

Master en Ingeniería Medioambiental y Gestión del Agua 2007/2008

Módulo: abastecimiento y saneamiento urbano

PRESAS Y OBRAS FLUVIALES – I

ASPECTOS BÁSICOS

AUTOR: FRANCISCO BLÁZQUEZ PRIETO
ING. DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS



Índice

1. TIPOLOGÍA DE PRESAS	3
2. IMPORTANCIA SOCIOECONÓMICA Y MEDIOAMBIENTAL	4
3. COMISIÓN INTERNACIONAL DE GRANDES PRESAS	6
4. FUERZAS ACTUANTES SOBRE LA PRESA	7
4.1. <i>PESO PROPIO</i>	7
4.2. <i>EMPUJE HIDROSTÁTICO</i>	8
4.3. <i>PRESIÓN INTERSTICIAL Y SUBPRESIÓN</i>	8
4.4. <i>EFFECTOS TÉRMICOS Y DE FRAGUADO</i>	9
4.5. <i>MOVIMIENTOS SÍSMICOS</i>	10
4.6. <i>EMPUJE DE LOS SEDIMENTOS</i>	11
4.7. <i>OLEAJE</i>	11
4.8. <i>EMPUJE DEL HIELO</i>	11
4.9. <i>OTRAS SOLICITACIONES</i>	12
5. DESCRIPCIÓN Y ELEMENTOS DE LA PRESA.....	12
6. BIBLIOGRAFÍA.....	14

1. TIPOLOGÍA DE PRESAS

En el aspecto técnico las presas son quizá las obras más grandes e importantes. Sus dimensiones, el hecho de que estén destinadas a contener agua (que se escapa fácilmente por cualquier grieta), las enormes cargas que han de soportar (incomparablemente mayores que cualquier otra obra) y la necesidad de hacerlas en terrenos naturales complejos y a veces con dificultades geológicas, contribuyen a que los problemas a resolver exijan una elevada tecnología y especialización.

Los diferentes modelos de presas son consecuencia de las variadas exigencias que se plantean para la doble misión de resistir el empuje del agua y evacuar los caudales sobrantes. Así se establecen diferentes clasificaciones en función del parámetro tomado como base de la misma, las más importantes son:

- a) En cuanto al material empleado.
 - Presas de fábrica. Prácticamente todas son de hormigón, si bien existen casos de sillería, mampostería o ladrillos.
 - Presas de materiales sueltos: tierra (cuando más del 50% es tierra) y escollera (si más del 50% es roca)

- b) En cuanto a la forma de resistir y transmitir al terreno los empujes hidrostáticos.
 - Presas de gravedad. Tienen un peso notable para que la resultante de peso y empuje se sitúe en el interior de la base de la presa.
 - Presas de gravedad aligeradas. Pretenden un mejor empleo del material, su forma más frecuente es la de contra fuertes.
 - Presas arco. Tienen curvatura horizontal o doble curvatura (presas bóveda)
 - Presas arco gravedad. Tipo intermedio entre gravedad y las bóvedas.
 - Otros tipos: Pantalla plana, bóvedas múltiples, otras presas aligeradas.

- c) En cuanto a la posición del material impermeabilizante (presas de materiales sueltos)



- Presas homogéneas. El propio material resistente es impermeable.
- Presas de materiales heterogéneos. Únicamente es impermeable el núcleo, este puede ser vertical o inclinado.
- Presas con pantalla impermeable aguas arriba o con diafragma en el centro. Las pantallas suelen ser de hormigón armado u hormigón bituminoso

- d) En cuanto a la situación del aliviadero.
- En la propia presa (presa vertedero)
 - Independiente de ella

A efectos de clasificación, ICOLD establece una normalización con seis grandes tipos donde se agrupan prácticamente todas las presas existentes, éstos son:

- TIERRA (TE)
- ESCOLLERA (ER)
- GRAVEDAD (PG)
- CONTRAFUERTES (CB)
- BÓVEDA (VA)
- BÓVEDAS MÚLTIPLES (VM)

Es de destacar que el 67% de las presas españolas superiores a 15 m. son de gravedad y con material de fábrica (hormigón) mientras que en el total mundial el conjunto de presas de materiales sueltos supera el 82 %. La razón hay que buscarla en las fuertes crecidas de nuestros ríos que obligan a construir aliviaderos en la propia presa como solución más económica.

2. IMPORTANCIA SOCIOECONÓMICA Y MEDIOAMBIENTAL

Debe recordarse que toda actividad u obra debe juzgarse por el conjunto de sus consecuencias y no sólo por algunas tomadas de forma aislada y negativa por



sistema. Social y económicamente las presas son las construcciones que más beneficios dan, y de aquí su valor político. Y es porque el regular el agua, el darla cuando falta mientras se contiene cuando pueda dañar, es un bien inmenso del que se derivan varios otros: riegos (alimentos), energía, protección de campos y ciudades, abastecimientos de aguas, etc.

Cada vez más, las presas sirven para varios usos, pero incluso cuando se destinan a sólo uno, el efecto de su embalse se extiende automáticamente a otros beneficios, aunque sean indirectos, como la contención de avenidas. Por ello, las grandes presas encabezan real y simbólicamente los grandes planes nacionales y regionales, a los que incluso llegan a dar nombre; piénsese lo que es la presa de Las Tres Gargantas para China no sólo en economía, sino en política, por lo que ha tenido hasta repercusiones internacionales. Una presa de esa importancia puede ser decisiva para un país y constituir incluso un símbolo de su capacidad creadora o de una política nacional.

En el aspecto medioambiental es claro que las presas producen una modificación del medio natural, cuyo efecto más importante es la inundación del valle y la existencia de la propia presa. Los efectos puramente materiales (sustitución de carreteras, edificios, etc.) se plantean y deciden con números, como contrapartidas de los beneficios; si la compensación no es suficiente, el embalse no se hará.

Los problemas humanos tienen una calidad no reducible a simples números, el desarraigo de quien ha nacido, crecido y quizá envejecido en un sitio, exige la máxima comprensión y un enfoque humano y social del problema. Si la sociedad impone a unos pocos un sacrificio para beneficiar a muchos, debe hacerlo tratando de paliar y compensar los daños en la medida de lo posible, con generosa comprensión. También es cierto que a veces hay agitadores en río revuelto y abusos en sentido contrario, pero el problema de fondo existe.



Los cambios en la biota natural son inevitables, pero salvo excepciones no suelen ser importantes, e incluso pueden compensarse con introducción de nuevas especies. Así, en algunos embalses españoles el valor de la pesca anual supera al de los productos agrícolas que podrían haberse obtenido en una superficie igual a la del embalse dedicada a regadío.

El aterramiento de los embalses se ha convertido en un auténtico tópico, quizá por lo llamativo de su planteamiento que toma la excepción como regla. La mayor parte de los embalses españoles tienen una vida estimada superior a los 200 años, sólo algunos insulares y mediterráneos con cauces rápidos y poca vegetación pueden sufrir antes pérdidas de eficacia por aterramiento parcial pero, salvo algún caso excepcional, serán útiles durante décadas. Como esas cuencas son fértiles y con gran desigualdad hidrológica, el efecto de los embalses es muy beneficioso, aunque no sea tan duradero como en el resto.

Por último, la inundación cambia el paisaje, pero no forzosamente a peor. Un planteamiento sensible e inteligente puede llevar a mejorarlo en la mayor parte de los casos, aprovechando la creación de un lago, que en sí tiene valores estéticos, deportivos y de disfrute, como ya sucede en varios embalses y se extenderá cada vez más.

3. COMISIÓN INTERNACIONAL DE GRANDES PRESAS

Esta Entidad es conocida internacionalmente por su anagrama en inglés ICOLD (International Commission on Large Dams). Es una organización no gubernamental fundada en 1928 para intercambios de experiencias y hacer llegar una más depurada tecnología a todos los países. Su sede está en París y sus miembros son los diferentes Comités Nacionales que agrupan a las personas y entidades relacionadas con este tema. Actualmente existen 85 países adheridos.

El intercambio se desarrolla a través de congresos, simposios y comités técnicos. Debe destacarse la actividad de esta organización como recolectora y distribui-



dora de prácticamente toda la experiencia mundial sobre la diferente problemática presística mediante edición de ponencias, informes y discusiones de los citados congresos así como de boletines o libros técnicos sobre temas específicos.

En el aspecto medioambiental, el Comité de Medio Ambiente fue creado en 1972, en 1980 se publicó (Boletín nº 35) una matriz para servir como guía para la identificación y evaluación de todos los efectos de una presa sobre los parámetros específicos medioambientales y en 1997 se editó la Declaración Sobre las Presas y el Medio Ambiente en cuyo primer párrafo se señala como objetivo “incrementar la sensibilidad hacia los problemas medioambientales ligados a la ingeniería de presas”.

4. FUERZAS ACTUANTES SOBRE LA PRESA

Analizando las variables que producen tensiones en la presa se observan las siguientes:

- a) Peso propio - Empuje hidrostático - Presión intersticial y subpresión - Efectos térmicos
- b) Movimientos sísmicos - Empuje de los sedimentos - Oleaje - Empuje del hielo

Las más importantes son las cuatro primeras y por lo tanto serían las más tenidas en cuenta a la hora del dimensionamiento. Las otras cuatro son de tipo secundario en general, si bien las excepciones existen. Se debe recordar que todas ellas se transmiten al terreno y son equilibradas por las reacciones del mismo.

4.1. PESO PROPIO

Es una fuerza fundamental cuyas características principales son:

- Pasiva, permanente
- Bien definida.

El peso depende de la forma, dimensiones y materiales de la presa. La densidad de los mismos es el único factor no conocido en el proyecto por lo que conviene



una cierta prudencia en su estimación, de hecho la norma autoriza $2,3 \text{ T/m}^3$ y, si bien se están obteniendo densidades reales de $2,55 \text{ T/m}^3$, una disminución excesiva de las dimensiones tiene poca influencia en la economía y puede perjudicar la seguridad.

Siempre, a lo largo de la construcción deben hacerse controles sistemáticos y una diferencia del 2 % obligará a una revisión de los cálculos del proyecto para su adaptación a la realidad.

4.2. **EMPUJE HIDROSTÁTICO**

Es otra fuerza fundamental cuyas características son:

- Activa, variable.
- Perpendicular al paramento.
- Bien definida.

En función de la geometría de la presa el empuje tendrá una componente principal horizontal (presas de gravedad) o vertical (presas de materiales sueltos). Así en una rebanada de ancho unidad los componentes del empuje serán:

$$H = 1/2 h^2$$

$$V = 1/2 h^2 \cdot \text{tg } \alpha \quad (\alpha = \text{ángulo entre paramento y vertical})$$

En relación con esta fuerza deben tenerse en cuenta los aspectos siguientes:

- Pueden aparecer empujes hacia arriba en presas bóveda.
- El empuje debe calcularse hasta el punto bajo de la cimentación.
- El empuje es proporcional al cuadrado de la altura.

4.3. **PRESIÓN INTERSTICIAL Y SUBPRESIÓN**

El agua en contacto con la presa se filtra a través de sus huecos y poros lo que produce los siguientes efectos.

- Pérdida de agua por filtración.
- Posible arrastre de material fino.



- Presiones hidrostáticas en el interior de la presa. Estas presiones son desestabilizadoras ya que su componente vertical se opone al peso.

En el interior de la presa se forma una red de corriente definida por dos familias de curvas: las líneas de corriente o trayectorias y las líneas equipotenciales ortogonales a las anteriores. La red de corriente es independiente de la permeabilidad y depende de la forma y dimensiones. Las líneas equipotenciales unen los puntos cuyo nivel hidrostático (no su presión) es el mismo.

La más alta de las líneas de corriente se denomina línea de saturación y representa el límite de la zona sometida a presiones intersticiales, por encima de ella el material está seco.

En las presas de hormigón, la integral de las presiones internas a lo largo de una superficie que corte a la presa o a su cimentación da una fuerza denominada subpresión que es desfavorable al oponerse al peso propio.

El problema que plantea esta fuerza es que no puede estimarse con exactitud y es preciso hacerlo por hipótesis. En las presas de gravedad se emplea el coeficiente 0,5 respecto a la presión hidrostática.

4.4. EFECTOS TÉRMICOS Y DE FRAGUADO

Las temperaturas externas actúan en los paramentos y su transmisión es lenta debido al bajo coeficiente de transmisividad térmica del hormigón. Esto da origen a que:

- El tiempo de transmisión sobrepase los tres meses.
- Las temperaturas interiores tengan un desfase respecto a la ambiental
- Las temperaturas externas influyan sólo en el paramento favoreciendo su deterioro.

Las presas más afectadas por las variaciones de temperatura son las presas bóveda debido a su esbeltez. Estas se construyen como bloques independientes y se



unen mediante inyecciones al final de la obra de forma que los desplazamientos impedidos generan tensiones adicionales. Como conviene que éstas sean de compresión, normalmente el cierre de juntas se efectúa en el momento en que la presa está más fría, esto es, los primeros días de primavera.

Las presas de gravedad funcionan como elementos separados por lo que no se crean tensiones de este tipo salvo en casos poco usuales y las presas de materiales sueltos tampoco presentan problemas de este tipo debido a su deformabilidad.

Un aspecto a tener en cuenta es que en el proceso de fraguado del hormigón se desprende una gran cantidad de calor que se elimina con lentitud provocando altas temperaturas en el interior de los bloques y fenómenos tensionales al disminuir éstas. Para disminuir dichos fenómenos se emplea cemento con bajo calor de hidratación e incluso se montan redes de circulación de agua fría en el interior de los bloques.

4.5. MOVIMIENTOS SÍSMICOS

Estas acciones se caracterizan por su distribución espacial (sólo se producen en ciertas zonas) y por su aleatoriedad tanto en la fuerza como en la distribución temporal. El movimiento sísmico produce:

- Una oscilación del terreno que se transmite a la base y estribos generando tensiones
- Una actuación sobre el agua dando lugar a un empuje suplementario.
- Ondas que pueden originar desbordamientos o deslizamientos de estratos sobre el embalse que igualmente darían lugar a olas peligrosas.

Independientemente de estos fenómenos, la propia presa puede provocar microsismos o incluso movimientos más sensibles porque el agua del embalse, con su peso, altera el estado de cargas del terreno. Este fenómeno se ha observado en embalses de más de 100 m. de altura.



En España únicamente se consideran de alta sismicidad las tres zonas siguientes: Málaga-Granada, Murcia-Alicante y Pirineo Navarro-Aragónés.

4.6. EMPUJE DE LOS SEDIMENTOS

Los sólidos que transporta el agua se depositan al quedar remansada, formando un depósito cuyo empuje se suma al del agua. Normalmente esos depósitos y ese empuje son muy bajos pero en algún caso (litoral mediterráneo) son importantes.

Para el cálculo del empuje, la Instrucción permite que se considere un empuje equivalente al de un líquido con densidad 0,4 y hasta la altura estimada del depósito en 100 años. Con estos datos, un sedimento que alcance el 50 % de la altura de presa significa un empuje del 10 % del hidrostático.

4.7. OLEAJE

La acción del viento produce olas que impactan en el paramento y además, si la altura de ola es elevada, estas podrían sobrepasar la coronación y verter sobre la presa, hecho grave si ésta es de materiales sueltos. La sobreelevación, consecuencia de las olas, puede alcanzar 1,50 m en un embalse medio y hasta 3,00 m en un gran embalse.

Los empujes dinámicos suelen tener poca importancia, en cambio el eventual vertido debe evitarse. A tal fin se mantiene un resguardo entre el máximo nivel extraordinario y la coronación e incluso se construye un murete protector en el lado de aguas arriba de la misma.

4.8. EMPUJE DEL HIELO

Este empuje sólo se produce en caso de que se forme una capa continua de hielo entre la presa y las orillas y es consecuencia de que el agua al solidificarse aumenta su volumen en un 10 %.



Si el espesor es pequeño, la compresión de la capa produce su pandeo y no se producen empujes apreciables. Por ello la Instrucción limita la consideración de este empuje a los casos en que sea previsible la formación de una capa con espesor superior a los 20 cm. En este caso se tomará un empuje de 10 T/m^2 .

En España el efecto del hielo, salvo en alguna excepción, es despreciable y lo que sí debe tenerse en cuenta es la acción de las bajas temperaturas al provocar posibles bloqueos de mecanismos y deterioros en los paramentos.

4.9. OTRAS SOLICITACIONES

A título meramente informativo se comenta que en algunos casos aislados habrá que tener en cuenta los efectos de frenado de vehículos en el paso por coronación, el efecto del viento, la expansión del hormigón por procesos químicos, la degradación del terreno de cimentación, etc. Estos casos requieren estudios específicos de la problemática generada.

5. DESCRIPCIÓN Y ELEMENTOS DE LA PRESA

Se denomina **cerrada** al terreno donde se ubica la presa y **vaso** al terreno cubierto por el embalse. El terreno de **cimentación** es aquel sobre el que se asienta la presa. Cuando la forma de la presa no se adapta al terreno, se precisa la construcción de **estribos** como zonas de transición entre ambos.

La **sección** de una presa de gravedad es un triángulo rematado por un trapecio menor que sirve de coronación y para el paso de peatones o vehículos. Los **taludes** de la presa son muy diferentes, en el paramento aguas arriba se emplea el vertical o 0,05 (5 en horizontal por cada 100 en vertical) mientras que en el paramento aguas abajo oscila entre 0,7 y 0,8.

El talud aguas arriba se adopta por razones funcionales y estéticas, si bien es más complejo constructivamente. La **coronación** puede aligerarse con voladizos. En



la zona de vertedero la sección se modifica para permitir el paso del agua, desaparece la parte superior del triángulo quedando los taludes rematados por una curva. La continuidad del paso superior se consigue con un puente sobre el **aliviadero**.

Para minimizar las presiones intersticiales se sitúa una **red de drenaje** en plano relativamente cercano al paramento aguas arriba de forma que las líneas de corriente, buscando el mínimo recorrido de filtración, converjan hacia los drenes dejando el resto de la presa libre de subpresiones.

La intensidad del drenaje depende del diámetro de los **drenes** (los diámetros más empleados son entre 5 y 10 cm) y de su separación (actualmente se toma entre 1 y 3 m). La necesidad de observación y posibles inyecciones desde el interior de la presa conducen al establecimiento de **galerías** horizontales o inclinadas a las que van a parar los drenes. Estas se sitúan a diferencias de cota entre 15 y 30 m. y en ellas se recoge el agua filtrada que se conduce por unas cunetas al exterior.

Hasta hace pocos años las galerías eran de pequeñas dimensiones (es típico 1,50 x 2,50) pero en las nuevas grandes presas se tiende a hacerlas capaces de permitir el paso de pequeños vehículos (3,00 x 3,00 m.). Los drenes acceden a las galerías cerca de la pared aguas arriba o por la **clave** (punto más alto de la galería).

Para evitar la obstrucción de los drenes debe colocarse un tapón en su zona superior. Se exceptúan los drenes de la galería inferior cuya única salida es la boca superior. Para evitar su obstrucción puede ponerse una cubierta con salidas laterales.

El plano de drenes se suele colocar a 1,50 m. del paramento aguas arriba en coronación. Los drenes de roca (que parten de la solera de la galería) deben prolongarse bastante en el terreno llegándose en algunos casos a una profundidad igual a la altura de la presa con el fin de captar todo el agua posible y eliminar subpresiones.



6. BIBLIOGRAFÍA

Por la propia naturaleza del tema existe una notable bibliografía, por ello se resumirá indicando los libros y documentos que, en general, serán más empleados.

- Eugenio Vallarino. Tratado básico de presas. Colegio Ing. Caminos. Madrid 2003
Ya va por la 5ª edición y es un clásico. Una gran parte de este tema está extraída de él. Se recomienda para quién desee profundizar sobre este tema.
- Bureau of Reclamation. Proyecto de presas pequeñas. Ed. DOSSAT. Madrid 1970
Muy técnico, es el “manual” norteamericano. Difícil encontrar en castellano.
- Textos oficiales:
Instrucción para el Proyecto, Construcción y Explotación de Grandes Presas. 1967
Reglamento Técnico sobre Seguridad de Presas y Embalses. 1996
- Publicaciones ICOLD y Comité Nacional Español de Grandes Presas
 - Destacan las “Guías Técnicas de Seguridad de Presas” escritas como apoyo al Reglamento Técnico sobre Seguridad.
 - Boletines sobre temas específicos.
- Otras publicaciones MIMAM
 - Dentro de las Guías metodológicas para la elaboración de estudios de impacto ambiental, la Guía nº 2. Grandes Presas.
 - Inventario de presas españolas hasta 1996.
 - Embalses y medio ambiente. 1996