

# ALIVIADEROS Y

Gonzalo Marín Pacheco

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

*Synconsult*

Antonio Borrero Villalón

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

*Ayesa*

## RESUMEN

Se resume y comenta en este artículo el Informe del Ponente General de la cuestión 79, Aliviaderos y seguridad de presas. También se describen los informes específicos con los que contribuyeron los ingenieros españoles antes de la celebración del Congreso celebrado en Beijing en septiembre de 2000.

## ABSTRACT

This article summarizes and comments on the General Report on Question 79 "Gated spillways and other controlled release facilities and dam safety". The article goes on to describe the papers submitted by Spanish engineers to the Beijing Congress, held in September 2000, with regards to this question.

## 1. TEMARIO DE LA CUESTIÓN Q-79

El objeto general de la cuestión Q-79 se refiere a temas relacionados con la *seguridad de las presas y los aliviaderos y otros órganos controlados*. Con objeto de incidir en los temas relevantes al respecto, durante las reuniones previas al Congreso de Beijing se seleccionaron los aspectos sobre los que debían versar los informes que se presentaran; estos temas fueron:

- t a) Criterios de diseño para la elección de equipos hidromecánicos
- t b) Elección entre aliviaderos controlados y en lámina libre: aspectos económicos, sistemas de alarma, estrategias de explotación, formación y entrenamiento, responsabilidades, explotación automatizada
- t c) Fiabilidad de la explotación de sistemas hidráulicos controlados, mantenimiento, inspección y pruebas
- t d) Experiencias del comportamiento de equipos hidromecánicos

## 2. INFORMES PRESENTADOS

De entre los informes propuestos se aceptaron cuarenta y tres que, sin duda, es una cifra considerable. De éstos, y como viene siendo habitual en los últimos Congresos, los provenientes de autores españoles –seis–, son los más numerosos, tal como se refleja en el cuadro 1.

## 3. INFORME DEL PONENTE GENERAL

### 3.1. DEFINICIÓN Y DESGLOSE DE TEMAS

El Ponente General –en lo sucesivo **P.G.**–, fue el conocido ingeniero americano del norte John J. Cassidy que, entre otros cargos importantes en ICOLD ha sido Presidente del Comité Técnico de Hidráulica de la Presa y, por su gran y dilatada experiencia, está muy capacitado para realizar la función que le fue encomendada, tal como lo demuestra su excelente informe.

El **P.G.** resalta la importancia que, para la seguridad de la presa, tienen los aliviaderos, motivo por el cual ha sido un tema recurrentemente analizado en sucesivos Congresos de ICOLD –Q-12 en Nueva Delhi (1951), Q-41 en Madrid (1973), Q-50 en Nueva Delhi (1979), Q-52 en Río de Janeiro (1982), Q-63 en San Francisco (1988) y Q-71 en Durban (1994)–, y tratado en numerosas publicaciones y boletines monográficos, además de dedicar un *symposium* específico a estos temas en Granada, en 1992.

Las cuarenta y tres contribuciones finalmente aceptadas las analiza el **P.G.** en los grupos siguientes:

- t Elección entre aliviaderos controlados y no controlados (8 Contribuciones)
- t Diseño y elección de equipos hidromecánicos (16 contribuciones)
- t Explotación y fiabilidad de estructuras controladas (19 contribuciones)

Como quiera que el informe del **P.G.** debe analizar las distintas contribuciones teniendo en cuenta la organización temática propuesta por ICOLD, y además complementar e incorporar información adicional relacionada con los aspectos propuestos, es optativo estructurarlo teniendo en cuenta todos estos condicionantes. Consecuentemente, este artículo se ajusta al índice de la ponencia del **P.G.**, que es:

#### A. TIPOS DE ALIVIADEROS. DISEÑO Y ELECCIÓN

- t Clasificación
- t No controlados
- t Controlados
- t De orificio
- t Modelos físicos y analíticos para el proyecto

#### B. FUNCIONES Y COMETIDOS DE LOS ALIVIADEROS

- t Control de avenidas
- t Aliviaderos no controlados
- t Aliviaderos controlados

#### C. ALIVIADEROS CONTROLADOS Y EQUIPOS HIDROMECAÑICOS

- t Tipos de compuertas y su proyecto
- t Equipos de accionamiento
- t Compuertas automáticas

CUADRO 1	
PAÍS	COMUNICACIONES
Alemania	1
Argentina	1
Brasil	1
Canadá	1
Corea	1
Chequia	1
China	1
Eslovaquia	1
España	6
Estados Unidos	2
Francia	3
India	1
Inglaterra	3
Irán	1
Japón	3
Marruecos	3
Nueva Zelanda	1
Portugal	3
Rumanía	1
Rusia	2
Sud Africa	1
Suecia	2
Suiza	3

#### D. EXPLOTACIÓN DE ALIVIADEROS CONTROLADOS

- t Imposibilidad de apertura de compuertas
- t Imposibilidad de operar las compuertas

#### E. INSPECCIÓN Y MANTENIMIENTO

#### F. CONCLUSIONES

En línea con lo expuesto antes, en este artículo se pasa revista a las consideraciones del **P.G.** para, después, incidir especialmente en las ponencias de los autores españoles.

#### 3.2. TIPOS DE ALIVIADERO

Una primera distinción entre tipologías de aliviadero está entre los de superficie y los que desaguan en túnel; la elección entre un tipo u otro depende, en lo fundamental, de la forma del valle donde esté implantada la presa. Así, en presas ubicadas en valles estrechos se suelen elegir aliviaderos en túnel, fundamental-

mente por la falta de espacio; por el contrario en valles amplios, los aliviaderos de superficie son los más indicados.

En términos de caudal desaguado, son más eficientes los de superficie, toda vez que el caudal depende de la carga de agua elevada a tres medios, mientras que en el caso de los aliviaderos en túnel la potencia que entra en juego es la de un medio.

A efectos de la cuestión Q-79, la diferencia que interesa reside entre aliviaderos controlados y no controlados, cuya elección está condicionada tanto por la magnitud de la avenida de proyecto, como por las características de la cerrada donde está implantada. En este sentido, el **P.G.** resalta la importancia que tiene la avenida de proyecto, toda vez que entre el 34 y el 41 por ciento de las roturas de presas se pueden asociar a la insuficiencia en la capacidad de desagüe de sus aliviaderos, cuestión indicativa, por otra parte, de la incertidumbre que existe al adoptar la avenida de proyecto.

No es de extrañar, pues, que nada menos que once de las comunicaciones presentadas traten sobre proyectos y experiencias relacionadas con el acondicionamiento de aliviaderos. De hecho, durante los debates que tuvieron lugar en las sesiones del Congreso dedicadas a la Q-79, el tema de la elección del tipo de aliviadero fue ampliamente analizado. En concreto, los aspectos a los que se prestó más atención fueron:



Guadalhorce-Guadalteba.

- t Criterios técnicos y económicos para la elección de aliviaderos
- t Ventajas e inconvenientes de los distintos tipos de aliviadero
- t Criterios simplificados para la gestión de aliviaderos controlados durante avenidas
- t Diseño de compuertas y su relación con el caudal evacuado y los daños potenciales aguas abajo

### 3.2.1. Aliviaderos no controlados

Sin lugar a dudas, los aliviaderos no controlados son los más seguros: es improbable que se obstruyan y, como no tienen equipos asociados, requieren menos mantenimiento y no están sujetos a eventuales errores humanos en su explotación. Sin embargo, resultan más caros que los controlados, para un mismo rango de caudales, ya que necesitan longitudes de vertido mayores, así como obras de desagüe más importantes. Una excepción a esta afirmación lo constituyen los aliviaderos *en laberinto*, que pueden ser una solu-

ción económica y segura; precisamente dos de las comunicaciones presentadas tratan sobre esta problemática.

En general no existen normas oficiales que establezcan criterios para elegir entre aliviaderos controlados y no controlados; sin embargo, tal como se resalta en una comunicación, en Francia los aliviaderos no controlados se suelen usar en presas con cuencas vertientes reducidas, con menos de 150 km<sup>2</sup> de superficie.

### 3.2.2. Aliviaderos controlados

Las consideraciones que justifican la elección de un aliviadero controlado, según el P.G., son:

- t El valle es estrecho y no hay espacio material para disponer de la longitud de vertido que requiere un aliviadero no controlado
- t Necesidad, bien de controlar los caudales salientes para evitar inundaciones en el tramo de aguas abajo, o bien de optimizar el volumen de embalse

t El costo inicial de un aliviadero controlado es menor que el de uno no controlado, de capacidad equivalente. En este sentido, en una de las comunicaciones se afirma que, en Rumanía, un aliviadero con compuertas cuesta entre el 25 y 30 % menos que uno no controlado equivalente.

El **P.G.** llama la atención sobre la conveniencia de que aguas arriba de las compuertas se prevean, ya desde la fase de proyecto, las instalaciones necesarias que permitan la instalación de ataguías para realizar una eventual reparación en seco de estos equipos, aunque esté el embalse lleno.

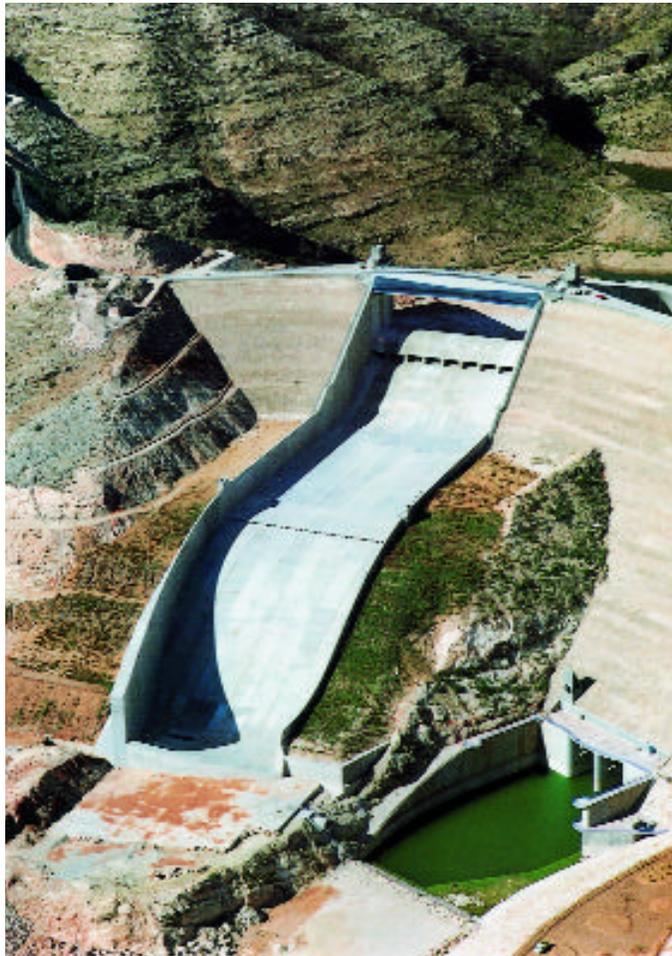
Por cuanto se refiere a los criterios a considerar en cuenta para el proyecto de aliviaderos controlados, el **P.G.** resalta los que se tienen en cuenta en Corea:

- t El resguardo entre la cota superior de las compuertas y el nivel máximo normal debe ser superior al medio metro
- t La avenida de proyecto debe ser la máxima crecida probable
- t La velocidad de aproximación a las compuertas debe estar limitada a 4 m/s
- t La diferencia de altura entre la solera del canal de aproximación y la coronación del vertedero debe ser, al menos, el 20 % de la carga de agua prevista en el proyecto
- t Los aliviaderos de grandes presas deben estar justificados con modelos hidráulicos

### 3.2.3. Aliviaderos en túnel

Los aliviaderos en túnel se pueden definir como los que tienen la toma sumergida y suelen estar controlados por compuertas de guarda situadas aguas arriba, combinadas con compuertas emplazadas en el túnel. Este tipo de aliviaderos deben estar previstos para desaguar caudales importantes; a partir de la experiencia adquirida en el aliviadero de Contreras, el **P.G.** concreta una serie de criterios para el proyecto de aliviaderos en túnel:

- t Deben preverse dos tomas para cada túnel
- t Cada obra de salida debe disponer de dos compuertas



Tous.

- t Debe contarse con un acceso independiente a la cámara de compuertas
- t Debe disponerse de un sistema de aireación en la zona de aguas abajo de la compuerta de control
- t Para el proyecto de construcción es imprescindible un modelo reducido
- t Deben preverse rejillas, cuyo dimensionamiento debe hacerse suponiendo que está obturada entre el 20 y 25 % de su superficie

### 3.2.4. Modelos físicos y analíticos

En la mayoría de las grandes presas se utilizan modelos reducidos para perfeccionar el diseño hidráulico de los aliviaderos. Un aspecto relevante al respecto es el de la escala, que está condicionada por los caudales

mínimos a estudiar en el aliviadero; si la escala es muy pequeña, los coeficientes de descarga que caracterizan al aliviadero serán, asimismo, pequeños. Modelos con escalas entre 1:20 y 1:15 realizados en Francia han demostrado que minimizan los coeficientes de descarga en un 10%.

Las nuevas directrices adoptadas en Suecia relativas a la seguridad de presas han implicado la necesidad de incrementar la capacidad de desagüe de numerosos aliviaderos, lo que, a su vez, requerirá de la realización de otros tantos modelos reducidos. Como quiera que el coste económico de los modelos es significativo se han desarrollado modelos analíticos como complemento o, en algunos casos, en sustitución de los físicos; es de resaltar al respecto que distintos modelos analíticos realizados por equipos independientes para el mismo aliviadero, han proporcionado resultados similares.

Un ejemplo concreto tratado en una de las comunicaciones es el de la Central de Bergforsen, en Suecia, donde estudios hidrológicos realizados recientemente indican la necesidad de incrementar la capacidad del aliviadero de los 2.000 m<sup>3</sup>/s actuales hasta 3.500 m<sup>3</sup>/s, y para la cual se desarrolla-



Beninar.

ron complejos modelos analíticos cuyos resultados tardaron nada menos que tres semanas en conseguirse utilizando ordenadores de la última generación.

### 3.3. FUNCIONES Y COMETIDOS DE LOS ALIVIADEROS

#### 3.3.1. Control de avenidas

Los aliviaderos deben dimensionarse para desaguar la avenida de proyecto sin que se comprometa la seguridad de la presa ni se genere una avenida hacia aguas abajo mayor que la que ocurriría si no estuviera la presa. Estos cometidos se consiguen de forma diferente en aliviaderos controlados y no controlados.

#### 3.3.2. Aliviaderos no controlados

Como es sabido, el caudal desaguado por un aliviadero en lámina libre depende del nivel del embalse y, concretamente, de la altura de la lámina de agua sobre el umbral del

vertedero, sin que, en consecuencia, sea posible realizar un control de los caudales desaguados.

De hecho, el hidrograma de salida de una avenida depende del hidrograma afluente y del nivel que tiene el embalse en el momento de empezar el episodio, de tal forma que cuanto mayor sea el volumen disponible entre el nivel inicial y el umbral del vertedero —que es cuando se empieza a verter—, tanto menor será el valor del caudal saliente; si, por el contrario, el volumen disponible es pequeño, la disminución con respecto del caudal afluente será poco significativa.

En consecuencia, en el diseño hidráulico de un aliviadero en lámina libre se analiza el nivel que alcanzará el embalse al presentarse la avenida de proyecto en el supuesto de que el nivel inicial coincide con el del umbral del vertedero; a partir de la cota que alcanza el agua se fija la coronación de la presa con el resguardo que, en cada caso, se adopte para garantizar la seguridad de la presa. En general el resguardo debe ser superior a 1 m; en presas de materiales sueltos el rango a considerar para este factor debe estar entre 3 y 4 m.

#### 3.3.3. Aliviaderos controlados

A diferencia de los aliviaderos no controlados, los que disponen de elementos de control presentan claras ventajas en la medida que permiten una gestión flexible de las avenidas, a la vez que es posible prever reglas de gestión de las mismas.

Con los aliviaderos controlados es posible limitar el caudal saliente de la presa, sin más que regulando la apertura de las compuertas; consecuentemente, están indicadas en las presas en las que los tramos de río que se desarrollan aguas abajo están densamente poblados y conviene limitar los vertidos, siempre que no se comprometa la seguridad de la presa.

Los aliviaderos controlados por compuertas permiten optimizar la gestión de avenidas, siempre que se disponga de datos en tiempo real de la precipitación en la cuenca vertiente y de los caudales circulantes por los cauces de aguas arriba. Con esta información –complementada con otra referente a temperatura, humedad y, en su caso, el volumen de nieve almacenada–, se pueden realizar predicciones sobre la magnitud y forma del hidrograma afluente y, consecuentemente, programar las maniobras de las compuertas atendiendo a los objetivos previamente fijados, que normalmente persiguen limitar el valor del caudal saliente y conseguir maximizar el volumen retenido al final de la avenida.

La disponibilidad de los sistemas de captación y transmisión de datos hidrológicos en tiempo real –como es el Sistema Automático de Información Hidrológica (SAIH) en España–, exige niveles de mantenimiento e inspección verdaderamente intensos, sobre todo si se quiere que estos Sistemas estén operativos durante avenidas; igual observación cabe hacer para los equipos hidromecánicos.

Un aspecto relevante que resalta el **P.G.** se refiere a los programas automatizados de gestión de avenidas; llama la atención sobre la conveniencia de que no sean *cajas negras* que no permitan contrastar los resultados con la realidad; este aspecto ha sido convenientemente tratado en una comunicación al describir la experiencia disponible en Sud Africa.

### 3.4. ALIVIADEROS CONTROLADOS Y EQUIPOS HIDROMECAÑICOS

#### 3.4.1. Tipos de compuerta y su proyecto

Son numerosos los tipos de compuertas que, hasta la fecha, se han desarrollado; los más frecuentes son:

- t compuertas deslizantes o vagón
- t compuertas radiales o Taintor
- t clapetas articuladas
- t presas hinchables
- t compuertas de segmento

Las primeras requieren unas estructuras de izado importantes, sus dimensiones máximas están en torno a los 20 m

de ancho por 20 m de altura y pueden ser cerradas a plena carga.

Las compuertas radiales son, sin duda, las más populares debido a su economía en la construcción y a que requieren un esfuerzo menor que las vagón para su izado; en aliviaderos de superficie, pueden llegar a tener dimensiones importantes que alcanzan los 40 m de longitud y 10 m de altura, así como 20 m por 20 m. Las compuertas radiales se usan frecuentemente en aliviaderos en túnel. En ningún caso es recomendable permitir el vertido sobre la compuerta, toda vez que pueden tener lugar vibraciones importantes que lleguen a afectar a la estructura de la propia compuerta.

Por su parte, las clapetas se utilizan en aliviaderos de superficie cuando se requiere un control preciso del nivel del embalse y la carga de agua es relativamente pequeña. Sus dimensiones máximas pueden llegar hasta los 70 m de longitud mientras que su altura se limita a los 3 m, debido a los importantes esfuerzos que requiere su izado.

Las presas hinchables se suelen usar en la actualidad como elementos destinados a controlar el nivel de agua en el tramo de aguas arriba; sus dimensiones máximas llegan hasta los 100 m de largo y 3 m de altura; el control del nivel que se consigue con este tipo de presa no es tan preciso como el de las compuertas ya que se produce una concentración del flujo en la parte central, coincidente con la zona donde empieza a desinflarse.

Por último, las compuertas de segmento están formadas por dos compuertas planas que pueden ser accionadas independientemente; están indicadas cuando se necesita controlar vanos largos, con un máximo de hasta 70 m. El diseño tanto de las compuertas como de los mecanismos de accionamiento debe contemplar escenarios tales como:

- t Flujo solamente por encima de la compuerta superior
- t Flujo solo por debajo de la compuerta inferior
- t Un caso mixto de las anteriores

#### 3.4.2. Equipos de accionamiento

En una parte importante de los aliviaderos de grandes presas, el izado de las compuertas se consigue mediante cables o por cilindros hidráulicos. Los cables son aptos para ser utilizados hasta capacidades de 50 toneladas; el uso de este tipo de elemento de elevación ha sido de uso generalizado en todo el mundo de forma que resulta relativamente más fácil conseguir repuestos de los mismos que de los otros tipos de equipos de izado.

Las compuertas que se proyecten con cables deben poder cerrarse por la acción de su peso propio ya que estos elementos están previstos únicamente para transmitir esfuerzos de izado. En el caso de compuertas que deban ser elevadas a gran altura, debe preverse un dispositivo de frenado que

impida que la compuerta adquiera altas velocidades al cerrarse y evitar problemas de vibraciones.

Por su parte, los cilindros hidráulicos son los elementos de elevación más profusamente usados en la actualidad para todo tipo de compuertas; aseguran fuerzas de izado mayores que los cables y, además, pueden transmitir esfuerzos de cierre; en consonancia con esta tendencia, en numerosos países se recomienda el empleo de los cilindros hidráulicos en vez de los cables. En el caso concreto de Portugal, se está llevando a cabo un programa de sustitución de cables por cilindros, cosa que ha sido puesta de manifiesto en una de las comunicaciones.

### 3.4.3. Compuertas automáticas

Son numerosas las actuaciones que se han realizado tendientes a automatizar la operación de compuertas; en general los automatismos se consiguen utilizando sistemas de flotadores y contrapesos que activan la apertura de las compuertas cuando el nivel del embalse alcanza una determinada cota. Sin embargo, como quiera que estos sistemas exigen un intenso mantenimiento y, en general se han demostrado poco fiables, su uso no resulta aconsejable de tal forma que, por ejemplo, en las directrices portuguesas de seguridad de presas se recomienda que todas las compuertas automáticas sean sustituidas.

Otro procedimiento para conseguir un control *automatizado* de las avenidas es a través de diques fusibles que, sin embargo, no son de uso generalizado toda vez que la rotura de estas obras no es fácilmente ni programable. Existen variantes conceptuales de este procedimiento basadas en la rotura de cierres —que pueden ser compuertas—, y que están descritos en tres de las comunicaciones presentadas.

## 3.5. EXPLOTACIÓN DE ALIVIADEROS CONTROLADOS

Como pone de manifiesto el **P.G.**, los aliviaderos en lámina libre son más seguros que los controlados, motivo por el cual los proyectistas de presas deben tener en consideración este aspecto, por cuanto a la seguridad de la presa se refiere. En concreto, y en relación con los aliviaderos controlados, es importante tener en cuenta que éstos pueden fallar si:

- t El personal encargado de accionar las compuertas lo hace tarde o no las abre en absoluto, aunque estén operativas
- t No se abren las compuertas por fallos en los equipos

### 3.5.1. Fallos del personal

Los fallos de compuertas imputables al personal son, en general, debidos a alguno de los factores siguientes:

- t El encargado de operar las compuertas no está presente en el momento de presentarse la avenida; relacionado con este aspecto está la necesidad de contar con accesos seguros a la presa
- t Fallo en las comunicaciones, que impide tanto el flujo de información entre los distintos niveles jerárquicos de la organización encargada de la explotación de la presa, como la transmisión de datos
- t Falta de preparación de los encargados de operar las compuertas

### 3.5.2. Fallos en los equipos

La problemática de los fallos en los equipos hidromecánicos en general, y de las compuertas en particular, ha sido uno de los temas que más atención se ha prestado en las comunicaciones recibidas: nada menos que diecisiete ponencias la tienen en cuenta. De ellas se deduce que dos son las causas de la inoperancia de las compuertas cuando son necesarias:

- t Defectos de proyecto
- t Envejecimiento de los equipos

Por cuanto respecta al primer aspecto, los aspectos que se han resaltado se refieren a la no consideración, durante la fase del proyecto, de cargas sísmicas, los problemas de vibraciones y la no detección de eventuales problemas de corrosión en las estructuras por adoptar diseños que no facilitan su mantenimiento y conservación.

El problema del envejecimiento de los equipos está íntimamente relacionado con su mantenimiento y conservación, tal como se pone de manifiesto en cinco comunicaciones, y, consecuentemente, con el problema de la corrosión, que puede afectar tanto a las propias compuertas como a los equipos de accionamiento.

La avenida extraordinaria ocurrida en el río Saguenay, en Canadá, durante julio de 1996, que se estimó en torno a los 30 000 años de periodo de retorno, permitió a la organización Hydro Quebec sacar una serie de consecuencias importantes en relación con el comportamiento de las compuertas:

- t Los cables de izado se rompieron, o no tuvieron capacidad suficiente para elevar las compuertas, debido a la enorme cantidad de troncos y demás material flotante almacenado en el entorno de las compuertas. Consecuentemente, en numerosos casos las compuertas fueron desbordadas
- t Las ataguías se acodalaron y no pudieron retirarse
- t Hubo fallos en el suministro de energía
- t Los accesos a las cámaras de compuertas no estuvieron disponibles en muchos casos

La experiencia de Sanguenay sirvió para que la Administración de Quebec produjera una legislación específica relacionada con la seguridad de las presas, que incluye los aspectos siguientes:

- t Revisión de la capacidad de desagüe de todas las presas
- t Reemplazo de las ataguías de madera por metálicas
- t Disponibilidad de fuentes de energía alternativas
- t Consideración especial de troncos y otros elementos flotantes
- t Con el fin de facilitar el paso de elementos flotantes, la anchura mínima de las compuertas se fijó en 4 m

### 3.6. INSPECCIÓN Y MANTENIMIENTO

El **P.G.** resalta la importancia que el mantenimiento y la conservación de los equipos hidromecánicos tienen en la seguridad de la presa; plantea la conveniencia de realizar labores especializadas de mantenimiento con periodicidad anual, que deben ser cumplimentadas por personal especializado en la explotación de este tipo de equipos y que sean conocedores de la problemática específica de la presa en cuestión. Adicionalmente recomienda una inspección –al menos quinquenal–, del aliviadero y sus equipos, que debe ser realizada por expertos independientes. Las conclusiones a que se lleguen, en cualquiera de las dos inspecciones aludidas, deben ser incorporadas al programa de mantenimiento y conservación respectivo.

Durante las sesiones de debate de la Q-79 se analizó, de forma detallada, la necesidad de establecer programas de mantenimiento y conservación de los equipos hidromecánicos, llegándose a la conclusión que deberían estar integrados en las respectivas normas de explotación y que, en consecuencia, son responsabilidad del titular de la presa el asegurar este extremo. Se analizó, en este sentido, la relación entre los niveles de mantenimiento que son recomendables para estos equipos y la disminución de fallos que ello implica.

### 3.7. CONCLUSIONES

Las conclusiones más relevantes a las que llega el **P.G.** se transcriben a continuación:

- t 1) Los aliviaderos en lámina libre son la alternativa más segura, aunque el nivel de protección que aportan está en función de la elección de la avenida de proyecto
- t 2) Los aliviaderos controlados serán de uso frecuente en el futuro por su economía y por la flexibilidad que aportan a la explotación
- t 3) Las compuertas radiales son las que tienen más aceptación por la gran experiencia que se dispone de su uso, además de por su economía

t 4) Debe incidirse especialmente en la importancia que tienen el mantenimiento y conservación de los aliviaderos y sus equipos de control

t 5) Con el fin de garantizar la máxima fiabilidad de los aliviaderos, debe asegurarse un mantenimiento periódico

t 6) Debe preverse la inspección de los aliviaderos y sus instalaciones y equipos por un grupo de expertos independientes; la periodicidad máxima recomendada para esta actividad no debe superar los cinco años

## 4. CONTRIBUCIONES ESPAÑOLAS

### 4.1. ALIVIADEROS LATERALES.

#### ANÁLISIS DE VERTEDEROS EN LABERINTO

Los autores de la quinta comunicación –J. Torres Cerezo, J. Morán Cabrerós y E. Martínez Marín–, analizan los elementos a considerar en la elección de la tipología de aliviaderos independientes al cuerpo de presa, tanto para presas de materiales sueltos como en el caso en que se detectara la necesidad de aliviaderos complementarios tras una revisión hidrológica de la presa.

La elección entre aliviaderos controlados por compuertas o de labio fijo es una decisión técnico-económica que hay que considerar en cada caso a través de un análisis funcional y económico.

Los autores concluyen que en embalses con volúmenes de resguardo inferior al 5% de su capacidad, son más ventajosos los aliviaderos controlados por compuertas, mientras que para embalses con resguardos importantes –por encima del 10% de su capacidad–, pueden ser más recomendables los aliviaderos de labio fijo. Los aliviaderos de laberinto tienen un coste intermedio entre ambos tipos de aliviadero, pudiendo ser adecuados en determinadas ocasiones.

En cualquier caso, se llama la atención sobre la importancia de considerar como elementos determinantes en la elección final del tipo de aliviadero, los costes de explotación y mantenimiento, la propia facilidad de operación y los aspectos ambientales, tanto durante la construcción como en la fase de explotación de la presa.

### 4.2. INNOVACIONES EN EL FUNCIONAMIENTO DE EQUIPOS HIDROMECAÑICOS

La comunicación R-21, presentada por F. Salinas Morales, describe algunas experiencias de equipos hidromecánicos que incluyen nuevas tecnologías y que han funcionado satisfactoriamente. El primer caso descrito es el de las compuertas flotantes utilizadas como esclusas para el lago artificial de la Expo-92 de Sevilla. Este tipo de compuertas pueden deslizarse fácilmente sobre la superficie del agua para las tareas de conservación y mantenimiento, lo que permite

un importante ahorro en relación con otro tipo de mecanismos.

Se llama la atención sobre el amplio campo de utilización de este tipo de instalaciones que en la actualidad están infrautilizadas.

El segundo caso expuesto es el de una toma de agua a nivel continuo, que permite seleccionar el nivel del embalse para tomar agua. Esta innovación selecciona el estrato de agua más apropiado para los procesos de potabilización lo que permite ahorrar en los costes de explotación.

En tercer lugar, el autor propone eliminar el conducto intermedio entre válvulas dispuestas en serie, de acuerdo a la disposición clásica que se utiliza en los desagües profundos. Esta solución supone un ahorro en la fabricación e instalación de estos equipos sin restarle eficiencia en su funcionamiento.

Como cuarto caso se consideran tres nuevos detalles de diseño que mejoran el funcionamiento de las válvulas Howell-Bunger. Uno para mejorar la aireación de la vena líquida, otro para eliminar un punto de inestabilidad de la válvula, y el último referente al contacto entre el cono de desplazamiento y el cilindro exterior de la válvula, con objeto de reducir al mínimo las pérdidas.

#### 4.3. ALIVIADERO MIXTO DE LA PRESA DE MORA DE RUBIELOS

Los ingenieros E. Cifres y R. López presentan un diseño singular de aliviadero que ha sido adoptado en la presa de Mora de Rubielos, localizada en Teruel, consistente en un amplio aliviadero lateral cuyo canal de descarga se encuentra controlado por una compuerta.

La gran anchura del vertedero lateral reduce los niveles producidos aguas arriba del embalse mientras que la compuerta, dispuesta en el canal de descarga, limita los caudales desaguados hacia aguas abajo, utilizando como *colchón laminador* el vaso del canal de descarga.

Esta disposición permite minimizar la afección hacia aguas arriba de las avenidas de hasta 5.000 años de periodo de retorno y laminar las avenidas de periodos de retorno inferiores a 100 años por debajo del umbral de daños del tramo de cauce existente de aguas abajo, consiguiendo una considerable reducción del caudal punta y un mayor tiempo de preaviso para las avenidas extremas.

Por otra parte, es posible la utilización de todo el volumen almacenado aguas arriba de la compuerta durante la temporada de riegos.

#### 4.4. LA NUEVA PRESA DE PUENTES

En la comunicación presentada por A. Maurandis Guirado, J. Granell Vicent y J. M. Somalo Martín se hace un resumen de la experiencia adquirida en el diseño y construcción

de la nueva presa de Puentes en el río Guadalentín (Murcia).

Tras hacer una breve reseña histórica sobre el emplazamiento de la presa y las sucesivas construcciones realizadas en el *estrecho de Puentes* se realiza una descripción del nuevo proyecto y de sus etapas constructivas.

La nueva presa de Puentes fue diseñada con dos objetivos: I) regular los caudales asignados para riego y II) laminar las avenidas que históricamente han producido graves daños en la Vega del Guadalentín, con lo que se espera resolver los problemas de desarrollo de esta rica vega.

#### 4.5. DESAGÜES CONTROLADOS DE GRAN CAPACIDAD. PRESA DE CONTRERAS

J. López Garaulet, J. Granell Vicent y S. Rubio Catalina, autores de la comunicación 24, pasan revista a las ventajas de carácter funcional que presentan los grandes desagües profundos frente a la alternativa de disponer solo de aliviaderos superficiales de gran capacidad, que pueden resumirse en:

t Adecuado control del embalse durante la fase de puesta en carga

t Mejora del control del embalse durante avenidas pudiendo limitar tanto los niveles alcanzados aguas arriba como los caudales desaguados.

A continuación describen el caso concreto del desagüe intermedio de la presa de Contreras situada en el río Cabriel entre las provincias de Cuenca y Valencia, proyectado tras un estudio de optimización de la gestión de recursos realizado en 1996.

En este estudio se concluyó la conveniencia de disponer un desagüe intermedio de 400 m<sup>3</sup>/s de capacidad en lugar del antiguo aliviadero tipo *Morning Glory*. Las obras se realizaron entre Junio de 1996 y Junio de 1998, habiéndose obtenido los beneficios descritos anteriormente.

#### 4.6. ALGORITMOS DE LAMINACIÓN DE AVENIDAS BASADOS EN PREDICCIONES HIDROLÓGICAS

En la comunicación 25, redactada por F. Girón, J. Yagüe y R. Martínez, se analizan en detalle las posibilidades que ofrecen los sistemas de previsión de avenidas en tiempo real para mejorar los procedimientos de actuación en avenidas.

Frente a los sistemas empleados hasta la actualidad basado en informaciones locales, los autores proponen un nuevo procedimiento a partir de formulaciones que implican el conocimiento del hidrograma afluente desde una estación de aforos existente aguas arriba y distante de la presa un tiempo  $T_c$  de preconocimiento durante la gestión de la avenida en el embalse.

El procedimiento permite una reducción de los caudales punta laminados, que será tanto más importante cuanto mayor sea el tiempo de preconocimiento de presentación de la avenida, cosa que es factible en cuencas que disponen de instrumentación en tiempo real; además, mediante el procedimiento propuesto es posible *optimizar* el resguardo que esté fijado y, en consecuencia, el volumen destinado a servir las demandas asociadas al embalse.

#### 4.7. NUEVO ALIVIADERO EN LA PRESA DE EL LIMONERO

El estudio redactado por los ingenieros J. A. Rodríguez Arribas, J. L. Manzanares y G. Bravo fue objeto de un animado debate en las sesiones del Congreso, toda vez que se trata de una solución original para incrementar la capacidad de desagüe del sistema hidráulico de la presa de El Limonero. Atendiendo a esta circunstancia, se ha considerado de especial interés incluir en este artículo una descripción de la solución propuesta.

La ciudad de Málaga ha estado sometida, desde tiempo inmemorial, a las inundaciones del río Guadalmedina, de forma que han sido numerosas las actuaciones, fundamentalmente de tipo estructural, que se han acometido a lo largo de la historia con el objetivo de disminuir o paliar los daños que ocasionaban. Así, se han construido dos presas aguas arriba de la ciudad destinadas a laminar las avenidas, cuales son la de El Agujero (1942) y la de El Limonero (1983); además, entre esta última y la desembocadura en el mar se dispone de un encauzamiento de unos 5,5 km de longitud y una capacidad de desagüe de 600 m<sup>3</sup>/s.

La presa de El Limonero, que es la situada más aguas abajo, inunda parcialmente el cuerpo de presa de El Agujero y domina 158 de los 182 km<sup>2</sup> de la cuenca del Guadalmedina; aunque su función principal es la de protección de avenidas, durante las últimas sequías se ha demostrado como un instrumento eficaz para garantizar el abastecimiento de agua a la ciudad de Málaga.

La presa de El Limonero se ha dimensionado para la avenida de 10.000 años de periodo de retorno; de acuerdo con los estudios hidrológicos disponibles, el caudal punta asociado a tal avenida es de 1.238 m<sup>3</sup>/s –correspondiente a un aguacero de 6 horas de duración–, mientras que su volumen máximo alcanza los 26,3 hm<sup>3</sup>, con una tormenta de 12 horas. El sistema hidráulico de la presa consta de un aliviadero en lámina libre, con una capacidad máxima de 614 m<sup>3</sup>/s, los desagües de fondo, dimensionados para evacuar, a plena carga, un máximo de 100 m<sup>3</sup>/s, y las tomas de abastecimiento, cuya capacidad no se tiene en cuenta para la gestión de avenidas.

Con el esquema anterior, se ha analizado la capacidad de laminación de esta infraestructura cuando se presenta la avenida de proyecto; los resultados a los que se ha llegado indican que, con el embalse inicialmente en el nivel máximo de explotación –correspondiente a la cota 104–, y sin contar con

los desagües de fondo, el caudal efluente alcanza los 500 m<sup>3</sup>/s, llegando el nivel del embalse a la cota 118,10, lo que supone un resguardo de 2,90 m hasta la coronación.

Como quiera que entre la presa y la desembocadura del río Guadalmedina, en pleno Málaga, hay 24 km<sup>2</sup> de cuenca vertiente que, en situación de avenidas, puede aportar caudales que llegan a tener valores significativos, y como existe la posibilidad cierta de que las avenidas afecten a toda la cuenca –se trata de una cuenca de tan solo 182 km<sup>2</sup>–, la posible coincidencia de las puntas agotaría la capacidad de desagüe del encauzamiento.

Esta situación de riesgo potencial de desbordamiento del encauzamiento –si bien remota pero real–, exige el análisis de alternativas destinadas a resolverla; en concreto se han considerado medidas tanto estructurales como de gestión, entre las que cabe destacar:

- t Reducción del nivel máximo de explotación en el embalse de El Limonero
- t Nuevas obras de regulación en la cuenca
- t Trasvases extraordinarios a otras cuencas
- t Evacuación de los caudales de crecida del embalse directamente al mar a través de un túnel–aliviadero

La primera alternativa se desechó por las consecuencias perjudiciales que tendría para el abastecimiento a Málaga; la segunda se demostró inviable ante la falta de vasos adecuados en la cuenca. Por cuanto se refiere a los trasvases de avenidas, se demostró que, para conseguir resultados apreciable en la laminación de avenidas, es necesario realizar un esfuerzo inversor muy importante para conseguir la conexión con las cuencas vecinas –Sistemas de Viñuela por la margen izquierda y Casasola, por la derecha–. En consecuencia, la cuarta alternativa se demostró como la más adecuada y viable.

La primera decisión adoptada para definir la solución consistió en fijar el umbral del vertedero nuevo en la cota 104 para no modificar el nivel máximo de explotación actual en la presa de El Limonero; se trata, pues, de un aliviadero no controlado. En relación con su ubicación, se consideraron dos posibilidades distintas según que se emplace en el vaso de El Agujero o en el de El Limonero, cuestión que es relevante por la relación que existe entre ambas presas en situación de avenidas.

Con las condiciones anteriores se realizó un estudio de laminación de la avenida de proyecto –de 10.000 años de recurrencia–, que demostró, por un lado, que el emplazamiento idóneo para el nuevo aliviadero está en el vaso de El Agujero y, por otro, la gran capacidad de laminación que aporta el esquema aliviadero–túnel. Las consecuencias que, para la definición del esquema, se sacaron del estudio de laminación fueron:

- t La longitud óptima del vertedero es de 10 m, lo que supone una capacidad de desagüe de 700 m<sup>3</sup>/s y una sección total del túnel de 9,5 m de diámetro y 70,8 m<sup>2</sup> de superficie



El Limonero.

t El Nivel de la Avenida de Proyecto de la presa de El Limonero se sitúa a la cota 113,35 , casi 5 m más bajo que el actual

t El resguardo de avenidas disponible en la presa de El Limonero es de 7,5 m, con el consiguiente incremento en la seguridad de la propia presa y, por ende, en la protección de Málaga

La problemática más delicada que presenta la solución adoptada para el túnel es su desagüe en el mar, en un entorno costero densamente poblado. El emplazamiento elegido, que resuelve cualquier afección no deseada, está próximo a Torre Paloma, en el paraje denominado *Peñón del Cuervo*, antes de la confluencia de la N-340 con la ronda de circunvalación E-902. El trazado del túnel entre el aliviadero y la obra de desagüe tiene una longitud de 11.177 m y, en planta,

cuenta con dos alineaciones rectas, separadas por un tramo curvo de radio 5.000 m; la pendiente longitudinal disponible es constante e igual a 0,82 %, que posibilita un régimen hidráulico supercrítico que, en toda la conducción, se desarrolla en lámina libre.

La montera media del túnel es de unos 160 m, con un máximo de 430 m, en el cerro de San Antón; como en todo el tramo intermedio se presenta un mínimo de montera de 95 m, no será posible acometer la perforación del túnel por puntos de ataque intermedios. El tramo final dispone de una montera media de unos 50 m.

Los estudios realizados hasta la fecha demuestran la viabilidad de la solución descrita, a la vez que se configura como una actuación muy recomendable para aumentar la seguridad de la presa de El Limonero e incrementar la protección de la ciudad de Málaga frente a las avenidas del Guadalmedina. z