

Para ver esta película, debe
disponer de QuickTime™ y de
un descompresor .

Captaciones superficiales. Presas y embalses. Generalidades. Elementos.

Ingeniería Medioambiental y Gestión del Agua

Año 2015-2016

PROFESOR

Francisco Blázquez Prieto

Para ver esta película, debe
disponer de QuickTime™ y de
un descompresor .

Esta publicación está bajo licencia Creative Commons Reconocimiento, Nocomercial, Compartirigual, (by-nc-sa). Usted puede usar, copiar y difundir este documento o parte del mismo siempre y cuando se mencione su origen, no se use de forma comercial y no se modifique su licencia. Más información:

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>

Índice

1. Introducción	3
2. Principales presas en el mundo.....	3
3. Principales presas en España.....	4
4. Importancia económica y técnica	5
5. Efectos ambientales y sociales.....	6
6. Comisión internacional de grandes presas	7
7. Tipología de presas.....	7
8. Fuerzas actuantes sobre la presa	9
9. Descripción y elementos de la presa	13
10. Órganos de desagüe	14
11. Partes de un aliviadero	16
12. Vertederos de labio fijo	16
13. Aliviadero con compuertas	17
14. Formas de vertido	18
15. Compuertas y ataguías.....	19
16. Desagües profundos	21
17. Elementos de cierre. Válvulas.....	23

1. Introducción

En España, debido a sus peculiares características geológicas y climáticas, la mayor parte del agua empleada en los diferentes usos se obtiene a partir de los caudales fluyentes por los ríos. Esto hace que exista un alto grado de desarrollo en relación con las obras destinadas a la captación de aguas fluviales entre las cuales destacan las destinadas a embalsarlas con el fin primordial de obtener una cierta independencia de las condiciones naturales y una mayor flexibilidad en su aprovechamiento. En este apartado se efectuará una breve reseña histórica sobre la evolución y situación actual de las presas en España.

La tradición presística en nuestro país es de las más antiguas del mundo. De hecho, se tienen referencias de 80 presas anteriores al año 1800 de las cuales se mantienen en servicio 54. Según el Inventario del MIMAM, están en servicio 24 grandes presas, de las cuales cabe destacar por su antigüedad las presas de Cornalvo y Proserpina (siglo I), Almansa (siglo XIV) y Tibi (siglo XVI). Destaca el impulso dado en el reinado de Carlos III llegando a alcanzarse alturas de 49 m en Valdeinfierno (Murcia). A lo largo del siglo XIX se construyen las presas sobre bases más científicas, estando en servicio 33 de dicho siglo.

Es ya en el siglo XX cuando se observa el mayor crecimiento en la construcción de presas pasando de las 57 existentes en 1900 a 209 en 1940; 664 en 1970 y 1.010 en 1990, con una capacidad total de embalse de 50.000 hm³ (dato importante teniendo en cuenta que la aportación anual media de los ríos españoles es de 110.000 hm³)

En la década de los 90 se mantiene un menor ritmo (130 presas) y a principios de 2010 se encuentran 36 presas en construcción. En la actualidad en España hay 1.252 grandes presas que embalsan 55.208 hm³.

En lo sucesivo denominaremos como gran presa la definición que figura en la Instrucción “son todas las presas de más de 15 m de altura sobre cimientos o en las presas entre 10 y 15 m de altura que respondan a una al menos de las condiciones siguientes: capacidad de embalse superior a 100.000 m³, características excepcionales de cimientos o cualquier otra circunstancias que permita calificar la obra como importante para la seguridad o economía pública.

2. Principales presas en el mundo

Como reflejo y resumen de la tecnología actual en este terreno se incluyen a continuación los cuadros siguientes en los que figuran los datos de las mayores presas y embalses según sus diversos parámetros constructivos o funcionales.

POR ORDEN DE ALTURA SOBRE CIMIENTOS

Nº	NOMBRE	ALTURA (m)	PAÍS	TIPO
1	Nurek	317	Tadzhikistán	Tierras
2	Jinping-I	305	China	Bóveda
3	Xiaowan	292	China	Bóveda
4	Xiluodu	285,5	China	Bóveda
5	Grande Dixence	285	Suiza	Gravedad

POR MAYOR CAPACIDAD DE EMBALSE

Nº	NOMBRE	CAPACIDAD (hm ³)	PAÍS	RIO
1	Owenfalls	204.800	Uganda	Lago Victoria
2	Bratsk	169.000	Rusia	Bratsk
3	Assuan	164.000	Egipto	Nilo
4	Kariba	160.000	Zimbabwe	Zambeze
5	Akosombo	148.000	Ghana	Volta

3. Principales presas en España

Las presas más altas de España son:

Nº	Nombre	Altura (m)	Provincia	Río	Tipo	Año
1	Almendra	202,0	Salamanca	Tormes	Bóveda	1970
2	Canales	157,5	Granada	Genil	Escollera	1992
3	Canelles	150,0	Huesca	N. Ribagorzana	Bóveda	1960
4	Las Portas	141,0	Orense	Camba	Bóveda	1974
5	Aldeadávila	139,5	Salamanca	Duero	Arco-gravedad	1963
6	Alcántara	135,0	Cáceres	Tajo	Contrafuertes	1969

7	Susqueda	135,0	Girona	Ter	Bóveda	1968
8	El Atazar	134,0	Madrid	Lozoya	Bóveda	1972
9	Béznar	134,0	Granada	Izbor	Bóveda	1986
10	Salime	134,0	Asturias	Navia	Gravedad	1956

Los embalses con mayor capacidad de España son:

Nº	Nombre	Capacidad	Provincia	Río
1	La Serena	3.232,0 hm ³	Badajoz	Zujar
2	Alcántara	3.162,0 hm ³	Cáceres	Tajo
3	Almendra	2.648,6 hm ³	Salamanca	Tormes
4	Cíjara	1.670,0 hm ³	Badajoz	Guadiana
5	Buendía	1.638,7 hm ³	Guadalajara	Guadiela
6	Mequinenza	1.533,8 hm ³	Zaragoza	Ebro
7	Valdecañas	1.446,0 hm ³	Toledo	Tajo
8	Ricobayo	1.200,0 hm ³	Zamora	Esla
9	Alarcón	1.112,0 hm ³	Cuenca	Júcar
10	Iznajar	980,0 hm ³	Córdoba	Genil

4. Importancia económica y técnica

La principal característica de las presas es su gran utilidad económica y social. 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 o Assuán para Egipto, no sólo en economía, sino en política, por lo que han 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.

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 almacena cuando

pueda dañar, es un bien inmenso del que se derivan varios otros: riego (alimentos), energía, protección de campos y ciudades, abastecimientos de aguas, etc.

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. Esta no es degradante, por lo monográfica, sino todo lo contrario; el especialista en presas requiere conocimientos amplios de varias ciencias y técnicas: mecánica de materiales, reología, geología, mecánica del suelo y de las rocas, hidráulica, hidrología, etc.

5. Efectos ambientales y sociales

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.

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.

Pero los problemas humanos, el desarraigo de las familias que han nacido, crecido y quizá envejecido en un sitio, tienen otra calidad no reducible a simples números, y exigen 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 razonable y 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 siembras de nuevas especies adecuadas. 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 intensivo.

El aterramiento de los embalses se ha convertido en un auténtico tópico, que ha conseguido un desafortunado eco, quizá por lo llamativo y primitivo de su planteamiento que toma la excepción como regla, sin más análisis. 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.

6. 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 81 países adheridos.

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

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

- 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 contrafuertes.
 - Presas arco. Pueden tener curvatura horizontal o doble curvatura (presas bóveda)
 - Presas arco gravedad. Tipo intermedio entre las de gravedad y las presas bóveda.
 - Otros tipos: Pantalla plana, bóvedas múltiples, otras presas aligeradas.

- c) 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: Tierras (más del 50% es tierra) y escollera (más del 50% es roca)

- d) En cuanto a la posición del material impermeabilizante en las presas de materiales sueltos.
 - Presas homogéneas. El propio material resistente es impermeable.
 - Presas de materiales heterogéneos. Únicamente es impermeable el núcleo, éste 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.

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.

8. 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 serán 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.

8.1. 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.

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.

8.2. 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:

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

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

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.

8.3. 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 sus componentes verticales se oponen 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 húmeda y 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.

8.4. 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 extremas 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. Éstas 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.

8.5. 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 tres zonas: Granada, Murcia Alicante y Pirineo.

8.6. 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 de Grandes Presas 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.

8.7. OLAJE

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 sobre elevación, 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.

8.8. 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/m².

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.

8.9. OTRAS SOLICITACIONES

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.

9. 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 m) 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.

10. Órganos de desagüe

10.1. TOMAS

La presa retiene el agua para utilizarla, y ello requiere unos órganos de desagüe voluntarios para controlar esa utilización, estos desagües de explotación se denominan tomas y pueden ser de varios tipos y posiciones. Puede haber varias, cada una para un uso, o comunes para varios, que luego se bifurcan en otro lugar.

Los caudales derivados por las tomas son los normales, próximos al medio anual o un múltiplo moderado de él. Una toma para abastecimiento desaguará un caudal cercano al medio, pues requiere continuidad (la regulación diaria se suele hacer en depósitos próximos al consumo); una toma para riego requerirá un caudal doble o triple del medio, porque la aportación regulada se

concentra en pocos meses; y una toma para una central hidroeléctrica de puntas se hará para un caudal triple a séxtuplo del medio (8 a 4 horas de punta diaria).

10.2. ALIVIADEROS Y DESAGÜES

Junto con este objetivo de explotación, la presa se encuentra con otro hecho, que es la necesidad de evacuar el agua sobrante de las avenidas, pues por grande que sea un embalse no hay seguridad de que no se presente una crecida excepcional que rebase su capacidad de retención. Este problema se hace tanto más notorio y frecuente cuanto menor sea el volumen del embalse respecto a las aportaciones de la cuenca.

La evacuación de estos caudales excedentes presenta, además, una característica: como los sobrantes no se presentan repartidos en un largo periodo, sino concentrados en avenidas de duración relativamente corta (pocos días u horas) con caudales muy elevados, su evacuación de éstos plantea problemas de gran importancia, no sólo por la magnitud de los caudales, sino porque la elevación de nivel producida por la presa en el cauce crea una energía suplementaria que ha de amortiguarse de alguna forma: naturalmente (con las erosiones consiguientes) o artificialmente gracias a dispositivos para evitar tales daños.

Los órganos destinados a la evacuación de caudales sobrantes pueden ser de varios tipos, según su situación:

- Aliviaderos de superficie.
- Desagües profundos (de medio fondo y de fondo).

Los primeros suelen ser los elementos empleados para la evacuación de avenidas, aunque se acusa una tendencia cada vez mayor a usar para ello los de medio fondo e incluso los de fondo. Estos últimos suelen ser más usados para controlar el nivel del embalse, vaciarlo total o parcialmente, descargar sedimentos acumulados en el fondo, etc.

Los caudales máximos de los aliviaderos de superficie son de 30 a 50 veces (o más) el caudal medio. En los desagües de fondo e intermedios suelen ser del orden de 10 a 20 veces el caudal medio, aunque ya se ha dicho que hay una tendencia clara a reforzar los desagües de fondo y medio fondo.

La magnitud de los caudales y la gran energía a amortiguar hacen que este elemento aparentemente secundario y accidental, se convierta en fundamental en cuanto a la concepción de la obra a causa de su magnitud y los terribles efectos que trata de evitar.

La descripción y análisis de los mecanismos empleados para el desagüe (compuertas y válvulas) se efectuará más adelante, dentro del capítulo de equipamientos hidráulicos.

11. Partes de un aliviadero

Cada una de las tres partes del aliviadero plantea problemas específicos diferenciados, que se indican a continuación:

La **toma** ha de tener la forma y dimensiones adecuadas para derivar el caudal de proyecto. Su concepción es fundamental para la seguridad pues un inadecuado tamaño limitaría el caudal y podría provocar el desbordamiento. Por ello se debe hallar una solución de compromiso para hacer frente a crecidas catastróficas sin sobredimensionar en exceso.

La **conducción o rápida** cumple una función de mero transporte desde la toma a la obra de restitución al río. Para cumplirla con la máxima economía, se proyecta de manera que el agua lleve una elevada velocidad. La consiguiente pérdida de carga es favorable, puesto que la corriente tiene una gran cantidad de energía que hay que amortiguar al final, por lo que la energía perdida se resta a la obra de restitución. Los problemas provienen de las altas velocidades, que afectan y degradan el revestimiento.

La **obra de restitución** tiene una misión complementaria y contraria a la toma: devolver al río el caudal derivado por ésta. Pero así como en la toma el ingreso se hace en un régimen tranquilo, la obra de reintegro recibe el agua de la conducción con gran velocidad que hay que amortiguar en lo posible para que no produzca erosiones perjudiciales al cauce y a la misma presa; por ello, en ciertos casos se procura que esta obra esté lo más alejada posible.

12. Vertedero de labio fijo

La forma de la toma suele ser de vertedero de labio grueso. El vertedero establece una sección crítica inmediatamente aguas abajo de su cresta por lo que el funcionamiento no está afectado por las condiciones aguas abajo. Conviene que el máximo nivel normal se sitúe unos decímetros por debajo del umbral del vertedero de forma que el oleaje no lo sobrepase.

Con cualquier altura de vertido (Z) el caudal aliviado será (siendo k una constante dependiente de la forma y L la longitud del aliviadero)

$$Q_a = k \cdot L \cdot Z^{3/2}$$

Se puede establecer por tanto para un tiempo t , siendo Q_r el caudal recibido en el embalse y $S \cdot Z$ el volumen de agua retenido en el mismo.

$$(Q_r - k \cdot L \cdot Z^{3/2}) \cdot \Delta t = S \cdot \Delta Z$$

Llevando esta expresión al límite e integrando obtenemos la curva de laminación de crecida con vertedero de lámina libre.

Del análisis de dicha curva se deducen las siguientes consecuencias sobre el funcionamiento de un aliviadero de labio fijo:

- Este aliviadero no puede funcionar más que cuando el nivel del embalse sobrepasa el umbral del vertedero porque sobra agua. Por ello, nunca puede producir una crecida aguas abajo si no existe previamente. Además, cuando esto ocurre, la laminación la suaviza. Los daños serán menores que los generados de no haber existido la presa.
- El caudal máximo desaguado por el aliviadero es siempre menor que el pico de la crecida. La disminución depende de la importancia del embalse suplementario creado por la elevación de nivel; cuanto mayor sea la superficie del embalse, tanto menor será la sobreelevación producida y mayor la laminación conseguida.
- Durante la fase ascendente del nivel (que comprende toda la rama ascensional de la crecida y parte de la de descenso) los caudales aliviados son menores que los naturales.
- La seguridad del funcionamiento es absoluta a condición de que el vertedero esté sin obstrucciones. Si hay peligro de arrastre de troncos, deben espaciarse las pilas y dejar suficiente margen entre el borde inferior del puente y el umbral del vertedero.

Todas las cualidades descritas hacen a este aliviadero muy adecuado en sitios alejados o poco accesibles algunas épocas, o cuando no se dispone de personal adecuado para la vigilancia, así como en presas de materiales sueltos, que requieren una gran seguridad en el funcionamiento del aliviadero.

13. Aliviadero con compuertas

Las ventajas del aliviadero con labio fijo tienen la contrapartida de necesitar un embalse suplementario, ello supone la inundación eventual de una superficie que sólo se utiliza en crecidas no siendo útil en la explotación normal. Colocando unas compuertas sobre ese umbral, ese embalse suplementario se incorporaría al útil, con la consiguiente mejora de regulación que puede ser

importante, pues los metros superiores son los de mayor superficie; y cuando viniera una crecida, bastaría subir las compuertas para desaguarla.

La forma de colocación de compuertas más adecuada es con el umbral algo inferior al del NMN (nivel máximo normal) con una altura de compuertas hasta un nivel algo inferior al NAP (nivel para la avenida de proyecto). De esa forma se puede desaguar con ellas hasta un cierto caudal y cuando el caudal del río aumente el nivel subirá automáticamente hasta el máximo admitido. Se recupera así parte del embalse suplementario y se puede, además, controlar un caudal apreciable gracias a las compuertas, lo que puede ser muy útil a la explotación; y todo ello sin que el nivel sobrepase el permitido.

En el caso de que la crecida pueda preverse con antelación suficiente, las compuertas pueden abrirse durante un periodo anterior a la llegada de la onda de avenida, con lo que descenderá el nivel y dejará un embalse libre para laminar caudales. Este desembalse preventivo sólo se puede realizar en cuencas de cierta magnitud, en las que el tiempo de llegada de la crecida lo permite. Además se necesita disponer del oportuno sistema para detección de caudales en puntos distantes y transmisión de esos datos a la presa para conocerlos con tiempo y poder tomar decisiones con garantía de que, en efecto, se trata de una avenida y conocer su importancia, para proceder al vaciado en el grado que resulte oportuno, pues un exceso podría dar lugar a que el embalse no se llenara después, con el consiguiente perjuicio para la explotación.

14. Formas de vertido

El vertido sobre la presa puede hacerse de dos maneras:

- Con lámina adherida al paramento
- Con lámina despegada: caída libre o lanzamiento

La tendencia actual de empleo de presas vertedero y sus modalidades son:

- Las presas de gravedad macizas se proyectan como vertedero, casi sin excepción, y con lámina adherida.
- En las de contrafuertes, si el caudal es moderado, se procura que vierta sobre los propios contrafuertes o sobre losas apoyadas en ellos. Si es grande, suele ser necesario otro aliviadero complementario, y normalmente suele ser más económico hacer éste algo más capaz y prescindir del vertido sobre la presa, que en este caso presenta ciertas dificultades.
- La mayor parte de las presas bóveda son vertederos con lámina despegada, por razón de su forma geométrica. En ellas rige un principio similar al de los contrafuertes, aunque con

menor fuerza: el si caudal es grande, puede ser mejor un solo aliviadero independiente. Las presas arco gravedad suelen verter con lámina adherida, porque su perfil se lo permite, pero se prestan también al lanzamiento despegado con trampolín.

- Las presas de materiales sueltos exigen, en principio, un aliviadero independiente, pues sus materiales no soportan la erosión del agua a gran velocidad. Pero comienzan algunos ensayos, con las debidas protecciones, que pueden llevar a un cierto empleo con caudales moderados, sobre todo en presas de escollera, cuyo material es más estable.

En resumen: las presas de hormigón se hacen vertederos, salvo excepciones.

El vertido se concentra normalmente en la zona central de la presa coincidente con el cauce, para hacer más normal la restitución al río, adaptando adecuadamente esa zona en la forma que se describirá. En algunas presas de altura moderada el vertido afecta a casi toda la coronación, en ese caso con labio fijo y lámina reducida, siendo necesario recoger el agua vertida con unos muros que la dirijan hacia el cauce.

En el caso de vertederos con lámina adherida es preferible que la lámina ejerza una ligera presión sobre el paramento, para contrarrestar las depresiones accidentales.

Un perfil que cumple esas condiciones y está sancionado por la experiencia de muchos años en la mayor parte de las presas del mundo es el debido a Creager. El perfil se define por coordenadas para una lámina de 1 m; para cualquier otra se multiplican las abscisas por la relación con la lámina tipo.

Por otra parte, para limitar el vertido a la zona destinada a él, se disponen unos muros cajeros laterales que impiden que la lámina se expanda y obligan a que caiga dentro del cuenco donde ha de producirse la amortiguación. Estos muros deben tener una altura mayor que la de la lámina máxima para prever sobreelevaciones.

A menudo se precisa situar pilas en el vertedero para el apoyo de puentes o compuertas. Las pilas son un obstáculo al paso del agua y debe perfilarse su sección para que la incidencia en el desagüe sea mínima. El perfil más utilizado es el debido a Jucowsky parecido al de gota de agua.

15. Compuertas y ataguías

El modelo más clásico son las compuertas verticales que circulan guiadas por unas ranuras en las pilas adyacentes. Dentro de este grupo se encuentran:

- Compuertas deslizantes. El desplazamiento se efectúa por gravedad, deslizándose por el interior del cajero.
- Compuertas vagón. Tienen los bordes verticales provistos de ruedas que se apoyan sobre carriles, permitiendo un mayor tamaño.
- Compuertas Stoney. En ellas la rodadura se hace por intermedio de un tren de rodillos independientes situado entre el borde de la compuerta y el carril de rodadura.

Las compuertas de segmento, también denominadas Taintor están formadas por un segmento cilíndrico circular que gira alrededor de su eje. La estructura metálica de soporte de la chapa se completa con unos radios que la unen con los cojinetes de giro en las pilas.

En este tipo de compuertas, el radio debe tener de 1,5 a 2,0 veces la altura. El eje de la compuerta se sitúa cerca del borde superior para que los cojinetes queden sobre el agua al abrirse ésta. El borde se apoya ligeramente aguas abajo de la cresta para que quede una pequeña cantidad de agua que mantenga permanentemente mojado el asiento.

Otro modelo de compuertas, actualmente en desuso, son las compuertas de sector. Se caracterizan porque se abren bajando y el agua vierte por encima de ellas por lo que precisan un hueco en la presa para alojarse. Tienen la ventaja de funcionar siempre en régimen de vertedero y su gran rigidez supone una garantía contra el acodamiento, permitiendo grandes dimensiones.

La cámara de alojamiento está llena de agua, lo que hace flotar la compuerta y reduce la fuerza para moverla lo que facilita su funcionamiento automático. Como principales inconvenientes se mencionan la posición del eje, ya que está sumergido y la necesidad de un ensanche en el perfil de hormigón para albergar el hueco de la compuerta.

Las compuertas se someten a revisiones periódicas rutinarias para constatar su grado de conservación, el estado de los mecanismos, impermeabilizaciones, etc. Además, pueden necesitar eventualmente un repintado, reparación, etc. Para realizar todas esas operaciones las compuertas deben estar fuera del contacto con el agua.

Cuando el embalse afectado por la altura de las compuertas es de poca entidad puede esperarse a que baje normalmente, o incluso forzar su bajada si fuera necesario. Pero cuando esa porción del embalse es importante, su vaciado forzoso prematuro representaría una pérdida que hay que evitar. Esa es la función de las ataguías, que son unas compuertas de uso esporádico o accidental que se colocan aguas arriba de las normales par dejarlas aisladas del embalse durante el tiempo necesario para hacer las operaciones citadas con independencia del nivel del agua.

En general, la ataguía es un elemento que protege y aísla del agua otro elemento u obra, accidental o provisionalmente, y así lo utilizaremos también para designar la presa provisional que se hace para dejar en seco la obra de la presa.

Dado el uso eventual de las ataguías de las compuertas, su diseño y exigencias son lo más elementales posible. En primer lugar, siempre funcionan -en general- con presiones equilibradas, esto es, se bajan y suben con la compuerta protegida cerrada y agua al mismo nivel en ambas caras. De esta forma, la ataguía desciende por su propio peso, sin más rozamiento que el debido al movimiento, pero sin la fuerte componente que daría el empuje hidrostático por una sola cara, que en este caso no existe, pues está equilibrado con el que se produce en la otra. Una vez bajada la ataguía se vacía el agua entre ella y la compuerta y puede subirse ya ésta quedando entonces sometida la ataguía al empuje hidrostático, que ha de estar proyectada para resistirlo, pero se ha evitado durante el movimiento. Terminada la operación en la compuerta, se cierra ésta en vacío, y por medio de un by-pass (pequeña tubería con una válvula que contornea la ataguía) o bien levantando levemente ésta -con mínimo esfuerzo- se llena el espacio entre ambas y puede procederse a levantar la ataguía con presiones equilibradas.

Las ataguías, por tanto, han de poder resistir el empuje hidrostático, pero no necesitan, en general, dispositivos especiales para deslizarse. En principio, son compuertas deslizantes sencillas, que se mueven guiadas por unas ranuras verticales en las pilas, salvo cuando son de luces y superficies muy grandes, en cuyo caso pueden necesitar ruedas. En vanos pequeños se usan a veces ataguías aún más sencillas, compuertas de elementos horizontales que se van colocando sucesivamente unos encima de otros hasta tapar el hueco, reduciendo al mínimo la maquinaria para su elevación o suspensión. La impermeabilidad es más deficiente, pero puede no tener importancia la pérdida de agua o recogerse el agua con unas bombas, si se quiere reingresarla en el embalse.

Como el uso de las ataguías es accidental, puede bastar una sola, o dos, para disponer de reserva, que se coloca cuando se precisa en el vano a tratar, o sucesivamente en varios. En presas con grandes compuertas puede ser conveniente que cada una tenga su propia ataguía siempre dispuesta.

16. Desagües profundos

Se denominan desagües profundos aquellos cuyo dintel de toma está a cota inferior a la del umbral más bajo de los desagües de superficie. Los desagües profundos sirven para controlar el nivel del embalse y permitir su vaciado en un tiempo prudencial.

Cuando el desagüe profundo está situado de forma que la capacidad de embalse que queda por debajo de la cota del umbral en su toma resulta despreciable respecto a la capacidad total, se denomina desagüe de fondo. En caso contrario, se llama desagüe intermedio.

El cometido fundamental de los desagües profundos es la capacidad de poder desaguar el embalse con independencia del nivel de agua. Prescindiendo de las tomas de explotación, cuya misión es proporcionar agua a un determinado servicio en condiciones concretas, las misiones de los desagües profundos, por orden de generalidad de uso, son las siguientes:

1. Vaciado del embalse hasta la cota del desagüe y control sobre el nivel de agua.
2. Limpieza de los sedimentos acumulados en el fondo en la zona próxima a la presa.
3. Colaboración en el control del río en la última fase de la construcción.
4. Desagüe y control previo de avenidas en conjunción con el aliviadero superficial.

Hasta alrededor de la mitad del siglo lo habitual era disponer de un desagüe de fondo y muy rara vez otro intermedio, además de las tomas de explotación. El desagüe de fondo cumplía las tres primeras misiones citadas arriba y sólo de forma auxiliar y eventual solía colaborar en la evacuación de crecidas. Por lo tanto, su capacidad era relativamente modesta, algo mayor que el caudal medio.

Por limitaciones de la tecnología no existía mucha seguridad de funcionamiento, por lo que se producía un círculo vicioso: los desagües tenían algunos fallos operativos y eso aconsejaba moderar su utilización, a veces demorándola durante largos periodos (años en algunos casos). El poco uso afectaba a la disponibilidad mecánica, y a veces era difícil operar un desagüe largo tiempo inerte.

Actualmente la Instrucción prescribe:

- Todos los desagües profundos se proyectarán para funcionar correctamente con la carga total del embalse, tanto en su apertura como en su cierre.
- En cada presa se proyectarán, como mínimo, dos desagües de fondo.
- Todos los desagües profundos estarán provistos de doble cierre y deberán poderse accionar a mano y mecánicamente con energía procedente de dos fuentes distintas.

En presas de pequeña o media envergadura, generalmente sólo existe el desagüe de fondo, porque su singular situación por debajo de todos los otros desagües le hace insustituible en la misión de vaciado total del embalse. Esta es la fundamental y más general de las cuatro mencionadas, las otras pueden darse en mayor, menor o nula medida, según las presas, pero la posibilidad de vaciar el embalse si fuera necesario es intrínseca a su funcionamiento y a su seguridad.

La posición del desagüe de fondo viene determinada por la de las tomas: debajo de ellas y lo más profundo posible. Esto último debe entenderse con cierto relativismo, pues a pesar de su nombre no está casi nunca en el mismo lecho, sino a cierta altura sobre él, para estar a resguardo de los primeros sedimentos.

Definidas las posiciones de las tomas y del desagüe de fondo, la conveniencia y posición de otros intermedios, depende de tres circunstancias:

1. La altura de la presa.
2. Los caudales del río.
3. La conveniencia de que estos desagües colaboren en la evacuación de avenidas.

En general, cuando el conjunto de circunstancias lleva a decidir que el desagüe profundo intervenga en proporción notable en el control de nivel, suele ser preferible el empleo de uno intermedio, que por su menor carga tiene mejor y más segura maniobrabilidad.

Los desagües funcionan en carga, por lo que constan esencialmente de unos elementos de cierre y una conducción en presión, de chapa de acero o revestida por ella. El conjunto va embutido en hormigón o en un bloque dentro de un túnel. Cuando el desagüe está en la presa, la salida se hace al aire libre en el paramento aguas abajo.

Cada una de las dos conducciones paralelas está constituida por dos órganos de cierre en serie y un conducto de unión entre ellos. El cierre aguas abajo es el de funcionamiento normal, de regulación o de control; el de aguas arriba es el de guarda o seguridad y funciona normalmente con el de regulación cerrado.

Todas las operaciones se realizan con el cierre de regulación, que se abre o cierra el paso al agua; el cierre es la operación más dura, pues hay que frenar la energía cinética del agua. El cierre de guarda dispone un by pass (que es una tubería de pequeño diámetro que comunica directamente el tramo entre cierres con el embalse) provisto de una válvula, cuya apertura llena el conducto entre cierres y le pone a la misma presión que el embalse, equilibrando las presiones en ambas caras.

En posición de reposo suelen estar ambos cerrados y el by-pass abierto para asegurar la humedad de las juntas de impermeabilización del cierre de control.

17. Elementos de cierre. Válvulas

Se definen dos grandes grupos que son:

- Válvulas. El elemento de cierre forma una continuidad con el conducto en presión y se mueve en su interior.
- Compuertas actuando bajo presión. El órgano de cierre es exterior al conducto y se introduce en él para cerrar.

Las válvulas son propias de desagües moderados o medios, y las compuertas de los grandes. En algunos desagües puede haber una compuerta de seguridad y dos o más válvulas de control.

Las válvulas pueden ser de los siguientes tipos principales:

- De compuerta.
- De mariposa.
- De aguja.
- De chorro hueco.

La válvula compuerta consiste en un tablero metálico circular o rectangular (según la sección del desagüe) que puede subir o bajar de forma que en la primera posición desaparece totalmente del conducto y en la segunda lo cierra, permaneciendo siempre en el interior de éste. Para ello, al subir se aloja en una cámara cerrada unida al cuerpo fijo de la válvula, para que el conjunto resulte estanco. El movimiento se transmite a un vástago vertical unido a la compuerta, bien por medio de una cremallera o por un pistón que le transmite una presión de aceite.

La válvula de mariposa es un cilindro prolongación del conducto general en cuyo interior gira una pieza circular de eje transversal a la corriente llamada lenteja o mariposa que puede obturarla más o menos en sus distintas posiciones. Para asegurar el cierre la lenteja puede tener su eje ligeramente descentrado, de forma que la acción de la corriente tiende a hacerla girar para que cierre.

En la válvula de aguja el flujo envuelve un huso interior y sale por un orificio circular final; este orificio puede ser obturado en distinto grado por medio de una aguja móvil que está unida al huso interior, de forma que en sus distintas posiciones siempre se conserva un perfil hidrodinámico, lo que hace que el funcionamiento sea suave y la distribución de la corriente uniforme. Por eso es muy útil para tomas, porque se presta al buen funcionamiento con toda clase de aperturas y caudales. Su salida se hace en forma de chorro circular concentrado a la atmósfera, pues el flujo anular es sólo en el interior y se reúne en la sección de salida.

La válvula de chorro hueco más usada consiste esencialmente en un cilindro fijo al final del conducto en presión en cuyo extremo y a cierta distancia hay un cono unido a aquél, de forma que

al chocar con el cono la corriente pasa de circular a anular, contorneando éste. La corriente se regula por medio de un manguito cilíndrico móvil exterior al cilindro fijo que desliza paralelamente a su eje. Esta forma de movimiento permite una operación suave de apertura y cierre, e incluso el funcionamiento con cualquier apertura, lo que es una evidente ventaja. La válvula está siempre diáfana, sin obstáculos, si bien con mayor o menor sección anular, según la posición del manguito, y por lo tanto apta para desagüe profundo.

El chorro lanzado por la válvula se emulsiona intensamente, ya que por su forma anular tiene una gran superficie de contacto con el aire, tanto en su exterior como en el interior. Esto es una ventaja desde el punto de vista del amortiguamiento de energía cinética, pero suele convertirse en inconveniente si hay alguna carretera próxima.

Las compuertas, debido a su sencillez, se emplean como cierres en conductos a presión en aquellos casos en que se precisan grandes dimensiones.

Son de dos tipos, semejantes a las empleadas en los aliviaderos: verticales y de segmento. Adecuadamente adaptadas para su funcionamiento en profundidad.

Las compuertas verticales han de tener un buen rodamiento ya que la resistencia al movimiento es muy elevada. Por ello las más empleadas son las Stoney o de rodillos.

Las compuertas de segmento se emplean tanto para control como para seguridad gracias a sus buenas condiciones de funcionamiento y a su aptitud para aperturas parciales.