una manera precisa.

En el artículo se mencionan algunos ejemplos de presas, donde a través de la inspección visual se han detectado ciertos defectos. Se comentan daños por cavitación en el revestimiento del túnel de descarga del aliviadero de la presa

de Aldeadávila, donde se alcanzan en los meses húmedos de invierno caudales de hasta 10.000 m³/s con velocidades de 20 m/s. En la presa de San Esteban se detectó un fenómeno expansivo del hormigón de un bloque, que se manifestó por una discontinuidad en una barandilla justo a la altura de una junta entre dos bloques. Esta observación visual originó varios estudios de detalle, que determinaron la causa y definieron una serie de medidas a realizar, entre ellas una campaña de inyecciones.

El estado del paramento de aguas abajo de una presa no es solamente una cuestión de estética. Especialmente en las presas situadas en Galicia, la mezcla de excrementos de pájaros, polvo y humedad favorece el crecimiento de vegetación, especialmente musgo, que dificulta la inspección visual de la superficie de hormigón. Se recomienda proceder a una limpieza periódica y en caso de presas nuevas incluso sellar las porosidades de la superficie con productos epóxicos o lechada de cemento.

Otro aspecto importante para los responsables de la explotación de una presa es la inspección periódica del cauce de aguas abajo, comprobando que no existan obstrucciones para la evacuación de caudales elevados, invasiones por construcciones, actividades agrícolas o de ocio (campamentos) o un exceso en vegetación riparia que en caso de avenidas podría ser arrastrado, acumulándose en puentes y estrechamientos y provocando puntos de riesgo.

En general se recomienda recurrir para las tareas de inspección a la utilización de fotografías y videos o al levantamiento de croquis representativos de las fisuras, filtraciones, humedades, etc., que permitiría juzgar la evolución de un fenómeno a medio y largo plazo.

También se hace mención de la posibilidad de utilizar tecnologías modernas, como es la cartografía numérica apoyada por ordenador, que permite un registro detallado de los accidentes detectados.

3.4.2. La inspección visual y extensómetros de cuerda vibrante

Rodrigo del Hoyo Fernández Gago de UNIÓN FENOSA aporta también una comunicación (R. 50) referente al tema 4, titulada "La inspección visual y los extensómetros eléctricos en la auscultación y control de la seguridad de las presas."

Igual que Cajete y Gil hace hincapié en la importancia de las inspecciones visuales, que permite interpretar una serie de características que no son fácilmente traducibles en magnitudes medibles. También incluye una lista de elementos a inspeccionar y la recomendación de documentar las observaciones visuales de forma sistemática con fotografías periódicas, tomadas siempre desde el mismo punto de vista.

Se comentan tres ejemplos, en los que la inspección visual llamó la atención de un problema en sus comienzos, per-

mitiendo realizar los pertinentes estudios de detalle y medidas correctoras. Entre ellos figura el caso de una presa de contrafuertes en la que se apreciaron unas fisuras subhorizontales en algunas zonas de aguas abajo, no detectándose ninguna anomalía por el sistema de auscultación. Finalmente se determinó que todas las fisuras pertenecían a una misma tongada determinada de hormigón, que presentaba fenómenos de expansión. Otro problema de expansión del hormigón se empezó a detectar en el aliviadero lateral de una presa de materiales sueltos, manifestándose por fisuras en la galería y un incremento del caudal de las filtraciones por la subida del embalse. El tercer ejemplo trata de una presa de gravedad en la que se observó un gran aporte de carbonato cálcico en galerías y drenes del cuerpo de presa, consecuencia de la lixiviación de agua a través de determinadas zonas de la presa.

Un segundo aspecto del artículo de Rodrigo del Hoyo es la extensometría para la medición de las deformaciones, explicando la disposición habitual y el tipo de sensores (tipo Carlson basado en la variación de la resistencia de un hilo conductor al ser sometido a deformaciones y extensómetros de cuerda vibrante, que miden frecuencias, cuyo cuadrado es proporcional a la tensión).

Se comenta la gran robustez de los extensómetros, sobre todo del tipo Carlson, inventado en los años cuarenta y con experiencias de un funcionamiento correcto durante más de cuarenta años. Adicionalmente se recomienda el uso de modelos de elementos finitos, que permiten realizar un análisis de sensibilidad de módulos de elasticidad, variable en función de la edad del hormigón, la historia de ponerse en carga, velocidad de aplicación de cargas, etc. ya que hay que tener en cuenta que las medidas extensométricas sólo aportan el conocimiento de la variación de las deformaciones entre una lectura y otra. Es decir sin el conocimiento del módulo de elasticidad no se pueden obtener las tensiones.

Finalmente se menciona el fenómeno expansivo del hormigón, sus causas y posibles consecuencias para las presas, como es la aparición de fisuras y un posible aumento en las filtraciones. La existencia de problemas expansivos se puede comprobar por elementos de auscultación, como la nivelación (manifestándose en una elevación de bases), péndulos (desplazamientos hacia aguas arriba) y medidas de extensómetros.

Conviene citar literalmente una de las conclusiones del autor: "Lo mismo que decía un político francés de finales del siglo XIX o principios del XX, que la guerra es un asunto muy serio para dejarlo en manos de los militares, también se puede decir que la seguridad de una presa es un asunto demasiado serio para dejarlo a merced únicamente del análisis por medio de un modelo matemático, de las medidas de unas cuantas magnitudes." Con esto no se pretende menospreciar los modelos teóricos pero sí hacer hincapié en la necesaria y complementaria inspección visual y en el buen criterio y juicio de un ingeniero experimentado.

3. 5. OBSERVACIONES GENERALES SOBRE EL CONTENIDO DE LOS ARTÍCULOS

3.5.1. Software

Es de destacar que el software de adquisición, tratamiento y presentación de datos es un elemento clave en la auscultación de presas. Seis artículos describen con detalle este tipo de software y se puede observar que existe una gran variedad desde el uso de software comercial estándar (bases de datos y hojas de cálculo) hasta aplicaciones específicas hechas a medida para el control de la adquisición de datos, gestión de bases de datos, validación y análisis, toma de decisiones y generación automática de informes. En seis artículos se pueden encontrar ejemplos: R. 30 (Lancini, Masera, Piccinelli y Farina; Italia), R. 31 (Boutayeb, Lamrini y Bayoumi; Marruecos), R. 33 (Otto, Moor y Lutz; Suiza), R. 35 (Leroy y Hagin; Suiza), R. 45 (Pérez Saiz; Molina Pérez y Argüelles Martín; España) y R. 73 (Zeilinger, Urban y Neuschitzer; Austria).

3.5.2. Número de equipos utilizados en la auscultación de presas

No existen reglas fijas para determinar el número necesario para la auscultación adecuada de una presa. Siempre dependerá del criterio del ingeniero, basado en la experiencia, conceptos teóricos y el margen de presupuesto. Obviamente varía en función de las condiciones específicas de la obra, su tamaño, si se trata de una presa nueva o no, los métodos de construcción y las normas de seguridad y prescripciones vigentes.

3.5.3. Nuevas tecnologías

La mayoría de las novedades tecnológicas se refieren al tratamiento de datos, los sistemas de adquisición y los métodos de comunicación. En los artículos se encuentra muy poca información sobre innovaciones de sensores y equipos de medida. La única tecnología relativamente nueva es el empleo de fibra óptica para la medición distribuida de presiones y deformaciones. El uso de la fibra óptica para la medición distribuida de temperaturas puede completar a los piezómetros para detectar daños en impermeabilizaciones e interpretar las filtraciones a través de filtros y núcleos de presas de materiales sueltos. Tres artículos tratan sobre este tema (R. 1 de Aufleger, Strobl y Dornstädter; Alemania, R. 15 de Bettzieche; Alemania y R. 69 de Johansson, Farhadiroushan y Parker; Suecia).

3.5.4. El coste de la instrumentación

Sólo en tres artículos se mencionan datos concretos sobre el coste del sistema de auscultación. El artículo R. 56 (Boncompain y Capelle; Canadá) describe un sistema distribuido

de control para la auscultación de 20 presas. El número medio de sensores instalados en cada presa es de 70. El coste medio de los equipos y cableado asciende a 85.000 \$ por presa, a esta cantidad hay que sumar el coste de instalación, que es del mismo orden (90.000 \$) para obtener un coste total de 175.000 \$.

En la comunicación R. 21 (Antoniou, Brown y Bruggemann; Reino Unido) se comenta que el coste de la instrumentación de la presa de Arminou, de materiales sueltos con una altura de 45 m, fue del 1,5% del coste total de la presa. El sistema se compone por unos 70 equipos repartidos en el cuerpo de presa y la cimentación, 3 inclinómetros, 2 sismógrafos y un sistema de adquisición de datos.

En el artículo R. 15 (Bettzieche; Alemania) se compara el coste de una instalación de cables de fibra óptica para la medición distribuida de temperaturas con una solución convencional utilizando termómetros de resistencia (PT100). En el caso concreto analizado, el coste de 434 puntos de medida a lo largo de una única fibra fue inferior que el coste de 40 termómetros PT100, sin contar con el coste de los equipos de lectura para los cables de fibra óptica, que al ser aún relativamente altos, conviertan la solución con fibra óptica en la más cara.

4. LAS SESIONES TÉCNICAS CELEBRADAS DURANTE EL CONGRESO

La sesión técnica con una duración total de ocho horas se celebró los días 21 y 22 de septiembre. En total se trataron cuatro temas y para cada tema se habían seleccionado una serie de autores que hicieron unas presentaciones con una duración media de aproximadamente diez minutos.

Los temas tratados eran los siguientes:

▼ Tema 1: ¿Los programas de auscultación para presas se diseñan e instalan por razones válidas o simplemente porque es habitual hacerlo así?

▼ Tema 2: ¿Cuáles son los eslabones más débiles en la cadena de medidas? ¿Cómo mejorar la fiabilidad y características de los sistemas de auscultación? ¿Cuales son las vías a seguir en un futuro en la investigación y el desarrollo?

▼ Tema 3: Frecuentemente los datos de auscultación no son completamente analizados y aprovechados por el usuario. A menudo no se extrae ni se explora la valiosa información que contienen estas mediciones. Para mejorar esta situación se podría establecer un procedimiento standard de explotación de datos. ¿Debería ICOLD tomar la iniciativa de desarrollar unos módulos de software standards para el tratamiento, comunicación e interpretación de datos?

▼ La inspección visual jugará siempre un papel irremplazable en los programas de vigilancia para evaluar el compor-

tamiento y la seguridad de las presas. ¿Pueden las nuevas tecnologías mejorar las características de este tipo de inspección?

A continuación se resumen muy brevemente algunas intervenciones y comentarios de los asistentes.

–B. Myers (USA) destacó en su presentación con el título “Optimización de sistemas de auscultación: Resumen de la tecnología disponible y casos prácticos”, la importancia del diseño y proyecto para el buen funcionamiento de un sistema de auscultación. Myers expuso criterios para el diseño y la optimización de sistemas de auscultación y propuso la creación de un memorándum del diseño que debe reflejar claramente el propósito de cada elemento del sistema.

–C. B. Abadjiev (Bulgaria) planteó reflexiones interesantes en una presentación titulada “Optimización de sistemas de auscultación en presas de materiales sueltos”. Abadjiev aboga por una auscultación sencilla, ya que en su opinión muchos aparatos están ubicados en sitios donde no aportan información importante. Menciona ejemplos de piezómetros en el contacto espaldón de aguas arriba con un núcleo central y mantos filtrantes. Su conclusión principal es que la seguridad de una presa no se mejora por instalar

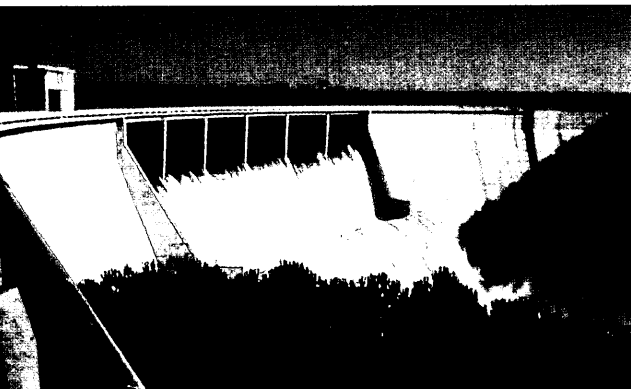
más equipos de auscultación, sino depende de la calidad de su construcción.

–Chen Jin (China) presenta un trabajo relacionado con modelos de comportamiento de presas y calibrados con datos de auscultación (modelos determinísticos (FE modelos), estadísticos, híbridos). Comenta el caso de una presa de hormigón en un afluente del río Yangtze, donde debido a la buena confianza en el modelo matemático, durante la avenida de 1998 se tomó la decisión de agotar resguardos y optimizar la laminación del hidrograma con el fin de minimizar los daños aguas abajo.

El comentario más llamativo de los asistentes lo hizo Karre Höeg, el presidente saliente de ICOLD, sobre las células de presión total. En su opinión se emplea demasiado tiempo en la colocación de las células durante la construcción y se pierde demasiado tiempo intentando analizar datos erróneos suministrados por estos equipos.

Finalmente comentar que el Comité Técnico de ICOLD enfocado a la auscultación, ha dado por finalizado su trabajo y plasmado su labor en unas guías técnicas para sistemas automáticos de auscultación de presas. Estas guías se publicarán próximamente como boletín de ICOLD. ■

INITEC ha proyectado y/o dirigido más de 140 presas de todo tipo a lo largo de casi 40 años de historia:



▷ Presas de hormigón (bóveda, arco-gravedad, gravedad convencional, aligerada, hormigón compactado con rodillo (CCR).

▷ Presas de materiales sueltos (homogéneas, heterogéneas, con núcleo arcilloso o asfáltico, de escollera con pantalla de hormigón, asfáltica o con láminas impermeables).

Principales proyectos en España:

▷ Presas de fábrica: Santa Liestra (120 m.), Rules (120 m.), Llauset (82 m.), Montearagón (78 m.), La Barca (75 m.).

▷ Presas de materiales sueltos: Canales (158 m.), Almanzora (112 m.), Benívar (87 m.), Vadomojón (80 m.), Gayá (79 m.), Otívar (76 m.).

En el mercado exterior:

▷ Perú: Libertadores (110 m.) y Caballo Pampa (62 m.). ▷ República Dominicana: Jigüey (115 m.) y Aguacate (50 m.).

▷ Argentina: Los Caracoles (143 m.), Punta Negra (120 m.) y Agua del Toro (120 m.)

Otras actividades de INITEC en el campo hidráulico:

▷ Planificación hidráulica ▷ Centrales hidroeléctricas ▷ Abastecimiento y saneamiento de poblaciones

▷ Canales y conducciones de transporte ▷ Hidráulica fluvial y encauzamientos

▷ Agronomía: regadíos, catastros, desarrollo rural integrado, etc.



INFRAESTRUCTURAS Y MEDIOAMBIENTE

Valores, 1. 28007 Madrid. Telef.: 91 587 13 00 Fax. 91 573 13 67. e-mail: sancho.j@initec.es

