

# COMITÉ NACIONAL ESPAÑOL DE GRANDES PRESAS

## **ADAPTACIÓN DE PRESAS EXISTENTES AL REGLAMENTO TÉCNICO DE SEGURIDAD DE PRESAS Y EMBALSES DE 1996. ALGUNOS CASOS ESTUDIADOS EN EL LABORATORIO DE HIDRÁULICA DEL CEDEX**

**Aramburu Godínez, Enrique<sup>1</sup>**

**Balairón Pérez, Luis<sup>2</sup>**

*RESUMEN: La entrada en vigor en 1996 del Reglamento Técnico de Seguridad de Presas y Embalses introdujo unos criterios para el diseño de los órganos de desagüe de las presas españolas mucho más exigentes que los manejados hasta entonces (básicamente los recogidos en la Instrucción para el Proyecto, Construcción y Explotación de Grandes Presas de 1967).*

*El Laboratorio de Hidráulica del Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX viene colaborando intensamente con la Dirección General del Agua del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino en los últimos años en la definición y alcance de las actuaciones necesarias para adaptar numerosas presas españolas a la nueva Reglamentación (básicamente mediante la modelación física de sus órganos de desagüe), siendo diferentes los tratamientos que dar a cada caso, circunstancia que está generando un conocimiento acumulado importante que en esta ponencia se pondrá de manifiesto.*

---

<sup>1</sup> Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Coordinador de Programa Técnico Científico. Laboratorio de Hidráulica del Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX

<sup>2</sup> Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Director del Laboratorio de Hidráulica del Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX.

# 1. INTRODUCCIÓN

Como es sabido, España es el quinto país del mundo en número de grandes presas construidas (solo superado por EEUU, China, India y Japón), lo que ha hecho que nuestro país haya figurado siempre en el grupo de países pioneros en la tecnología de estas infraestructuras y en la promulgación de normativas técnicas para el proyecto, construcción y conservación de sus presas.

Desde el año 1967, la Reglamentación básica en materia de presas en España la constituye la conocida Instrucción para el Proyecto, Construcción y Explotación de Grandes Presas, la cual se complementó en el año 1996 con el Reglamento Técnico sobre Seguridad de Presas y Embalses<sup>3</sup>.

Aunque son muchas las diferencias entre ambas normativas<sup>4</sup> (ver, por ejemplo, Alonso Franco y Zaragoza Gomis, 1991 ó Campo Benito y Yagüe Córdoba, 2007), el presente artículo se va a centrar en el diferente tratamiento que presta cada uno de ellos a los criterios de diseño en materia de seguridad hidráulica y las incidencias que, a partir de diversos casos prácticos estudiados en el Laboratorio de Hidráulica del Centro de Estudios Hidrográficos, dichas diferencias pueden tener en la práctica.

La Instrucción del año 1967 (redactada en una época en la que en España apenas había 600 presas en explotación) establecía unos criterios de seguridad comunes a todas las presas consistentes, de manera resumida, en que los aliviaderos de las nuevas presas debían ser capaces de evacuar (con o sin resguardo respectivamente) las denominadas Avenidas Normal (50 años de periodo de retorno) y de Proyecto (500 años de recurrencia).

El Reglamento de 1996 fijó unos criterios más modernos (en la línea de la Reglamentación de otros países) clasificando a las nuevas presas en tres categorías (A, B ó C) en función del riesgo derivado de una potencial rotura de las mismas, dejando a criterio del respectivo proyectista los valores de los periodos de retorno de las Avenidas de Proyecto y Extrema que tendrán que ser capaces de desaguar las presas, respectivamente, con un resguardo mínimo o agotando el resguardo.

Ante la indefinición en el Reglamento de 1996 de dichos valores de los periodos de retorno de las citadas Avenidas de Proyecto y Extrema, han sido generalmente utilizados en la práctica los propuestos al respecto por la Guía Técnica nº5 “Aliviaderos y desagües” del Comité Español de Grandes Presas y que se resumen en la tabla adjunta.

En cualquier caso, son muchas las reflexiones y comentarios susceptibles de ser realizados a dicha Reglamentación de 1996. Por ejemplo, cabe destacar

---

<sup>3</sup> Complementariamente a la Instrucción de Grandes Presas de 1967 y al Reglamento Técnico sobre Seguridad de Presas y Embalses de 1996, la Reglamentación estatal en materia de seguridad de presas se complementa con lo especificado en otras normativas como la Ley 11/2005 por la que se modifican algunos artículos del Texto Refundido de la Ley de Aguas o la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el riesgo de inundaciones de 1995

<sup>4</sup> Incluso el ámbito de aplicación de ambos documentos normativos no es el mismo: la Instrucción es de aplicación solo a las Grandes Presas independientemente de su titularidad y el Reglamento solo se aplica a las presas de titularidad estatal construidas hasta 1996, así como al resto de presas ejecutadas desde entonces sea cual sea su titularidad, tanto Grandes como Pequeñas presas. Aproximadamente unas 850 presas que se rigen por la Instrucción de 1967 y a unas 350 les es de aplicación el Reglamento de 1996.

su falta de concreción en los criterios de diseño de los órganos de desagüe de las presas al dejar los mismos a criterio de cada Proyecto, a diferencia de la Instrucción de 1967 que sí fijaba dichos valores. Esta circunstancia ha generado una laguna jurídica que ha hecho que, a falta de referencias más sólidas, los criterios de las Guías del Comité Español de Grandes Presas hayan pasado a ser la referencia unánimemente aceptada como criterios de diseño de los aliviaderos de las nuevas presas.

Tabla 1 Criterios de diseño en las Guías Técnicas del Comité Español de Grandes Presas

	<i>Avenida de Proyecto</i>	<i>Avenida Extrema</i>
<i>Categoría A</i>	1.000 años	5.000 a 10.000 años
<i>Categoría B</i>	500 años	1.000 a 5.000 años
<i>Categoría C</i>	100 años	100 a 500 años

Otro aspecto también opinable de la Reglamentación de 1996, y que se ha convertido en fuente de numerosos debates, es la forma en la que dicha normativa debe ser aplicada a las presas en la actualidad en servicio, puesto que en muchos casos la adecuación de los órganos de desagüe de presas de cierta antigüedad a los criterios de la nueva Reglamentación es tarea ciertamente compleja

En consecuencia, de la experiencia acumulada a lo largo de los últimos diez años, ya con el Reglamento de 1996 en vigor, se desprende que si bien para las nuevas presas construidas en este periodo son aceptados sin excesiva controversia los nuevos criterios de dicho Reglamento concretados en los valores de las Guías Técnicas del Comité Español de Grandes Presas, diferente es el caso de las presas ya existentes en ese momento a las que se pretende adaptar sus órganos de desagüe a la nueva Reglamentación.

Y es que, efectivamente, la adaptación de presas al Reglamento de 1996 es tarea compleja, pues en muchos casos exige obras excesivamente complejas. Para ello, el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino tiene puesto en marcha un programa de adecuación de las presas de titularidad estatal a dicha normativa mediante el cual se van a acometer las actuaciones de mejora propuestas por los responsables de la explotación de las presas (en concreto se propone actuar en unas 225 presas).

De lo dicho en apartados anteriores se desprende una situación de cierta confusión en la que conviven diferentes normativas redactadas en distintos momentos y con diferente aplicabilidad en función de la titularidad, de la antigüedad de la presa o del ámbito geográfico en el que se ubique, lo cual motiva la necesidad de unificar la reglamentación y dar a la seguridad de las presas la importancia que se merece regulándola a través de una Ley estatal. Con este motivo, el actual Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino viene trabajando desde hace unos años en la publicación de una Ley de Seguridad de Presas que resuelva esta compleja situación.

## **2. LA ACTIVIDAD DEL CEH EN LA MEJORA DE SEGURIDAD DE LAS PRESAS ESPAÑOLAS**

El Laboratorio de Hidráulica del Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX viene colaborando intensamente con la Dirección General del Agua en los

últimos años en la definición y alcance de las actuaciones necesarias para lograr la adaptación de numerosas presas españolas a la Reglamentación de 1996 (básicamente mediante la modelación física de sus órganos de desagüe), siendo diferentes los tratamientos que dar a cada caso, circunstancia que está generando un conocimiento acumulado importante que en esta ponencia se pondrá de manifiesto.

Así, en primer lugar, en ocasiones, se observa que los aliviaderos existentes en algunas presas actuales tienen capacidad suficiente para desaguar la avenida extrema sin necesidad de ampliar sensiblemente su capacidad, siendo suficiente plantear solamente pequeñas reformas (mejora de las embocaduras o de las rápidas de los aliviaderos, por ejemplo) para mejorar su funcionamiento. Es el caso, entre otras, de las presas de Alcorlo (CH Tajo) o Gasset (CH Guadiana) estudiadas en los años 2004 y 2008 respectivamente (ver apdo 3).

En otras ocasiones, sí es necesario recurrir a obras más complejas, pues la capacidad de los aliviaderos existentes de las presas es insuficiente para evacuar la avenida extrema, siendo necesario proceder a su ampliación mediante aliviaderos complementarios, recrecimientos de la presa o rebaje de la cota del aliviadero, por ejemplo. Dentro de estos casos, cabe citar, entre otros, los de las presas de Beniarrés (CH del Júcar), Joaquín Costa (CH del Ebro), Viñuela (Agencia Andaluza del Agua) o Amadorio (CH Júcar), estudiados todos ellos entre los años 2001 a 2008 (ver apartado 4).

Por último, y en casos más complejos, a veces se recurre a aliviaderos mediante dispositivos especiales, como laberintos o sifones. En este campo, pueden citarse los laberintos estudiados en las presas de M<sup>a</sup> Cristina (CH Júcar) o Camarillas (CH Segura) entre los años 2006 y 2008 como representativos de esta técnica (ver, por último, apartado 5).

### **3. REFORMAS DE ALIVIADEROS**

#### **3.1 PRESA DE ALCORLO (CH TAJO)**

La presa de Alcorlo se encuentra situada en el río Bornova, en la provincia de Guadalajara. Es una presa de materiales sueltos con núcleo impermeable de 73 m de altura, un volumen de embalse de 180 hm<sup>3</sup> y que se terminó de construir en el año 1.978. Dispone de un aliviadero lateral de labio fijo situado en la ladera izquierda de la presa. Este aliviadero consta de dos vanos de 15,75 y 16,25 m de anchura respectivamente, separados por una pila de 1 m de ancho. Para la restitución de los caudales en el río el aliviadero dispone al final de la rápida de un trampolín de lanzamiento.

El perfil actual del vertedero es el resultado de una modificación posterior, mediante un Proyecto realizado en el año 1.992, bajando el umbral de vertido de la cota 920 a la cota 917,87.

El aliviadero fue ensayado en su momento en este Laboratorio de Hidráulica comprobándose su funcionamiento para un caudal de 260 m<sup>3</sup>/s. Estudios posteriores de la Confederación Hidrográfica del Tajo indican que la avenida de proyecto de 1.000 años de periodo de retorno se lamina con un caudal máximo desaguado por el aliviadero y los desagües de fondo de 301,6 m<sup>3</sup>/s, del que

corresponde al aliviadero 261,6 m<sup>3</sup>/s. Por otra parte la laminación correspondiente a la avenida extrema de 10.000 años de periodo de retorno implica un caudal máximo desaguado por el aliviadero y los desagües de fondo de 394,7 m<sup>3</sup>/s, del que corresponde al aliviadero 350,7 m<sup>3</sup>/s.

Por tanto se hacía necesario comprobar el funcionamiento del aliviadero actual de la presa para estos nuevos caudales, a la vez que analizar, con el umbral rebajado del vertedero, si los niveles en el canal colector del aliviadero podrían afectar a los caudales desaguados por el aliviadero.

Los ensayos realizados en el modelo construido en el Laboratorio de Hidráulica permitían concluir que se podían desaguar los caudales previstos en la avenida de proyecto así como en la avenida extrema sin tener que modificar las características actuales del aliviadero.



*Aliviadero de la presa de Alcorlo (CH Tajo)*

### 3.2 PRESA DE GASSET (CH GUADIANA)

La presa de Gasset se encuentra situada en el río Becea en la provincia de Ciudad Real. Fue construida la presa a principios del siglo XX, en 1.909. Es una presa de materiales sueltos que, desde su entrada en explotación, ha tenido tres principales modificaciones: 1) un primer recrecimiento en el año 1.981; 2) la ejecución de una pantalla de bentonita-cemento en 1.998; y 3) finalmente la construcción de un pedraplén aguas abajo en el año 1.999.

La cota de coronación, después de las sucesivas reformas en la presa, ha quedado en la actualidad en la cota 626,54. El volumen del embalse al nivel máximo normal es de 41,7 hm<sup>3</sup>.

La presa dispone de dos aliviaderos, uno en cada margen, que están formados los dos por tres vanos, de 3 m de anchura cada uno, regulados con compuertas de tablero vertical tipo vagón.

Realizada la primera revisión y análisis sobre la seguridad de la presa en el año 2.001 se indicaba que el efecto laminador del embalse es considerable, en sus niveles altos, llegando a laminar en las grandes avenidas, de periodos de retorno de 1.000 a 10.000 años, los caudales punta hasta un 70 % de su valor. Se indicaba además que las capacidades de los órganos de desagüe actuales son adecuadas en función de sus características geométricas, pero se tienen serias dudas en cuanto a la capacidad estructural de los canales de los

aliviaderos frente a los máximos caudales que se pueden producir en las máximas avenidas, del orden de 40 m<sup>3</sup>/s por cada aliviadero.

Por tanto la solución que se ensayó en el Laboratorio tenía por objetivo mejorar el funcionamiento de los canales de descarga de los dos aliviaderos, sin necesidad de incrementar la capacidad actual de los aliviaderos de la presa.



*Aliviaderos de la presa de Gasset (CH Guadiana)*

#### 4. AMPLIACIÓN DE ALIVIADEROS EXISTENTES

Las estrategias convencionales para ampliar la capacidad de un aliviadero existente en una presa cabe resumirse en las tres siguientes:

- a) Acondicionar un sector de la presa para el vertido
- b) Recrecimiento de la presa
- c) Modificar el umbral del vertedero

Cada una de ellas tiene sus ventajas e inconvenientes, pasándose a describir en los apartados siguientes algunos ejemplos de cada una de las anteriores posibilidades estudiadas en el Laboratorio de Hidráulica del CEDEX. En algunos casos no queda más remedio para incrementar la capacidad de desagüe que la construcción de un nuevo aliviadero complementario.

##### 4.1 PRESA DE BENIARRÉS (CH DEL JÚCAR)

La presa de Beniarrés se encuentra situada en el río Serpis, en la provincia de Alicante. Es una presa de gravedad de 53 m de altura, con un volumen de embalse de 27 hm<sup>3</sup>, y que se terminó de construir en el año 1958.

La presa dispone de un aliviadero en el centro de la misma que está constituido por tres vanos de 15 m de anchura cada uno regulados con compuertas Taintor. Para la disipación de la energía el aliviadero dispone en la actualidad de un trampolín continuo sumergido.

La capacidad del aliviadero actual es de aproximadamente 1.000 m<sup>3</sup>/s. El estudio hidrológico realizado por el Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX indicó un caudal punta de entrada al embalse de 2.383 m<sup>3</sup>/s, para la avenida de proyecto de 1.000 años, y de 3.574 m<sup>3</sup>/s para la avenida extrema de 5.000 años (presa de Categoría A). Para estos caudales el estudio de lami-

nación realizado implicaba, en la situación actual del aliviadero, unos caudales vertiendo por coronación de 382 m<sup>3</sup>/s, para la avenida de proyecto, y de 1.351 m<sup>3</sup>/s para la avenida extrema.

En consecuencia se estudiaron diversas alternativas para incrementar la capacidad de desagüe de la presa. Un condicionante común en todas estas alternativas era procurar que, con el embalse a su nivel máximo normal, la suma de los caudales que puedan ser evacuados por todos los dispositivos sujetos a control sea del orden de la avenida de 50 años de periodo de retorno (789 m<sup>3</sup>/s). En la actualidad por los desagües de fondo saldrían 75 m<sup>3</sup>/s y por las compuertas del aliviadero 924 m<sup>3</sup>/s, sensiblemente superior a la avenida de 50 años. Por consiguiente es conveniente reducir la capacidad de desagüe de las compuertas del aliviadero y para ello lo menos costoso es reducir su altura mediante el corte superior de las compuertas.



*Presa de Beniarrés (CH Júcar)*

En las tres alternativas se plantearon diversas actuaciones: la construcción de un nuevo aliviadero (de tipo lateral de labio fijo con distintas longitudes de vertido desde 70 m a 200m); modificación o no del umbral de vertido del aliviadero actual; el recrecimiento o no de la presa (con pretil cerrado, o con recrecimiento de la coronación y del puente, de 1,20 y 1,50 respectivamente); y el mantenimiento o reducción de la capacidad actual del embalse.

De todas las alternativas analizadas se seleccionó la solución que, manteniendo la capacidad actual del embalse, era la más económica. Dicha solución consistía en subir el umbral de vertido 75 cm, recortando las compuertas igualmente en esa magnitud, un recrecimiento de la presa de 1,5 m y la construcción de un nuevo aliviadero lateral de 80 m de longitud. Los caudales desaguados por los dos aliviaderos (actual y nuevo) serían respectivamente de 1.695 m<sup>3</sup>/s y 706 m<sup>3</sup>/s, para la avenida de proyecto, y de 2.121 m<sup>3</sup>/s y 1.232 m<sup>3</sup>/s para la avenida extrema.

#### 4.2 PRESA DE JOAQUÍN COSTA (CH DEL EBRO)

La presa de Joaquín Costa (Barasona) se encuentra situada en el río Esera en la provincia de Huesca. Es una presa de gravedad de 65 m de altura, con un volumen de embalse de 92 hm<sup>3</sup> y que se terminó de construir en el año 1.932, aunque en años posteriores ha tenido reformas en sus órganos de desagüe (tanto en el aliviadero como en los desagües de fondo).



El aliviadero de la presa se encuentra en la margen izquierda del embalse y está constituido por cuatro vanos, de 10 m de anchura cada uno, regulados en la actualidad con compuertas Taintor. Los caudales vertidos por cada dos vanos fluyen hacia dos túneles de secciones irregulares y sin revestir. A partir de una sección ambos túneles se unen en un único que tiene una sección aproximadamente circular de unos 10,4 m de diámetro (sección de unos 89,5 m<sup>2</sup>). El aliviadero desagua directamente al cauce del río aguas abajo de la presa. La capacidad teórica de este aliviadero es de 1.500 m<sup>3</sup>/s.

El estudio hidrológico realizado por el Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX indicaba unos caudales punta de entrada al embalse de 3.587 m<sup>3</sup>/s, para la avenida de proyecto de 1.000 años de periodo de retorno, y de 4.898 m<sup>3</sup>/s, para la avenida extrema de 5.000 años (clasificada como Categoría A).

Con los hidrogramas correspondientes a las avenidas de proyecto y extrema se analizó la situación actual de la presa. Los resultados que se obtuvieron del estudio de laminación indicaban unos caudales vertiendo por coronación de 495 m<sup>3</sup>/s, para la avenida de proyecto, y de 1.542 m<sup>3</sup>/s para la avenida extrema. Por tanto en el estudio se indicaba que: “la capacidad de los órganos de desagüe de la presa en su estado actual es claramente insuficiente y es necesario plantearse el incremento de dicha capacidad”.

En consecuencia se realizó un estudio de alternativas con el objeto de incrementar dicha capacidad de desagüe teniendo en cuenta para ello la configuración de la cerrada donde se ubica la presa, las posibilidades de incrementar la capacidad de los túneles actuales del aliviadero y el mantenimiento o reducción de la capacidad actual del embalse. En todas ellas se planteaba, además de la reforma de los túneles del aliviadero actual de la presa, la construcción de un nuevo aliviadero en túnel por la margen derecha de la cerrada. De las tres alternativas estudiadas se seleccionó la que tenía menor coste económico y mantenía la capacidad actual del embalse.

Dicha solución implica unos caudales desaguados por el aliviadero actual reformado (que aumenta la sección anterior del túnel a 132 m<sup>2</sup>) de 1.763 m<sup>3</sup>/s, para la avenida de proyecto, y de 2.331 m<sup>3</sup>/s para la avenida extrema. Los caudales a evacuar por el nuevo aliviadero a construir en la otra margen (que dispondría de dos vanos con compuertas de 12 m de ancho cada uno y una sección de túnel de 90 m<sup>2</sup>) serían de 1.160 m<sup>3</sup>/s, para la avenida de proyecto, y de 1.512 m<sup>3</sup>/s para la avenida extrema.



*Presa de Joaquín Costa-Barasona (CH Ebro)*



### 4.3 PRESA DE LA VIÑUELA (AGENCIA ANDALUZA DEL AGUA)

La presa de La Viñuela está situada sobre el río Guaro, al norte de la ciudad de Vélez Málaga. Es una presa de materiales sueltos de 96 m de altura y con un volumen de embalse de 170 hm<sup>3</sup>. En la actualidad tiene un único aliviadero de superficie situado en la margen derecha de la cerrada con una capacidad aproximada de desagüe de unos 190 m<sup>3</sup>/s con el embalse a la cota 232,3 (resguardo de 1 m). Agotando el resguardo y con problemas de insuficiencia de capacidad en los cajeros de la rápida, la capacidad del aliviadero podría llegar a unos 250 m<sup>3</sup>/s. Este caudal venía condicionado no tanto por la capacidad de desagüe del aliviadero actual (que a la cota del núcleo impermeable y supuesto que no se anegase el vertedero podría ser mucho mayor), sino por la formación de una sección crítica de control en el estrechamiento en la transición de la embocadura a la rápida del aliviadero.



*Presa de La Viñuela (Agencia Andaluza del Agua)*

La revisión de seguridad realizada a la presa estableció que las avenidas de 500, 1.000 y 10.000 años eran, respectivamente, 388, 414 y 527 m<sup>3</sup>/s. En los primeros estudios realizados se analizó la posibilidad de reformar el aliviadero actual, recreciendo los cajeros y actuando de manera que se desplazase la sección crítica que limita la capacidad de desagüe de forma que se lograra aumentar ésta a los 388 m<sup>3</sup>/s necesarios.

Aunque hidráulicamente esta solución era posible, lo cierto es que exigía unas obras relativamente complejas (modificación de la embocadura, recrecimiento de algunos cajeros, rediseño del cuenco de amortiguación, incertidumbres geotécnicas asociadas a la afección a las laderas, etc.) que dejarían fuera de servicio el aliviadero durante el periodo de la ejecución de las obras, de manera que, ante la situación de precariedad en que quedaría la explotación de la presa durante la ejecución de las obras del aliviadero actual, los responsables de la explotación de la presa se decantaron por estudiar también la viabilidad de construir un aliviadero complementario al actual.

Esta segunda solución se estudió mediante un modelo físico a escala reducida (1:60) en el Laboratorio de Hidráulica del CEDEX. La solución propuesta consistía en un aliviadero paralelo al existente con una embocadura gemela a la actual (igual longitud de vertido, perfil del vertedero y ángulo de convergencia de cajeros). Gracias a este segundo aliviadero, la capacidad de vertido de la

presa se aumentó a 392 m<sup>3</sup>/s (con el necesario resguardo) o 545 m<sup>3</sup>/s (agotando el resguardo).

Como resumen, la presa de La Viñuela es un ejemplo de infraestructura en la que el aumento de seguridad necesario puede lograrse tanto reformando el aliviadero actual como construyendo un nuevo aliviadero complementario.

#### 4.4 PRESA DE AMADORIO (CH JÚCAR)

La presa de Amadorio se encuentra situada en el río Amadorio aguas abajo de su confluencia con el río Sella, en la provincia de Alicante. Es una presa de gravedad de unos 64 m de altura, con un volumen de embalse de 15,8 hm<sup>3</sup> y terminada su construcción en el año 1957.

El aliviadero está constituido por dos vanos de 15 m de anchura cada uno que están regulados con compuertas Taintor. El agua se restituye al cauce mediante un cuenco amortiguador

La capacidad teórica del aliviadero actual es de 520 m<sup>3</sup>/s. El estudio hidrológico realizado en el Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX ha determinado unos caudales punta para los hidrogramas de entrada al embalse de 915 m<sup>3</sup>/s, para la avenida de proyecto de 1.000 años de periodo de retorno, y de 1.892 m<sup>3</sup>/s para la avenida extrema de 5.000 años (presa de Categoría A). Es necesario, por tanto, ampliar la capacidad de desagüe del aliviadero actual.

El diseño de las compuertas del aliviadero por otra parte no cumple lo establecido en la Instrucción de 1.967, "que la suma de los caudales que puedan ser evacuados por todos los dispositivos sujetos a control, con el embalse a su nivel máximo normal, no será nunca superior al caudal de la avenida normal". En consecuencia no se debe rebajar el umbral del vertedero, ni aumentar el ancho de compuertas, ni en general aumentar la capacidad de desagüe de la presa cuando el embalse se halla al nivel máximo normal, pues empeoraría lo establecido en la Instrucción.

Un condicionante que se tuvo en cuenta además es el mantenimiento de la capacidad actual del embalse. Por otra parte, en la situación actual, las compuertas no pueden abrirse totalmente por lo que hay que subir en cualquier caso el tablero del puente, cuyas vigas además hay que sustituir pues se encuentran en mal estado. También es conveniente mejorar el perfil del vertedero existente.

Se estudiaron por tanto tres soluciones, en la primera se mantiene el ancho actual del vertedero, lo que conduce a tener que recrecer la coronación de la presa de la cota 129,65 hasta la cota 132, mientras que en las otras dos alternativas se dispone de un aliviadero complementario de labio fijo, de 2 x 30 m en un caso, y 2 x 15 en el otro, y en ambas alternativas el recrecimiento de la presa sólo se haría hasta la cota 131. La primera alternativa tiene la ventaja de laminar mejor las avenidas y ser bastante más económica que las otras dos, por lo que finalmente se decidió su ensayo y comprobación en un modelo actualmente en ensayo en el Laboratorio de Hidráulica.



*Aliviadero de la presa de Amadorio (CH Júcar)*

## 5. DISPOSITIVOS ESPECIALES: PRESA M<sup>a</sup> CRISTINA (CH JÚCAR)

La presa de M<sup>a</sup> Cristina (en servicio desde el año 1925) es una presa del tipo arco-gravedad con planta circular, altura de 56,5 m y volumen de embalse de 19,59 hm<sup>3</sup>. El aliviadero actual (fruto de una reforma en los años 1950) tiene capacidad para unos 560 m<sup>3</sup>/s, si bien al menos ha vertido por coronación en tres ocasiones desde entonces (1962, 1969 y 2000).

Su completa adaptación al Reglamento de 1996 haría necesario que tuviera capacidad para desaguar con un resguardo de 0,5 a 1 m la avenida de 1.000 años de periodo de retorno (3.073 m<sup>3</sup>/s) y soportar sin que se produzca su rotura la avenida de 5.000 años de periodo de retorno (4.737 m<sup>3</sup>/s), pues la misma está clasificada como de Categoría A.



*Aliviadero en laberinto en la presa de M<sup>a</sup> Cristina (CH Júcar)*

El incremento de capacidad necesario es de tal magnitud que se planteó recurrir a un aliviadero en laberinto para lograr dicha adaptación. En un primer tanteó se ensayó un laberinto con nueve módulos que resultó ser insuficiente (agotando el resguardo la capacidad de desagüe era de unos 2.600 m<sup>3</sup>/s). En consecuencia, se procedió a estudiar un nuevo diseño del aliviadero en laberinto, esta vez de siete módulos, que se comprobó era capaz de verter agotando el resguardo un caudal de unos 3.000 m<sup>3</sup>/s.

Esta capacidad seguía sin ser suficiente para cumplir con rigor lo exigido por el Reglamento de 1996 (interpretado conforme a los criterios de las Guías Técnicas del Comité Español de Grandes Presas), lo que exigiría o bien rebajar

la cota del vertedero o recrecer la presa. Finalmente se estudió la posibilidad de recrecer parcialmente la coronación de la presa con un pretil de 1,5 m de altura, haciendo que la longitud de la presa no recrecida actuase como un aliviadero complementario al laberinto. Con esta doble actuación, la presa sí es capaz de verter por el aliviadero la avenida de 1.000 años con el correspondiente resguardo y la de 5.000 sin resguardo.

Este estudio pone de relieve varias circunstancias que merecen una reflexión pausada. En primer lugar, lo oportuno o no que puede resultar pretender adaptar al Reglamento de 1996 de manera rigurosa presas antiguas diseñadas con criterios muy distintos a los actuales pero que por otro lado se ha demostrado que han tenido un buen comportamiento ante importantes avenidas (véase como en este caso, tal adaptación requiere unas obras de excesiva complejidad).

Por otro lado, este estudio pone de manifiesto también como el diseño de aliviaderos con dispositivos especiales (sifones, laberintos u otros) está aún en un grado de desarrollo relativamente incipiente que requiere la modelación física para tener seguridad en los resultados obtenidos. La aplicación de las formulaciones convencionales a los aliviaderos en laberinto (Hay y Taylor; Hinchliff y Houston; Pinto Malgalhaes u otras) arrojaban importantes diferencias entre unas y otras que solo pudieron ser resueltas con la modelación física de la estructura.

## REFERENCIAS

Alonso Franco, M. y Zaragoza Gomis, G. "Normativa sobre seguridad de presas" Revista de Obras Públicas nº 3.407 febrero de 2001 pp. 75-83

Campo Benito, J. del y Yagüe Córdova, J. " Desarrollo de las actuaciones del Ministerio de Medio Ambiente en materia de seguridad de presas". Revista de Obras Públicas nº 3.475 marzo 2007 pp. 119-128

CEDEX. Estudios hidrológicos, hidráulicos, de viabilidad estructural y ensayos en modelo reducido que permitan definir una solución hidráulica para evacuar las avenidas en la presa de Beniarrés (clave 41-400-1-078). Madrid, febrero de 2001.

CEDEX. Estudios hidrológicos, hidráulicos, de viabilidad estructural y ensayos en modelo reducido que permitan definir una solución hidráulica para evacuar las avenidas en la presa de Joaquín Costa (clave 41-499-1-075). Madrid, octubre de 2001.

CEDEX. Estudio en modelo reducido del aliviadero de la presa de Alcorlo (clave 41-403-1-085). Madrid, diciembre de 2004.

CEDEX. Estudio en modelo reducido de la evacuación de avenidas en la presa de M<sup>a</sup> Cristina (clave 41-404-1-091). Madrid, mayo de 2007.

CEDEX. Estudio en modelo reducido del recrecimiento de la presa de M<sup>a</sup> Cristina (clave 41-406-1-104). Madrid, diciembre de 2007

CEDEX. Estudio en modelo reducido del aliviadero complementario de la presa de La Viñuela (clave 41-405-1-101). Madrid, octubre de 2008.