

5. PRESAS

5.1 INTRODUCCIÓN

Una presa es una construcción que tiene por **objeto** contener el agua de un cauce natural con dos fines, alternativos o simultáneos, según los casos:

- Elevar el nivel para que pueda derivarse por una conducción (creación de altura)
- Formar un depósito que, al retener los excedentes, permita suministrar el líquido en los momentos de escasez (creación de embalse) o para amortiguar (laminar) las puntas de las crecidas

En general, en cuanto la presa tiene una cierta altura, existe un efecto de embalse, que suele ser predominante. De esto resulta que la función mecánica esencial de una presa es elevar el nivel natural del río, sea para conseguir ese fin estricto, o para obtener una capacidad de almacenamiento, de donde se deduce que la sobrecarga fundamental de la estructura será el empuje del agua, y éste empuje determina su concepto resistente.

Pero junto con ese objetivo esencial, hay que cumplir otro secundario y accidental que, a pesar de ello, es importantísimo y condiciona el concepto estructural y es la evacuación del agua sobrante. Los ríos son tan variables que solo podemos prever sus caudales con una cierta probabilidad, pero no con seguridad absoluta y por grande que sea un embalse, no podemos estar seguros de que no se presente una crecida excepcional que rebase su capacidad de almacenamiento. Y en los embalses normales, con capacidades para regular las aportaciones de un año normal, es más evidente aún que en los años de abundancia habrá caudales excedentes no almacenables. El problema se hace tanto más notorio, frecuente e importante, cuanto menor sea el embalse.

La evacuación de los caudales excedentes es pues inevitable, pero presenta además una característica: como los sobrantes no se presentan repartidos en un largo período sino por efecto de avenidas de duración relativamente corta (punta de días u horas) con caudales muy grandes, la evacuación de éstos plantea problemas de gran consideración por la envergadura de los caudales, unida a la circunstancia de que la elevación producida por la presa crea en el cauce una energía debida al desnivel, que ha de amortiguarse de alguna forma. El proyecto y la construcción de una presa, presentan problemas especiales que requieren gran conocimiento de varias ciencias y técnicas: elasticidad, geología, cimientos, hidráulica, propiedades y tratamiento de materiales, etc.

5.2 TIPOS DE PRESAS

Siendo la presa una estructura hidráulica, los distintos tipos posibles responden a las variadas formas de lograr las dos exigencias funcionales

- Resistir el empuje del agua.
- Evacuar los caudales sobrantes.

En cada caso, la importancia relativa de estas dos premisas, junto con las condiciones naturales del terreno (topográficas y geológicas) y las exigencias del uso del agua (situación de la central eléctrica, toma de riegos...) dan una serie de condicionantes que llevan a la elección de un tipo de presa más adecuado. De ahí la conveniencia de disponer de varios tipos para acoplarse mejor a los diferentes condiciones

Podemos establecer la siguiente **clasificación**:

1. En cuanto a sus **dimensiones** (según la 'Instrucción para el proyecto, Construcción y Explotación de Grandes Presas')

Grandes Presas: Cuando cumplan al menos una de las siguientes condiciones:

- Altura superior a 15 m., medida desde la parte más baja de la cimentación hasta la coronación.
- Altura comprendida entre 10 y 15 m., siempre que tengan alguna de las siguientes características: longitud de coronación superior a 500 m, capacidad de embalse superior a 1Hm^3 o capacidad de desagüe superior a $2.000\text{ m}^3/\text{seg}$.
- Aquellas que presenten dificultades especiales en su cimentación o sean de características no habituales.

Pequeñas Presas. El resto

2. En cuanto a la **situación del aliviadero**, éste puede estar:

- Sobre la misma presa (presas vertedero)
- Independiente de ella



Presa vertedero

Aliviadero

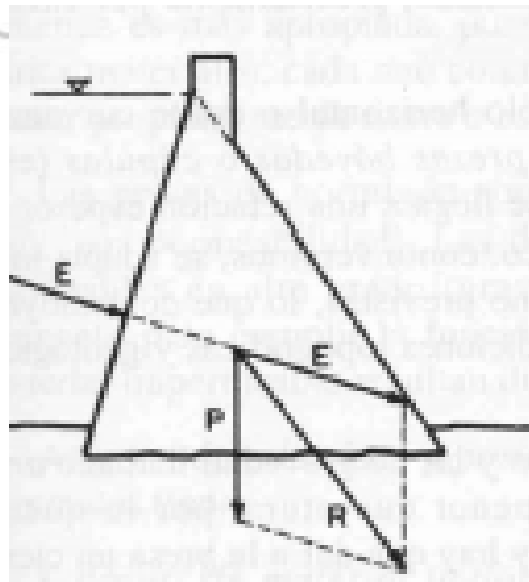


Aliviadero Independiente de la presa

En el primer caso, la estructura está directamente condicionada por el aliviadero; en el segundo, la estructura puede proyectarse con total independencia de aquel

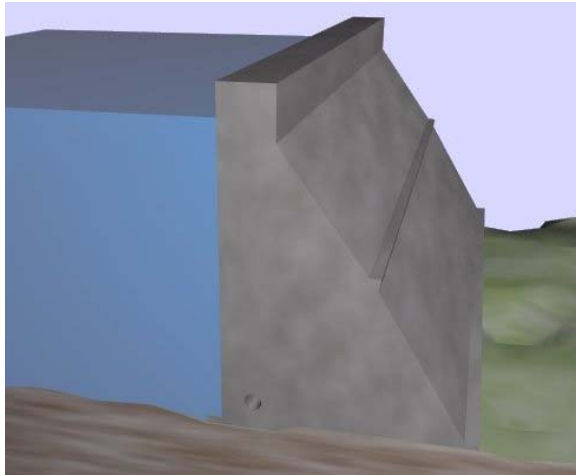
3. En cuanto a la **forma de resistir el empuje hidrostático** pueden ser:

De **gravedad**: cuando el peso de la presa es notable y sirve para, al componerse con el empuje, dar una resultante adecuada y francamente interior a la base de la presa. Son las de mayor volumen de hormigón y requieren terrenos resistentes para su cimentación (terrenos rocosos a poca profundidad)

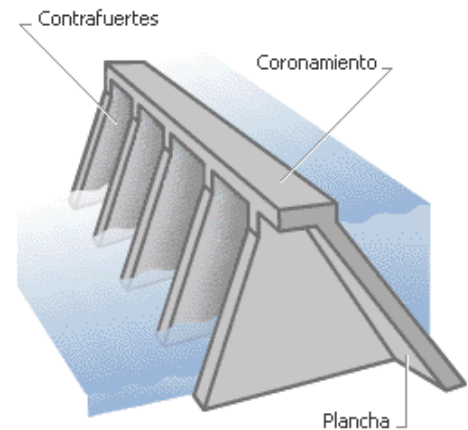


Las presas de gravedad pueden ser, a su vez, macizas o aligeradas. Las macizas suelen consistir en un perfil triangular con suma de taludes del orden de 0,75 a 0,80 (horizontal/altura) aguas abajo y algo más en terrenos difíciles o de alta sismicidad. Al triángulo se le superpone un trapecio, para el paso de la coronación y dejar un resguardo sobre el nivel máximo del embalse.

Las aligeradas tienen reducciones de hormigón, pretendiendo emplear mejor el material. Para equilibrar el peso que se quita con el aligeramiento, se le da un talud aguas arriba para disponer del peso adicional del prisma que gravita sobre él. Además se distribuye la masa de hormigón de forma que se logre un mayor momento de inercia en la sección horizontal. Las formas de aligeramiento pueden ser verticales (contrafuertes) u horizontales (galerías). Las más frecuentes son las de contrafuertes, quedando constituida la presa por una serie de contrafuertes resistentes por su peso en los que se apoya o va unida una pantalla que transmite a ellos el empuje del agua. Los contrafuertes pueden ser en forma de T, con la cabeza del contrafuerte en forma circular o con la cabeza en forma semihexagonal.

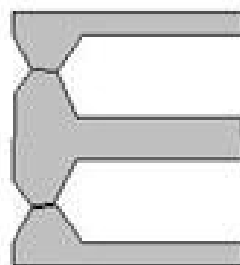
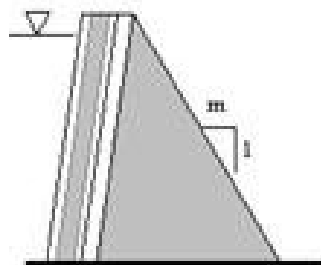


Presa de gravedad



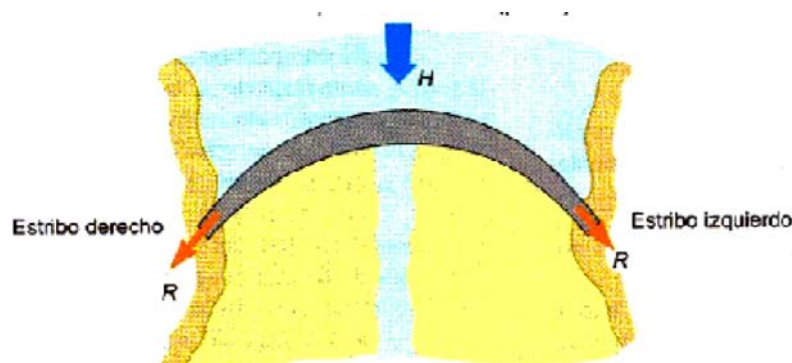
Presa de contrafuertes

ALBERTO VILLARINO OTERO



Cabeza semihexagonal de contrafuertes

De **arco**: utilizando una forma curva para la presa, al objeto de transmitir el empuje al terreno en dirección e intensidad adecuadas, por su forma geométrica resisten y transmiten las cargas tanto a los cimientos como a los estribos.



Las presas arco pueden tener curvatura sólo horizontal (arco-gravedad) o doble curvatura (bóveda)

En las presas arco gravedad la acción de la curvatura es insuficiente para resistir el empuje y hay que dar a la presa un cierto peso para que compense ese defecto. La estabilidad y resistencia se consigue por efecto del peso propio y del arco que transmite los esfuerzos a las laderas, por lo que se necesita un macizo rocoso resistente

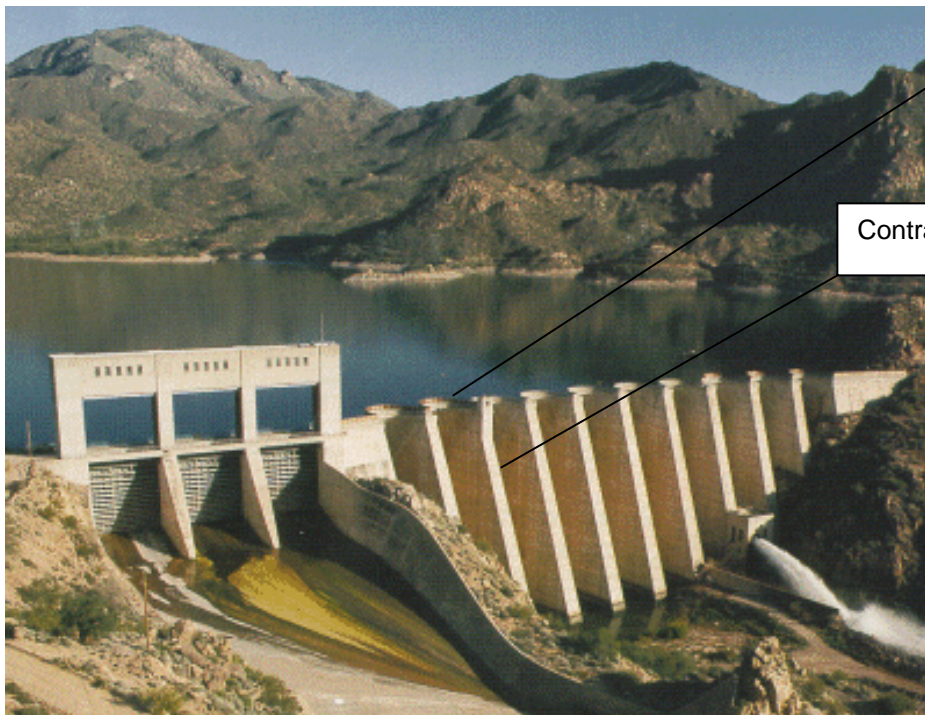


Presa arco-gravedad



Presas bóveda

Hay un tipo mixto, llamado de bóvedas múltiples, constituido por una serie de contrafuertes equidistantes de sección rectangular y unas bóvedas que apoyan sobre ellos, éstas son las que reciben el empuje y lo transmiten a los contrafuertes. Éste tipo viene a ser análogo al de contrafuertes, sustituyendo la pantalla o las cabezas de estos por bóvedas que permiten mayor separación y menor volumen.



Bóveda

Contrafuerte

4. En atención al **material empleado**, se clasifican en:

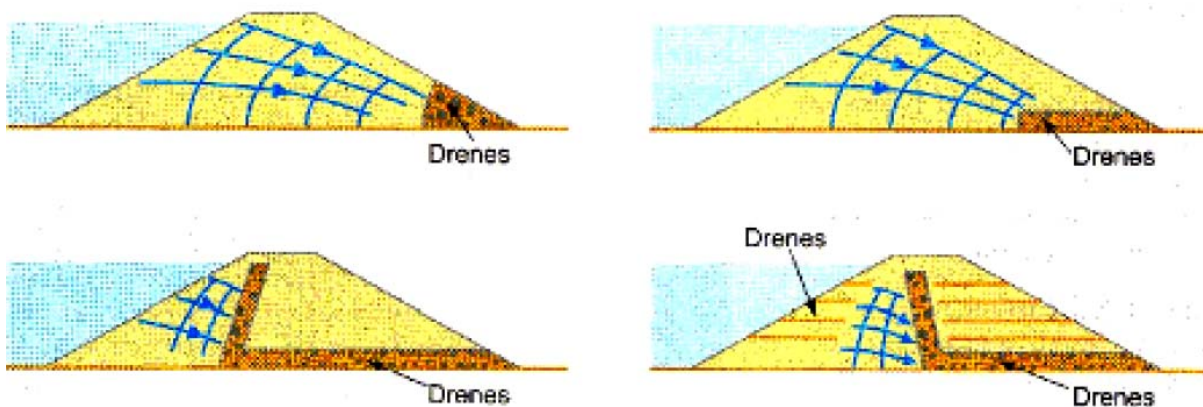
- Presas de fábrica que son exclusivamente de hormigón
- Presas de materiales sueltos

Las presas de materiales sueltos están formadas exclusiva o preferentemente por materiales naturales (piedras, gravas, arenas, limos, arcillas y suelo en general). Éstas presas suelen tener componentes permeables de alto grado (gravas, arenas, etc) por lo que necesitan un elemento para cumplir la función de impermeabilidad. Se usan los materiales tal y como se encuentran en la naturaleza sin más elaboración artificial que el apisonado o la adición de agua para la debida compactación. Es obvio decir que estas presas resisten por gravedad, aunque en casos muy excepcionales se curvan y se tiene en cuenta este efecto, pero este es siempre mucho menor que el del peso.

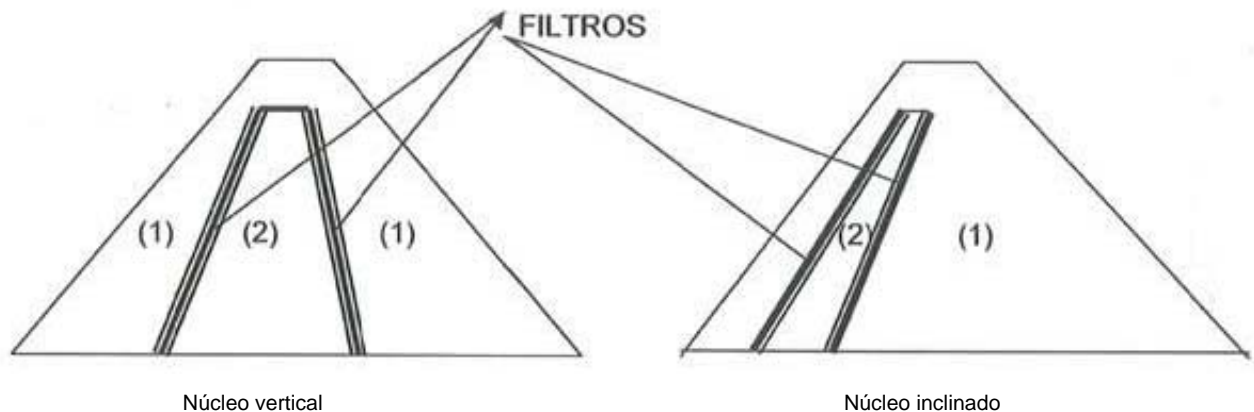
Toda presa debe ser estable, resistente e impermeable. Esta última condición se cumple casi automáticamente –supuesta una buena ejecución– en las presas de fábrica; pero en las presas de materiales sueltos hay que cuidar la impermeabilidad de una forma directa, pues esos materiales pueden no darla suficientemente. Y también por su efecto en la estabilidad y resistencia, pues las presiones intersticiales influyen en ellas de forma mucho más notable que en las de hormigón por doble motivo: por la corta o nula cohesión, que puede ser insuficiente para contrarrestar esas presiones internas; y, además, porque el agua filtrada, al mojar los materiales, disminuye su corta cohesión y el coeficiente de rozamiento.

Se pueden clasificar atendiendo a la posición del elemento impermeabilizador o pantalla impermeabilizadora:

Presas de material uniforme impermeable o presas homogéneas: Son las constituidas por un material único que forma el cuerpo de la presa y es impermeable (arcillas, limos, arenas+gravas). Su uso puede estar indicado en sitios donde predomina un material fácil de emplear y económico; mucho más indicado en presas de baja o moderada altura (20m. ó menos). Para el control de las filtraciones pueden disponer de distintos tipos de drenes en distintas posiciones.

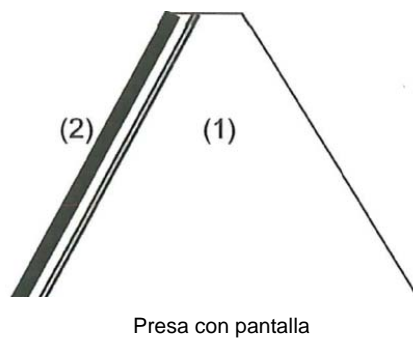


Presas de materiales heterogéneos con núcleo de material natural: son las más frecuentes y tienen la ventaja de emplear óptimamente los materiales próximos disponibles, distribuyéndolos según sus características. Los materiales más permeables se usan como elementos estabilizadores, por su peso, los más finos se usan para lograr un núcleo impermeable, otros se utilizan como elementos drenantes o para establecer capas de transición (filtros). El núcleo impermeable suele estar en el centro, en posición vertical o cercano a ella. En otras ocasiones se sitúa inclinado y aguas arriba.



(1) Espaldón (2) Núcleo

Presas de materiales heterogéneos con núcleos artificiales (pantallas y diafragmas): cuando no se encuentra cerca de la presa un material impermeable natural (arcillas o limos) hay que acudir a una pantalla artificial impermeabilizadora que se coloca sobre el talud aguas arriba o en el centro de la presa (diafragma). Las pantallas más usadas son las de hormigón armado y hormigón bituminoso, por otro lado los diafragmas más utilizados suelen ser de mezcla asfáltica. Los espaldones suelen ser de material todo uno o escollera.



(1) Espaldón (2) Pantalla

5.3 ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS Y ESTRUCTURAS AUXILIARES

DESVIO DEL RIO

Para construir la parte de presa que está en el cauce, es preciso desviar el río para trabajar en seco. Hay dos formas de dejar en seco la zona de obra:

- Desviando el río totalmente por un cauce artificial.
- Dejando en seco sólo una parte del cauce y concentrando el paso de la corriente por el resto, ejecutando así de forma sucesiva la obra.

En el caso del **desvío total del río** consiste en la ejecución de un cauce artificial, para lo cual hay que hacer una presa provisional que produzca el remanso suficiente para que el agua entre por el nuevo cauce, que es una conducción que transporta el agua desviada hasta un punto agua abajo de la obra.

La presa provisional de desvío se llama **ataguía**. A veces es necesario hacer otra aguas abajo de la obra a proteger, para evitar que las aguas desviadas puedan inundar aquella por retroceso. Esta segunda presa se llama **contraataguía** o ataguía agua abajo. En cauces de bastante pendiente, ésta puede hacer innecesaria la contraataguía, pero cuando la pendiente es suave es inevitable. La conducción de desvío se puede hacer en presión o sin presión.

DRENAJE EN PRESAS DE FÁBRICA

El hormigón es un material poroso (%huecos=6-12). Los poros no están aislados, sino unidos unos con otros, formando conductos por los que puede penetrar el agua si se le deja el tiempo necesario.

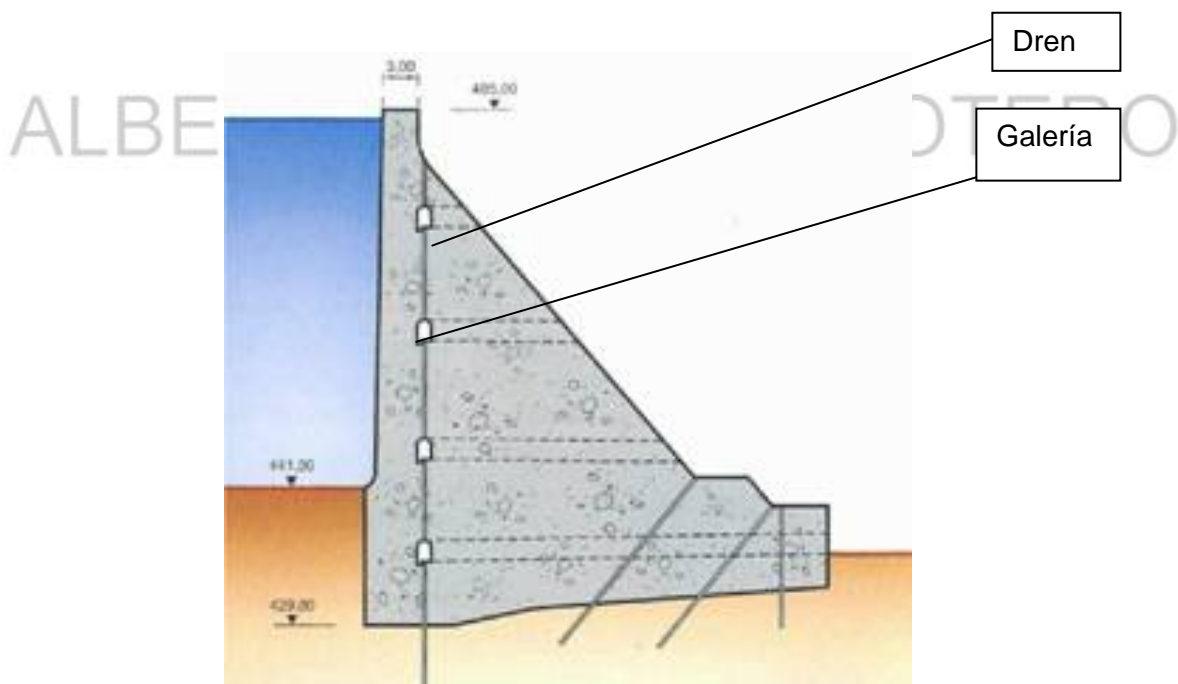
Al sumergir en agua un bloque de hormigón, el agua tardará en penetrar en los poros, pero dando un tiempo suficiente, el hormigón acabará saturándose. En ese momento, en los distintos huecos se establece la presión hidrostática (subpresión). Por lo que no es necesario que exista una grieta para que el hormigón adquiera presiones internas, su propia estructura porosa conduce a ello, siempre que de tiempo.

Cuando el agua se filtra a través de un dique permeable se forma en su interior una red ortogonal de líneas de corriente que marcan las trayectorias de las partículas de agua. Con el fin de minimizar esa presión intersticial se disponen a cierta distancia del paramento una serie de drenes verticales equidistantes entre sí, estos atraerán las líneas de corriente, que tienden a seguir el mínimo camino de filtración. El diámetro de los drenes no suele pasar de 20 cm., con un mínimo que suele ser de 7,5 cm (lo normal es poner los drenes a 2-2,5 m) y luego, si en alguna zona se ve necesario, se hacen unos drenes intermedios. Los drenes deben prolongarse bastante en la roca, llegando en algunos casos hasta una profundidad igual a la altura de la presa y, como mínimo, un 25 % de ella. Así se drena todo el apoyo de la presa y se asegura su estabilidad.

Si hiciéramos los drenes en uno o dos planos de arriba hacia abajo de la presa resultarían excesivamente largos para poderlos revisar y limpiar. Además, conviene tener un acceso al interior de la presa para observarla y, eventualmente, inyectarla; ambas necesidades nos llevan a establecer una serie de galerías horizontales a las que vayan a parar los drenes. Éstas galerías se ponen a distancias verticales de 15 a 30 m. Con esta equidistancia se puede lograr que los drenes estén perfectamente rectos entre cada dos galerías, con lo que el control de su limpieza es fácil. Los drenes se insertan en las galerías normalmente en su pared agua arriba, pero algunos prefieren hacerlo en clave, así se ven y limpiarían mejor, pero suelen ser más molestos porque el agua cae sobre los vigilantes

Las galerías sirven también para recoger el agua que filtra por los drenes; a estos efectos llevan unas cunetas. Naturalmente, las galerías han de tener una salida al exterior y por ellas sale el agua de filtración. Las dimensiones normales de estas galerías, son las suficientes para el paso de un hombre y es aconsejable hacer las galerías en forma oval, porque de esa forma se distorsionan menos las tensiones que habría en la zona ocupada por la galería.

Gracias a esta recogida de agua entre dos galerías no sólo se fracciona el caudal, sino que se sabe de donde procede e incluso se ve si uno o varios drenes dan una filtración excesiva.



DRENAJE EN PRESAS DE MATERIALES SUELTOS

A partir de 6 u 8 metros de altura, conviene que las presas de tierra tengan drenaje para controlar la línea de saturación y los efectos de las filtraciones. La idea del dren va unida a la de filtro en presas de materiales sueltos, pues el efecto drenante supone una afluencia de agua filtrada hacia el dren y un incremento del gradiente de filtración, lo que lleva a una posibilidad de arrastre de finos y por lo tanto la colmatación del dren. Para impedirlo, hay que poner entre el dren y el material de la presa una capa de filtro. La misión del filtro es permitir el paso de agua impidiendo, al propio tiempo, el de las partículas finas que pudieran ser arrastradas por aquella. Los huecos deben ser suficientemente pequeños para no dejar pasar los finos.

TOMAS DE EXPLOTACIÓN

Las tomas son las estructuras hidráulicas que nos permiten retirar el agua del embalse para conducirla por gravedad a la planta de tratamiento, estación de bombeo, abastecimiento o salto hidroeléctrico por lo tanto deben estar ubicadas de forma tal que permitan obtener el agua a varios niveles en el embalse y que a su vez retiren el agua por gravedad hacia su destino próximo y además asegurar su estabilidad y economía.

Por lo general para las presas de materiales sueltos las tomas son torres, llamadas torre-toma, que poseen orificios a diferentes niveles y cada uno tiene su correspondiente compuerta o válvula de paso. Su forma puede ser cilíndrica y en su interior contiene un pozo húmedo, que sirve para la captación, y un pozo seco que sirve para la inspección y operación. Las torre-tomas se localizan por lo general cerca del dique o presa y poseen un puente de acceso. En el caso de presas de hormigón las estructuras de las tomas se localizan en la presa misma. Cada toma debe estar equipada con una compuerta o con una válvula de cierre para su selección e independencia y todos los orificios de toma deben descargar en un receptor común de donde el agua pueda ser conducida más tarde al sitio de tratamiento o a los de almacenamiento y distribución.



Toma de Explotación

ALIVIADEROS

El **aliviadero** es la obra más propiamente hidráulica de la presa, pues su misión es derivar y transportar el agua sobrante, anulando o reduciendo su energía al reintegrarla nuevamente al cauce, para evitar perjuicios a la propia presa y a los bienes y personas situados aguas abajo. Sin él la presa quedaría reducida a una pura estructura resistente. El aliviadero, con sus exigencias funcionales y de espacio, influye y hasta condiciona la estructura resistente, motivando muchas veces la elección de su tipo

Para concebir y proyectar los aliviaderos de una presa hay que plantearse tres problemas fundamentales:

- Crecida máxima previsible.
- Características del conjunto embalse-aliviadero-cauce aguas abajo más adecuadas para hacer frente a dicha crecida máxima y a otras más frecuentes.
- Reparto de caudales a evacuar entre los distintos aliviaderos (superficie, fondo y medio fondo).

En un elemento tan fundamental como el aliviadero tropezamos con un inconveniente grave: es difícil predecir la crecida máxima que ha de evacuar (diversos métodos utilizados: históricos, probabilísticos, hidrológicos y empíricos).

Un aliviadero está formado esencialmente por una toma, que sirve para derivar el agua del embalse, una conducción más o menos larga, que transporta el agua hasta el punto de restitución elegido, y la obra del reintegro del agua al río.

La **toma** puede ser de dos tipos: de labio fijo o con compuertas (de accionamiento mecánico o manual, o automáticas).

Una toma con **labio fijo** no podrá verter agua hacia el canal del aliviadero hasta que el nivel del embalse haya sobrepasado su umbral. La ventaja de este tipo de toma es que nos despreocupamos de su funcionamiento; el sólo se ocupa de verter cuando es necesario, y además colabora en moderar la avenida mediante el efecto amortiguador o laminador de la crecida. Con un aliviadero de labio fijo no pueden provocarse caudales superiores a los que hubiera dado el río. En cambio tiene el inconveniente contrario: no podemos actuar con anticipación a la avenida desaguando por el aliviadero para impedir que el agua alcance una cierta cota o para crear un volumen vacío de embalse que amortigüe aún más la crecida. Para gobernar a voluntad el aliviadero y controlar el nivel del embalse, tenemos que poner unas compuertas en la toma.

La toma con **compuertas** pueden dar paso al agua por encima (compuertas de sector), o por debajo, en este caso las compuertas pueden ser de segmento o planas; estas últimas con diversos sistemas de movimiento. Las compuertas pueden estar cerradas o abiertas, parcial o totalmente. Gracias a esto podemos desaguar por ellas el caudal que deseemos y bajar o subir el nivel del embalse según

desagüemos un caudal superior o inferior al que entre en él. La posibilidad que dan para evacuar caudales cuando se considere conveniente, se puede convertir en un grave defecto, si ésta facultad no se usa bien. En efecto, las compuertas pueden ser abiertas inoportunamente por cualquier causa pudiendo producir aguas abajo una crecida superior a la que hubiera dado el río. Para evitarlo la Instrucción prescribe una serie de condiciones que lo impiden.



Toma de aliviadero en labio fijo



Toma de aliviadero de compuerta sector

La **conducción** cumple una función de mero transporte desde la toma a la obra de restitución al río. Para cumplir con la máxima economía, se proyecta de manera que el agua lleve una elevada velocidad. La consiguiente pérdida de carga no importa, e incluso es favorable, puesto que la corriente tiene una gran cantidad de energía que hay que amortiguarla al final, por lo que la que se pierde en la conducción se resta a la obra de restitución. Los problemas de la conducción provienen de las altas velocidades, cuya pérdida de energía consiguiente es a costa de la erosión del revestimiento. La conducción puede ser en lámina libre (en canal abierto o en túnel) o en presión.

Una conducción en lámina libre tiene una gran flexibilidad para admitir caudales superiores al nominal, pues basta que la lámina de agua suba para que el desagüe aumente. Por tanto, si llegara a producirse una crecida superior a la máxima estimada, lo único que pasaría es que aumentaría consiguientemente el espesor de la lámina en el canal; si hay resguardo suficiente, como es lo normal, no se llegaría a producir vertido, pero si el resguardo no bastase, se produciría un desborde lateral que es muy probable no tenga gran importancia ni haga daños notables.

Si la conducción fuera en túnel, éste suele llevar también un cierto resguardo, pero en este caso el margen tiene un límite, pues a partir de una cierta altura, la sección de aire que queda es insuficiente para ventilar y la menor oscilación del nivel puede obstruir el paso del aire y poner el túnel en presión. A partir de ese momento el túnel funciona mal, con intermitencias, y si la altura de lámina siguiese aumentando, se pondría definitivamente en presión.

El túnel en presión es un sistema muy rígido, pues sólo sirve para una gama de caudales relativamente estrecha. Esto hace que su uso sea condicionado a que se empleen simultáneamente con otro u otros aliviaderos de funcionamiento más elástico.

El **reintegro** del agua al río, 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 y energía que hay que amortiguar en lo posible para que no produzca erosiones perjudiciales al cauce y a la propia obra de restitución o, acaso, a la misma presa. Este amortiguamiento de la energía puede conseguirse de dos formas

Creando un cuenco amortiguador, donde la corriente en régimen rápido ingresa a un cuenco en el que pasa a lento con la formación de un resalto. Esto conlleva una gran absorción de energía, que se transforma en turbulencia y calor

Por medio de un trampolín lanzador, En el caso de los trampolines su esencia de funcionamiento es utilizar la energía cinética de la corriente para lanzarla a distancia y alejarla segura erosión. Por eso su elemento esencial es una rampa que proporciona un ángulo de lanzamiento adecuado para que la trayectoria parabólica resultante de la inercia del agua y de la gravedad alcance la máxima distancia entre el borde del lanzamiento y la zona de caída.

El cuenco amortiguador es la solución más común al pie de las presas vertedero. El lanzamiento en trampolín es más propio de los aliviaderos separados de la presa. Pero estas reglas no son absolutas.

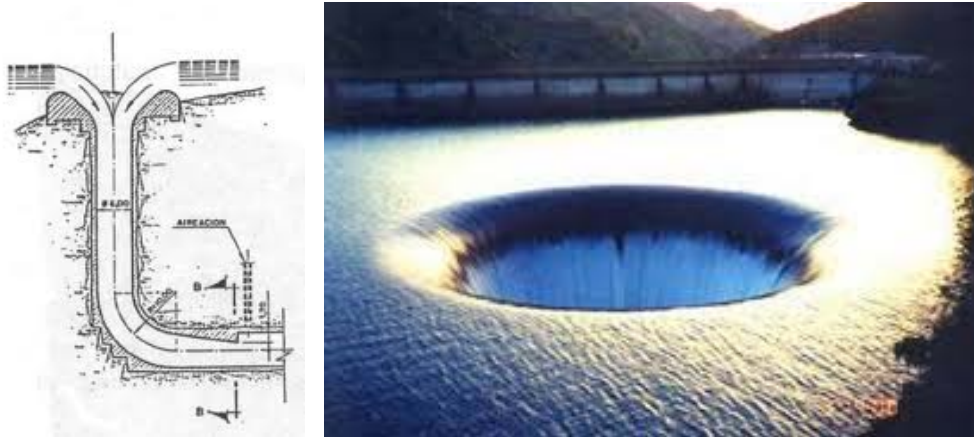


Cuenco amortiguador



Trampolín lanzado

Existe un tipo de aliviadero especial llamado en cáliz o morning glory donde el vertedero de entrada es de planta circular, normalmente de labio fijo, al que sigue un pozo vertical abocinado, un codo cercano a 90° y un túnel sub-horizontal. El tramo vertical puede hacerse en pozo, en torre o mixto, según la forma y características de la ladera y la situación más conveniente para el vertedero. La disposición en pozo es la más simple, en principio, pero puede requerir adaptaciones en la ladera para asegurar la alimentación. Tienen gran aplicación en las presas de materiales sueltos gracias a su independencia de ubicación respecto a la presa. La desventaja principal es la que acompaña al régimen a presión.



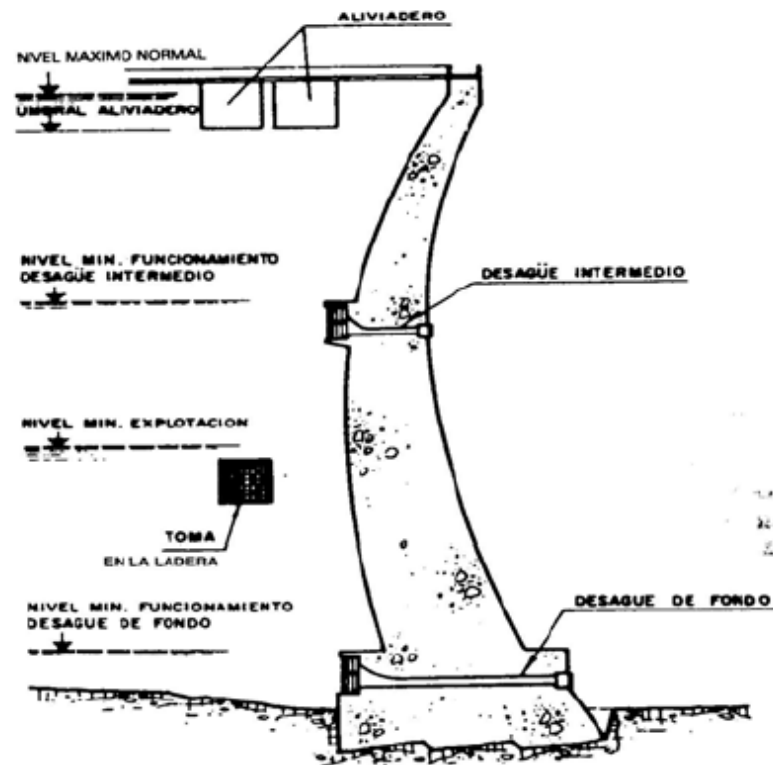
DESAGÜES

Además del aliviadero de superficie, la presa debe tener otros desagües a ciertas profundidades. Pudiendo ser estos de diferentes tipos

Desagües de fondo son aquellos situados por debajo de las tomas de explotación, son de instalación obligada y sus funciones son:

- Permitir bajar el nivel del embalse por debajo de las tomas de explotación para su revisión o cuando ocurre alguna anomalía importante en el comportamiento de la presa o del embalse. Ante un defecto de comportamiento de la estructura puede bastar un descenso relativamente moderado; si el defecto es grave, habrá que proceder a un vaciado importante, pero que muy rara vez será total.
- Si se trata de una filtración importante, para lograr disminuirla sensiblemente será preciso bajar el embalse de forma notable, hasta cerca del nivel donde ocurre la filtración.
- Ayudar a realizar la operación de cierre del desvío del río en la fase final de la obra.
- Limpieza de los sedimentos acumulados en el fondo del embalse en la proximidad de la presa.

Los desagües intermedios (de medio fondo o profundos), que pueden existir o no, están más bajos que el aliviadero de superficie y más altos que las tomas de explotación. Tienen un carácter mixto y según los casos, se acercan más a la función de vaciado o a la de evacuación de avenidas, tanto en uno como en otro caso con carácter complementario del desagüe de fondo o del aliviadero y con importancia relativa variable.



ALBERTO VILLARINO OTERO