

# COMITÉ NACIONAL ESPAÑOL DE GRANDES PRESAS

## EL PROCESO DE PUESTA EN CARGA: PROFUNDIZACIÓN EN LA NORMATIVA Y RECOMENDACIONES DE SEGURIDAD DE PRESAS

Daniel García-Lorenzana Acasuso<sup>1</sup>  
Paz Elías Fernández<sup>2</sup>

*RESUMEN: Desde el punto de vista de la seguridad, la puesta en carga es la fase más importante de la vida de la presa de acuerdo a las estadísticas de accidentes, dado que es la fase en la que se producen el mayor número de roturas y por lo tanto se debe extremar la vigilancia y auscultación de la presa, así como el adiestramiento del personal.*

*La presente comunicación presenta algunas reflexiones sobre lo contenido en la normativa vigente, en especial el Reglamento Técnico de Seguridad de Presas y Embalses, y en las recomendaciones de las Guías Técnicas de Seguridad de Presas editadas por el Comité Nacional Español del Grandes Presas, y que están relacionados con la casuística que se presenta en España actualmente en muchos nuevos embalses. Por otro lado, se trata de profundizar en los aspectos que frecuentemente condicionan el proceso de puesta en carga y por tanto pueden servir para el mejor enfoque de este proceso, tanto en la fase de proyecto y redacción del programa, como durante la propia fase de llenado. Adicionalmente, se realizan algunos comentarios relativos a la puesta en carga de balsas por su importancia actual y sobre las que todavía no existen recomendaciones específicas.*

---

<sup>1</sup> Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. TÉCNICA Y PROYECTOS S.A. (TYPSA).

<sup>2</sup> Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. CONSULTOR INDEPENDIENTE

## 1. INTRODUCCIÓN

De acuerdo al artículo 28 del todavía vigente Reglamento de Seguridad de Presas y Embalses, el programa de puesta en carga, independientemente que ésta sea total o parcial, comprenderá, al menos, los siguientes aspectos:

- Evolución probable del nivel de embalse.
- Máximos ritmos recomendables en las variaciones del nivel de embalse.
- Comportamiento de los órganos de desagüe en relación con su capacidad para controlar los niveles en el embalse.
- Comprobaciones y observaciones a realizar durante el proceso.
- Caracterización de las situaciones extraordinarias previsibles y estrategias y actuaciones a desarrollar en estos casos.

En la Guía Técnica de Seguridad de Presas nº1 “Seguridad de presas” se hacen algunas recomendaciones generales sobre el tema en apenas 5 páginas incidiendo principalmente en los aspectos normativos. Por otro lado, en la Guía Técnica nº6 “Construcción de presas y control de calidad” se profundiza en los aspectos técnicos principales del proceso a lo largo de 10 páginas, a las que se añaden 6 más con algunos ejemplos de ritmos de llenados previstos y controles a realizar durante el llenado en presas existentes.

A continuación se presentan algunos comentarios a lo contenido en la normativa y las recomendaciones de las guías técnicas que se consideran de interés y que están relacionados con la casuística que se presenta en España actualmente en muchos nuevos embalses. Por otro lado, se trata de profundizar en los aspectos que frecuentemente condicionan el proceso de puesta en carga y por tanto pueden servir para el mejor enfoque de este proceso, tanto en la fase de proyecto y redacción del programa, como durante la propia fase de llenado.

En general, en los análisis realizados, nos referimos a diferentes tipologías de presas, sin características especiales, normalmente con aliviadero de labio fijo, con alturas medias entre 25 y 100 metros y que por cerrar valles con cuencas pequeñas con características hidrológicas propias de la mayor parte de la península ibérica, disponen de caudales medios anuales pequeños.

## 2. INICIO DE LA PUESTA EN CARGA

De acuerdo a las Guías técnicas, el inicio de la puesta en carga de una presa viene condicionado por la aprobación por parte de la administración competente del propio Programa de puesta en Carga y del Plan de Emergencia en caso de ser necesario de acuerdo a la normativa de seguridad de presas y embalses. Independientemente de estos trámites administrativos, la puesta en carga debería iniciarse cuando el régimen de aportaciones del río es suficiente como para tener un ritmo de llenado adecuado, y que, además pueda ser controlado con los órganos de desagüe de la presa. A este respecto cabe destacar que:

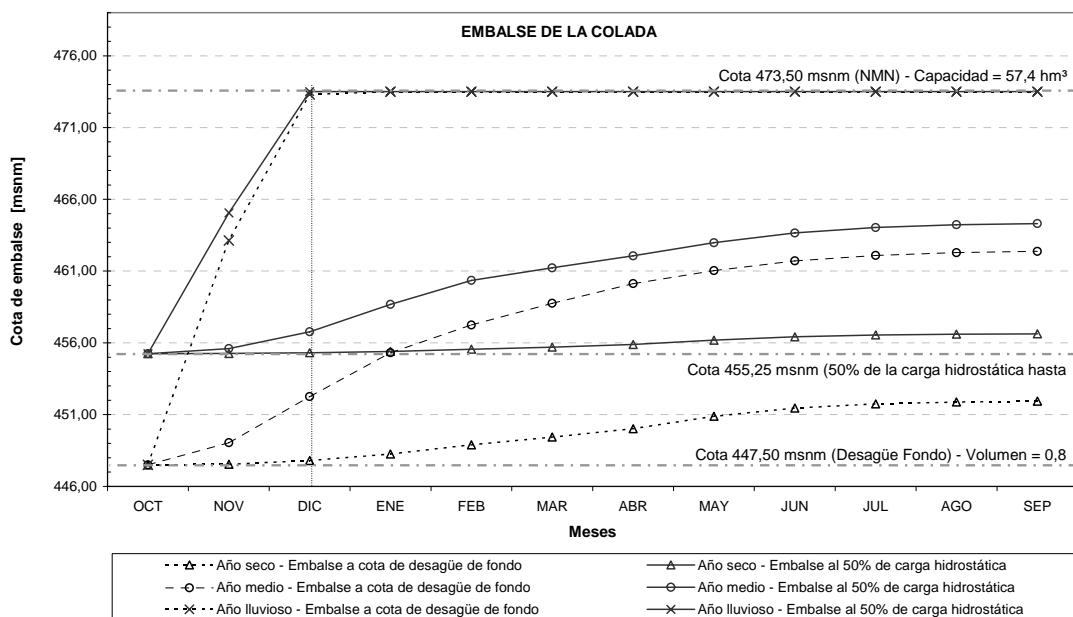
- En la mayoría de las presas que se han construido en los últimos años o están en fase de proyecto, el aliviadero es de labio fijo, siendo

los desagües de fondo, y en algún caso los intermedios, el único elemento de control del nivel de embalses. Como consecuencia, la posibilidad de control del llenado es reducida debido a la poca capacidad de los desagües de fondo, resultado del cálculo con los criterios tradicionales de diseño, incluyendo los de la antigua Instrucción, aplicados a los ríos y cuencas de las características consideradas.

- Por otro lado, el inicio de la puesta en carga viene condicionado principalmente por el cierre de las obras de desvío del río, que suele coincidir con el estío, si bien en presas de arco-gravedad o bóveda puede ser inmediato a la inyección de juntas al final del invierno o principios de primavera.

Esta última consideración unida a la escasa capacidad de control del nivel, nos lleva a considerar que son los meses del entorno de octubre y mayo los más probables para el inicio de la puesta en carga, puesto que no se suele poder demorar respecto al cierre del desvío debido a que la ocurrencia de pequeñas avenidas puede producir un llenado prácticamente total del embalse aun manteniendo los desagües de fondo abiertos.

A modo de ilustración de la influencia del mes elegido para el inicio de la puesta en carga, se muestra cual puede ser la evolución del nivel de embalse en diferentes hipótesis en la presa de La Colada, situada en un afluente del Zújar por su margen izquierda, en la provincia de Córdoba. Las hipótesis consideradas corresponden a años hidrológicos tipo: seco, medio y lluvioso, extraído del análisis estadístico<sup>3</sup> de la serie sintética de aportaciones al embalse; combinado con dos posibles inicios de la puesta en carga: mayo y octubre.

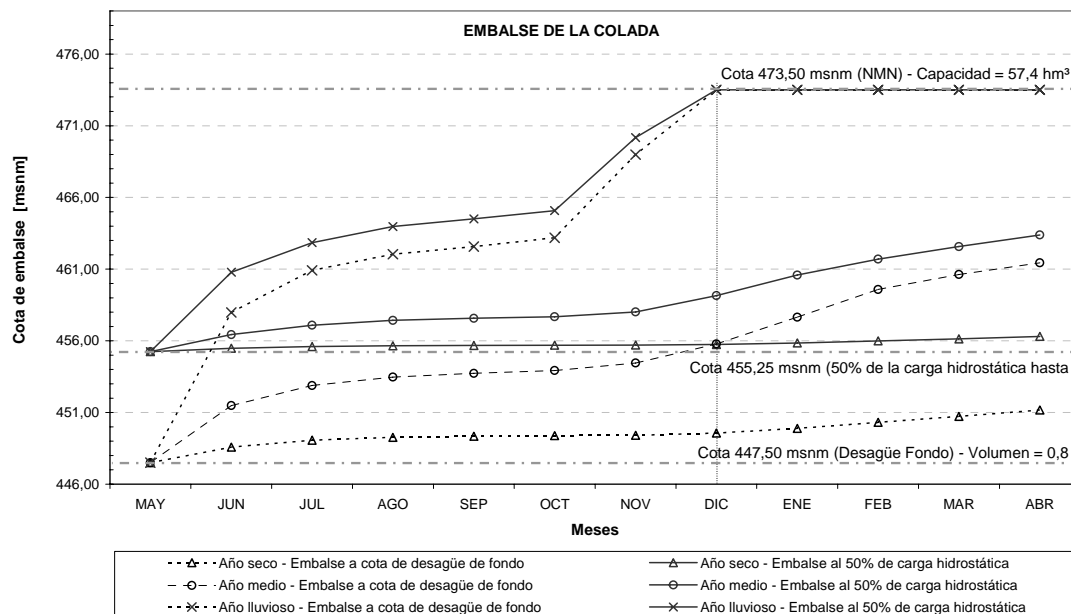


**Figura 1. Evolución del nivel. Presa de La Colada. Inicio en Octubre.**

Para el análisis de un hipotético segundo año de puesta en carga, se ha simulado la evolución del nivel en el caso de iniciar el año hidrológico con el

<sup>3</sup> Se ha aplicado la distribución Log-Normal a las aportaciones de cada mes obteniendo los valores correspondiente a una probabilidad del 5, 50 y 95% para los años seco, medio y lluvioso respectivamente.

embalse al 50% de carga, es decir, de la altura correspondiente al nivel máximo normal (NMN) desde la cota de cimentación.



**Figura 2. Evolución del nivel. Presa de La Colada. Inicio en Mayo.**

Como puede observarse en este caso, podría pensarse que es preferible iniciar el proceso de puesta en carga en mayo, ya que en caso contrario, si se presenta un año lluvioso la aportación es suficiente para llenar el embalse en cuatro meses, pero si se inicia el llenado en mayo, el embalse se llenaría de golpe al llegar el otoño teniendo dificultad para controlar el nivel de embalse y mantener los escalones fijados en el programa de puesta en carga para el tramo superior que es el más crítico. Por tanto, el inicio en octubre permite, si se presenta un año lluvioso, reducir el ritmo de llenado en otoño mediante los desagües de fondo, ya sea porque se reduce el caudal neto aportado o porque una vez pasados los periodos de lluvias intensas se baja el nivel en los días posteriores a las cotas de los escalones prefijados. De esta manera, dado que el llenado se ralentiza al llegar la primavera, es más fácil realizar los escalones marcados y se dispone de más tiempo -hasta octubre del año siguiente- para completar el llenado.

Hay que tener en cuenta que en el caso de la presa de La Colada, los desagües de fondo tienen una capacidad suficiente para controlar el nivel a lo largo del periodo de puesta en carga en una escala temporal de meses, dado que a la cota correspondiente al 50% de la carga hidrostática con respecto al NMN, la capacidad de desagüe es de aproximadamente 52 hm<sup>3</sup>/mes. En el apartado sobre situaciones extraordinarias previsible, se analiza la capacidad de los desagües de fondo en el caso de presentarse avenidas de bajo periodo de retorno durante el llenado y las consiguientes limitaciones de los desagües de fondo para la gestión de niveles en estos casos.

Con el fin de caracterizar los embalses de cara a su puesta en carga, se han establecido dos ratios, la relación entre la capacidad de embalse y la aportación anual media (C/A) y la relación entre el caudal punta de la avenida de 5 años de periodo de retorno y la capacidad de desagüe (QT5/QDF). En esta pre-

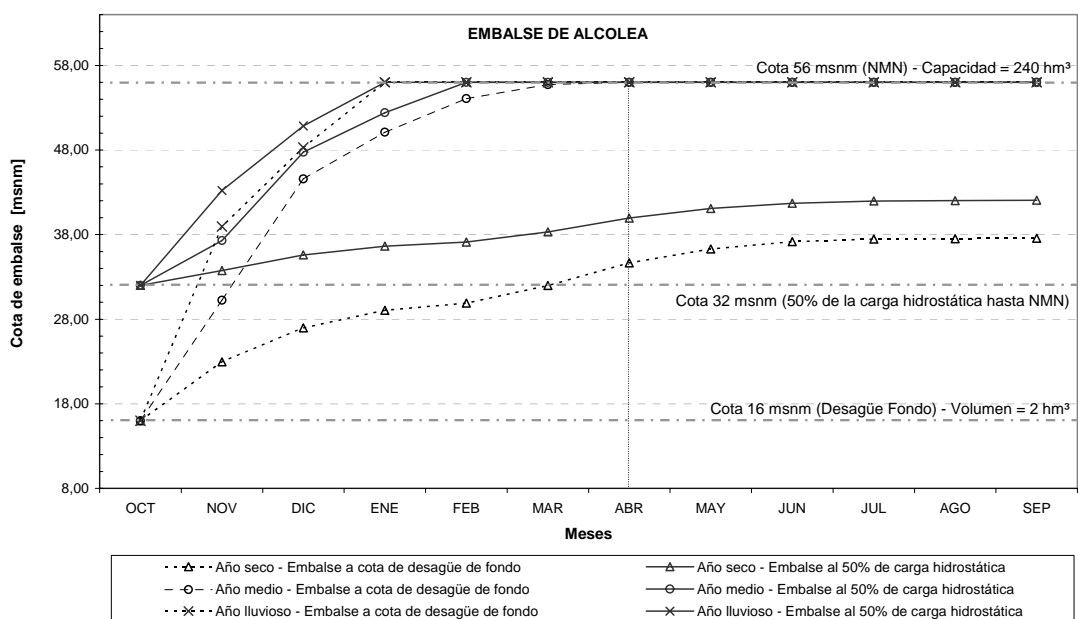
sa, la relación de volúmenes C/A es de 1,9, y la relación de caudales QT5/QDF es de 8,0.

### 3. EVOLUCIÓN PROBABLE DEL NIVEL DE EMBALSE

Tal como hemos visto en el apartado anterior, el estudio de la evolución probable del nivel de embalse en diferentes hipótesis, permite establecer el momento deseable de inicio de la puesta en carga, y como consecuencia, planificar las actividades relacionadas con las paradas correspondientes a los escalones, ya que nos dará una información valiosa sobre el plazo previsible para alcanzar dichos hitos.

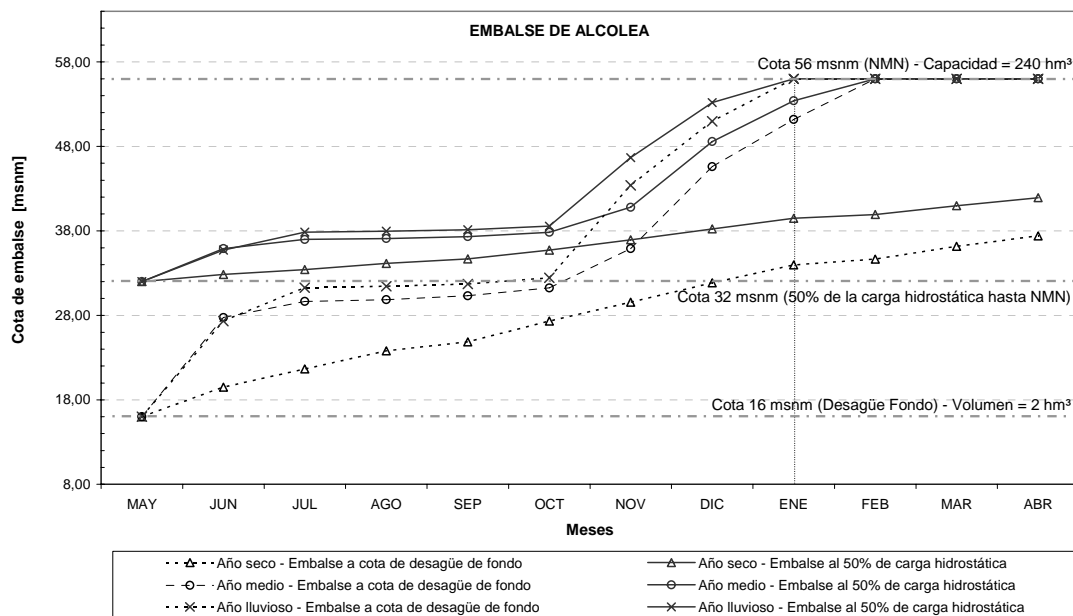
A modo ilustrativo, se muestra la presa de Alcolea, de futura construcción, que se situará en el río Odiel, en la provincia de Huelva. En esta presa, la relación entre la capacidad de embalse y la aportación anual media es de 0,8, y la relación entre el caudal punta de la avenida de 5 años de periodo de retorno y la capacidad de desagüe, incluyendo el desagüe intermedio, es de 4,5.

En el proyecto de la presa se incluye el régimen de aportaciones del río Odiel, con una serie sintética de datos medios mensuales que comienza en octubre de 1951 y finaliza en septiembre de 1992. De esta serie, se han extraído los años tipo: seco, medio y lluvioso, como promedio del grupo de cinco años más secos, cinco medios y cinco más lluviosos de la serie.



**Figura 3. Evolución del nivel de embalse. Presa de Alcolea. Inicio en Octubre.**

En la figura anterior, se ha simulado para cada año tipo la evolución del nivel de embalse, considerando el inicio del llenado al inicio del año hidrológico (embalse a cota de desagüe de fondo a principios de octubre) como si el cierre del desvío del río se realizara durante el verano. Para el análisis de un hipotético segundo año de puesta en carga, se ha simulado la evolución en el caso de iniciar el año hidrológico con el embalse al 50% de carga. En la figura siguiente, se muestra la misma simulación iniciando la puesta en carga en el mes de mayo.



**Figura 4. Evolución del nivel de embalse. Presa de Alcolea. Inicio en Mayo.**

Del análisis de las figuras 3 y 4 se pueden extraer las mismas conclusiones que en caso de la presa de La Colada, si bien, en el caso de Alcolea, el embalse se llena rápidamente en años medios y lluviosos, por ser la relación C/A inferior a 1 mientras que en el caso de La Colada, por tratarse de un embalse de regulación interanual ( $C/A=1,9$ ), la probabilidad de presentarse un año con aportaciones que compliquen el proceso de puesta en carga es menor.

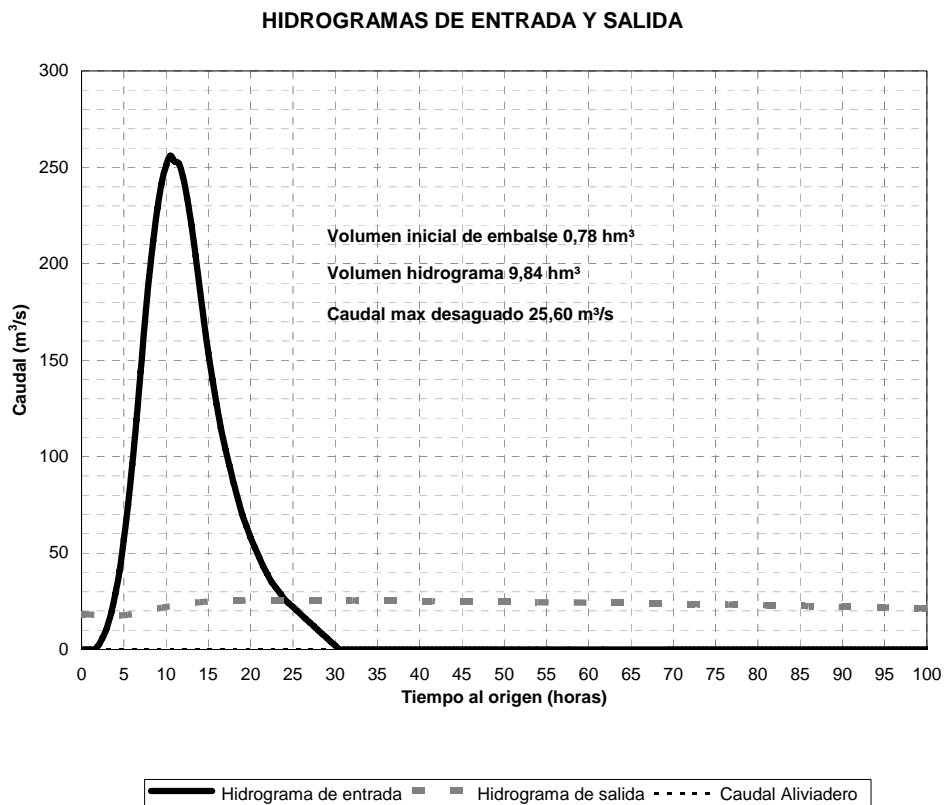
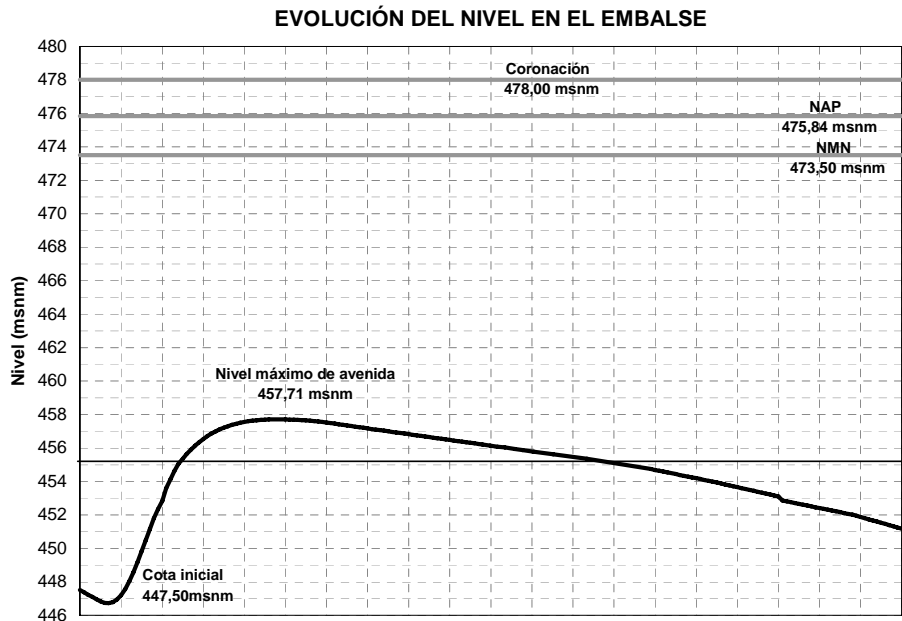
Es de destacar, que en el caso de la presa de Alcolea, la capacidad del desagüe de fondo e intermedio es proporcionalmente mayor que en el caso de La Colada, siendo el ratio QT5/QDF de 4,5 en el primer caso y de 8 en el segundo, lo que permite en la presa de Alcolea una mayor posibilidad de control del nivel de embalse, a pesar de tener un ratio C/A menor.

#### 4. SITUACIONES EXTRAORDINARIAS PREVISIBLES. AVENIDAS

Es conveniente analizar previamente al proceso de puesta en carga, y preferiblemente en la fase de proyecto, la repercusión que sobre la presa tienen la presentación de avenidas de bajo periodo de retorno por su elevada probabilidad de presentación en cualquier fase de la vida de la presa.

En la figura de la página siguiente, se muestra la laminación de la avenida de 5 años de periodo de retorno en la presa de La Colada, partiendo del embalse a cota de la embocadura de los desagües de fondo con estos abiertos al 100%.

Como puede apreciarse, la limitación en la capacidad de los desagües, produce que se pueda pasar de embalse vacío a más del 60% de la carga hidrostática correspondiente al NMN en caso de presentarse una avenida de muy bajo periodo de retorno.

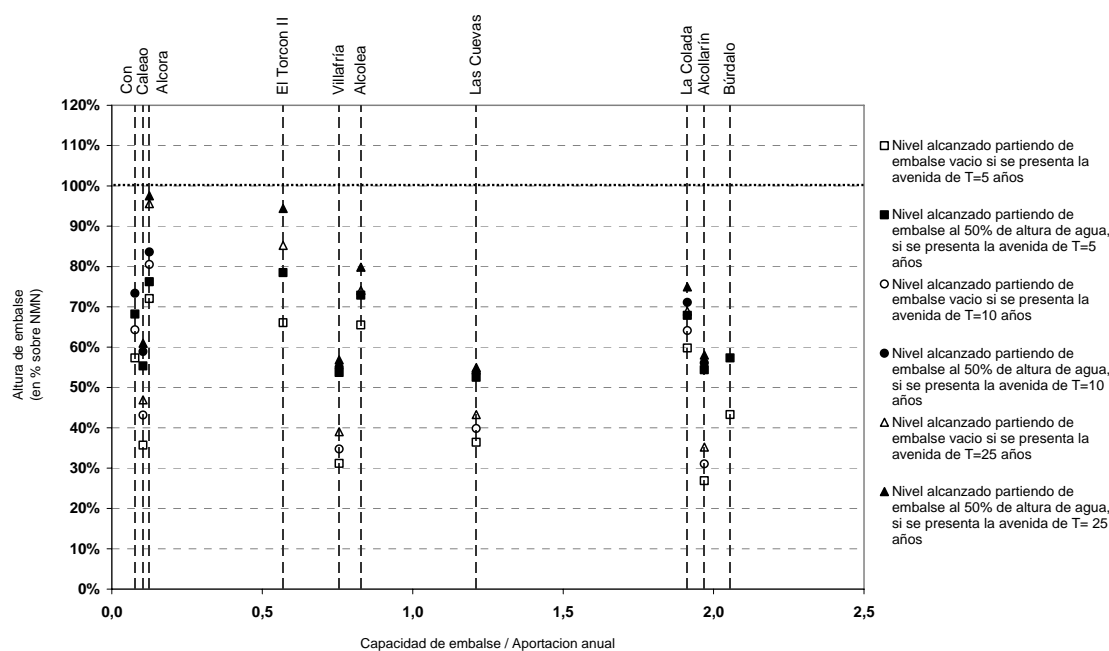


**Figura 5. Presa de La Colada. Laminación de la avenida de T=5 años partiendo del embalse vacío y desagües abiertos.**

La presentación de avenidas presenta dos problemas asociados, por un lado, las fuertes velocidades ascensionales, y por otro el riesgo de alcanzar el llenado total del embalse si haber podido establecer escalones o paradas de

control. La única forma de controlar las velocidades ascensionales es disponer de unos desagües de fondo de gran capacidad, lo cual deberá tenerse en cuenta en aquellas presas en que por cualquier motivo sea crítico el control de la velocidad ascensional.

En la figura 6 se muestra la variación del nivel de embalse en 10 presas españolas (Alcolea, La Colada, Búrdalo y Alcollarín en la cuenca del río Guadiana, Villafraía y Las Cuevas en el Duero, El Torcón II en el Tajo, Alcora en el Júcar y Con y Caleao en las cuencas del norte) escogidas sin ningún criterio específico, en caso de presentarse avenidas de periodos de retorno de 5, 10 y 25 años, partiendo de una situación inicial de embalse vacío y de embalse a 50% de su altura (desde el plano de cimentación hasta el NMN). La mayor parte son presas recientes o sin construir aún, exceptuando Con y Alcora.



**Figura 6. Niveles alcanzados en presencia de avenidas**

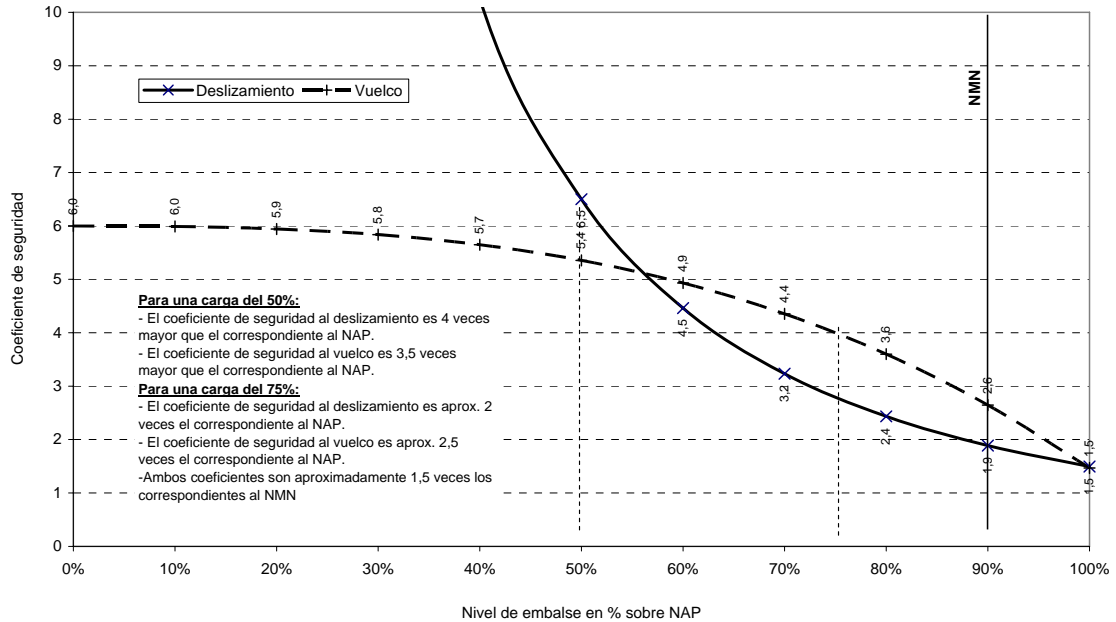
Partiendo del embalse vacío, el nivel medio alcanzado en la muestra al presentarse la avenida correspondiente a 5 años de periodo de retorno es del 49,4% de la altura correspondiente al NMN. El valor más elevado es de un 72% en el caso de la presa de Alcora, donde la relación entre la capacidad de embalse y la aportación media anual es de 0,1. Si se parte del embalse al 50% de la altura correspondiente al NMN, en presencia de las distintas avenidas analizadas, los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 1. Alturas de carga de agua alcanzadas al presentarse una avenida en los embalses de la muestra utilizada partiendo del embalse al 50%.**

Periodo de retorno	Altura de carga de agua alcanzada (en % del NMN)	
	Valor medio	Valor máximo
5 años	63,69	78,50
10 años	64,52	83,60
25 años	72,20	97,51
50 años	75,48	113,40



Es cierto que el coeficiente de seguridad estructural de una presa es menor cuanto mayor es la carga de agua a la que se somete. A modo de ejemplo se muestra su evolución para el caso de una presa de gravedad de 50 metros de altura, sección triangular con base horizontal, suma de taludes 0,8:1 (H:V) y cohesión despreciable, considerándose el coeficiente de seguridad al vuelco en relación a las tracciones en el pie de aguas arriba.



**Figura 7. Variación del coeficiente de seguridad con el nivel de embalse en una presa de gravedad de hormigón.**

Así, en la primera fase de llenado, si no existe ningún problema, la velocidad ascensional puede ser elevada puesto que la carga a la que se somete a la presa es aún pequeña. Según se avanza en cota, se debe reducir la velocidad máxima de ascenso admisible. Por ello, sería conveniente regular los distintos escalones de carga para evitar la última fase de llenado en época de las lluvias más fuertes.

En caso de que existan zonas conflictivas (inestabilidad de ladera, cimentación problemática en los estribos, etc.) se deberá reducir la velocidad ascensional cuando el nivel del embalse alcance las cotas correspondientes que deberán ser claramente identificadas en el Programa de Puesta en Carga, y ser objeto de un escalón de llenado si se considera oportuno, si bien como se ha indicado, puede ser una misión imposible si no se dispone de desagües de capacidad adecuada.

## 5. PUESTA EN CARGA DE BALSAS

No sucede lo mismo en el caso de las balsas, generalmente situadas fuera de cauces naturales - o con cuencas aportantes muy pequeñas - y abastecidas a partir de una conducción (canal o tubería) de forma que las aportaciones suelen estar controladas. Únicamente existe cierta incertidumbre en las aportaciones en forma de lluvia que cae sobre la superficie del embalse, si bien en este caso, el caudal aportado por lluvias es bastante reducido.

En caso de que la basa tenga cuenca aportante, se corre el riesgo de que una avenida produzca el llenado súbito de la balsa, no pudiendo evitarse mediante la operación de los desagües profundos, dado el probable tiempo de concentración reducido de la cuenca y por tanto el tiempo de respuesta disponible. Es importante verificar esta posibilidad, por pequeña que sea la cuenca aportante, dado que la única previsión posible es un robusto diseño del dique que elimine cualquier riesgo.

Es necesario incidir en la necesidad de disponer de una auscultación adecuada al tipo y dimensiones de la balsa - aforos de los drenes, nivelación, piezómetros, etc.- de forma que se pueda controlar el adecuado comportamiento durante la explotación, pero diseñada pensando en que el mayor riesgo corresponde al primer llenado y que por tanto será necesario realizar lecturas frecuentes durante esta fase por personal suficientemente adiestrado.

La disposición de equipos de auscultación, no evita la necesaria inspección diaria de los paramentos y pie de presa, especialmente en las proximidades de obras de fábrica, en busca de indicios de una posible tubificación, dado que es una causa frecuente de roturas en este tipo de presas y que por lo limitado de la zona afectada pueden no ser detectados por la auscultación, por completa que sea o producirse en un periodo de tiempo de pocos días, incompatible con su detección mediante auscultación.

En las balsas es recomendable, con el fin de disminuir los riesgos, establecer numerosos escalones de carga mantenidos durante periodos prolongados durante los cuales se realice una inspección diaria con objeto de detectar cualquier anomalía o en caso de producirse, disminuir los daños a la propia obra y a terceros. A título orientativo, se pueden establecer escalones cada metro a partir del segundo metro de carga, manteniendo dicho nivel durante al menos 15 días. Es decir, una balsa de 10 de carga de agua, se completaría su primer llenado en un plazo de 4 meses, plazo al que habrá que añadir el vaciado completo para inspección del vaso y un nuevo llenado sin paradas.

## 6. CONCLUSIONES

De lo expuesto anteriormente, se extraen las siguientes conclusiones, que deberían tenerse en cuenta en el desarrollo de futuras normas o recomendaciones sobre seguridad de presas en aspectos que influyen significativamente en la adecuada puesta en carga de los futuros embalses:

- En general, se considera escasa la capacidad de control del nivel de embalse de muchas presas debido a la pequeña dimensión de su desagüe de fondo a pesar de que se establece este requerimiento en el artículo 14.4. del Reglamento Técnico de Seguridad de Presas y Embalses, y se incide en ello en las guías técnicas, su cuantificación queda diluida en la aplicación de formulaciones tradicionales, como la Instrucción de 1967, relacionadas con el caudal medio y los tiempos de vaciado. Se considera oportuno incluir alguna recomendación en forma de condición de diseño de este órgano de desagüe teniendo en cuenta su función durante la puesta en carga y que podría estar relacionada con el caudal punta de alguna de las avenidas de bajo periodo de retorno.

- Por la importancia de análisis de eventos predecibles durante el llenado de un embalse, es importante remarcar la necesidad de obtener en fase de proyecto, junto con las avenidas necesarias para el dimensionamiento de la presa y aliviadero, los hidrogramas completos de las avenidas de bajos periodos de retorno: 2, 5, 10, 25 y 50 años, de forma que permitan analizar posibles estrategias en caso de presentarse estas avenidas más probables durante la puesta en carga.
- Dado que raramente se dispone de aforos en las proximidades del punto en el que se construye una presa, es recomendable prever en los proyectos una estación de aforo ya sea aguas abajo del embalse o aguas arriba que nos permita disponer de una serie de aportaciones reales, que en la mayoría de los casos superará los cinco años, si la estación se ejecuta al principio de las obras. Esta estación de aforo nos permitirá disponer de una valiosa información complementaria a las series sintéticas obtenidas a partir de las lluvias y poder realizar las simulaciones necesarias para un adecuado ajuste del programa de puesta en carga.
- Aunque no se ha tratado este aspecto, se considera fundamental que en fase de proyecto se realice un modelo estructural que defina el comportamiento de la presa para diferentes niveles de embalse y que éste sea ajustado a los datos obtenidos durante la construcción de la presa, de forma que a partir del mismo se establezcan los umbrales de alerta de las mediciones de auscultación y que se puedan contrastar los datos obtenidos mediante la auscultación verificando que el comportamiento es el esperado.