

AUSCULTACIÓN DE PRESAS

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. Los ingenieros interesados en temas relacionados con la instrumentación de obras civiles en general, se recomendará la lectura del Informe General de Dibiagio, que se incluye en el citado tomo III. En este informe no sólo se presentará un resumen general del contenido de los artículos presentados sino también una recopilación del desarrollo de la auscultación a lo largo del siglo XX. Se incluye un capítulo sobre el estado del arte actual y tendencias nuevas en el campo de los sensores y sistemas automáticos de adquisición y procesamiento de datos. Como los artículos enviados contienen poca información sobre la fiabilidad del comportamiento de los sensores y componentes asociados, Dibiagio dedicará 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 la red de control.

Jürgen Fleitz

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:

- t Cuestión 9: Métodos e instrumentos para medir tensiones y deformaciones en presas de materiales sueltos y presas de hormigón, Estocolmo 1948
- t 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
- t Cuestión 29: Resultados e interpretación de medidas realizadas en grandes presas de todos los tipos, incluidas observaciones sísmicas, Edimburgo, 1964
- t 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 l estas predicciones analíticas avanzadas, y es en donde se encuentran las continuas mejoras del est de la ingeniería de presas.

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

Cuatro aspectos destacados de la auscultación sus cimientos fueron seleccionados para la Cuestió

- t 1. Sistemas de auscultación y tratamiento de c ferencia especial a las instalaciones automática
- t 2. Comparación del comportamiento observa dicciones y simulaciones analíticas
- t 3. Optimización de sistemas de auscultación incertidumbres en su explotación
- t 4. La importancia de inspecciones visuales e ción con la instrumentación

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

En la tabla 1 se presenta la distribución por p artículos presentados.

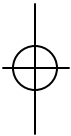
No era tarea fácil agrupar los artículos en los c principales mencionados anteriormente, ya que m can varios temas, mientras otros son difíciles de ninguno. No obstante el Informe General intenta e miento, tal como se refleja a continuación.

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

Treinta y dos artículos se refieren a sistemas : de auscultación. A pesar de que estos artículos cionados o describen este tipo de sistemas, pr:

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, Yugo
1	Bulgaria, Méjico, Nueva Zelanda, Noruega, Rumania, Rusia,



Jürgen Fleitz

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 que parezcan, importantes parcelas de comportamiento, de trascendentales repercusiones para la ob

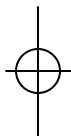
3.2.2 Reconocimientos geológicos y geofísicos de Rules

El artículo R. 48 de Miguel Fernández-Bollo (S tonio Nevot (Confederación Hidrográfica del Sur) los reconocimientos geológicos de la cimentación de Rules.

La presa de Rules es una presa bóveda con u 140 m, situada en el río Guadalfeo en la provincia . Por su situación geográfica en una zona de sísmic es especialmente importante garantizar un muy bu entre la presa y la roca del cimientto. Por este moti un reconocimiento geológico detallado de la frac macizo rocoso, inmediatamente antes de colocar l capas de hormigón. Además se llevó a cabo una geofísica que consistió en la exploración de la mic de la zona del cimientto por medio de los registros de diez sismógrafos distribuidos en aproximadame aciones distintas en la zona de la margen izquierda

En el estudio geológico se llegaron a identificar les fracturas existentes en la roca del cimientto y cc dades de propagación registradas con los sismógr; una serie de cinco ensayos por cada alineación, se tar un modelo sobre la elasticidad del terreno.

La bondad del modelo se presenta gráficamente la comparación de las dromocronas (líneas contir presentan en la abscisa la distancia y en la ordena



Jürgen Fleitz

dulo 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

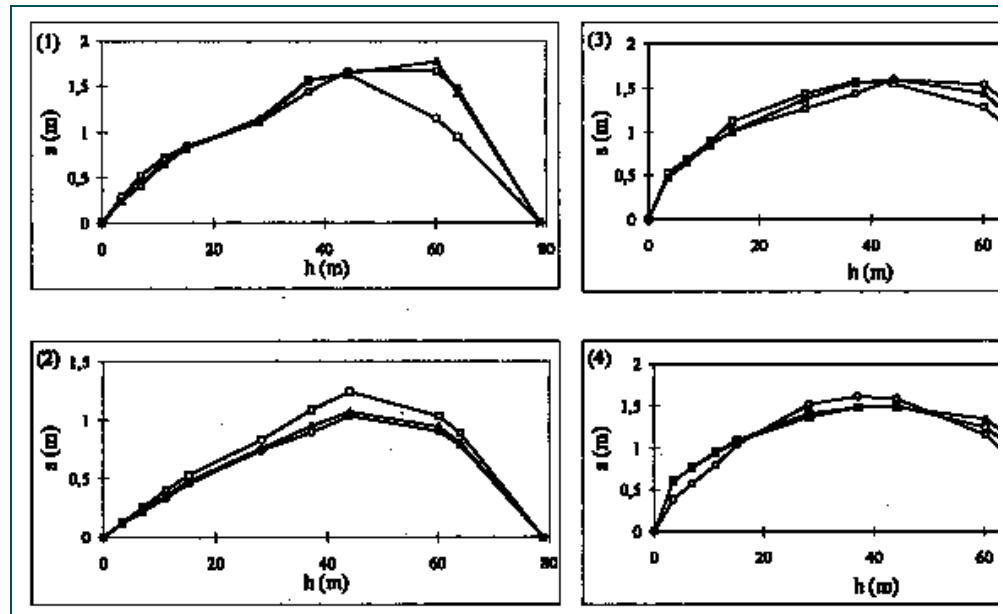


Figura 4: Comparación entre asentamientos medidos y calculados a final de construcción en cuatro verticales (1) espaldón de aguas arriba, (2) espaldón de aguas abajo, (3) y (4): núcleo. El símbolo 1 se refiere a asentamientos medidos y el símbolo \bullet a asentamientos calculados.

el comportamiento de la presa de Giribaile durante su construcción. La presa se encuentra en el río Guadalquivir, provincia de Jaén, es de materiales sueltos con una cimentación de 475 m desde la cimentación y crea un embalse de 475 m de longitud impermeable de la presa está formado por un núcleo de arcilla, procedente de préstamos próximos a la presa, y los taludes de aguas arriba y aguas abajo se componen de gravas del río y los taludes protegidos con una capa de escollera.

Durante la construcción de la presa se produjeron muchos deslizamientos. En muchas de ellas el extenso sistema de drenaje que se proyectó sirvió para interpretar y analizar la situación de la obra y para proponer 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 arcilla para impermeabilizar el cimiento. Durante el desarrollo de las obras, los primeros ensayos indicaron que el tipo de cimentación no garantizaba conseguir una impermeabilización suficiente. Por este motivo se optó por extender la pantalla de arcilla por debajo del espaldón de aguas arriba hasta el núcleo de la ataguía, con el fin de evitar los caminos de filtración. Esta medida conllevó modificar el espaldón de aguas arriba de 2,1 H : 1 V a 2,3 H : 1 V. Se realizó un cálculo de estabilidad, suponiendo determinadas presiones intersticiales máximas en la capa de arcilla. Las posteriores demostraron que la hipótesis sobre las presiones intersticiales fue optimista, es decir que en la realidad las presiones intersticiales fueron inferiores.

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

Jürgen Fleitz

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:

- t 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.
- t Permitir la observación prácticamente en tiempo real en situaciones especiales, principalmente en caso de avenidas.
- t Agilizar el proceso de elaboración y gestión de la información.
- t 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 funcionado en general correctamente, prueba de ello es que en



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

la actualidad siguen en servicio un porcentaje mayor de ellos.

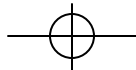
Las incidencias más importantes han sido la pérdida de células de asiento instaladas en la cota 80 debido a la rotura de los tubos en la zona de contacto hormigón núcleo y la puesta fuera de servicio de algunos extensómetros de gran base potenciométricos, atribuible a la entredadura en el sensor, falseando las lecturas.

En cuanto a la pérdida de las células de asiento más que confirmar la necesidad de extremar las precauciones cuando las conducciones atraviesan la presa, pasadas a diferente deformabilidad.

Se recomienda utilizar extensómetros de gran cuerda vibrante para evitar los problemas que la huída de provocan a medio y largo plazo en los extensómetros de transductores potenciométricos.

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 gracias a la ayuda tanto para agilizar el proceso de ejecución de los trabajos como para facilitar su tratamiento y presentación.

Como conclusión se puede apuntar, que uno de los factores de éxito de la auscultación están en la planificación y ejecución de los trabajos que conlleva y que se debe tener en cuenta que la auscultación es un proceso complejo con diversos aspectos: proyecto, suministro de equipos, instalación, realizaciones y redacción de informes, que tienen que llevarse a cabo correctamente para que su resultado sea el deseado.



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 ciones visuales de presas y se dan varios ejemplos malías 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

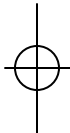
Jesús Cajete y Arturo Gil (ambos de IBERDROLA) comentan en la comunicación R. 47 la experiencia en la inspección de 70 grandes presas, la mayoría de ellas construidas con hormigón, de propiedad de IBERDROLA. Se trata de una sistemática de las inspecciones visuales, no con el propósito de sustituir la auscultación por equipos de instrumentación, sino como se podría mal entender la definición literal del término 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 pasan por el proyecto, la construcción y finalmente la explotación, acumulando una gran carga de información visual, que debería ser registrada y documentada sistemáticamente para acompañar para siempre al conocimiento de la obra.

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

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

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



Jürgen Fleitz

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 epoxídicos 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 de 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, permiti-

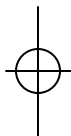
tiendo realizar los pertinentes estudios de detalle correctoras. Entre ellos figura el caso de una presa fuertes en la que se apreciaron unas fisuras subterráneas en algunas zonas de aguas abajo, no detectándose anomalía por el sistema de auscultación. Finalmente se determinó que todas las fisuras pertenecían a una misma causa determinada de hormigón, que presentaba fenómeno de expansión. Otro problema de expansión del hormigón se detectó en el aliviadero lateral de una presa de aguas abajo, manifestándose por fisuras en la galería de paso del caudal de las filtraciones por la subida de agua. El tercer ejemplo trata de una presa de gravedad en la que se observó un gran aporte de carbonato cálcico en greses del cuerpo de presa, consecuencia de la lixiviación de la lija a través de determinadas zonas de la presa.

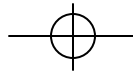
Un segundo aspecto del artículo de Rodrigo del Hoyo trata de la extensometría para la medición de las deformaciones cuando la disposición habitual y el tipo de sensor son basados en la variación de la resistencia de un alambre al ser sometido a deformaciones y extensómetros de cuerda vibrante, que miden frecuencias, cuyo cuadrado es proporcional a la tensión).

Se comenta la gran robustez de los extensómetros de tipo Carlson, inventado en los años cuarenta por experiencias de un funcionamiento correcto durante cuarenta años. Adicionalmente se recomienda el uso de elementos finitos, que permiten realizar mediciones de sensibilidad de módulos de elasticidad, variables con la edad del hormigón, la historia de aplicación de cargas, etc. ya que hay que tener en cuenta que las medidas extensométricas sólo apoyan el estudio de la variación de las deformaciones entre una 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 como es la aparición de fisuras y un posible aumento de las filtraciones. La existencia de problemas expansivos puede comprobarse por elementos de auscultación, como los extensómetros (manifestándose en una elevación de bases), perfiles de desplazamiento hacia aguas arriba) y medidas de deformación.

Conviene citar literalmente una de las conclusiones de Rodrigo del Hoyo: "Lo mismo que decía un político francés del siglo XIX o principios del XX, que la guerra es un asunto serio para dejarlo en manos de los militares, también debería decir que la seguridad de una presa es un asunto serio para dejarlo a merced únicamente del ingeniero, de un modelo matemático, de las medidas cuantitativas." Con esto no se pretende reemplazar los modelos teóricos pero sí hacer hincapié en la complementariedad de la inspección visual y en el buen criterio de un ingeniero experimentado.





Jürgen Fleitz

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 su construcción.

–Chen Jin (China) presenta un trabajo relación de los de comportamiento de presas y calibrado de auscultación (modelos determinísticos (FE) y estadísticos, híbridos). Comenta el caso de una presa en un afluyente del río Yangtze, donde buena confianza en el modelo matemático, durante de 1998 se tomó la decisión de agotar recursos para optimizar la laminación del hidrograma con el fin de evitar los daños aguas abajo.

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

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

