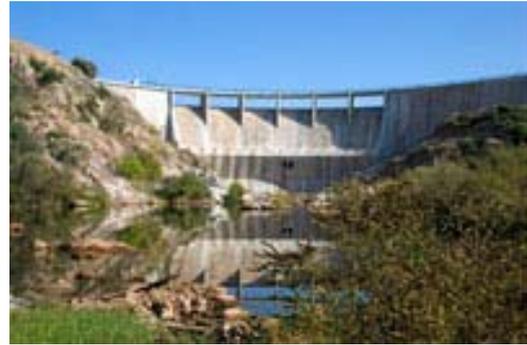


PRESAS DE HORMIGÓN



PRESAS DE HORMIGÓN

FICHAS TECNICAS



INTRODUCCIÓN

Se denomina presa a una barrera fabricada con piedra, hormigón o materiales sueltos, que se construye habitualmente en una cerrada o desfiladero sobre un río o arroyo. Tiene la finalidad de embalsar el agua en el cauce fluvial para su posterior aprovechamiento en abastecimiento o regadío, para elevar su nivel con el objetivo de derivarla a canalizaciones de riego, para laminación de avenidas (evitar inundaciones aguas abajo de la presa) o para la producción de energía mecánica al transformar la energía potencial del almacenamiento en energía cinética y ésta nuevamente en mecánica al accionar la fuerza del agua un elemento móvil. La energía mecánica puede aprovecharse directamente, como en los antiguos molinos, o de forma indirecta para producir energía eléctrica, como se hace en las centrales hidroeléctricas.

TERMINOLOGÍA Y ELEMENTOS DE UNA PRESA

Los términos más habituales utilizados en presas son:

- **El embalse:** es el volumen de agua que queda retenido por la presa.
- **El vaso:** es la parte del valle que, inundándose, contiene el agua embalsada.
- **La cerrada o boquilla:** es el punto concreto del terreno donde se construye la presa.
- **La presa o cortina:** propiamente dicha, cuyas funciones básicas son, por un lado garantizar la estabilidad de toda la construcción, soportando un empuje hidrostático del agua, y por otro no permitir la filtración del agua.

A su vez, en la presa se distinguen los siguientes elementos principales:

- **Los paramentos, caras o taludes:** son las dos superficies más o menos verticales principales que limitan el cuerpo de la presa, el interior o de aguas arriba, que está en contacto con el agua, y el exterior o de aguas abajo.
- **La coronación:** es la superficie que delimita la presa superiormente.
- **Los estribos:** son los laterales del muro que están en contacto con la cerrada contra la que se apoya.
- **La cimentación:** es la parte de la estructura de la presa, a través de la cual se transmiten las cargas al terreno, tanto las producidas por la presión hidrostática como las del peso propio de la estructura.
- **El aliviadero:** es la estructura hidráulica por la que rebosa el agua excedentaria cuando la presa ya está llena.
- **Las compuertas:** son los dispositivos mecánicos destinados a regular el caudal de agua a través de la presa.
- **El desagüe de fondo:** permite mantener el denominado caudal ecológico aguas abajo de la presa y vaciar la presa en caso de ser necesario.
- **Las tomas** son también estructuras hidráulicas, pero de menor entidad, y son utilizadas para extraer agua de la presa para un cierto uso, como puede ser abastecimiento a una central hidroeléctrica o a una ciudad.

TIPOS DE PRESAS

Los diferentes tipos de presas responden a las diversas posibilidades de cumplir la doble exigencia de resistir el empuje del agua y evacuarla cuando sea preciso. En cada caso, las características del terreno y los usos que se le quiera dar al agua, condicionan la elección del tipo de presa más adecuado.

Existen numerosas clasificaciones, dependiendo de:

- su forma o manera de transmitir las cargas a las que se ve sometida;
- los materiales empleados en la construcción.

Dependiendo de su forma pueden ser:

- de gravedad;
- de contrafuertes;
- de arco;
- bóvedas o arcos de doble curvatura;
- mixta, si está compuesta por partes de diferente tipología.

Dependiendo del material se pueden clasificar en:

- de hormigón (convencional o compactado con rodillo);
- de mampostería;
- de materiales sueltos (de escollera, de núcleo de arcilla, con pantalla asfáltica, con pantalla de hormigón, homogénea).

Según su estructura las presas se clasifican en:

- **Presa de gravedad:** es aquella en la que su propio peso es el encargado de resistir el empuje del agua. El empuje del embalse es transmitido hacia el suelo, por lo que éste debe ser suficientemente estable para soportar el peso de la presa y del embalse. Constituyen las represas de mayor durabilidad y que menor mantenimiento requieren.

Dentro de las presas de gravedad se puede tener:

- Escollera, tierra homogénea, tierra zonificada, CFRD (grava con losa de hormigón), de roca.
- De hormigón tipo HRC (hormigón compactado con rodillo) y hormigón convencional.



Su estructura recuerda a la de un triángulo isósceles ya que su base es ancha y se va estrechando a medida que se asciende hacia la parte superior aunque en muchos casos el lado que da al embalse es casi vertical. La razón por la que existe una

Presas de hormigón

diferencia notable en el grosor del muro a medida que aumenta la altura de la presa se debe a que la presión en el fondo del embalse es mayor que en la superficie, de esta forma, el muro tendrá que soportar más presión en el lecho del cauce que en la superficie. La inclinación sobre la cara aguas arriba hace que el peso del agua sobre la presa incremente su estabilidad.

- **Presa de arco:** es aquella en la que su propia forma es la encargada de resistir el empuje del agua. Debido a que la presión se transfiere en forma muy concentrada hacia las laderas de la cerrada, se requiere que ésta sea de roca muy dura y resistente. Constituyen las represas más innovadoras en cuanto al diseño



y que menor cantidad de hormigón se necesita para su construcción. La primera presa de arco de la que se tiene noticia es la presa de Vallon de Baume, realizada por los romanos cerca de Glanum (Francia).

- **Presa de bóveda o de doble arco:** cuando la presa tiene curvatura en el plano vertical y en el plano horizontal, también se denomina de bóveda. Para lograr sus complejas formas se construyen con hormigón y requieren gran habilidad y experiencia de sus constructores que deben recurrir a sistemas constructivos poco comunes.

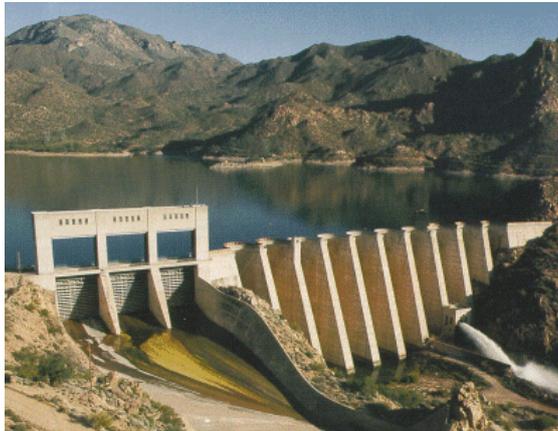


- **Presa de arco-gravedad:** combina características de las presas de arco y las presas de gravedad y se considera una solución de compromiso entre los dos tipos. Tiene forma curva para dirigir la mayor parte del esfuerzo contra las paredes de un cañón o un valle, que sirven de apoyo al arco de la presa. Además, el muro de contención tiene más espesor en la base y el peso de la presa permite soportar parte del empuje del agua. Este tipo de presa precisa menor volumen de relleno que una presa de gravedad.

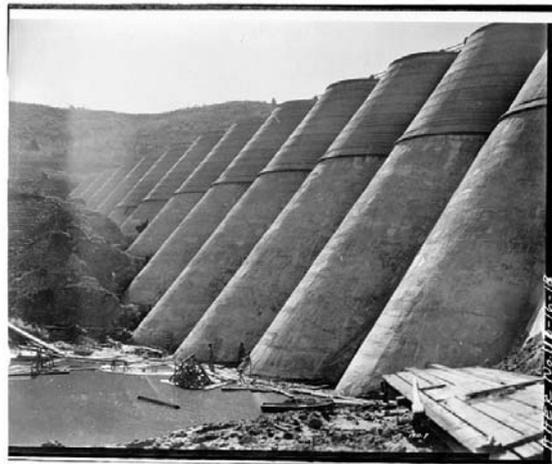


Presas de hormigón

- **Presa de contrafuertes o aligerada.**



- **Presa de bóveda múltiple.**



Según su aplicación se pueden clasificar como:

- **Presas filtrantes o diques de retención:** Son aquellas que tienen la función de retener sólidos, desde material fino, hasta rocas de gran tamaño, transportadas por torrentes en áreas montañosas, permitiendo sin embargo el paso del agua.
- **Presas de control de avenidas:** Son aquellas cuya finalidad es la de laminar el caudal de las avenidas torrenciales, con el fin de que no se cause daño a los terrenos situados aguas abajo de la presa en casos de fuerte tormenta.
- **Presas de derivación:** El objetivo principal de estas es elevar la cota del agua para hacer factible su derivación, controlando la sedimentación del cauce de forma que no se obstruyan las bocatomas de derivación. Este tipo de presas son, en general, de poca altura ya que el almacenamiento del agua es un objetivo secundario.
- **Presas de almacenamiento:** El objetivo principal de éstas es retener el agua para su uso regulado en irrigación, generación eléctrica, abastecimiento a poblaciones, recreación o navegación, formando grandes vasos o lagunas artificiales. El mayor

Presas de hormigón

porcentaje de presas del mundo, las de mayor capacidad de embalse y mayor altura de cortina corresponden a este objetivo.

MATERIALES UTILIZADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE PRESAS

Según sus materiales las presas se pueden clasificar en:

- **Presas de hormigón:** son las más utilizadas en los países desarrollados ya que con éste material se pueden elaborar construcciones más estables y duraderas; debido a que su cálculo es del todo fiable frente a las producidas en otros materiales. Normalmente, todas las presas de tipo gravedad, arco y contrafuerte están hechas de este material. Algunas presas pequeñas y las más antiguas son de ladrillo, de sillería y de mampostería. En España, el 67% de las presas son de gravedad y están hechas con hormigón. La presa de las Tres Gargantas situada en el curso del río Yangzi en China es la planta hidroeléctrica y de control de inundaciones más grande del mundo. Se terminó en el año 2009.



- **Presas de materiales sueltos:** son las más utilizadas en los países subdesarrollados ya que son menos costosas y suponen el 77% de las que podemos encontrar en todo el planeta. Son aquellas que consisten en un relleno de tierras, que aportan la resistencia necesaria para contrarrestar el empuje de las aguas. Los materiales más utilizados en su construcción son piedras, gravas, arenas, limos y arcillas aunque dentro de todos estos



los que más destacan son las piedras y las gravas. En España sólo suponen el 13% del total. Este tipo de presas tienen componentes muy permeables, por lo que es necesario añadirles un elemento impermeabilizante. Además, estas estructuras resisten siempre por gravedad, pues la débil cohesión de sus materiales no les permite transmitir los empujes del agua al terreno. Este elemento puede ser arcilla (en cuyo caso siempre se ubica en el corazón del relleno) o bien una pantalla de

Presas de hormigón

hormigón, la cual se puede construir también en el centro del relleno o bien aguas arriba. Estas presas tienen el inconveniente de que si son rebasadas por las aguas en una crecida, corren el peligro de desmoronarse y arruinarse. En España es bien recordado el accidente de la Presa de Tous conocido popularmente como la "Pantanada de Tous".

- **Presas de enrocamiento con cara de hormigón:** este tipo de presas en ocasiones es clasificada entre las de materiales sueltos; pero su forma de ejecución y su trabajo estructural son diferentes. El elemento de retención del agua es una cortina formada con fragmentos de roca de varios tamaños, que soportan en el lado del embalse una cara de hormigón la cual es el elemento impermeable. La pantalla o cara está apoyada en el contacto con la cimentación por un elemento de transición llamado plinto, que soporta a las losas de hormigón. Este tipo de estructura fue muy utilizado entre 1940 a 1950 en cortinas de alturas intermedias y cayó en desuso hasta finales del siglo XX en que fue retomado por los diseñadores y constructores al disponer de mejores métodos de realización y equipos de construcción eficientes.

PRESAS DE HORMIGÓN

Las tres premisas principales que determinan la caracterización de los hormigones en masa utilizados en la construcción de presas son: durabilidad, impermeabilidad y economía. Evidentemente, la resistencia es otro factor a considerar, si bien, el cumplimiento de los anteriores, lleva en general asociado unas resistencias mínimas iguales o superiores a las requeridas en hormigones de presas.

Como sabemos, el fraguado del hormigón es un proceso químico que desprende calor. Dicho calor no suele constituir ningún problema en las estructuras construidas con este material, pues normalmente se disipa rápidamente, y el grado de hiperestatismo de las estructuras, mientras éstas se encuentran todavía en fase de construcción, suele ser muy bajo.



Presas de hormigón

Sin embargo, el caso de las presas de hormigón es diferente. En primer lugar, se ejecutan grandes volúmenes de hormigón que convierten sus núcleos en recintos casi adiabáticos y, en segundo lugar, el cimiento rígido sobre el que se asienta la presa constituye una restricción importante que impide las deformaciones libres de ésta, de forma que las variaciones térmicas inducen tensiones que, en el caso de exceder a la resistencia a tracción del hormigón, van a provocar la indeseable fisuración del material.

Desde la puesta en obra del material hasta la etapa de explotación, la temperatura que alcanza el hormigón de la presa experimenta una evolución que en términos cualitativos puede esquematizarse por un período de crecimiento durante la construcción y después un lento enfriamiento. Podemos distinguir, como parámetros significativos de esta evolución, la temperatura inicial o temperatura de puesta en obra de la masa fresca del hormigón, el incremento de temperatura por el marcado carácter exotérmico de las reacciones de hidratación de cemento hasta llegar a un valor máximo de la temperatura y una rama descendiente (influenciada por la secuencia constructiva), correspondiente al enfriamiento, hasta alcanzar la temperatura del régimen de explotación.

La construcción de una gran estructura como es el caso de las presas implica la movilización de enormes volúmenes de material (del orden de cientos de miles de metros cúbicos de hormigón), así como de mano de obra, maquinaria y, en general, de medios que contribuyan a la consecución de nuestro objetivo.

Es evidente, por lo tanto, que una de las prioridades a tener en cuenta en el diseño de todo aquello que comporta construir una presa (materiales, dosificación, procedimientos de construcción, etc.) será economizar en lo posible todo este proceso sin dejar de lado, por supuesto, la seguridad a lo largo de toda la vida de la presa. Esto puede comportar cambios en los materiales que forman el hormigón (sustitución parcial del cemento, elección de áridos...), en la puesta en obra (procedimientos tradicionales de puesta en obra versus aquéllos de compactado por rodillo), etc., según, claro está, las circunstancias particulares de cada caso.

El incremento de temperatura que experimenta el hormigón una vez puesto en obra depende, fundamentalmente, del tipo y cantidad de conglomerante. Siendo uno de los objetivos la reducción de dicha temperatura, resultan imprescindibles ciertos cambios respecto al conglomerante que utilizaríamos en un hormigón convencional.

El tipo de conglomerante utilizado ha de desarrollar una cantidad de calor de hidratación moderadamente baja, evitando así en lo posible la problemática fisuración del hormigón. En consecuencia, los cementos utilizados en la construcción de presas son preferentemente a base de clinker y cenizas volantes o escoria siderúrgica, y también otros tipos de materiales puzolánicos, naturales o artificiales, siendo las proporciones de éstos mayores de un 30% (cementos tipo II) y pudiendo llegar a más de un 80% según el tipo de cemento (cementos tipo III/B y III/C, IV, V y Especial VI-1).

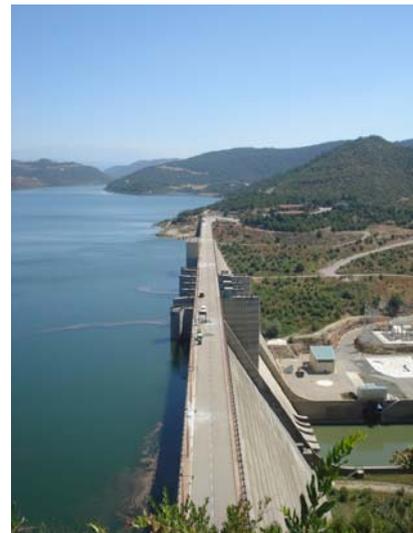
Además de reducir la cantidad de clinker, con la consiguiente disminución del calor de fraguado (y en consecuencia del peligro de fisuración), de la retracción y del coste del hormigón, la incorporación de puzolanas y cenizas a través del cemento produce otros efectos favorables; en efecto, proporcionan una mayor trabajabilidad a la mezcla fresca, que

Presas de hormigón

se traduce en una reducción del agua de amasado (de un 5 a 8%) y aumento de la resistencia, y también dan lugar a una mayor durabilidad en el hormigón.

A partir de aquí podríamos cuestionarnos las diferentes opciones de incorporación de estas cenizas y/o puzolanas naturales. Existen dos opciones al respecto, la incorporación en fábrica o en torre de hormigonado, y ambas tienen sus ventajas e inconvenientes. Por ejemplo, en el caso de las puzolanas naturales es obligado su molido para que sean eficaces, y aunque puede hacerse en obra, quizá sea más ventajoso el empleo en la molienda en fábrica de cemento. Las cenizas volantes suelen tener el tamaño adecuado para utilizarlas directamente en la obra (aunque a veces también se someten a molienda). En general, y excepto en el caso de distancias de transporte muy grandes, suele ser conveniente preparar el cemento puzolánico en la fábrica, pues garantiza una mayor regularidad en la calidad del producto; por otra parte, se evita el mayor costo y dificultad que en obra supone la instalación y empleo de dosificadores y silos adicionales.

El hormigón compactado con rodillo (HCR, o RCC en inglés) es un hormigón de consistencia seca -asiento cero- que permite ser colocado y compactado con la maquinaria usada en el movimiento de tierras.



La técnica de construcción de presas por extendido y compactación de sucesivas capas de hormigón se inicia a principios de la década de los setenta como respuesta al problema de una más rápida y económica construcción de presas de fábrica que las hiciera más competitivas en coste con las presas de materiales sueltos.



Presas de hormigón

El contenido de agua es otra de las diferencias fundamentales entre los hormigones convencionales y los HCR. Los hormigones compactados con rodillo contienen una reducida cantidad de agua de amasado, compatible con el tránsito de maquinaria de movimiento de tierras de gran tonelaje por su superficie en estado fresco.

Respecto al conglomerante utilizado, existen dos aspectos básicos a comentar. En primer lugar hay una mayor sustitución de clinker por adiciones de material puzolánico (cenizas volantes y escoria siderúrgica, sobretodo) en los hormigones compactados; aunque sólo sirva de orientación, en el hormigón convencional la sustitución es de un 30-40% de adiciones en término medio, mientras que en los HCR mostrados encontramos desde el 35 al 70% en cenizas volantes. Así, no es de extrañar el uso de cementos de bajo calor de hidratación (hasta el 75% en cenizas o escoria siderúrgica) y del tipo V (cementos compuestos).

CONTRIBUCIÓN A LA SOSTENIBILIDAD

Las presas de hormigón es una solución sostenible por su versatilidad para adaptarse a las condiciones de la cerrada.

Las ventajas de las presas de hormigón son de distinta índole:

Ventajas medioambientales

- Emplea recursos naturales locales prácticamente inagotables.
- Permite el empleo de áridos reciclados (RCDs).
- Es reciclable en su totalidad al final de su vida útil.
- Es un material muy durable, por lo que se evita el consumo de nuevos recursos y se reducen las emisiones de CO₂.

Una de las metodologías más utilizadas para evaluar los impactos medioambientales de cualquier producto o proceso constructivo es el Análisis de Ciclo de vida (ACV). Este método tiene como objetivo evaluar las cargas ambientales debidas a una actividad, proceso o producto, mediante la identificación y cuantificación de todos los impactos sobre el medio ambiente (consumo de energía, de recursos renovables y no renovables, emisiones a la atmósfera, contaminación del agua, generación de residuos, etc.), la valoración de dichos impactos, el análisis de posibles mejoras y la inclusión para todo ello, del ciclo completo de la actividad, proceso o producto considerado.

Ventajas técnicas

- Permite la aplicación de cualquier sistema constructivo (encontrando bloques de hormigón vibrado, por tongadas mediante hormigón compactado con rodillo).
- Se adapta a cualquier forma de cerrada.
- Seguridad frente a acciones accidentales (sismo, grandes avenidas).

CONCLUSIONES

La evolución y el conocimiento del material hormigón permite afirmar que las presas de hormigón son la solución más adecuada para la construcción de elementos para el embalse de agua, laminación de avenidas o generación eléctrica.

REFERENCIAS

Varios autores, Las Presas en España. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 2008.

Ministerio de Medio Ambiente, Instrucción para el Proyecto, Construcción y Explotación de Grandes Presas. 1967.

Fernando Delgado Ramos, Seguridad de Presas y Embalses. Normativa y Recomendaciones. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 2004.

Eugenio Vallarino, Tratado Básico de Presas, Tomos I y II. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 2006.