



# Gestión de la seguridad de presas

## Dam safety management

Revista de Obras Públicas  
nº 3.509. Año 157  
Abril 2010  
ISSN: 0034-8619

**Juan Carlos de Cea Azañedo.** Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos  
Secretario General del Comité Nacional Español de Grandes Presas. jcdecea@mma.es  
**Francisco Javier Sánchez Cabezas.** Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos  
Vocal Colaborador del Comité Nacional Español de Grandes Presas.  
PYCSA Infraestructuras, S.L. fjsanchez@pycsa.es

**Resumen:** Se describen en el artículo el desarrollo de la sesión y las principales conclusiones expuestas en el Informe del Relator General de la misma.

**Palabras Clave:** Seguridad; Determinismo; Riesgo; gestión; Seguimiento; Instrumentación; Emergencia; Explotación; Reglamentación; Regulador

**Abstract:** The paper describes how the session was developed and the main conclusions of the General Report.

**Keywords:** Safety; Deterministic; Risk; management; Surveillance; Monitoring; Emergency; Operation; Regulation; Regulator

### 1. Introducción

En el lenguaje corriente se entiende normalmente que algo es seguro cuando no tiene posibilidad de fallar. En sistemas más complejos y regulados, por seguro se entiende todo aquello que cumple todos los requisitos reglamentarios, lo que habitualmente se conoce como *enfoque tradicional de la seguridad* o *enfoque basado en el cumplimiento de normas*.

El tema de la Seguridad, abordado desde distintas ópticas, se ha elegido en las últimas tres décadas en un total de nueve ocasiones como tema a ser tratado en otros tantos Congresos:

- Q32: *La Seguridad de las presas desde el punto de vista de la cimentación y seguridad de las laderas del vaso*. Año 1967. Congreso de Estambul (Turquía).
- Q49: *Deterioro o rotura de presas*. Año 1979. Congreso de Nueva Delhi (India).
- Q52: *Seguridad de Presas en Explotación*. Año 1982. Congreso de Río de Janeiro (Brasil).
- Q59: *Rehabilitación de presas para asegurar su seguridad*. Año 1985. Congreso de Lausana (Suiza).

- Q65: *Envejecimiento de presas*. Año 1991. Congreso de Viena (Austria).
- Q68: *Evaluación de la seguridad y mejora de presas existentes*. Año 1994. Congreso de Durban (Sudáfrica).
- Q75: *Incidentes y roturas de presas*. Año 1997. Congreso de Florencia (Italia).
- Q76: *El uso del análisis de riesgos para apoyar decisiones en materia de seguridad*. Año 2000. Congreso de Beijing (China).
- Q86: *Seguridad de presas de tierra y escollera*. Año 2006. Congreso de Barcelona (España).

Como consecuencia de las discusiones mantenidas en el Congreso de Nueva Delhi en el año 1979, ICOLD creó el Comité Técnico sobre Seguridad de Presas, al que encomendó la misión de desarrollar una nueva filosofía sobre la seguridad de las presas a la que, obligatoriamente, debían ajustarse de manera integral el resto de Comités Técnicos. Dicho comité desarrolló un boletín, el número 59, que se publicó finalmente en el año 1987, en el que se incluían los criterios generales que debían gobernar la seguridad de las presas, la filosofía y metodología de dicha seguridad, la forma de

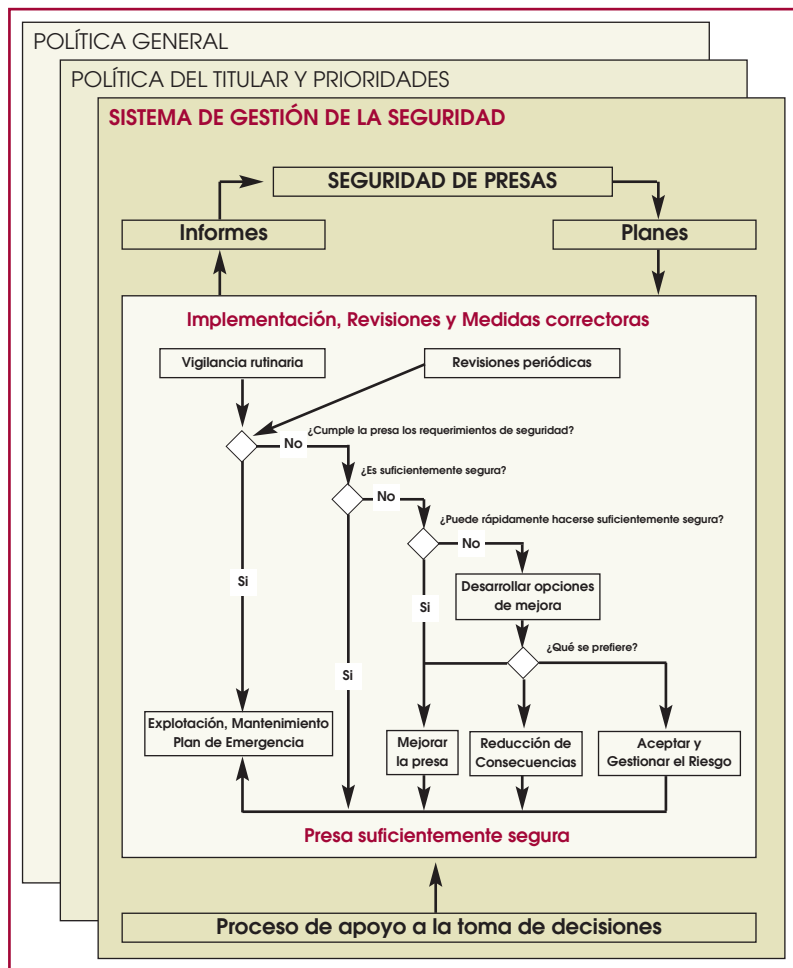


Fig.1. Esquema de Gestión de la Seguridad de Presas (Fuente Canadian Dam Association).

gestionarla, y la forma de evaluarla. Una de las principales conclusiones que puede extraerse de la lectura del boletín es que la seguridad debe tener prioridad por encima de cualquier otra consideración.

El Congreso del año 2000 en Beijing introdujo por primera vez en una de las cuestiones la aplicación del Análisis de Riesgos como una forma muy moderna y novedosa de gestionar la seguridad de las presas. El Comité Técnico de Seguridad de Presas se encontraba en ese momento elaborando lo que luego sería el boletín publicado en el año 2005 con el número 130: *Evaluación de Riesgos en la gestión de la seguridad de las presas. Un reconocimiento de los beneficios, métodos y aplicaciones actuales.*

La elección de nuevo como tema de la "Gestión de la Seguridad de las presas" para ser discutido en el marco de la Cuestión nº 91, del 23º Congreso Internacional de Grandes Presas, demuestra la importancia que ese aspecto tiene a nivel mundial y su complejidad para ser abordado de forma integral y uniforme.

Con carácter general la sociedad actual considera que la gestión de esa seguridad no es nada más que la gestión de los riesgos que sobre las personas, propiedades y medio ambiente puede tener el impacto de la rotura o el funcionamiento incorrecto de una presa. Y dado que la seguridad absoluta es un concepto irreal y absolutamente antieconómico, lo que se intenta es que esos riesgos sean tan bajos como sea posible, o tan bajos como sea *razonablemente* o *prácticamente* posible.

En el enfoque tradicional de la gestión de la seguridad, la evaluación de ésta se basa en el cumplimiento de unas reglas y unos requisitos definidos de antemano, en la idea de que ese proceso resulte en unos niveles de riesgo muy bajos, pero desconocidos. Y frente a las conocidas dificultades existentes usando dicho enfoque para responder a las preguntas *¿son suficientemente seguras las presas?* o *¿cuánto de seguro es el término suficientemente seguro?*, parece haber, sin embargo, un consenso casi generalizado en que el análisis de riesgos es la mejor forma de darles respuesta, permitiendo, además, ayudar a tomar decisiones en materia de seguridad de forma muy transparente y tratando adecuadamente las incertidumbres de todo tipo (posiblemente una de sus mayores ventajas). Un esquema de la gestión de la seguridad usando este método se muestra en la Figura 1.

Todo lo anterior hacía necesario que en un evento de esas características todos esos distintos aspectos fueran debatidos por la comunidad presística.

La Cuestión 91 estuvo presidida por D. José Polimón López, Presidente del Comité Nacional Español de Grandes Presa y vicepresidida por D. Tadahiko Sakamoto, del Comité Japonés de Grandes Presas. La secretaria de la sesión fue Dña. Teresa C. Fusaro, del Comité Brasileño de Grandes Presas. El Relator General fue D. Andy Zielinsky, del Comité Canadiense de Grandes Presas.

## 2. Estructura de la cuestión

Se presentaron a la cuestión un total de 60 artículos correspondientes a un total de 19 países. Francia y España fueron los dos países más prolíficos, con un total de 8 cada uno (Tabla 1).

La distribución de los artículos en los cinco grandes temas en los que se había dividido la cuestión, fue el siguiente:



**Tabla 1.**

| Artículos Presentados | Países   |
|-----------------------|--|
| 8                     | España y Francia                                 |
| 5                     | Brasil y Suecia                                  |
| 4                     | Canadá y China                                   |
| 3                     | Irán, Japón, Suiza, Reino Unido y Estados Unidos |
| 2                     | República Checa, Portugal y Rusia                |
| 1                     | Egipto, Rumania, Slovakia, Slovenia y Sri Lanka  |

- 1) Evaluación de Riesgos y resultados obtenidos (16 artículos)
- 2) Reglamentación e impactos económicos (8 artículos)
- 3) Impactos relacionados con la explotación de presas (5 artículos)
- 4) Planes de Emergencia y comunicaciones (3 artículos)
- 5) Instrumentación remota y control de presas (16 artículos)

Además, doce (12) de ellos no se ajustaban estrictamente a los temas propuestos en la cuestión, dedicándose, más bien, a aspectos novedosos del diseño y del análisis de la seguridad.

Es destacable el reducido número de artículos relacionados con la gestión de la seguridad desde el punto de vista de los Planes de Emergencia de Presas.

De todos los artículos presentados a la Cuestión 91 se seleccionaron para ser expuestos y debatidos en las diferentes sesiones un total de 19 correspondientes a 10 países (Tabla 2). Sólo uno fue presentado por españoles.

La idea perseguida con la elección de todos ellos fue la de lograr una sesión equilibrada en lo que a reglamentación aplicable, resultados de la aplicación del análisis de riesgos, experiencias en el empleo planes de emergencia y control remoto de presas, se refería.

### 3. Informe del relator general

Reconociendo el hecho de que la eliminación del fallo de un sistema complejo es casi imposible, por razones tanto técnicas como económicas, la gestión de

**Tabla 2. Comunicaciones Seleccionadas.**

| Nº  | Ponente           | Report | País           | Título  |
|---|-------------------|--------|----------------|---|
| <b>Tema 1. Legislación, Reglamentación y aspectos medioambientales en la toma de decisiones en materia de seguridad de presas</b> |                   |        |                |   |
| 1   | U. Norstedt       |        | Suecia         | Toward better management of dam's safety.   |
| 2   | G. Degoutte       | 41     | Francia        | Danger studies in new French regulations on dams and levees safety.   |
| 3   | T. Thedeen        | 54     | Suecia         | Safety standard and safety measures.  |
| 4   | A. Hughes         |        | Inglaterra     | Legislation – A time of change in the UK.   |
| 5   | B. Reverchon      |        | Francia        | Maintenance policy and safety for dams at Electricite de France (EDF).  |
| <b>Tema 2. Seguridad de presas y análisis de riesgos</b>  |                   |        |                |   |
| 6   | D. Hartford       | 19     | Canada         | Relationship between deterministic safety assessments and probabilistic risk assessments in dam safety management.                                  |
| 7   | E. Halpin         | 55     | Estados Unidos | Risk management for dam safety – A joint approach by US Bureau of Reclamation, Federal Energy Regulatory Commission and US Army Corps of Engineers. |
| 8   | I. Escuder        |        | España         | Duero river authority experience on risk analysis and risk evaluation – discussion of results in the carrion river.                                 |
| 9   | P. Royet          | 36     | Francia        | Reliability-based analysis method for structural safety of gravity dams.  |
| 10  | F. Lemperiere     |        | Francia        | Which impact of costs analysis on floods risk assessment and management?  |
| <b>Tema 3. Tomando decisiones en material de seguridad de presas</b>  |                   |        |                |   |
| 11  | Y. Yamaguchi      |        | Japón          | Safety management and seismic safety evaluation for dams in Japan.  |
| 12  | J. P. Fabrè       |        | Francia        | Use of monitoring data to adapt the operation of dams to their behaviour and improve their safety.  |
| 13  | F. Jafarzadeh     | 26     | Iran           | Application of analytical methods in improving dam safety decision making process. Case study Masjed-Soleyman dam.                                  |
| 14  | R. Melbinger      |        | Austria        | Remote monitoring of dams in Austria. Philosophy and solutions.   |
| 15  | P. Oberhuber      |        | Austria        | Análisis of arch dams deformations.   |
| <b>Tema 4. Consecuencias de la rotura de presas</b>   |                   |        |                |   |
| 16  | A. Engstrom Meyer | 16     | Suecia         | Emergency preparedness planning in Swedish rivers. Development and experiences.   |
| 17  | M. Wieland        | 33     | Suiza          | Dam safety, consequences of dam failure and measures for risk reduction.  |
| 18  | D. Hartford       | 18     | Canada         | Management of floods downstream of dams through virtual reality simulation.   |
| 19  | G. R. Darbre      |        | Suiza          | Extending emergency planning for dams in Switzerland.   |



su seguridad es, por lo tanto, la gestión de sus riesgos de fallo y la de las consecuencias que hacia las personas, propiedades y medio ambiente puedan tener aquéllos, que, por otra parte, hay que procurar que sean lo más reducidas que sea posible o, al menos, mantenidas por debajo de un cierto nivel de aceptabilidad.

En el caso de las presas, los técnicos encargados de su diseño, en representación de la sociedad, y como conocedores del tema, han sabido reconocer qué aspectos eran clave para lograr un resultado casi seguro. Por ejemplo, proyectando unos aliviaderos capaces de evacuar avenidas cuya probabilidad de presentación fuera muy próxima a cero. El inconveniente de ese proceder era que, en la práctica, no se tenían en cuenta las consecuencias aguas abajo. Daba lo mismo que éstas fueran muy pequeñas o muy grandes.

En el año 1973 el *Comité de reevaluación de la capacidad de evacuación de aliviaderos de presas existentes* de la División Hidráulica de ASCE observó que la comunidad ingenieril trataba de evitar la toma de ese tipo de decisiones, prefiriendo, en su lugar, disponer de unos criterios que fueran igualmente aplicables a todas las presas.

La Sociedad actual es muy diferente que la existente en la década de los 60 ó 70 del siglo pasado. Quiere estar involucrada en la toma de todas aquellas decisiones que puedan afectar a su modo de vida y demanda a políticos y técnicos un altísimo grado de transparencia a la hora de tomarlas. Ambas características, participación y transparencia, son las principales señas de identidad de los regímenes democráticos.

En vista de esto, no es difícil concluir que el enfoque tradicional de la seguridad está lejos de cumplir el criterio de la transparencia, ya que deja finalmente al experto técnico, cuyo juicio es indudable para analizar y evaluar problemas técnicos, la decisión de opinar si algo es o no seguro. El viejo argumento de que *los expertos saben lo que hacen ya que están mejor preparados que el resto de la población*, hoy no es aceptable.

Al final son más bien los políticos responsables los que, tras oír la opinión de los técnicos, tienen que tomar las decisiones clave sobre cuestiones tan graves -esas que afectan a la seguridad de sus administrados-, a la vista de las pruebas que los expertos ponen a su disposición.

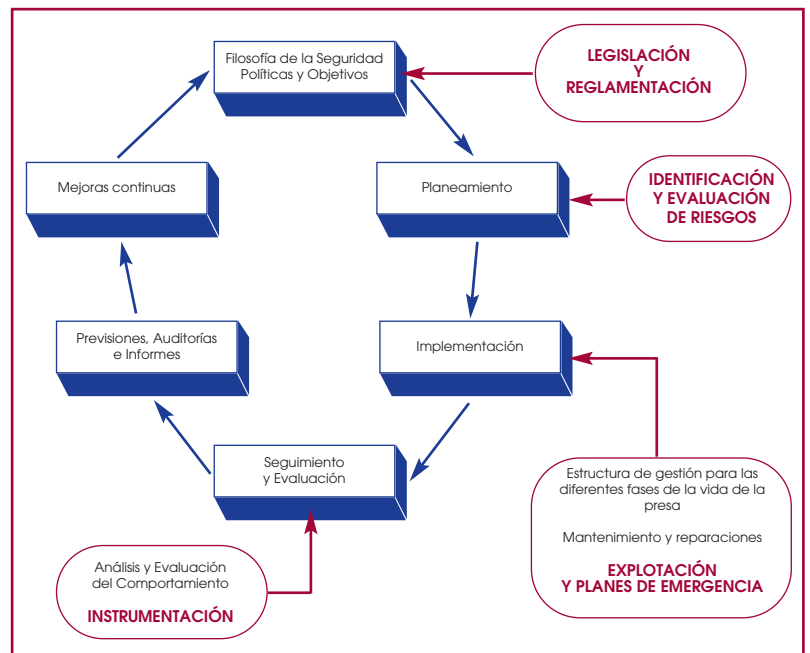


Fig. 2. Sistema de Gestión de Seguridad de Presas.

### 3.1. Sistemas de Gestión de la Seguridad de Presas

En la actualidad un *sistema de gestión de la seguridad de las presas* se basa es un proceso sistemático y explícito de identificación, evaluación y gestión de todos los riesgos de fallo o rotura que puedan producirse a lo largo de su vida útil, con objeto de que si no son aceptables se mantengan tan bajos como sea razonablemente posible.

Y también parece haber un consenso casi unánime en que dichos *sistemas de gestión* deben construirse, para ser realmente eficaces, en el marco de la estructura organizativa en la que se aloja la presa, debiendo incluir, además, los seis elementos que se muestran en la figura 2, en la que también se recogen los aspectos que de ellos han sido tratados en el marco de la Cuestión 91 del Congreso. El primero de esos elementos es básico, al permitir garantizar el cumplimiento por parte de la presa de todos los requisitos legales y reglamentarios de seguridad impuestos por el Gobierno, así como poderlo demostrar de forma fehaciente.

### 3.2. Legislación y reglamentación de seguridad de presas

La legislación relativa a la seguridad de presas debe tener como objetivo principal prevenir los perjuicios que sobre la vida, las propiedades y el medio ambiente pueden causar las condiciones de inseguridad



de las presas. Esas condiciones son siempre generadoras de una gran preocupación en la sociedad, que lógicamente demanda actuaciones por parte de los políticos y de quien les gobierna, y aunque esa legislación es siempre muy necesaria, por razones obvias, su puesta en práctica puede ser especialmente complicada por las siguientes razones:

- Los fines que la justifican deben estar bien motivados y cualquier otra alternativa para alcanzar los objetivos previstos por ella habrá sido previamente examinada y descartada
- Para que sea bien entendida, los objetivos perseguidos por ella deben estar claramente definidos
- No siempre tiene un carácter abierto, es transparente y refleja el interés de todos los interesados.

Ya se ha comentado que el marco legislativo tradicional, o aproximación determinista de la seguridad, consiste en el cumplimiento de unas reglas y requisitos básicos con los que asegurar un cierto, pero desconocido, nivel de seguridad, o si se prefiere, un reducido y también desconocido nivel de riesgo. En general el proceso se suele dividir en dos partes. Una primera en la que se clasifica la presa en función de los daños potenciales ocasionados en caso de que se produzca su rotura o funcionamiento incorrecto, y una segunda en la que se establecen unos principios, reglas y requisitos a cumplir por la presa, dependiendo de la categoría en la que se haya clasificado. Es lo que se conoce en la práctica como *enfoque tradicional de la gestión de la seguridad* o *enfoque basado en el cumplimiento de normas*, considerado muy vago por muchos, ante la dificultad de definir cuales son los objetivos de seguridad alcanzados y lo que significa el término seguro.

Para superar los inconvenientes anteriores, actualmente, como ocurre en otras industrias peligrosas bien reguladas en las que habitualmente hay que tomar decisiones en materia de seguridad, el enfoque determinista se vienen combinando con las técnicas basadas en el análisis del riesgo, para hacerlo con más rigor. Ese enfoque combinado, novedoso, en fase de desarrollo en el campo de la seguridad de las presas, pero de forma creciente, ha ido penetrando tanto en los reguladores de dicha seguridad de algunos países (Australia, Canadá, Francia, Suecia, etc.) como en algunos titulares.

En cualquier caso, y a pesar de todo lo anterior, es cierto que también se están produciendo a nivel mun-

dial cambios en la legislación y reglamentación tradicional relativa a la seguridad de presas. Puede ser el caso de Slovenia, donde a raíz de los problemas surgidos en la presa de Vogrskce en el año 2007, se pusieron de manifiesto algunas lagunas en la reglamentación y legislación existente que motivaron el desarrollo de una nueva.

También ese cambio se ha producido en Inglaterra como consecuencia del incidente ocurrido en la presa Ulley en 2007 ante las importantes inundaciones ocurridas en Gales. En este caso se puso de manifiesto la inexistencia de una Guía clara y sencilla para determinar la capacidad de evacuación de los aliviaderos de las presas existentes. Actualmente se está desarrollando una nueva guía para solventar este inconveniente, con objeto de que sea empleada posteriormente por el *panel de ingenieros* -el grupo de ingenieros homologados por el Gobierno-, para poder hacer las revisiones de seguridad de las presas.

En Rumania ocurrió algo parecido. La rotura de la presa Belci en 2001, por desbordamiento debido a una mala gestión de las compuertas del aliviadero, ha motivado el desarrollo de una reglamentación específica del tema.

En Rusia, desde el año 2003, se viene poniendo en práctica una nueva normativa de seguridad de presas que obliga a los titulares a operarlas con garantías de seguridad y a efectuar un seguimiento continuo de su comportamiento a través de la instrumentación, de inspecciones visuales realizadas por el personal de explotación y de revisiones más profundas cada 5 años realizadas por técnicos especializados independientes.

También se ha producido un importante cambio normativo en Francia. La nueva reglamentación establece una clara división de responsabilidades entre el titular y el Estado (el regulador), amplía el número de categorías en las que clasificar las presas, define nuevos requisitos para el diseño, la vigilancia y la frecuencia de las revisiones periódicas y, como principal novedad, preceptúa que las presas más altas, las de altura mayor de 10 m, su seguridad sea gestionada con metodologías basadas en el riesgo.

### 3.3. Análisis y evaluación de riesgos

Lowrance en el año 1976 puso de manifiesto la dificultad de cuantificar la seguridad "real" de cualquier presa, aún siendo ésta estudiada por expertos en la



materia. Decía que éstos, después de su análisis, tan sólo podían describir sus impresiones personales acerca de cuales eran los posibles riesgos que presentaba, pero sin llegar a cuantificarlos. Sin embargo, y a pesar de lo anterior, el uso de las técnicas de análisis y evaluación de riesgos, que están aún en fase de desarrollo, especialmente en el campo de la seguridad de las presas, se va extendiendo a nivel mundial, tanto por la sistemática de su determinación como por su transparencia, al ser un procedimiento que queda muy bien documentado, lo que permite su rápida inspección por parte de la sociedad y de los reguladores.

Sin embargo es conveniente no olvidar que esa transparencia en la toma de decisiones está fuertemente condicionada por el bagaje cultural de cada país, lo que hace muy difícil proponer un marco de evaluación de riesgos conveniente y adecuado para todos ellos.

El Cuerpo de Ingenieros Americano y el U.S. Bureau of Reclamation han desarrollado conjuntamente en los últimos años una serie de estrategias de gestión de riesgos, de metodologías y de Guías para evaluar usando estas técnicas los riesgos de las infraestructuras a su cargo: unas 900 presas consideradas de riesgo alto o significativo y 20.000 millas de diques de protección.

Los distintos artículos presentados exponen la aplicación de todas estas metodologías, desde las más simples a las más complejas. Un ejemplo de las primeras es el descrito en el Report 15 (R-15), en el que se pasa revista a un cribado de tipo semicuantitativo, es decir, que puntúa los modos de rotura más probables y la forma en que se desarrollan, y que es utilizado para priorizar la rehabilitación de las 32 presas del sistema Mahaweli, en Sri Lanka. Con respecto a las segundas, son mucho más numerosas y se utilizan, por ejemplo, para examinar la seguridad de las ataguías durante la construcción de la presa, la fiabilidad de la estabilidad estructural de presas de gravedad o las necesidades de mantenimiento y conservación de presas.

Es destacable la forma planteada por la Guía elaborada por el Comité Francés de Grandes Presas, cuya descripción de efectúa en el R-36, para llevar a cabo un análisis de la estabilidad estructural de presas de fábrica desde un punto de vista semiprobabilístico, inspirado en el Eurocódigo, y que parece casa mejor con las técnicas actuales de análisis de riesgos. En el futuro incluirá, además, el siempre difícil tema de la fiabilidad. El resultado final sería la probabilidad de rotura del estado límite. Para ello se adoptan los mismos estados límite de diseño que figuran en el Eurocódigo, con valores carac-

terísticos para cargas y resistencias, se incluyen factores de seguridad parciales para la resistencia al corte y nuevas hipótesis de diseño, o estados límite de rotura o modos de rotura: Fisuración, faltas de resistencia al corte del cemento y de resistencia a la compresión simple de la fábrica.

El R-38 describe la forma en la que se lleva a cabo desde el comienzo de los 90 el mantenimiento en Electricité de France del equipamiento de las estructuras hidroeléctricas. Se tratan éstas como un *portfolio* y el equipamiento se divide en un total de 17 familias. El resultado del análisis de riesgos es un mapeado de éstos a partir del cual se pueden establecer las necesidades de mantenimiento, las diferentes soluciones para éste y el coste de todas estas actividades.

Otros de los Reports presentados describen nuevos softwares, como por ejemplo el *ipresas*, desarrollado por la Universidad Politécnica de Valencia (UPV) (R-47), concluyen la necesidad de disponer de bases de datos más fiables para poder apoyar con rigor las decisiones tomadas en el proceso (R-6), describen las creadas, caso de la de la Agencia de Medio Ambiente Inglesa, que es la encargada de supervisar la seguridad de las presas, en la que se recogerán en el futuro los incidentes producidos en las presas, su naturaleza y las lecciones aprendidas de ellos (R-22), o extienden el campo de aplicación de estas técnicas a nuevos aspectos, como por ejemplo, para examinar la vulnerabilidad de las presas ante acciones antropogénicas (sabotajes o ataques terroristas). Es el proyecto DAMSE, descrito con detalle en el Report 48, financiado por la Comunidad Europea y en el que participa la Universidad Politécnica de Valencia.

### 3.4. Vigilancia e Instrumentación

Los incidentes y las roturas de presas van siempre precedidos por una serie de síntomas o señales que, detectados con prontitud, pueden servir para restituir las condiciones previas de seguridad. Es ese, precisamente, el objetivo básico de la vigilancia, inspección e instrumentación: la detección temprana, la identificación y comprensión de esos síntomas para, en último término, saber la forma en que podría fallar la presa, lo que comúnmente se conoce actualmente como *análisis de los modos de rotura*. El sistema también funciona en sentido contrario, es decir, una vez conocido cual es el modo de rotura pésimo de una cierta presa y sus signos básicos, se puede diseñar para él la instrumentación necesaria para detectarlo y organizar



e implementar en la organización de gestión de la seguridad del titular las correspondientes actividades de vigilancia e inspección.

En cuanto a la frecuencia con la que deben llevarse a cabo, debería determinarse con base a su grado de fiabilidad, a la experiencia existente y a la importancia de la presa (de sus riesgos potenciales aguas abajo).

No menos importante es el establecimiento de un sistema de control que permita comprobar que todas ellas se realizan de acuerdo con los procedimientos y frecuencias establecidas y que se registran, almacenan y analizan periódicamente para confirmar que el comportamiento de la presa es acorde con su diseño.

Después de la presentación de ciertos eventos (sismos y avenidas) todas ellas deben intensificarse para garantizar que la presa funciona correctamente y para devolver la integridad funcional del sistema y la de todos y cada uno de sus componentes.

Los artículos recibidos describen novedades en el campo de la instrumentación (uso del GPS en Japón para el análisis de las deformaciones externas de presas de materiales sueltos, R-1, o de fibra óptica para detección de filtraciones en Francia, R-42), la utilización de nuevas técnicas para el control de la seguridad (técnicas geofísicas en Slovakia para medir velocidades de filtración y el riesgo de erosión interna cuando éstas superan unos valores críticos, R-5), la aplicación de métodos deterministas o estadísticos para examinar las lecturas de los elementos de auscultación (Presa Emborcação, Brasil, R-8), sistemas de adquisición de datos de forma automática (Presa de las Tres Gargantas, China, R-27) o de centralización de datos en las oficinas del titular (Vltava river basin, República Checa, R-31 y Confederación del Ebro, España, R-51), las aceleraciones sísmicas registradas por parte de los elementos de control instalados en algunas presas (presa Yele, China, R-29), o la reinstrumentación de presas al haberse alcanzado la vida útil de ciertos elementos de control (presa Itaipu, Brasil, R-57).

### 3.5. Planes de Emergencia

A pesar de que a sido uno de los temas que menos interés a despertado en el Congreso, por el reducido número de artículos presentados relacionados con él, sin embargo, y como es sabido, se trata de un elemento fundamental de cualquier sistema de gestión de la seguridad para minimizar las consecuencias ocasionadas por una hipotética rotura o funciona-

miento incorrecto de una presa o de sus estructuras auxiliares, siempre que sea bien conocido por la organización del titular y esté adecuadamente coordinado con los responsables de protección civil locales, regionales o nacionales.

El Plan de Emergencia de presa, por lo tanto, consiste en la identificación, clasificación y graduación de la peligrosidad de las posibles situaciones de emergencia que se puedan presentar en la práctica y en la definición de las comunicaciones a realizar para transmitir la información disponible y las acciones correctoras o de protección a llevar a cabo para minimizar sus consecuencias aguas abajo.

En este sentido, resulta muy interesante el trabajo piloto iniciado por Elforsk y Svenska Kraftnät (Suecia) como base para la elaboración de los planes de emergencia de las 20 presas situadas a lo largo del río Ljusnan. El resultado es la definición de las manchas de inundación en un sistema de información geográfica (GIS) y un conjunto de tablas en las que se recogen las variables hidráulicas más importantes de la onda de avenida generada. Actualmente este trabajo se ha extendido a otros 4 ríos más.

Las sirenas son los sistemas mayoritariamente empleados para alertar a la población situada aguas abajo y deben ser activadas con tiempo suficiente para que su evacuación pueda realizarse de forma ordenada y eficaz. El Plan debe pues incluir a quién hay que alertar, cuando se debe activar la sirena, cómo se debe avisar y, en algunos casos, no en España, establecer como evacuar. Ello implica contar con la participación de varios actores en la toma de dichas decisiones (órgano de seguridad de presas, titular, autoridades locales, regionales o nacionales de protección civil, comunidades autónomas en el caso de España, etc.) y una clara asignación de sus deberes y responsabilidades.

### 3.6. Explotación

Con carácter muy general los dos principales modos potenciales de fallo de las presas son el desbordamiento, con destrucción parcial o total del cuerpo de presa, y la rotura de éste por insuficiente resistencia.

Y además de por un inadecuado diseño, ambos pueden iniciarse por una previsión meteorológica errónea, por un mal mantenimiento y por una incorrecta explotación. En definitiva, por una mala gestión de la seguridad. Por lo tanto, la explotación se convierte en un







factor clave de ésta y los artículos recibidos, que hacen referencia a un abanico muy amplio de aspectos relacionados con ella, así lo atestiguan.

Con respecto al primero de los puntos anteriores, el R-21 describe la gestión de la avenida registrada en la presa de Ulley, cerca de Sheffield (Inglaterra), en junio de 2007, con un período de retorno de alrededor de 200 años y que produjo la rotura de los muros de mampostería de uno de los aliviaderos.

El R-59 describe cómo se operó en condiciones de seguridad el lago Nasser, el embalse de la presa de Aswan, ante la presentación de varias avenidas a lo largo del siglo XX (años 1975, 1988 y 1999) y a comienzos del XXI. El embalse se divide en tres partes. La ubicada entre las cotas 85 y 147 m, que alberga los sedimentos del agua del Nilo. La situada entre las cotas 147 y 175, que se denomina *embalse vivo* y es la que suministra las demandas aguas abajo, y la que se encuentra entre las cotas 175 y 182, que se usa para la gestión de las avenidas del Nilo. El report detalla que en el año 1988 el embalse se encontraba muy alto y la presentación de la que luego se consideró cómo la segunda avenida más importante del siglo XX, obligó a vaciar previa y parcialmente un total de 12.600 hm<sup>3</sup> del embalse. Algo parecido ocurrió en el año 1999, en el que la presentación de una nueva avenida de cierta entidad con la que el embalse alcanzó la cota 181,60, motivó el vaciado previo de 14.100 hm<sup>3</sup>.

Destaca el General Report que las revisiones periódicas de seguridad también pueden introducir restricciones a la explotación cuando los nuevos cálculos de estabilidad bajo ciertas condiciones así lo pongan de manifiesto.

En relación con el mantenimiento y la conservación, son muy ilustrativos los ensayos llevados a cabo en Suecia para examinar la pérdida de capacidad de aliviaderos por atascamiento de árboles, que puede llegar a alcanzar hasta un 27%, pero que cuando se colocan en ellos *estructuras deflectoras lineales o semicirculares*, se reduce hasta un 2-3%

Otro aspecto importante es el descrito en el R-37, en el que se habla de la importancia del mantenimiento de los equipos oleo-hidráulicos de accionamiento de las compuertas de los aliviaderos en la seguridad de las presas en fase de rehabilitación. Se citan los tipos de compuertas utilizadas en la mayor parte de los aliviaderos franceses y los equipos de izado habituales en ellas. Se describen las recomendaciones, especificaciones y reglamentación aplicable al respecto en Francia, y se

comparan con las existentes en otros países. Se concluye la importancia de que los diferentes componentes de los elementos hidromecánicos y electromecánicos sean redundantes.

### 3.7. Análisis

La evaluación de la seguridad según el *enfoque tradicional* se hace siempre desde una perspectiva determinista y usando un alto grado de conservadurismo, para evitar las incertidumbres de todo tipo. Normalmente se efectúa a través de los coeficientes de seguridad alcanzados al comparar el comportamiento de la presa ante la presentación de una cierta combinación de cargas y la resistencia que opone el terreno, que se minimiza empleando unos coeficientes reductores. Tal y como puede comprenderse, la seguridad así evaluada depende de forma muy directa del juicio ingenieril.

Hay otro inconveniente muy importante del método. La tendencia a revisar, sólo, algunos aspectos críticos del diseño o de la explotación, algo inherente al procedimiento. Es por ello que el enfoque tradicional no garantiza que se haya alcanzado el mismo nivel de seguridad en todos los posibles eventos iniciadores de un modo de fallo o de rotura.

Y otro más. La dificultad de priorizar en un cierto grupo de presas las siempre elevadas inversiones para mejorar su seguridad usando unos recursos normalmente muy limitados.

La evaluación de la seguridad a través de las metodologías basadas en el riesgo se fundamenta en la consideración explícita de las incertidumbres, bien desde un punto de vista matemático (evaluación cuantitativa de los riesgos) o no (evaluación cualitativa de los riesgos).

Sin embargo y a pesar de lo anterior, es evidente que ambas metodologías requieren cada vez de mayores esfuerzos de toda la comunidad presística mundial, en forma de congresos, conferencias y simposios, para desarrollar unos mejores y más sofisticados modelos y herramientas para alcanzar una mejor comprensión de los distintos procesos físicos que gobiernan el comportamiento de las presas.

A modo de ejemplo, el R- 18 habla de un modelo de simulación de transmisión de avenidas aguas abajo mediante realidad virtual, que puede ser muy útil para la gestión de la explotación y de la de situaciones de emergencia.



El R-25 pasa revista de forma muy detallada a cómo se debería efectuar el diseño estructural de las compuertas Taintor y de todo su equipamiento, para garantizar tanto un correcto funcionamiento como una vida útil mayor.

El R-26 efectúa una interesante comparación de los resultados obtenidos en análisis bidimensionales y tridimensionales de procesos de filtración a través de presas de escollera situadas en valles estrechos y de sus cimentaciones, con aplicación al caso de la presa Masjed-Soleyman, en Irán, al ser aquéllos, normalmente, causa de más del 50% de las roturas producidas en este tipo de presas. Los resultados obtenidos se comparan con las lecturas de la instrumentación instalada y se concluye que, en ese tipo de cerradas, los cálculos bidimensionales quedan del lado de la inseguridad. Sólo los tridimensionales dan resultados fiables. Un trabajo similar al anterior se efectúa en el R-32, que describe el estudio de las filtraciones de la presa Kowsar, en Irán, de gravedad y situada sobre una cerrada estrecha en forma de V, cuyo embalse perturbó las características hidrogeológicas de los materiales de las inmediaciones y la regularidad natural de las fuentes y manantiales situados aguas abajo. La perturbación afectó a un territorio de más de 28 km<sup>2</sup>.

El R-28 es un estudio de la presa Xiaolangdi (China), de materiales sueltos y núcleo ligeramente inclinado, para explicar con un nuevo modelo, mejor que otros existentes, los repentinos incrementos de los movimientos horizontales de la coronación que se produjeron durante el llenado.

El R-35 examina la estabilidad de los taludes de la presa Narmab (Irán), situada sobre un cimiento volcánico de andesitas y basaltos de baja calidad y con buzamientos y orientaciones desfavorables. Se efectuaron ensayos de corte *in situ* que concluyeron que la resistencia obtenida en los de laboratorio era más elevada.

El R-39 es un estudio francés que efectúa un repaso de los aspectos básicos del diseño de las presas de escollera con pantalla a la vista de los problemas surgidos en algunas de gran tamaño cuando se llenaron los embalses que cerraban por primera vez. Se examina con detalle el proceso de rotura de los fragmentos más gruesos de la granulometría.

El R-43 analiza y discute las ventajas e inconvenientes de los modelos existentes para analizar los movimientos horizontales cíclicos de presas bóveda: determinísticos, estadísticos o híbridos, y el R-60, en esa misma línea, describe el procedimiento ideado por EDF en 1967,

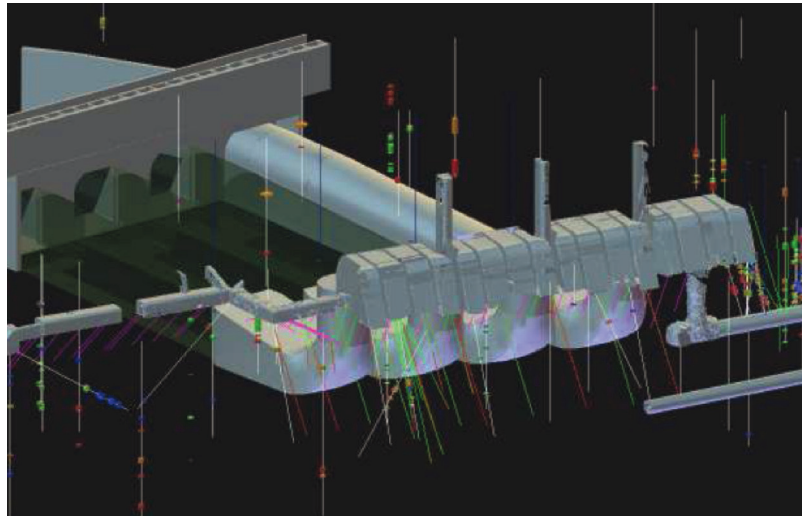


Fig. 3. Imagen de las posibilidades de modelos tridimensionales informáticos para ilustrar la situación de sondeos e instrumentación en un sistema de túneles y galerías.

y aún utilizado, para examinar el comportamiento de sus presas. El método, denominado HST, analiza la influencia en las lecturas de los distintos elementos de auscultación instalados del nivel del embalse (Hidrostatique) y de la temperatura (Saisonnier), así como su evolución en el tiempo. La experiencia obtenida durante tantos años y en tantas presas confirma la validez del método y su robustez.

El R-52 efectúa una revisión del diagnóstico de la problemática observada en la presa de Mequinenza hace ya algunos años. Recientes estudios concluyen que a la expansión detectada en uno de los bloques, concretamente al 13-14, se une un fenómeno de hinchamiento generalizado de los lignitos de la cimentación, por absorción de agua, debido a su alta porosidad, que afecta a toda la presa.

El R-53 analiza las principales conclusiones extraídas una vez analizado un centenar de revisiones de seguridad de las presas estatales españolas. Se concluye que uno de los aspectos que aún no han sido resueltos es la definición de cual debe ser la avenida extrema de las presas en explotación construidas con anterioridad a la puesta en práctica del aún vigente *Reglamento Técnico sobre Seguridad de Presas y Embalses*.

El R-56 describe las posibilidades de las aplicaciones geomáticas tridimensionales para evaluar la seguridad y para crear vistas diferentes a las que habitualmente recogen los planos utilizados en ingeniería civil. Esas aplicaciones permiten al ingeniero establecer la vista que más le interesa en cada momento y suponen una gran mejora para la toma de decisiones cuando hay mucha información disponible (Figura 3). ♦