

Reflexiones sobre seguridad y auscultación en presas de materiales sueltos

JOSÉ LUIS UTRILLAS SERRANO (*) y FRANCISCO JAVIER SÁNCHEZ CARO (**)

RESUMEN La seguridad de presas es un concepto complejo que abarca múltiples aspectos relacionados con los modos potenciales de fallo. Dejando a un lado los aspectos sísmicos e hidrológicos, la seguridad de las presas de tierra está íntimamente ligada a la adecuada auscultación de su comportamiento.

Así, el objeto del presente artículo es resaltar la importancia del papel de la auscultación en la seguridad de presas y, en particular, la utilidad que puede tener una herramienta como los “Sistemas de alerta y alarma”, tales como el desarrollado recientemente (como propuesta técnica) para la presa de Tous.

REFLECTIONS ON SAFETY AND MONITORING FOR EARTH AND ROCKFILL DAMS

ABSTRACT *Dam safety is a complex concept that involves many aspects related to the potential modes (or scenarios) of failure. Apart from seismic and hydrological aspects, the safety of embankment dams is strongly linked to proper monitoring of dam behaviour.*

Thus the purpose of this paper is to highlight the importance of dam monitoring and, in particular, the utility of a “Performance Monitoring Warning and Alarm System” such as the one developed recently (technical proposal) for the Tous dam.

Palabras clave: Presas, Materiales sueltos, Seguridad, Auscultación.

1. INTRODUCCIÓN

Un buen número de los incidentes que han tenido lugar en presas de materiales sueltos, tienen un origen hidrológico (sobrevvertido en situación de avenidas) o sísmico. No obstante, en otras ocasiones estos incidentes se deben a patologías asociadas a su comportamiento, en las que los aspectos geotécnicos tienen especial importancia. Todos tenemos en mente la rotura de las presas de Bradfield (1864), Teton (1976) o Aznalcóllar (1998), por citar algunos ejemplos.

Las preguntas a plantear resultan siempre las mismas, para todas y cada una de las presas existentes:

- ¿Es la presa suficientemente segura?
- ¿Cómo incrementar la seguridad de la presa?

No hay una respuesta sencilla a estas preguntas. En el presente artículo no se pretende dar una contestación a ellas; sólo se quieren apuntar algunas ideas sobre este asunto, comentando la experiencia obtenida en el control del comportamiento de la presa de Tous, por si ésta fuera de alguna utilidad.

La segunda pregunta planteada está directamente relacionada con el tema de la política de “Análisis y Gestión de Riesgos”. Por ello, este artículo sólo tratará de dar algunas ideas sobre la primera cuestión.

Obviamente, existe otra pregunta importante de carácter

social: “¿Qué se entiende por suficientemente seguro?”. Si se pretende reducir la probabilidad media de rotura de presas, es necesario tener en cuenta la metodología aplicada en otros campos (como las Centrales Nucleares o la Aeronáutica, por ejemplo).

2. SEGURIDAD Y RIESGO

La ingeniería civil en España siempre ha estado íntimamente ligada a la seguridad de las presas. De hecho, la rotura de la presa de Puentes (1802) constituyó un hito definitivo para que D. Agustín de Betancourt fundara la Escuela de Caminos de Madrid.

Existen multitud de términos y acepciones utilizadas dentro del contexto de la seguridad de las presas. Suele entenderse por seguridad de una presa al “margen que separa las condiciones reales que existen en la presa de las que llevan a su rotura”. La forma más fácil de definir ese margen, en ingeniería, es el establecimiento de un número (coeficiente de seguridad) para el análisis de cada uno de los modos potenciales de fallo. Este planteamiento, quizá excesivamente simplista, es el que se realiza en la todavía vigente “Instrucción para el Proyecto, Construcción y Explotación de Grandes Presas” (1967).

Pero existen otras formas algo más complejas de evaluar la seguridad: son las basadas en la estimación del riesgo (la construcción de una presa siempre supone un riesgo impuesto a la población de aguas abajo). Esta estimación del riesgo, para cada uno de los modos de fallo previsibles, se realiza como el producto de la probabilidad anual de fallo multiplicada por el “daño” correspondiente (si tal fallo ocurriera). La

(*) Confederación Hidrográfica del Júcar.

(**) Geotecnia de Proyectos y Obras (GEOprob).

suma de estos riesgos (para todos los modos potenciales de fallo) integrada a lo largo del tiempo, conduciría a una medida del riesgo global durante un cierto período de vida útil. Sobre este planteamiento se pueden hacer algunas consideraciones: por un lado, los “daños” derivados de una potencial rotura de una presa son tan extraordinariamente cuantiosos como difícilmente cuantificables; por otro lado, la probabilidad de fallo es muy pequeña y no resulta sencillo realizar una estimación objetiva (al menos para los modos de fallo donde los aspectos geotécnicos son determinantes, ya que es difícil dar un planteamiento probabilístico riguroso a los parámetros que representan las características geotécnicas de los materiales del cuerpo de presa y, aún en mayor medida, del cimientado).

Por ello, este tipo de planteamientos conduce a expresiones del tipo “cero x infinito” (probabilidad de fallo por “daño”), que dan lugar a una indeterminación del riesgo y, en consecuencia, no parecen procedimientos apropiados para medir la seguridad. El análisis de riesgos y, en sentido amplio, la gestión del riesgo parece que, hoy día, tienen una utilidad limitada, en lo que se refiere a estos modos potenciales de fallo con origen geotécnico. Se trata, básicamente, de una herramienta adecuada para determinar (y justificar) ciertas estrategias de asignación de inversiones.

3. SEGURIDAD Y ESTADÍSTICA

Dada la dificultad de analizar la seguridad de una presa mediante planteamientos probabilísticos, se han hecho numerosos intentos de obtener una primera idea de las probabilidades de fallo de una determinada presa, analizando estadísticamente la historia del comportamiento del conjunto de presas existentes. Tampoco así resulta claramente cuantificable la probabilidad de fallo (máxime en los aspectos geotécnicos), por los siguientes motivos:

- El número de presas existentes en el mundo es, no sólo muy pequeño en comparación con otros elementos de otras industrias sino, además, bastante desconocido aún (hay notables diferencias entre la “World Commission on Dams” y el “World Register of Dams”).
- La población de presas no es homogénea desde el punto de vista estadístico, al constituir cada una de ellas, un prototipo único e irrepetible.

En estos momentos hay intentos de estimar probabilidades anuales de fallo (en particular, para modos de fallo de tipo geotécnico) diferenciando entre las distintas tipologías de presas de materiales sueltos, incluso intentando, en este tipo de análisis, distinguir entre distintas litologías de cerradas. Las diferencias existentes entre las presas de cualquier grupo que se realice, pueden ser muy importantes, incluso si este espacio muestral se reduce a un solo país:

- La probabilidad anual de fallo parece que debe depender de la época de su construcción y de la edad de la presa.
- El diseño de cualquier presa de este tipo depende de los materiales locales disponibles (que nunca son iguales), dando lugar a secciones tipo muy diferentes.
- El proceso de puesta en obra de los materiales pueden dar lugar a comportamientos radicalmente distintos.
- Si las diferencias son acusadas en los materiales que constituyen el cuerpo de presa (sobre los que se tiene cierto control), éstas pueden ser mucho mayores en cuanto se refiere al cimientado (litología, estructura, período geológico, etc).

Cuando se tienen en cuenta presas de varios países, la

aplicación de procedimientos estadísticos se cree incluso menos verosímil, ya que no tienen en cuenta las especificidades de diseño, construcción, explotación e inspección de presas de cada uno de ellos (por ejemplo, las presas españolas de escollera con pantalla de hormigón han presentado un mayor porcentaje de incidentes, ya que la solución de plinto visible ha dado lugar a la rotura del elemento de estanqueidad en algunas de estas presas).

A pesar de todas las limitaciones comentadas, ha habido muchos intentos de recopilación de datos de incidentes (roturas más accidentes) en presas:

- Trabajo del U.S Bureau of Reclamation de Baab Mermel del año 1968 (“Catalogues of Dam Disasters, Failures and Accidents”).
- “Bibliography of the History of Dam Failures” de Risk Assessment International (RAI-Austria), promovido por A. Vogel.
- Estudios de ICOLD: “Lessons from Dam Incidents” (1974), “Deterioration of Dam and Reservoirs” (1983) y “Dam Failures Statistical Analysis” (1995).
- Dentro del contexto de las presas de materiales sueltos, hay un conjunto de trabajos excelentes, desarrollados por la Universidad de Nueva Gales del Sur (Australia). Entre ellos, destaca notablemente el trabajo denominado “Analysis of Embankment Dam Incidents” (1998).
- Recopilaciones de incidentes de presas en varios países.

4. SEGURIDAD Y OTROS FACTORES

No hay que olvidar que, además, hay una indudable influencia del factor técnico y humano que puede afectar notablemente a la seguridad de una presa. El tipo de entidad que sea propietaria de la presa (estatal, privada, mixta,...), el equipo de profesionales que realizó el proyecto, las personas y medios encargados de su construcción, el equipo encargado de su explotación, de su inspección... son factores que pueden tener una influencia grande en la seguridad de una presa. Evidentemente, los factores económicos constituyen un aspecto de especial importancia en la definición de este concepto complejo que es la seguridad de una presa.

Parece claro que lo ideal sería disponer, en todo momento y para cada presa (de nuestras casi 1300 grandes presas), del mejor equipo técnico de profesionales para el control del comportamiento de la misma (24 horas al día y 7 días a la semana), sin ninguna restricción económica. Desgraciadamente esto no puede ser así y, por ello, han de buscarse herramientas que ayuden a realizar este diagnóstico.

5. SEGURIDAD Y AUSCULTACIÓN

Interesa aquí remarcar que la Auscultación de Presas puede ayudar a la observación y diagnóstico del comportamiento de la presa. Se trata de una herramienta muy importante (quizá la única, cuando la presa está en fase de explotación).

El principal objeto de la auscultación es la ayuda en la observación del comportamiento de la presa. La tendencia creciente a la centralización, y automatización de los dispositivos de auscultación no debe sustituir nunca la observación directa por el personal responsable de la vigilancia de la presa (se puede evidenciar así la aparición de agrietamientos, goteos, humedades, etc, que de otra forma sería difícil) y del equipo encargado de su inspección (debe ser, preferentemente, un equipo claramente independiente).

La auscultación de una presa debe entenderse como un

concepto global que va más allá de la existencia de una serie de sensores (y de su lectura):

- Establecimiento de una serie de controles para cuya medida es necesaria la instalación de una cierta instrumentación.
- Definición de la periodicidad de las lecturas, asociadas a los distintos controles (y sensores correspondientes).
- Estandarización de los trabajos de lectura, archivo y proceso de la información para la traducción de estas lecturas a unidades físicas.
- Jerarquización de controles (y sensores asociados): Esenciales, Importantes y Normales. Puede y debe ser variable con el tiempo.
- Establecimiento de un sistema de niveles de alerta y alarma para cada uno de estos controles (y sensores asociados).
- Redacción de documentación relacionada con el comportamiento de la presa (partes diarios, informes mensuales, informes trimestrales, informes generales de comportamiento de carácter anual, informes de revisión de la seguridad con periodicidad de 5-10 años,...).

La idea clave del Programa Español de Seguridad de Presas es proporcionar a las presas un control permanente de su comportamiento (con revisiones obligatorias de la seguridad, inspecciones periódicas, etc).

6. NIVELES DE ALERTA Y ALARMA

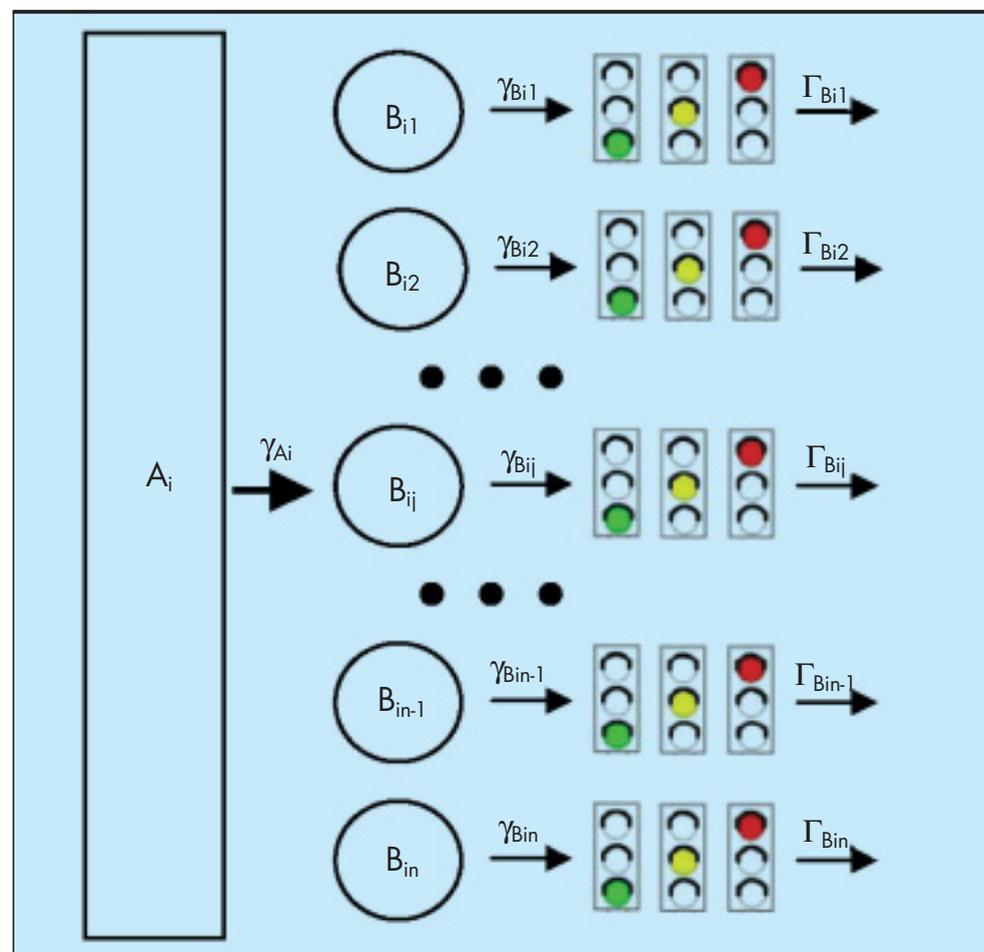
Dentro de este contexto, una de las herramientas que puede ser de utilidad es el establecimiento de un conjunto de “niveles de alerta y alarma” para los diferentes controles que se llevan a cabo durante la construcción y explotación de las presas. En España, se ha hecho un cierto esfuerzo en este sentido durante los últimos años.

Pero, ¿qué es un sistema automático de “Alerta y Alarma”? Se trata de un sistema automatizado que revisa la evolución de todos los controles (o sensores) de la auscultación de una presa, detectando si estos dos límites se sobrepasan. Estos límites (niveles de alerta y alarma) pueden verse como una especie de semáforo para cada control y deben analizarse en conjunto con el resto de la información.

Estos límites o niveles de alerta y alarma deben ser definidos por un equipo de técnicos altamente cualificado que, además, haya analizado previamente el comportamiento de la presa y, así, tenga ya una idea inicial de cuáles pueden ser los problemas potenciales que pueden presentarse.

Cuando un nivel concreto de alerta y alarma se alcanza, se deben investigar las causas y las consecuencias prácticas de cada caso dependerán de la importancia del sensor en cuestión. Por ello, la importancia relativa de los diferentes controles (normal, importante o crítico) debe revisarse constantemente durante la vida de la presa.

FIGURA 1.
Diagrama de un Sistema de Alerta y Alarma.
 A_i = Tipo de sensor asociado a un determinado control
 γ_{A_i} = Coeficiente de ponderación asociado a A_i
 B_{ij} = Un sensor específico (dentro del grupo definido por A_i)
 $\gamma_{B_{ij}}$ = Coeficiente de ponderación asociado a B_{ij}
 $\Gamma_{B_{ij}}$ = Factor de rebasamiento del nivel de alerta/alarma (típicamente 0, 1 o 2).



El establecimiento de los “niveles de alerta y alarma” es una opción razonable que trata de ayudar en un primer diagnóstico. A continuación se comentan algunos aspectos de la aplicación de este tipo de sistema de control en la presa de Tous, haciendo referencia a dos tipos de controles diferenciados: el asiento de la coronación (auscultación deformacional) y la evolución de las presiones intersticiales (auscultación hidráulica).

7. APLICACIÓN A LA PRESA DE TOUS

La presa de Tous es una presa de materiales sueltos con espaldones de escollera y un núcleo central de arcilla, cuya altura máxima sobre cimientos alcanza los 135,5 m.

La implantación del sistema de “niveles de alerta y alarma” en la presa de Tous, es reciente, ya que se inició en Octubre-2003. Se quiere señalar que el establecimiento de estos límites (o “niveles de alerta y alarma”) resulta una tarea siempre complicada, máxime cuando se realiza por primera vez en una presa como la de Tous, a la que quedan aún por completar los últimos 30 metros de su carrera de embalse, para alcanzar su máximo nivel normal.

Esta dificultad de asignación de estos límites, que es común para todo tipo de sensores, está particularmente acentuada por los controles asociados con la auscultación hidráulica (fundamentalmente las filtraciones). Resulta previsible que, cualquiera que sean los límites que se establezcan para la auscultación hidráulica, éstos tengan que ser revisados periódicamente, al menos hasta que la presa alcance su máximo nivel normal y se establezca un régimen estacionario en sus filtraciones.

El primer trabajo consistió en la jerarquización de sensores (existen centenares de puntos de control en la presa), estableciendo cuales debían ser los denominados sensores esenciales, distinguiendo también entre sensores importantes y sensores normales.

Dentro del contexto del presente artículo, sólo se va a hacer referencia a dos ejemplos de este tipo de sistema, en el caso de dos controles esenciales, tal como se desarrolla en los subapartados siguientes.

7.1. ASIENTOS DE LA CORONACIÓN

El control de la evolución de los asientos de fluencia de la coronación es siempre un objetivo importante en la auscultación de presas. Obviamente, si el ritmo de estos asientos crece con el tiempo, ello puede constituir una evidencia de un proceso de inestabilidad.

Sin embargo, si el ritmo de asientos es decreciente, tampoco podemos garantizar que estemos frente a un proceso estable. Sólo cuando el producto entre este ritmo (o velocidad) y el tiempo permanece por debajo de un valor constante, el proceso será realmente estable. ¿Se trata de una ley general aplicable a la gran mayoría de los materiales, para procesos dependientes del tiempo?...

La evolución de los asientos de coronación es, probablemente, la aplicación más sencilla de esa ley. Lleva a expresiones del tipo:

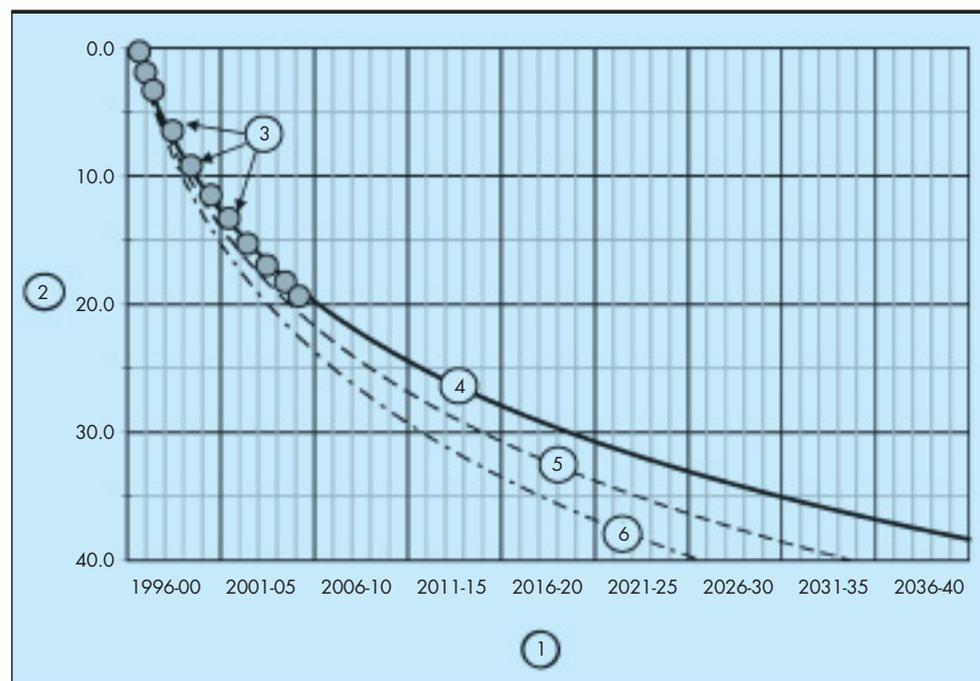
$$s = A \cdot \log (t/t_0)$$

(en la fórmula anterior, resulta bien conocido el problema de definir el valor de t_0).

El control topográfico de asientos mediante nivelación, se inicia en Mayo-1996. Sólo dos años más tarde (ahora hace más de ocho años) se realizó una predicción de estos asientos para permitir su adecuado control. Por ello, se planteó establecer los “niveles de alerta y alarma” para la coronación de la presa atendiendo a este criterio. Así, se ha optado por adoptar un “nivel de alerta” cuando el asiento medido por nivelación exceda en un 10% del valor estimado y el “nivel de alarma” cuando este exceso sea superior al 20%.

Además de todo ello, se establece también como “nivel de alerta/alarma” cuando entre dos medidas de nivelación trimestrales, se supera un cierto valor umbral.

FIGURA 2. Presa de Tous:
Evolución del máximo asiento de la coronación.
Comparación entre el comportamiento pronosticado con los valores medidos mediante nivelación (desde 31-Mayo-1996).
(1) Tiempo (Años)
(2) Asiento (cm)
(3) Asientos medidos
(4) Asientos Pronosticados
(5) Nivel de Alerta
(6) Nivel de Alarma.



De acuerdo con todo ello, se propuso el establecimiento de los siguientes “niveles de alerta y alarma”.

- Se alcanzará el “**nivel de alerta**” cuando entre dos lecturas trimestrales de cualquiera de los hitos de control, la diferencia supere **0.5 cm** o cuando el asiento medido en el hito NC18 (el que registra mayor asiento) sea superior a **S₁ (cm)**, siendo:

$$S_1 = 1.10 [(32.32 \lg (t/461)) - 12.62]$$

y “t” el nº de días transcurridos desde el 24-04-93

- Se alcanzará el “**nivel de alarma**” cuando entre dos lecturas trimestrales de cualquiera de los hitos de control, la diferencia supere **1.0 cm** o cuando el asiento medido en el hito NC18 sea superior a **S₂ (cm)**, siendo:

$$S_2 = 1.20 [(32.32 \lg (t/461)) - 12.62]$$

y “t” el nº de días transcurridos desde el 24-04-93

7.2. NIVELES PIEZOMÉTRICOS EN EL CIMIENTO

Normalmente, la forma más usual de analizar el comportamiento hidráulico del cimiento es mediante diagramas equipotenciales.

Pero, también resulta posible controlar la evolución de las presiones intersticiales medidas por los piezómetros instalados en el cimiento o en el seno del cuerpo de presa. La evolución de presiones intersticiales presenta las siguientes fases:

- Un proceso de Generación y Disipación simultánea, durante la etapa constructiva de la presa.
- Posteriormente, tiene lugar un proceso transitorio con disipación de presiones intersticiales (normalmente).
- Finalmente, al alcanzarse un régimen estacionario, la evolución de presiones intersticiales está ya controlada por la oscilación del nivel de embalse.

Por ejemplo, en este último caso comentado, correspondiente a la etapa de régimen estacionario, la presión intersticial “u” está controlada por la evolución del nivel de embalse respecto a la cota de instalación del piezómetro (“potencial del embalse”, ΔH), con un factor multiplicador δ (respecto a la amplitud) y un cierto retraso (en el tiempo) ϕ .

Obviamente, se pueden definir los niveles de alerta y alarma de tal forma que se controle que esos dos parámetros permanecen aproximadamente constantes para cada piezómetro. Si esos límites son sobrepasados, significará que el grado de conexión entre el piezómetro y el embalse ha cambiado también. Esto puede ser útil para prevenir, por ejemplo, un proceso de fracturación hidráulica del núcleo o un problema de la pantalla de inyecciones de impermeabilización del cimiento.

Se estableció como premisa previa que sólo serían de aplicación los “niveles de alerta y alarma” que se indican, cuando simultáneamente concurrieran las dos circunstancias siguientes:

- 1 Que la cota del nivel de embalse supere en 5 metros (mínimo) a la cota de instalación de un determinado piezómetro de cuerda vibrante.
- 2 Que la presión intersticial medida por el piezómetro sea positiva y mayor de 2 T/m².

Previamente se define como “potencial del embalse” ($U^*(m)$), en un determinado momento, al valor:

$$U^* = H - h_R$$

siendo H la cota de la lámina de agua en el embalse y h_R la cota asociada al río aguas abajo.

Se define como “potencial asociado a un piezómetro” ($U_i(m)$), en un determinado momento, al valor:

$$U_i = Z_i + u - h_R$$

siendo “ Z_i ” la cota de instalación (en metros) de cada aparato (recuérdese que $H \geq Z_i + 5$) y “u” la presión intersticial medida (en T/m²) por el piezómetro correspondiente (recuérdese, también, que $u \geq 2$ T/m²).

- Se alcanzará el “**nivel de alerta**” en cualquier piezómetro del cimiento, **cuando el cociente U_i / U^* supere al 70%** (60% para los situados aguas abajo, en la galería de cota 30 m).

- Se alcanzará el “**nivel de alarma**” en cualquier piezómetro del cimiento **cuando el cociente U_i / U^* supere al 85%** (75% para los piezómetros comentados anteriormente).

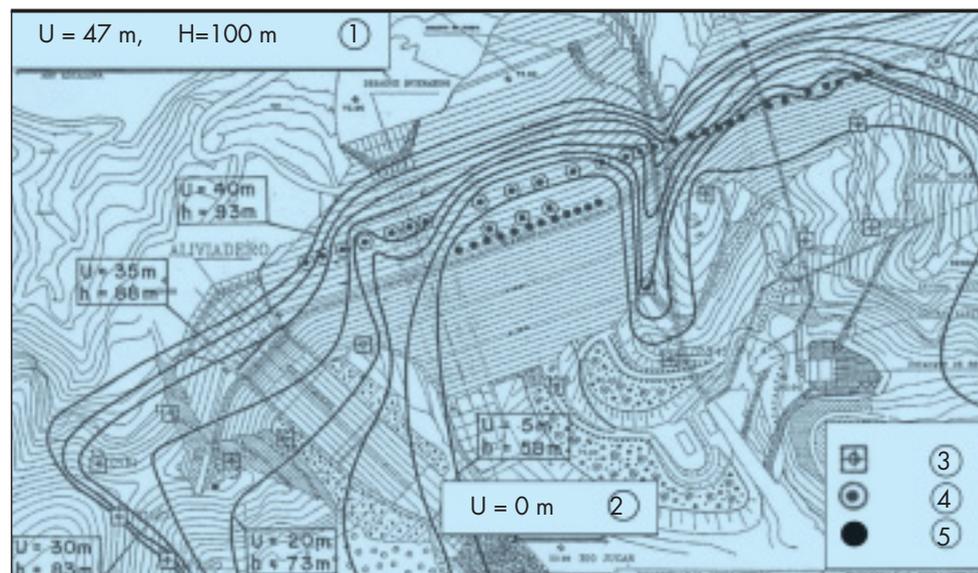


FIGURA 3. Presa de Tous: Auscultación Hidráulica del cimiento. Diagrama de equipotenciales (ejemplo de Marzo 1999).
 (1) U = Potencial del embalse
 H = Nivel de embalse
 (2) U = Potencial del río, aguas abajo
 (3) Piezómetros abiertos
 (4) Piezómetros de cimiento
 (5) Drenes de Galerías.

7.3. GENERALIZACIÓN DEL SISTEMA

Este planteamiento de “niveles de alerta y alarma” se ha aplicado a todos y cada uno de los tipos de controles y sensores individualizados existentes en la presa, atendiendo a la especificidad de cada uno de ellos.

- Control de movimientos externos (Nivelación, Colimación y Extensometría de la Coronación y de las Bermas de Aguas Abajo).
- Filtraciones externas (Aguas abajo de la presa) e internas (Drenes individuales, Aforadores, etc).
- Niveles piezométricos en el cimientado (medidos con piezómetros de cuerda vibrante, piezómetros abiertos y manómetros en drenes).
- Presiones intersticiales en el núcleo.
- Deformaciones en el cimientado (extensómetros de varillas).
- Instrumentación del desagüe intermedio (Termómetros de hormigón, Células de presión total, Extensómetros de armadura,...).
- Movimientos de las torres de acceso (Torres P-3 y P-4).
- Control de movimientos de la estructura del aliviadero.
- Otros controles de la presa (Células hidráulicas de asiento, tubos de asiento, inclinómetros, células de presión total de núcleo y contactos, extensómetros de movimiento relativo y de movimiento horizontal,...).

8. COMENTARIOS FINALES

Aún es pronto para evaluar el grado de utilidad que, como herramienta de ayuda al control de la presa de Tous, supone el establecimiento de estos “niveles de alerta y alarma”.

Estos límites deben entenderse casi como una “señal de semáforo” para cada uno de los controles y deben ser analizados con el conjunto de la información:

- Cualquier rebasamiento de un “nivel de alerta” o “nivel de alarma” debe ser investigado por un ingeniero (o equipo de ingenieros) experto en la interpretación del comportamiento de presas a partir de la información facilitada por la instrumentación.
 - El significado de rebasamiento de “nivel de alerta” o “nivel de alarma”, resulta diferente para cada tipo de aparato (o control) y, en la mayor parte de los casos, no implicará la existencia de patología alguna en el comportamiento de la presa.
- En cualquier caso, la investigación de este hecho debe realizarse lo antes posible, máxime si se trata de dispositivos **esenciales** y/o **importantes** (en ese caso debe valorarse la conveniencia de no incrementar la cota de la lámina de agua en el embalse e, incluso, de iniciar un cierto desembalse).
- Especial preocupación deberá tenerse si varios de los controles sobre dispositivos **esenciales** y/o **importantes** exceden sus correspondientes “niveles de alerta y/o alarma”.

A pesar de todas las limitaciones asociadas a un trabajo de este tipo, se ha dedicado un especial esfuerzo a este establecimiento de “niveles de alerta y alarma”. Ello se ha llevado a cabo con la intención de que sirva como una herramienta adicional del control del comportamiento de la presa (y, lógicamente, de su seguridad) para la Confederación Hidrográfica del Júcar.

Actualmente, se dispone de sistemas automáticos de adquisición y proceso de datos de tipo hidrológico y sísmico. En nuestra opinión, todas las presas españolas dispondrán de un sistema automático de “Alerta y Alarma” en un futuro próximo.

9. REFERENCIAS

- [1] MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS. DIR. GENERAL DE OBRAS HIDRÁULICAS: “Instrucción para el proyecto, construcción y explotación de grandes presas”. 1967.
- [2] BOWLES, D., ANDERSON, L. y GLOVER, T.: “A role for risk assessment in dam safety management”. Hidropower 97. Procc, 3rd International Conference on Hidropower, Trondheim. 1997.
- [3] BABB, A. O. y MERMEL, T.W.: “Catalogue of dam disasters, failures and accidents”. PB179243, U.S. Bureau of Reclamation, Springfield, 1968.
- [4] VOGEL, A.: “The bibliography of the history of dam failures an event based accident data collection”. Proceedings of the European Safety and Reliability Conference ESREL 2001. Vol. 2, pp. 1361-1366. Torino, Italy, September 2001.
- [5] ICOLD: “Lessons from Dam Incidents”. Paris. 1974.
- [6] ICOLD: “Deterioration of Dams and Reservoirs”. 1983
- [7] ICOLD: “Dam Failures Statistical Analysis”. Bulletin 99. 1995.
- [8] FOSTER, M.A, FELL, R. y SPANNAGLE, M.: “Analysis of embankment dam incidents”. Uniciv Report No. R-374. The University of New South Wales. 1998.
- [9] SORIANO PEÑA, A. y SÁNCHEZ CARO, F.J.: “Deformaciones en presas de materiales sueltos”. VI Jornadas Españolas de presas. 1999.
- [10] UTRILLAS SERRANO, J.L. SORIANO PEÑA, A. y SÁNCHEZ CARO, F.J.: “Presa de Tous. Modelo de movimientos del cuerpo de presa”. V Jornadas Españolas de presas. 1996.
- [11] SORIANO PEÑA, A. y SÁNCHEZ CARO, F.J.: “Sobre la evaluación de la seguridad de las Presas de Materiales sueltos”. Revista de Obras Públicas N° 3371. pp 97-133. 1997.
- [12] SORIANO PEÑA, A., ARCONES TORREJÓN, A. y SÁNCHEZ CARO, F.J.: “The role of monitoring on the assessment of the safety of El Atazar dam”. International Symposium on New Trends and Guidelines on Dam Safety. Barcelona. 1998.