

Conceptos Básicos en Presas

LUZ ELENA SANTAELLA VALENCIA Ph.D.¹

LUZ YOLANDA MORALES. MSc.²

El objetivo de este artículo es presentar los aspectos más importantes sobre las presas, desde el punto de vista histórico, técnico y ambiental para afirmar y difundir un mayor conocimiento del tema.

INTRODUCCIÓN

El agua es un elemento esencial para cualquier forma de vida, y alrededor de ésta se formaron las grandes comunidades y civilizaciones del mundo. El hombre primitivo ideó recipientes para almacenar el agua; cuando se hizo sedimentario y agricultor se ubicó cerca a los ríos; al aumentar la población se alejaron de la orilla siendo más difícil el transporte del agua, hasta que alguien ingenioso colocó unas piedras y ramas atravesadas en el río haciendo subir el nivel del agua y a través de una zanja la derivó hasta un sitio: esto constituyó una presa canal primitiva que se perfeccionó alcanzando alturas y embalses mayores.

¹ Ing. Civil, Coordinadora línea de investigación en concreto. Facultad de Ingeniería, Universidad Militar Nueva Granada.

² Ing. Civil, Jefe Centro de Investigaciones Facultad de Ingeniería, Universidad Militar Nueva Granada.

RESUMEN HISTÓRICO

En el antiguo Egipto, Menés construyó una presa en piedra en el siglo 4000 a.C de aproximadamente 15 metros de altura, para desviar el río Nilo en Menfis. Según las ruinas, ésta duró unos 45 siglos. En Mesopotamia hay vestigios de canales de irrigación y el acueducto de Senaquerib construido entre 690 y 703 a.C., son obras que requerían necesariamente la construcción de presas para su funcionamiento.

Las presas más antiguas de China se construyeron en tierra entre 780 y 1368 a.C.; en México se construyó en cinco fases la presa de Purrón, de 18 metros de altura y con capacidad para regar 675 Ha, entre los años 750 a.C y 1500 d.C.

El desarrollo de la vida urbana durante el periodo romano produce una gran cantidad de obras hidráulicas y de conducción, como: acueductos, obras de saneamiento y drenaje urbano. En cuanto a las presas se construyeron la de Proserpina, de 19 metros de altura, y Cornalvo de 24 metros, para abastecer de agua a las poblaciones españolas; pero actualmente, debido al proceso de colmatación, sólo sirven para la recreación.

Las presas que se construyeron eran de pequeña altura; al desaparecer el imperio romano, los árabes, excelentes constructores hidráulicos, se dedicaron a construir presas de derivación para riego, usos urbanos y ornamentales. Durante los siglos 18 y 19 las presas toman importancia, debido al desarrollo de los fundamentos científicos y matemáticos para su diseño con base en las teorías de: Pascal (1623-1662), Newton (1642-1727), Lagrange (1736-1813), Leibnitz (1646-1716), Cauchy (1789-1857), Navier (1785-1836) y teorías hidráulicas de: Torricelli (1608-1647), Bernoulli (1700-1782), Euler (1707-1783) Chezy (1718-1798), Bidone (1781-1839), Darcy (1803-1858), Froude (1810-1882), Helmholtz (1821-1894), Kelvin (1824-1907). A partir de este

bagaje de conocimientos, se comienzan a dar formas y dimensiones a las presas sobre bases físicas y mecánicas a través de cálculos racionales, que inician el periodo de las presas modernas.

DEFINICIÓN DE PRESA

Es una estructura hidráulica, que se construye en la sección transversal del cauce de un curso de agua con dos fines: el primero, elevar su nivel de forma permanente o variable para hacerla pasar por una conducción; y el segundo es almacenar el agua para suministrarla en los periodos de escasez. En general, los usos más importantes son: la generación de energía eléctrica, el abastecimiento de agua para acueducto y riego, la regulación de caudales, control de crecientes, y usos derivados como la recreación, el deporte, y la piscicultura.

TIPOS DE PRESAS

Los diversos tipos de presas se clasifican de acuerdo a la forma como resiste el empuje del agua, el material empleado para su construcción y la forma como se evacúa el caudal excedente. La presa se elige según las condiciones del terreno y el uso que se proyecte para ellas.

Clasificación de acuerdo a la forma como resiste los empujes del agua: pueden ser de dos tipos: de gravedad o en arco.

Clasificación de acuerdo a la forma de evacuar el caudal: son dos, la primera cuando el vertedero se encuentra sobre la presa (*presa vertedero*) y la segunda cuando el vertedero es independiente de ésta.

Clasificación de acuerdo al material empleado: puede ser en concreto convencional, concreto compactado con rodillo (CCR), o de materiales sueltos tales como las presas de tierra cuando más del 50% del material es térreo

(limos, arcillas y suelos en general) o están mezclados con gravas y arenas; las presas de escolleras, en las cuales predominan las piedras en más del 50% del volumen total.

PARTES DE UNA PRESA

Las partes más importantes de una presa dependen del material de construcción, siendo las más importantes las que se exponen a continuación:

Cerrada o sitio de emplazamiento: es el sitio en el cual se construye la presa, por lo general es el más estrecho del cauce, que además debe cumplir con las condiciones de seguridad y funcionalidad que permita construir la obra más económica en conjunto. La cerrada puede condicionar el tipo de presa (gravedad, arco).

Cimientos y estribos de la presa: deben resistir las cargas transmitidas por la presa, procedentes de las fuerzas exteriores a las que están sometidas.

Presa: es la estructura que está sometida al empuje del agua, presión intersticial y subpresión, empuje de sedimentos y oleaje, peso propio, sismos y efectos térmicos; por esto, debe ser estable y segura.

Presa de materiales sueltos: está constituida por un núcleo central de arcilla muy impermeable y poco resistente; a cada lado del núcleo se encuentran los espaldones que pueden ser de grava, arena o de escollera que colaboran eficazmente a la estabilidad, siendo altamente permeable y resistente. Si el material de los espaldones es poco permeable, se puede presentar la presión intersticial; por esto, se debe proteger el espaldón aguas abajo colocando un dren vertical entre núcleo y espaldón que empata con otro dren horizontal que se prolonga hasta un punto lejos del talud aguas

arriba. Los drenes de una presa de materiales sueltos a su vez sirven de filtros para impedir el paso de partículas finas (limos, arcillas) del núcleo que se quiere proteger. El talud de aguas arriba se debe proteger del oleaje, mediante capas de escollera, pantallas bituminosas, etc. Para evitar la erosión causada por la lluvia el talud aguas abajo se protege con una capa de escollera o empradizando con césped u otras plantas herbáceas.

Presa de concreto: como se dijo anteriormente éstas pueden ser: a gravedad, en arco y de contrafuertes.

Presa de gravedad: es aquella en la cual el peso del material con que se construye resiste el empuje del agua. Pueden ser *macizas* como las de materiales sueltos, o *aligeradas* como las de contrafuerte. La sección transversal de una presa de gravedad está constituida por un triángulo de base amplia, cuyo vértice superior termina en un trapecio que conforma la coronación y sirve de margen de seguridad contra el oleaje y para el paso de vehículos y peatones. El ancho es de 5.5 m, siendo el carril de circulación vehicular de 3.5 m como mínimo y 2 m para el paso peatonal.

Presa arco (bóvedas o cúpulas): la estructura en conjunto de este tipo de presa resiste el empuje del agua de forma tridimensional, predominando el efecto arco sobre el peso, siendo la componente horizontal mayor que la vertical, mientras que en la presa de gravedad estas componentes son iguales o prevalece la vertical. Las presas en arco pueden ser con curvatura horizontal o de doble curvatura. Son más seguras porque la forma se adapta bien a una gran variedad de cargas, pero su empleo está limitado por las condiciones topográficas y geológicas del sitio de emplazamiento o cerrada.

Drenajes: sirven para canalizar las filtraciones de agua que atraviesen el espaldón aguas

arriba. En las presas de concreto los drenes se construyen en sentido vertical de la presa encofrando un tubo o perforando el agujero posteriormente, siendo este último el método más económico y utilizado. Los drenajes desembocan en las galerías. La dimensión varía según el tipo de drenaje que resulta del diseño del proyecto. La distancia entre ejes de drenes depende de cada caso; cuando el drenaje es muy intenso la distancia disminuye y viceversa.

Galerías: son conductos horizontales de forma rectangular o en herradura, se construyen en sentido longitudinal y transversal a la presa, y sirven para inspeccionar la obra durante su construcción y en el llenado del embalse, para investigar y conocer mejor la roca, para efectuar las inyecciones de cosido con fines de impermeabilización, para la consolidación del terreno de forma que no se produzcan movimientos relativos y para drenar la obra con el fin de eliminar la presión intersticial. Después de construida la presa los ingenieros y técnicos recorren las galerías para controlar su comportamiento, cuya longitud puede alcanzar grandes centenares de metros o kilómetros.

Aliviadero: su función es derivar y transportar el agua sobrante, y amortiguar su energía al reintegrarla al cauce para evitar perjuicios a la propia presa y a los bienes de las personas que se encuentran aguas abajo de la presa.

Los aliviaderos pueden estar sobre la presa o independientes de ella; también pueden ser de superficie o profundos, y de acuerdo al régimen hidráulico pueden ser en lámina libre que son los más utilizados; en presión son los minoritarios, o mixtos, que constan de un tramo a presión y otro libre.

El aliviadero se compone de tres partes: toma, conducción y reintegro al cauce. La toma desvía los caudales del embalse al aliviadero. La

conducción conduce el agua derivada desde la toma a un punto en el que se reintegra al cauce. La obra de reintegro al cauce se encuentra al final de la conducción, y su objetivo es entregar el agua al río en condiciones adecuadas para la disipación de la energía que el agua adquiere al descender desde el embalse al cauce.

IMPACTO AMBIENTAL

Kader Asmal, Ministro de Educación de Sudáfrica y presidente de la Comisión Mundial de Presas (CMP), fundada en 1998, plantea dos grandes interrogantes: ¿Cómo pesan los conocimientos, los intereses y los valores en la decisión de construir o no una presa?, ¿cómo decidir en un contexto de intereses contrapuestos?

Para la Comisión Internacional de Grandes Presas (CIGP), las presas facilitan el desarrollo, pues la energía y el agua son indispensables para el desarrollo de una nación. Se cree que las presas producen un 20% de la electricidad mundial y un 7% de la energía total sin efectos nocivos para la capa de ozono. También pueden suministrar agua potable y regar las tierras de cultivo.

Según Vallarino, hace unas décadas, los embalses producían únicamente resultados positivos, porque la decisión de su construcción dependía del estudio económico; pero al aumentar la población y la riqueza, y al existir una mayor sensibilidad social, las presas se construyen siempre y cuando su costo social lo justifique, es decir que se debe hacer un estudio de los efectos directos e indirectos de todo tipo, al igual de los que son objeto directo del embalse como riego, energía, agua potable etc.

Los efectos pueden ser positivos y negativos, unos son inevitables y otros parcial o totalmente controlables. Entre los efectos negativos se pueden destacar:

1. Al construir la presa se presentan dos zonas con características diferentes, la zona aguas abajo de la presa y la zona aguas arriba que es inundada por el embalse, afectando las propiedades, industrias, carreteras, pueblos, monumentos históricos, etc., siendo en algunos casos invaluable su incidencia humana y social, que puede llegar a hacer inviable la construcción de una presa.
2. Aguas abajo de la presa se producen cambios en las condiciones físicas del agua (temperatura y oxigenación) y en el régimen de caudales provocados por los órganos de desagüe, aliviaderos y desagües de fondo.
3. Se interrumpe el curso de los materiales que lleva el agua en suspensión, lo que disminuye la capacidad del embalse al sedimentarse.
4. El agua en movimiento con profundidades moderadas se transforma al agua en reposo, con grandes profundidades en el embalse.
5. Se cambia el efecto de aireación e insolación del agua, repercutiendo en la vida de las especies vegetales y animales.
6. Cuando la altura del agua en el embalse supera los 100 m, el peso del agua altera el estado de cargas del terreno que provocan sismos cuya intensidad puede llegar a 6,5.

Sin embargo todos estos efectos son conocidos, pero algunos son difíciles de predecir y cuantificar. En los estudios previos de la presa, basta analizar cualitativamente los efectos ambientales y ecológicos previsibles. Para obtener una idea de su posibilidad e importancia, se usa la matriz de impactos y los modelos de simulación.

En la *matriz de impacto* se colocan las causas en las columnas y los efectos en las filas. Por ejemplo: cuando la causa A produce el efecto C se señala, y si es posible se evalúa numéri-

camente; pero si no lo produce se deja la casilla AC vacía. De esta forma, se puede conocer lo que se espera y las relaciones causa-efecto.

Los *modelos de simulación* consisten en la formulación matemática lineal de las relaciones entre las diversas causas y efectos. Cuando se pueden realizar se puede conocer el mecanismo y obtener el resultado de las posibles medidas correctoras.

Por el momento estos métodos son aproximados y en algunos casos cualitativos, pero es mejor tenerlos, por que señalan lo que ignoramos.

LAS PRESAS EN COLOMBIA

La mayoría de las presas en Colombia son de gravedad y en materiales sueltos. Desde hace sólo cinco años se están construyendo en el país presas en Concreto Compactado con Rodillo, entre las cuales se encuentran: Porce II localizada en Antioquia con una altura de 123 metros, Zanja-Honda localizada en Tolima con una altura de 25 metros y por último Miel I localizada en Caldas con una altura de 196 metros. Se hablará resumidamente de la presa Miel I, por ser actualmente la más alta a nivel mundial construida con ese material.

El concreto compactado con rodillo (CCR) es el material más utilizado en el mundo para la construcción de presas de gravedad, por la gran cantidad de ventajas técnicas y económicas que aporta. Al ser una opción que puede competir con las presas de gravedad en materiales sueltos, muchos de los proyectos de nuestro país que eran imposibles económicamente se pueden rediseñar nuevamente de acuerdo a los parámetros establecidos para el CCR.

El desarrollo que ha tenido el CCR en la última década es debido a los menores costos de construcción, al desarrollo de equipos de mezcla-

do, transporte, compactación, y al uso de conglomerantes de bajo calor de hidratación que han permitido un avance significativo de la técnica, resolviendo en gran medida los problemas que presentaban las construcciones de presas en concreto convencional o en materiales sueltos.

Proyecto Hidromiel

Actualmente se encuentra en construcción en el municipio de Norcasia al oriente del Departamento de Caldas, aguas abajo de la confluencia del río Moro con el río la Miel una presa de concreto compactado con rodillo (CCR) con aliviadero incorporado en el cuerpo de la misma. Las características técnicas más importantes se observan en la tabla 1.

El concreto compactado con rodillo (CCR) se define como "Un concreto de consistencia seca, asiento nulo, que se coloca de forma con-

tinua y su consolidación se realiza con un rodillo vibrante". Es decir, el concreto compactado con rodillo (CCR) es un material por que su dosificación y consistencia difiere del concreto convencional, y es una técnica puesto que su manejo requiere un procedimiento diferente al utilizado en el concreto convencional.

A continuación se expondrán las características de los materiales y el proceso constructivo de una presa en CCR.

Materiales que componen el CCR para la presa Miel 1.

Los materiales que componen el Concreto Compactado con Rodillo de la presa Miel 1, son los mismos que los del concreto convencional: cemento, agregados, agua, adiciones y aditivos, de los cuales se hablará a continuación.

Tabla 1. Resumen de las características técnicas de la presa Miel 1.

PARÁMETROS TÉCNICOS	VALORES
Altura de la presa (m)	196
Ancho de la cresta (m)	8
Longitud de la cresta (m)	341
Área de la cuenca portante (Km ²)	770
Caudal promedio del río sin trasvase (m ³ /s)	84.3
Caudal que llega al embalse con la creciente máxima probable (m ³ /s)	12.800
Área del embalse (Ha)	1220
Volumen total embalsado (Hm ³)	565
Capacidad de generación nominal instalada (MW)	365
Capacidad máxima de generación (MW)	402
Periodo de construcción de la central (meses)	54
Volumen de concreto (m ³)	1.730.000
Volumen de mortero de pega (m ³)	45.300
Cantidad de cemento (ton)	200.400
Cantidad de agregados (ton)	4.000.000

Cemento: los más apropiados para la fabricación del CCR son los tipo II o IV según la norma ASTM, o un cemento mixto. Este último es el más utilizado en la mayoría de las presas de CCR y se compone de una mezcla de cemento con adiciones entre un 30 hasta un 80% en peso de puzolanas naturales o artificiales. En la construcción de la presa Miel I se utiliza el cemento tipo II de moderado calor de hidratación.

Agregados: se extrajeron de la cantera localizada en el kilómetro 30 de la carretera Dorada-Norcasia de la zona del proyecto y de las excavaciones subterráneas; algunas de las propiedades de los áridos se colocan a continuación:

- Tamaño máximo, 63 mm
- Finos que pasan T200, 4-9%
- Contenido de partículas planas y alargadas por promedio ponderado: 30%
- Contenido de partículas planas y alargadas por fracción individual, menor al 40%

Mezcla de CCR: Miel 1 es una presa de gravedad con el espaldon de aguas arriba vertical y el de aguas abajo con pendiente variable, la inclinación es de 1 en vertical y 0.86 en horizontal. La presa esta zonificada en cinco mezclas de CCR cuyo contenido de cemento varía entre 150 Kg/m³ en la parte inferior de la presa, a 70 Kg/m³ en la parte superior, de acuerdo al nivel de esfuerzos. Los escalones del paramento de aguas abajo se realiza en concreto convencional con una resistencia de 24.5 MPa a 90 días de edad. El paramento de aguas arriba se realiza con una mezcla de CCR enriquecido de cemento en 150 kg por m³ de concreto. Algunas de las características de las mezclas de CCR son:

- Resistencia a compresión de diseño a 1 año de edad varía entre 8.8-24.5 MPa.

- Densidad de los cinco tipos de mezclas de CCR es de 2.53 t/m³.
- Contenido de finos de la mezcla, incluyendo el cemento varía entre 11-15%.
- Humedad total de la mezcla varía entre 5.9-6.2% incluyendo el agua de absorción.

Mortero de pega: Se coloca sobre la capa de CCR endurecido, antes de colocar la siguiente capa, para asegurar la adherencia entre las dos capas y la impermeabilidad entre ellas.

PROCESO CONSTRUCTIVO PARA LA PRESA MIEL 1

El CCR se elabora en una planta de concreto compuesta por cuatro mezcladoras de bachada cuya producción es de 2,67 m³ por cada una, el material se transporta mediante bandas hasta una tolva con capacidad para 35 m³, desde la cual se utilizan volquetas para transportar el CCR hasta el sitio de la presa, cuando la presa alcanza una cierta altura, se utilizan bandas transportadoras y una torre grúa para colocar el material, luego se extiende por medio de un bulldozer con sensor láser para asegurar el espesor deseado. A continuación el material extendido se compacta con un compactador de doble cilindro vibratorio de 10 toneladas con un mínimo de seis pasadas, proporcionando una pendiente del 1% hacia aguas abajo, para drenaje.

Debido al proceso constructivo se generan unas juntas entre las capas horizontales compactadas de 30 cm de espesor, en medio de las cuales se coloca el mortero de pega con un espesor de un centímetro, que se aplica después de realizar una limpieza de la superficie del CCR endurecido, con aire a presión. También existen 17 juntas transversales al eje de la presa espaciadas cada 17.5 metros que se construyen mediante el hincado de láminas de ace-

ro galvanizado en la capa de CCR recién compactado, luego son selladas con bandas de PVC aguas arriba.

BIBLIOGRAFÍA

1. VALLARINO, E.; "Tratado básico de presas"; Colegio de Ingenieros de Caminos Canales y Puertos; Colección Senior N° 11, Madrid 1991.
2. ÁLVAREZ MARTÍNEZ, Alfonso; "Apuntes de proyecto y construcción de presas. Presas de materiales sueltos"; Tomo IV, P.63, 1975, Madrid.
3. VÉLEZ, Juan Ernesto; "Miel 1, la presa más alta del mundo", Revista NOTICRETO No. 58, pp.31-43, Enero-Marzo 2001, Bogotá.
4. HANSEN, S.K.; REINHARDT, W.D.; "Roller Compacted Concrete Dams"; Mac Graw Hill, 1991.
5. LÓPEZ, José; CASTRO Guillermo; "Presa Miel 1, diseño de mezclas de CCR" Boletín No. 68 Instituto Colombiano de Productores de Cemento (ICPC); pp.2-37, Enero-Marzo/1995, Bogotá.
6. SANTAELLA VALENCIA, Luz Elena; "Comentarios sobre el concreto compactado con rodillo, (CCR)"; Revista de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Militar Nueva Granada; N° 8, Julio-Diciembre de 1999, pp. 9-23, Bogotá.