

COMITÉ NACIONAL ESPAÑOL DE GRANDES PRESAS

SEGUIMIENTO DEL COMPORTAMIENTO DE LAS PRESAS DEL EBRO: ESTRUCTURA Y CONTENIDO DE LOS INFORMES ANUALES.

Angel Núñez Maestro¹
Mario Andreu Mir²
José Luis Lorenzo Riera³
Ignacio Escuder Bueno⁴

RESUMEN: El Reglamento Técnico de Seguridad de Presas y Embalses específica entre las obligaciones del titular de presas la del seguimiento e interpretación del comportamiento de las mismas, debiéndose plasmar los resultados de dicho trabajo continuo en los denominados Informes Anuales. La presente comunicación muestra el trabajo que está realizando la Confederación Hidrográfica del Ebro en este sentido, con especial hincapié tanto en la gestión de la auscultación de presas (instrumentación, automatización de lecturas, comunicaciones, bases de datos, análisis de datos y redacción de informes), como en la estructura y contenidos de los mencionados Informes Anuales, dado que no existe en este momento una Guía Técnica que permita homogeneizar los informes que están siendo elaborados por distintos propietarios de presas..

¹ Ingeniero de Caminos. Confederación Hidrográfica del Ebro

² Ingeniero de Caminos. Confederación Hidrográfica del Ebro

³ Ingeniero de Caminos. OFITECO

⁴ Dr. Ingeniero de Caminos. Universidad Politécnica de Valencia

1. INTRODUCCION. AUSCULTACION DE PRESAS Y EMBALSES

Los registros obtenidos mediante los sistemas de auscultación de presas son fundamentales para poder analizar su comportamiento y evaluar su seguridad. No obstante se deben considerar una serie de factores que pueden afectar a la calidad del dato medido, como son posibles incertidumbres sobre los detalles de instalación de los equipos, el proceso de lectura de datos, el tipo de sensor y su estado de conservación. De hecho, las lecturas pueden ser mal interpretadas e incluso llevar a tomar decisiones equivocadas, lo que puede fomentar un cierto escepticismo relativo a los datos de auscultación (Escuder et al, 2005).

Los avances tecnológicos de los últimos años, con sistemas cada vez más sofisticados con prestaciones de lecturas automatizadas y transmisión remota de datos a un centro de control, han facilitado mucho la labor manual de recogida de datos, pero requieren de un adecuado servicio de conservación y mantenimiento, pues, de lo contrario, se incrementa la incertidumbre e incluso la frecuencia de fallos o vacíos en las series de datos de auscultación.

Existen herramientas como la modelación estadística de los datos y la elaboración de modelos deterministas de comportamiento estructural que ayudan al análisis y permiten evaluar el comportamiento de la presa. Al mismo tiempo y si no se elaboran con el necesario criterio y rigor, los modelos pueden arrojar nuevas incertidumbres.

Por consiguiente se puede afirmar que el comportamiento real de una presa y su cimiento está condicionado por un gran número de factores y parámetros de mayor o menor incertidumbre. La calidad de la evaluación de su seguridad dependerá en gran medida del diseño adecuado de su sistema de auscultación, la bondad y calidad de los datos suministrados por él y del análisis numérico e ingenieril de los mismos.

Precisamente para reforzar este último aspecto, la tendencia mundial en la materia consiste en lo que el Bureau of Reclamation (EE.UU.) denomina “parametrización del comportamiento”, es decir, la necesidad de vincular los registros de auscultación a los potenciales modos de fallo que hayan sido identificados para la presa en cuestión, utilizando los modelos numéricos y el juicio ingenieril para definir y estimar la capacidad de “detección” y el consiguiente tiempo de “intervención” para impedir el desarrollo del fallo.

2. ELEMENTOS PARA LA IMPLANTACIÓN DE SISTEMAS DE AUSCULTACIÓN EFICACES. EL CASO DE LA CUENCA DEL EBRO

Cabe identificar los siguientes conceptos como objetivos a alcanzar mediante un Sistema de Auscultación de Presas (USBR, 2007):

- Ayuda para la interpretación del comportamiento real de las presas.
- Comprobar que el comportamiento observado es según lo esperado.
- Disponer de mecanismos de alerta y detección de eventuales problemas en el comportamiento.

- Ayuda en la identificación de los problemas detectados.
- Evaluación y seguimiento de acciones correctoras.
- Ayuda en la investigación y avances en el conocimiento general del comportamiento de presas.

Además, la reducción del tiempo de respuesta y la mejora de la eficacia en el análisis de los datos de auscultación contribuye a reducir los costes de las acciones correctoras a ejecutar ante la detección de problemas en el comportamiento de las presas (Núñez et al, 2008).

La eficacia en la consecución de estos objetivos depende de una cadena de actuaciones que abarca desde la definición o diseño del Sistema de Auscultación hasta su implantación y operación:

a) Diseño e implantación del Sistema de Auscultación.

- Diseño adecuado del Sistema de Auscultación.
- Adecuada instalación de la instrumentación.
- Información de detalle de la ejecución de la instrumentación y de las características técnicas de la presa y su cimentación, conforme a la ejecución de las obras.

b) Operación del Sistema de Auscultación.

- Frecuencia de lecturas y mantenimiento apropiados.
- Transmisión de datos rápida y precisa.
- Revisión inicial de datos de forma inmediata y eficaz.
- Evaluación de datos en profundidad de forma periódica.

c) Compromiso con el Programa de Auscultación.

- Entrenamiento adecuado del personal.
- Buena comunicación y trabajo en equipo.
- Vigilancia continua.

En el caso de la cuenca del Ebro, la Confederación Hidrográfica del Ebro (en adelante CHE) dispone de 37 grandes presas en explotación (23 presas de gravedad, 11 de materiales sueltos y 3 bóvedas). La gran mayoría de estas presas (34) disponen de sistemas de auscultación, la mayoría de ellos (24) con lecturas automatizadas y transmisión de datos a Zaragoza a través de la red de comunicaciones del SAIH.

Durante los últimos años la CHE ha realizado un considerable esfuerzo en la implantación y automatización de los sistemas de auscultación de presas, labor que continúa actualmente. Con la incorporación de los sistemas automáticos de auscultación a la red SAIH, se dispone además del flujo continuo y almacenamiento de estos datos en el Centro de Control del SAIH en Zaragoza.

No obstante, a pesar del esfuerzo mencionado en la mejora de los sistemas de auscultación, no se ha dispuesto de los medios y organización necesarios para realizar de forma sistemática, y para el conjunto de presas en explotación, el seguimiento e interpretación de los datos, así como la elaboración de informes de comportamiento. Estas labores se han realizado de forma esporádica y discontinua, y no en todas las presas.

Comparando con las etapas y actuaciones antes referidas para la implantación de un sistema eficaz de auscultación de presas, cabría decir que se había desarrollado casi por completo la fase a) y parcialmente la fase b), quedando pendientes esencialmente los aspectos relativos a la revisión y análisis de datos, elaboración de informes y la plena integración en la organización de la Confederación, que es otra forma de interpretar la etapa c) anterior, "compromiso con el Programa de Auscultación".

Con el objetivo de superar la situación descrita y mejorar la gestión y vigilancia de la seguridad de las presas, la CHE está realizando una serie de trabajos que, en lo concerniente a la auscultación, completará las fases y actuaciones mencionadas para la implantación de un sistema eficaz de auscultación de presas. En esencia, esos trabajos consisten en los siguientes:

1. Recopilación de información sobre las presas y sobre los sistemas de auscultación instalados. Fundamentalmente ha consistido en la revisión del Archivo Técnico, recopilación y análisis de los Documentos XYZT, Normas de Explotación y Planes de Emergencia, así como de la documentación técnica de los sistemas de auscultación. Debe hacerse mención a la laboriosa e importantísima tarea de recopilación de la información sobre los parámetros de instalación de sensores, fundamental para la conversión de las lecturas directas a unidades de ingeniería.

2. Visitas de reconocimiento e inspección de las presas. Se ha prestado especial atención a la comprobación de la información obtenida sobre los sistemas de auscultación, además de la inspección general de la presa.

3. Recopilación y revisión de los datos de auscultación disponibles. Se han recopilado datos de distintas fuentes y soportes, desde datos en papel almacenados en las presas, hasta datos guardados en la base de datos del SAIH.

4. Elaboración de informes iniciales de auscultación y definición de la estructura y contenido del informe anual. Para cada presa, dada la situación de carencia de informes y análisis de los datos de auscultación, al menos durante largos períodos, se ha optado por redactar un "informe inicial" que recoja la historia de la presa, o al menos hasta enlazar con el último informe elaborado. Este informe inicial, junto con los trabajos de los puntos anteriores, es fundamental para evaluar la idoneidad y fiabilidad del sistema de auscultación de cada presa.

5. Evaluación de los sistemas de auscultación actuales y propuestas de mejoras. Además de las conclusiones al respecto que puedan extraerse del análisis de los datos para la elaboración del informe inicial, se incorpora en este punto el concepto ya mencionado de "parametrización del comportamiento" y la deseable vinculación de la auscultación a los potenciales modos de fallo de la presa.

6. Implantación de un "Sistema de Información de la Auscultación de Presas. Dado el elevado número de presas y embalses explotados por la CHE, así como la necesidad de efectuar el seguimiento en continuo de los datos de auscultación y de facilitar en general la gestión y el análisis de datos y la elaboración de informes, y aprovechando además la centralización de los datos en la base de datos del SAIH y las posibilidades que ofrecen actualmente las tecnologías de la información, se está desarrollando un Sistema de Información de Auscultación de Presas, con las siguientes características esenciales:

- Gestión y almacenamiento de datos centralizada.
- Acceso a los datos y utilidades del sistema mediante un navegador Web, a través de intranet/internet.
- Funcionalidades de SCADA, inventario de los sistemas de auscultación, herramientas de análisis, cálculos y visualización de datos, generación de informes, control y gestión de usuarios, etc.
- Conectividad con aplicaciones de gestión de Normas de Explotación y Planes de Emergencia (identificación de escenarios de emergencia por superación de umbrales de auscultación).

Dada la necesaria limitación de extensión de esta ponencia, en lo que sigue se tratarán únicamente dos de los aspectos citados en los trabajos en desarrollo, aspectos que consideramos de gran importancia en el sistema de auscultación de presas: la elaboración de los informes anuales y la parametrización del comportamiento.

2. NECESIDAD, CONCEPTO Y METODOLOGÍA DE REDACCION DE LOS INFORMES ANUALES

Los informes de auscultación quedan implícitamente recogidos en el articulado del Reglamento Técnico de Seguridad de Presas y Embalses (RTSPE) aprobado en Orden Ministerial el 12 de marzo de 1996 por el entonces Ministerio de Obras Públicas de Transportes y Medio Ambiente y publicado en el Boletín Oficial del Estado el 30 de marzo de 1996, que concretamente, en el Artículo 33.2 establece que "El Director de explotación redactará un **Informe Anual** en el que se recogerá los resultados de las inspecciones realizadas y de la auscultación... Este informe se incorporará al Archivo Técnico de la presa...".

Los trabajos conducentes a la redacción del **Informe Anual** han sido planteados desde el entendimiento de las partes que integran la seguridad de presas así como de las interrelaciones entre las mismas, esquematizadas en la siguiente Figura:

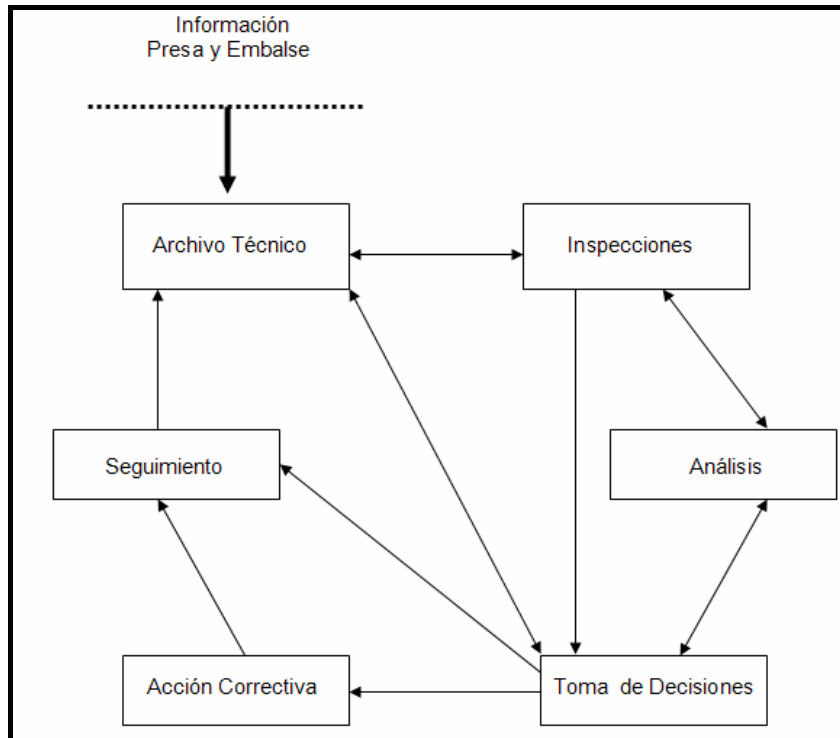


Figura. Estructura de la seguridad de presas y embalses

Como se observa, cuando la presa objeto de estudio dispone de Archivo Técnico, como es el caso de las presas de la CHE, el estudio de los documentos del mismo constituye el punto de partida para identificar las necesidades de inspección de manera que, junto con los resultados de las mismas, pueda determinarse la conveniencia de:

- Realizar campañas adicionales de investigación.
- Analizar con detalle determinados aspectos relacionados con la seguridad.
- Establecer una metodología del seguimiento del comportamiento o, en caso justificado, acometer de inmediato alguna acción correctora.

Consecuentemente, la metodología a seguir ha consistido en:

- Estudio minucioso del Archivo Técnico.
- Fase de recogida y análisis de los datos realizada por recopilación de información preexistente en la CHE.
- Revisión de la documentación referente a cada una de las presas desde el punto de vista de la auscultación y comportamiento de la presa.
- Estudios de modelización estadística de las variables de control de cada presa con el programa Ausmodel (OFITECO, 1996). En particular, los pasos para obtener los modelos estadísticos han sido: creación del modelo, identificación de los coeficientes, contraste del modelo, establecimiento de tolerancias, obtención de relaciones con las distintas variables exteriores y de las tendencias en valores acumulados en el tiempo.

- Interpretación de los resultados modelados.
- Identificación de las necesidades de inspección y análisis.
- Visitas realizadas a las presas junto con personal de la CHE en las que se inspecciona el sistema de auscultación y la obra civil.
- Fase de elaboración de los documentos.

3. CONTENIDO DE LOS INFORMES ANUALES

3.1 MEMORIA

La memoria del documento de Informe Anual se ha estructurado conforme a los siguientes apartados:

- Introducción y objeto
- Descripción de la presa:
- Características geológicas de la cerrada y el vaso del embalse
- Observaciones especiales.
- Descripción del sistema de auscultación instalado
- Situación actual del sistema de auscultación instalado
- Metodología para el análisis global del comportamiento de la presa.
- Análisis del comportamiento de la presa
- Conclusiones
- Programa de lecturas recomendado
- Recomendaciones

3.2 ANEJOS

Además, se han elaborado una serie de Anejos según el siguiente detalle:

- 1) Planos
- 2) Gráficos de las variables auscultadas
- 3) CD con la base de datos
- 4) Documentación fotográfica
- 5) Informe de estado del sistema de auscultación
- 6) Modelización estadística
- 7) Visita a la presa
- 8) Documentación relativa a la auscultación

4. HACIA LA PARAMETRIZACION DEL COMPORTAMIENTO

4.1 ANTECEDENTES

A principios de la década de los noventa, el Bureau of Reclamation de los Estados Unidos (USBR, 2004), se embarcó en un programa denominado de identificación, estudio y documentación de los “parámetros de comportamiento” de sus presas clasificadas como de altas consecuencias potenciales, de manera que esta tarea sirviese para reforzar la efectividad y la eficiencia de las tareas de monitorización y auscultación en seguridad de presas, así como la propia evaluación de dicha seguridad. El proceso requirió de los siguientes pasos en su desarrollo:

- a) Identificación de los modos de fallo de las presas
- b) Identificación de los parámetros fundamentales a monitorizar en aras a disponer de los mejores indicadores posibles del potencial desarrollo de dichos modos de fallo y la definición del programa de adquisición de datos necesario.
- c) Definición de rangos de comportamiento esperado en virtud del programa de auscultación y de inspecciones visuales así como las medidas a llevar a cabo en caso de que se identifique un comportamiento anormal.

4.2 DATOS DE PARTIDA Y ANÁLISIS COMPLEMENTARIOS

A los efectos de llevar a cabo dicha tarea en la CHE, la información de partida más relevante serán los propios Informes Anuales, destacando la utilidad de los modelos estadísticos elaborados. De hecho, este tipo de modelos resultan especialmente útiles cuando se dispone de una amplia información sobre la historia de la presa, puesto que basa los resultados del modelo sobre datos reales.

En concreto, el modelo estadístico debe permitir la obtención de las ecuaciones empíricas que rigen el comportamiento de cada variable de control de la presa (movimientos, subpresiones, temperaturas del hormigón, deformaciones, filtraciones, etc.), en función del tiempo transcurrido desde una fecha origen, los niveles de embalse y las temperaturas de referencia medidas "in situ" (variables exteriores). Así, estas ecuaciones proporcionan un sistema de control de los distintos parámetros medidos en la presa, poniendo de manifiesto los fenómenos anómalos que produzcan desviaciones respecto de lo esperado.

Consecuentemente, pueden identificarse tres componentes básicas aditivas en cada variable de control:

- La correspondiente a la parte irreversible derivada de las deformaciones y otros fenómenos progresivos debidos a la evolución de las propiedades del hormigón, cimentación, etc. o a fenómenos más o menos bruscos de acomodación, función todo ello del tiempo cronológico transcurrido desde una fecha origen.
- La correspondiente al efecto del nivel de embalse, que podría llamarse "componente elástica" en el caso de tratarse de los movimientos sufridos por la presa de obra de fábrica, aunque esta componente también afecta a otro tipo de fenómenos, tales como caudales drenados, temperaturas del hormigón, etc.

- La correspondiente al efecto del ciclo térmico anual

De forma complementaria y en aquellos casos que se estime necesario, se confeccionarán modelos deterministas a partir de códigos de resolución numérica basados en las técnicas de los elementos finitos y de las diferencias finitas fundamentalmente, permitiendo la simulación del comportamiento de las presas para distintas hipótesis y naturaleza de cargas actuantes.

Las fases de confección de un modelo de simulación del comportamiento de este tipo serán, fundamentalmente, la definición geométrica, el establecimiento de las condiciones de contorno, la elección de los modelos constitutivos, la simulación del comportamiento constructivo y post-constructivo (con especial atención al conjunto de fenómenos asociados al llenado del embalse) y, en su caso, la simulación del comportamiento frente a acciones sísmicas.

4.3 VINCULACION A LOS MODOS DE FALLO

Un modo de fallo constituye una secuencia particular de eventos que puede dar lugar a un funcionamiento inadecuado del sistema presa-embalse o una parte del mismo. En principio, se analiza cualquier mecanismo de fallo con potencial para producir un vertido incontrolado de caudales y, por tanto, con potencial para causar daños sobre la vida humana. El análisis de potenciales modos de fallo debe responder a las siguientes preguntas:

- ¿En qué condiciones respecto a solicitaciones, estado físico y explotación puede fallar el sistema presa-embalse?
 - ¿Mediante qué mecanismos de fallo?
 - ¿Qué sucede si el sistema presa-embalse rompe?
 - ¿Es posible detectar prematuramente cualquiera de las formas en las que la presa puede fallar?
 - ¿Qué acciones, inmediatas o a largo plazo, pueden tomarse para reducir la posibilidad de una rotura o mitigar las consecuencias asociadas?

Es precisamente la cuarta de las preguntas esbozadas la que vincula de una manera más directa a la auscultación y el análisis previo que debe haberse llevado a cabo. En función de la respuesta deberá establecerse:

- a) Necesidades de inspección y vigilancia para la detección y seguimiento del modo de fallo.
- b) Auscultación necesaria para la detección y seguimiento del modo de fallo.

5. CONCLUSIONES

A continuación se recogen las principales conclusiones que se derivan de los trabajos realizados y de lo expuesto en esta comunicación:

- La eficacia de un sistema de auscultación depende de la correcta concepción y ejecución de cada una de las actuaciones de las distintas fases del mismo, desde el diseño hasta su implantación, operación y encuadre en la

organización de la explotación de la presa. Concentrar los esfuerzos en mejorar aspectos parciales del sistema no incrementa la eficacia del mismo, si no se dan unos mínimos razonables en cada una de las partes del proceso.

- La automatización y comunicación remota de los sistemas de auscultación debe ir acompañada del mantenimiento de dichos sistemas. Además, debe evitarse la total eliminación de las lecturas manuales de los aparatos, permaneciendo involucrado el personal de presa en la auscultación de la misma y posibilitando así el contraste de los datos automáticos.

- La incorporación al SAIH de los datos de auscultación de presas posibilita el seguimiento continuo de los datos de auscultación, así como la gestión centralizada de los datos en el Centro de Control. Esto puede mejorar extraordinariamente la eficacia en la gestión y seguimiento conjunto de la auscultación de un gran número de presas, como es el caso de las Confederaciones Hidrográficas, mediante la implantación de herramientas de gestión especializada, en desarrollo actualmente para la CHE.

- Sería deseable estandarizar el contenido y estructura de los informes anuales de auscultación, mediante la aprobación de una Guía Técnica sobre la elaboración de tales informes.

- Debe aprovecharse la elaboración de los informes anuales para "auditar" el sistema de auscultación, evaluando su eficacia y fiabilidad y estableciendo recomendaciones para su mejora.

- La vinculación del sistema de auscultación a los potenciales modos de fallo de la presa y la "parametrización del comportamiento" en los términos aquí considerados pueden ser medidas apropiadas para mejorar la eficacia de los sistemas de auscultación, tanto en el diseño del propio sistema (o su modificación) como en el seguimiento y análisis de datos.

REFERENCIAS

1. Escuder I, Lorenzo J, Fleitz J, Membrillera M. Study of Dams Behaviour: uncertainties in instrumentation records and numerical modelling. Study cases and recent approaches. 73rd ICOLD Annual Meeting Workshop and Symposium. Teheran (Iran). 2005

2. Núñez A, Andreu M, Lorenzo J, Hoppe S, Instrumentation Program and Dam Monitoring in the Ebro River Basin, Spain. 76th Annual Meeting of ICOLD, Sofía (Bulgaria), June 2008.

3. OFITECO, S.A. Ausmodel 2.0. Manual del Usuario, 1996.

4. USBR. Dam safety operation and maintenance. International technical seminar and study tour. Colorado, Nevada and Arizona. September 13-23. 2004.

5. USBR. Safety evaluation and visual inspections of existing dams. International technical seminar and study tour. Colorado, Nevada and California. September 17-27, 2007.