

Evolución de las presas en España

Development of dams in Spain

Jesús Yagüe Córdoba. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Comité Nacional Español de Grandes Presas. jyagüe@mma.es

Juan Carlos de Cea Azañedo. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Comité Nacional Español de Grandes Presas. jcdecea@mma.es

Resumen: Las presas presentan un importante valor patrimonial; incluso histórico, ya que algunas de ellas se encuentran incluidas en el Catálogo de Bienes de Interés Cultural. Limitándose a las presas estatales, estudios realizados por técnicos del Ministerio de Medio Ambiente concluyeron en el año 2003 que su valor de reposición alcanzaba una cifra cercana a los 14.400 Me. Estudios similares efectuados para las presas pertenecientes a los titulares hidroeléctricos arrojaron una cifra similar. Dado que ambas representan casi el 50% del total de las presas españolas, el valor patrimonial, y por tanto de reposición de todas las presas es, del orden, de unos 55.000 Me. Garantizar que son seguras y que cumplen con la máxima eficacia la función para la que fueron concebidas, es, por lo tanto, de la mayor importancia.

Palabras Clave: Evolución; Presas; Tipología; Recrecimientos; Normativa

Abstract: Dams form an important part of our national assets and heritage and several of these are listed in the National Catalogue of Assets of Cultural Interest. Studies conducted by technicians from the Ministry of the Environment showed that in 2003, state dams alone had a replacement value of some € 14,400 M. Similar studies carried out on dams owned by hydroelectric companies show similar figures. As these jointly make up nigh on 50% of all Spanish dams, the patrimonial value, and subsequent replacement value, of all the dams is around € 55,000 M.

Keywords: Development; Dams; Type; Heightening; Standards

Introducción

España es un país situado en el Sur de Europa con 500.000 km² de superficie, una población de alrededor de 45 millones de personas y unos recursos hídricos medios anuales de 112 km³.

Sin embargo, y a pesar de lo anterior, esos recursos se caracterizan por una alta irregularidad espacial -España ha adolecido históricamente de una relativa escasez de agua salvo en la franja galaico-cantábrica- y temporal, alternando períodos de sequía de uno o varios años con otros en los que son muy frecuentes las avenidas. Por esa razón, la regulación natural es de sólo el 9%, lo cual hacía muy necesaria la construcción de presas y azudes para aumentar esa cifra hasta el 45% actual, cifra ésta que sitúa al país en la media de los de la Unión Europea pero que, sin embargo, es muy variable entre Confederaciones Hidrográficas dependiendo de la morfología y características hidrológicas de cada una de ellas.

Presas y embalses generan un enorme beneficio al país y son un factor crucial en el grado de desarrollo alcanzado por España en las últimas décadas. A nivel global, el análisis de su contribución al desarrollo socioeconómico puede hacerse analizando la relación entre ciertos indicadores (nº de presas por millón de habitantes (N/M), o capacidad de embalse por habitante (V/C), por ejemplo, y el Producto Interior Bruto (PIB) o el Índice de Desarrollo Humano (HDI). En España el índice N/M es del orden de 30 y el V/C alrededor de 1.500 m³/per capita, cifra ésta un 30% inferior a la media de los países con HDI superior a 0,9, mostrando que en España, a pesar del elevado número de presas, su capacidad de embalse es relativamente reducida, como ya se ha indicado, por la irregularidad espacio-temporal de sus recursos hídricos.

En cualquier caso las aguas almacenadas por los embalses sirven para regar anualmente más de 2,7 MHa, para abastecer a gran parte de la población y para cubrir los picos de demanda relacionados con el turismo

(más de 60 millones de turistas visitan el país anualmente). Además, las aguas reguladas sirven para generar alrededor del 10% del consumo anual de energía.

Estudios económicos realizados para estudiar los beneficios producidos por presas y embalses muestran que el valor del agua almacenada por estos últimos es de alrededor de los 25.275 M€/año, lo que significa un precio medio del metro cúbico almacenado de unos 0,55 €.

Pero además del valor económico del agua, es indudable que presas y embalses juegan un papel fundamental en la protección de las personas, bienes y medio ambiente, laminando las avenidas.

Con respecto a los beneficios medioambientales, un importante número de embalses son, o están dentro de *Espacios Naturales Protegidos*. En muchos casos han servido para compensar las zonas húmedas destruidas durante el pasado siglo XX y en otros se han construido específicamente presas en sus colas al objeto de crear zonas húmedas en épocas de aguas bajas. De hecho, muchos de ellos representan el eslabón necesario para perfeccionar la cadena de zonas húmedas que necesitan las aves migratorias para sus anuales desplazamientos. Tanto es así que algunos embalses han sido incluidos en la *Lista de Humedales de Importancia Internacional de la Convención RAMSAR* (*Orellana, Cordobilla, Malpasillo, o Las Cañas*). Presentan, además, efectos muy positivos para ciertas especies de flora y fauna (la que tiene en el agua uno de los recursos para su subsistencia, como la avifauna acuática) y, claramente, para ciertas especies piscícolas.

Trataremos a continuación cómo ha sido la evolución de las presas en España desde la construcción de las primeras hasta hoy, desde distintas ópticas.

Evolución del número de presas

Las presas más antiguas españolas son las de *Muel*, *Cornalvo* y *Proserpina*, que fueron construidas en los Siglos I antes de Cristo (*Muel*) y II después de Cristo (*Cornalvo* y *Proserpina*) para garantizar, respectivamente, el abastecimiento de *Caesar Augusta* y *Augusta Emerita*.

Del período medieval hasta el siglo XIII sólo se conservan algunas presas árabes de pequeña altura, de derivación para riego.

A partir del XVI comienza una importante actividad hidráulica que alcanza su máxima expresión en el XVIII impulsada por Carlos III. Del siglo XVI son los azudes de derivación hacia el Canal Imperial de Aragón, el azud *El*

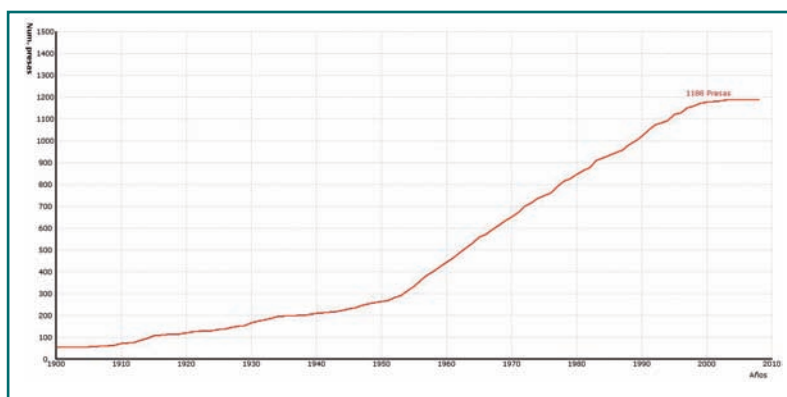


Fig. 1. Evolución del número de presas en explotación.

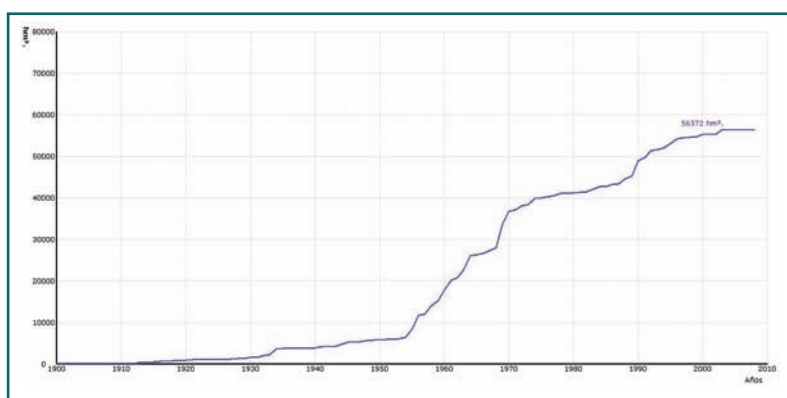


Fig. 2. Evolución de capacidad de embalse.

Embocador, en el Tajo; representativas del XVII son las presas de *Tibi*, *Almansa*, *Elche* y *Relleu*, mientras que del XVIII, y entre otras, están *Villareal de Berriz*, *Gasco*, *Arguís*, *Mezalocha*, *Zalamea*, *la Albuera de Feria* y *Puentes II*.

A finales del siglo XIX existían en España referencias relativas a unas 90 presas y azudes, de los cuales 52 se encuentran aún en explotación a fecha de hoy, generando un volumen de embalse cercano a los 108 Hm³. Cabe destacar que todos esos embalses eran, en general, de dimensiones reducidas, y de todos ellos tan sólo tres (*Puentes*, *Valdeinfierno* (1) y *El Villar*), daban lugar a un embalse superior a los 10 Hm³.

Las figuras 1 y 2 muestran cual ha sido la evolución del número de grandes presas y de la capacidad de embalse durante el siglo XX y el comienzo del siglo XXI. Durante el primer tercio del siglo XX la construcción de presas siguió las ideas de la política hidráulica de los regeneracionistas (Rafael Gasset y Joaquín Costa) plasmadas en el Primer Plan Hidrológico Nacional redactado en el año 1933 por Lorenzo Pardo, y de Rafael Benju-

(1) Con sus 25 Hm³ fue el mayor embalse del país del siglo XIX.

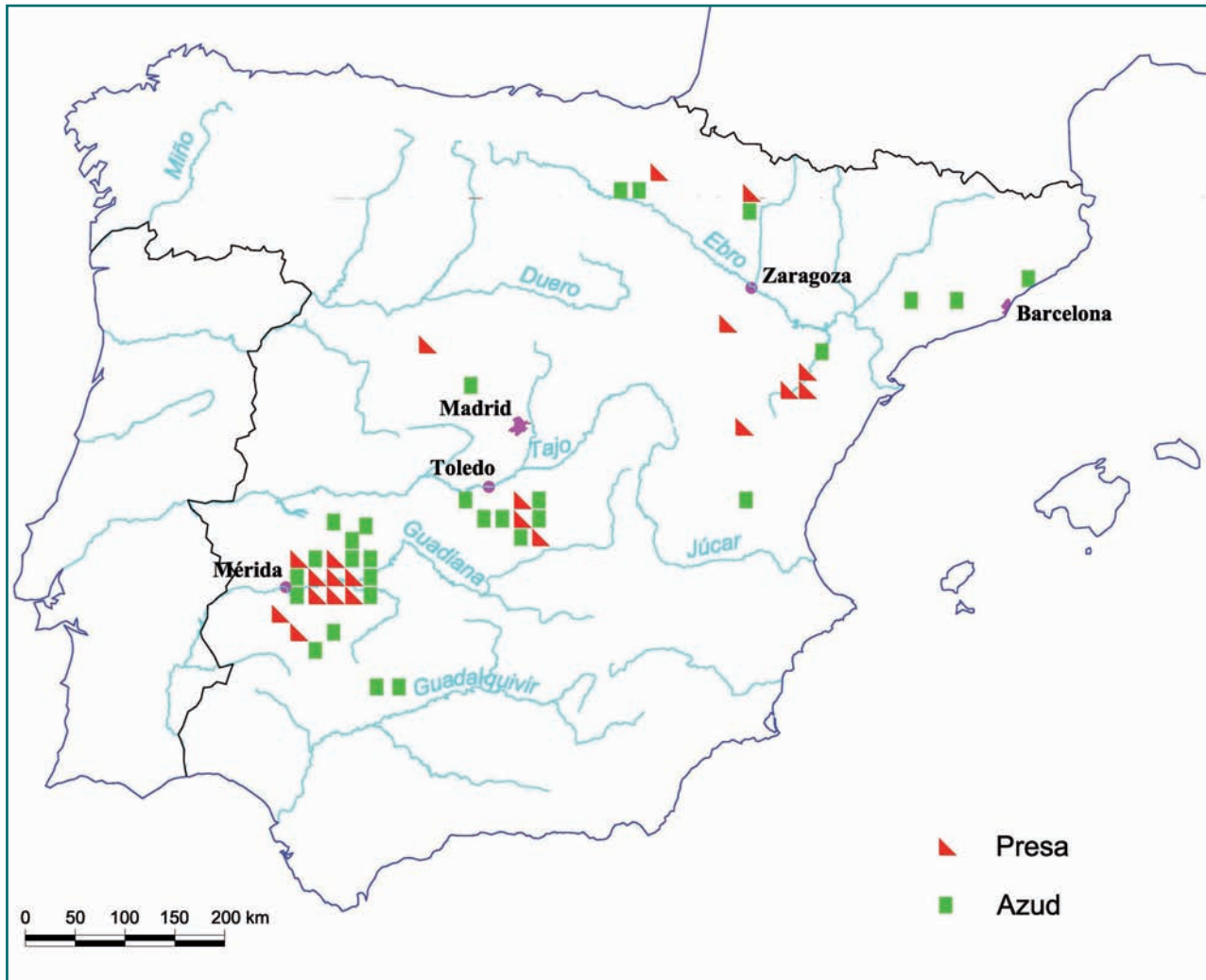


Fig. 3. Presas y Azudes romanos en España.

mea (Conde de Gudalhorce). El ritmo de construcción en esa época crecía a razón de 4 presas/año. Con el inicio de la segunda mitad del siglo, la construcción de presas experimenta un avance que cabe denominar de espectacular, poniéndose en explotación anualmente, una media de 20 presas, con un máximo de 200 en la década de 1960 a 1970.

Actualmente hay en España alrededor de 1.200 grandes presas (presas que cumplen los criterios de ICOLD), más 32 en fase de construcción (3 de ellas recrecimientos) y otras 6 a punto de ser licitadas. Con las 1.200 se cierra un volumen de embalse de 56.500 Hm³ y de acuerdo con aquella cifra España ocupa la primera posición en Europa por número de presas y la cuarta del mundo, tras China, Estados Unidos e India.

La consecuencia derivada de esa importante actividad constructiva llevada a cabo fundamentalmente en la última mitad del siglo pasado es el envejeci-

miento de las presas; en efecto, un 25 % de ellas tiene más de 50 años de edad y un 60% lleva más de 30 años en explotación. Por tal motivo, en el futuro habrá que dedicar grandes esfuerzos a las labores de mantenimiento, conservación, rehabilitación y adaptación de las presas a unos cada vez más exigentes estándares de seguridad demandados por la Sociedad.

Evolución de los usos

Abastecimiento

Ya hemos hablado de que con la construcción de las antiguas presas romanas (Figura 3) se perseguía abastecer a las poblaciones más próximas a ellas: Mérida, Toledo y Zaragoza. Sin embargo, y a pesar de lo anterior, hasta comienzos del siglo XIX la participación

de las presas en el abastecimiento de poblaciones fue muy reducida o nula al efectuarse aquél a través de fuentes, pozos, o viajes de agua, como en el caso de Madrid.

En el siglo XIX los embalses creados por la presa del *Pontón de la Oliva* y *El Villar* se dedican ya exclusivamente al abastecimiento de Madrid.

El incremento demográfico, la cada vez mayor concentración de población en grandes ciudades y los insuficientes caudales proporcionados por fuentes y manantiales para satisfacer las demandas da lugar a una creciente intervención del Estado en la realización de las obras de abastecimiento, ante las dificultades que para los Ayuntamientos representaba la financiación de esas costosas obras y de las de las redes de distribución primarias. Aparecen así los embalses creados por las presas de *Ordunte* (para abastecer Bilbao y cuya construcción terminó en 1934), *La Minilla* (Sevilla, 1956), *La Concepción* (Málaga, 1971), *El Atazar* (Madrid, 1972), *Ciurana* (Tarragona, 1972), *Canales* (Granada, 1988), *La Aceña* (Madrid 1989), *La Loteta* (Zaragoza, 2006) o *La Breña II* (Sevilla, en construcción), entre otras.

Riego

Como se ha indicado anteriormente las primeras presas españolas se construyeron con el objetivo de almacenar las aguas disponibles en ciertas épocas del año para distribuir las adecuadamente en otras. Precisamente cuatro de ellas se cree que fueron construidas para asegurar el abastecimiento de agua a las ciudades romanas de Caesar Augusta (*Muel*), Toletum (*Alcantarilla*) y Augusta Emerita (*Proserpina* y *Cornalvo*).

Resueltas las demandas de abastecimiento surgió la necesidad de satisfacer las de riego, especialmente en el área mediterránea, al haber introducido los árabes fuertemente en esa zona la cultura del regadío. Del período medieval hasta el siglo XII se conservan en la zona levantina, en los ríos Mijares, Júcar, Turia y Segura, numerosos pequeños azudes árabes de pequeña altura, de derivación, para riegos, como los *azudes del Turia*, el *azud de Villarreal* o el de *parada-contraparada*. Para cumplir también ese objetivo a partir del siglo XIV comienzan a ver la luz un importante número de presas que aún se conservan en buen estado (*Almansa*, *Tibi*, *Relleu*), una importante red de distribución a base de acequias que permitían aprovechar con gran eficiencia el agua y asociaciones de usuarios, alguna de ellas milenaria, como el Tribunal de las Aguas de Valencia,

primer precedente de lo que hoy conocemos como Comunidades de Regantes.

En el siglo XIX es cuando comienza a manifestarse con más firmeza la tendencia a tratar de asegurar los caudales de las zonas regables y a expandir la extensión de éstas. De las 40 grandes presas construidas a lo largo del siglo, 30 fueron para asegurar o ampliar zonas regables, como ejemplo *Valdeinfierno*.

El regadío se desarrolló en España intensamente durante el siglo XX. A comienzos de éste, se regaban aproximadamente 1,2 Mhas, que constituían los llamados regadíos tradicionales, situados principalmente en los valles de los ríos.

Es a partir de 1911, con la promulgación de la Ley de Riegos, y hasta mediados de siglo, cuando verdaderamente se concreta la intervención del Estado en el desarrollo de las obras hidráulicas para riegos y cuando se sientan las bases para la primera gran modernización del regadío en España. En ese período de tiempo se transformaron aproximadamente 300.000 Has, se elaboró el Primer Plan Nacional de Obras Hidráulicas en base a la ley de 1911 y se crearon las Confederaciones Hidrográficas (2), verdaderas artífices de la modernización.

Esa modernización comienza con el Proyecto de Riegos del Alto Aragón Sobrarbe, Somontano y Monegros, que con base en la Ley de Riegos es aprobado en 1913. Se trataba del plan de mayor envergadura de Europa en ese momento y suponía poner en riego 300.000 Has, superficie que suponía la cuarta parte del total de regadíos existentes en España en ese instante. Incluía las siguientes grandes obras hidráulicas: las presas de *Mediano*, *Ardisa* y *La Sotonera*, y los canales del *Cinca*, *Gállego* y *Monegros*.

Simultáneamente aparecen las compañías privadas concesionarias de riegos -posteriormente rescatadas por el Estado- que construyen los importantes canales del Ebro, Aragón, Cataluña, Esla, Urgel e Iturralde, a través de los cuales se transportaría el agua desde las presas a sus puntos de aplicación.

Los primeros años de funcionamiento de las Confederaciones Hidrográficas suponen la puesta en marcha de un gran número de presas a lo largo y ancho del país cuyo uso principal sería la satisfacción de demandas de agua para regadío (*Barasona*, *Las Navas*, *Moneva*, *Oliana*, *Porma*, *Rumblar*, *Torre del Aguila*, *Valbornedo*, *Zocueca*), de forma que a partir de la década de los 50 es cuando se observa el importantísimo incremento de

(2) La primera fue la del Ebro en el año 1926.

la capacidad de embalse y del número de presas en explotación, que responden al impulso de los programas de transformación en regadío que permitió que la superficie regable pasara de las 450.000 Has del año 1940 a 1,7 MHas del año 1970 y a los 2,7 MHas que existen actualmente.

Las presas más modernas construidas para satisfacer demandas de riego han sido *Laverné*, cerca de Egea de los Caballeros, y cuya construcción terminó en 2006 y *Monreal* y *Villaveta*, ambas cercanas a Pamplona y cuya construcción finalizó también en el año 2006.

Hidroelectricidad

Los primeros aprovechamientos se construyeron a finales del siglo XIX, eran de muy pequeña potencia y se disponían muy cerca del punto de consumo ya que se transportaba corriente continua.

La construcción de centrales hidroeléctricas comienza verdaderamente en España a principio del siglo XX, si bien es a partir de 1917 cuando se comienza a transportar corriente alterna a través de líneas de alta y media tensión a grandes distancias. Hasta ese año el *Inventario de presas españolas* recoge un total de 20 presas cuyo uso principal es el hidroeléctrico. A partir de ese año se comienzan a construir fundamentalmente con capital extranjero saltos para satisfacer la demanda energética de poblaciones de importancia, a las que se lleva la electricidad a través de redes independientes y sin interconexión. Esa situación se mantiene hasta la guerra civil. Son características de esta época, entre otras, las presas de *Alloz*, *Ardisa*, *Bolarque*, *Camporredondo*, *Doiras*, *Ricobayo* y *La Toba*, cuya construcción se finalizó a una cota inferior a la inicialmente prevista.

Al término de la guerra civil la situación cambia; el aislamiento al que se ve sometido el país y la ausencia de capitales da lugar a que se produzca un notable desarrollo de las empresas hidroeléctricas, de la ingeniería de presas y de las empresas constructoras. Las empresas hidroeléctricas proyectan y construyen sus presas con un criterio de rentabilidad por energía producida permitiendo, además, que los embalses se empleen para otros usos. En otros casos era la propia Administración hidráulica la que acometía las obras de construcción de la presa permitiendo la instalación al pie de una central con canónes por el uso del agua empleada en la generación.

Son destacables de la época las empresas Saltos del Sil, Iberduero, Hidroeléctrica Española y ENHER. To-

das ellas construyeron un gran número de los saltos existentes hoy en el país, alcanzándose el máximo ritmo de ejecución entre los años 1940 y 1975. De esa época son *Alarcón*, *Alcántara*, *Albarellos*, *Aldeadávila*, *Almendra*, *Caselles*, *Las Portas* y *Los Bermejales*.

A partir de 1975 se entra en una etapa de estancamiento en la que no se construyen nuevas centrales, salvo excepciones, por ejemplo *Cedillo* (1978), *Baserca* (1982), *Besandino* (1984), *Alange* (1992) o *Cenza* (1993). Esa situación se mantiene hasta el año 1998, cuando se liberaliza el mercado eléctrico y se comienzan a ampliar un gran número de las centrales existentes para adaptarlas a las nuevas condiciones que impone el mercado.

Del parque presístico español, el 20% de las estructuras se dedican a producción eléctrica –el 37% si sólo se consideran las presas de titularidad privada–, con una potencia instalada de 18.250 MW, que representa con respecto al conjunto de térmicas, nucleares, centrales de ciclo combinado, etc., un 14,5% (60% de las renovables).

Laminación de Avenidas

Han sido pocas las presas construidas con este único propósito; ello no quiere decir que muchos embalses concebidos con otros objetivos no tengan un papel esencial en esa función.

Posiblemente las dos zonas en las que con la construcción de ciertas presas se perseguía cumplir, claramente ese objetivo, son las cuencas del Júcar y Segura.

El 14 de Octubre de 1879 se produjo la riada de Santa Teresa en los ríos Guadalentín y Segura provocando un total de 777 muertos. La consecuencia fue la celebración del *Congreso contra las inundaciones de la región de levante*, redactándose en 1886 el primer plan de defensa contra las avenidas realizado en España y cuyas primeras actuaciones fueron la presa de *Paretón* y el canal de derivación a Mazarrón del Guadalentín y posteriormente las presas de *Alfonso XIII* y *Fuensanta*. Las importantes inundaciones ocurridas en todo el levante en octubre de 1957 y que afectaron a la ciudad de Valencia y a la de Orihuela en Alicante motivaron la construcción de otras tantas presas de defensa de avenidas, como *El Cenajo*, *Camarillas* o *Santomera*. En octubre de 1973, de nuevo se desbordó el Guadalentín, y se llenaron los embalses de cabecera; más de 85 Hm3 fueron vertidos por *Puentes*; la crecida asoló Lorca, en



Foto 1. Vista de la Presa de Proserpina.

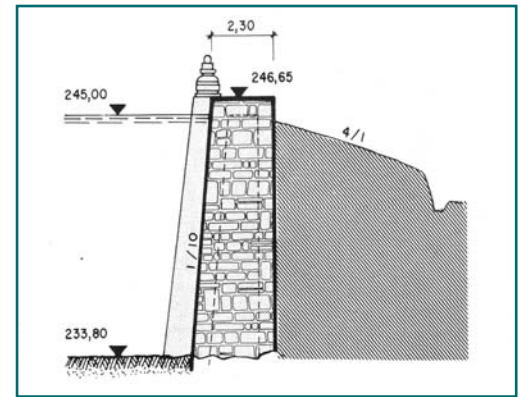


Fig. 4. Sección tipo de la Presa de Proserpina.

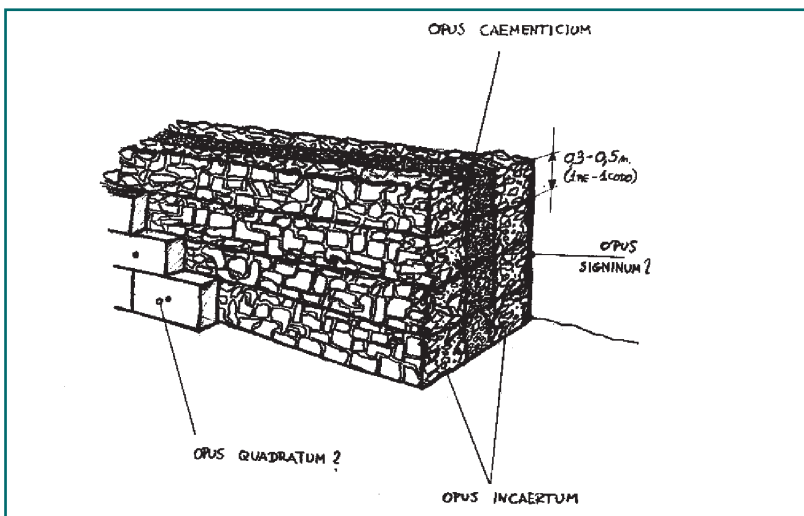


Fig. 5. Presa romana de Alcantarilla (Toledo).



Foto 2. Presa romana de Alcantarilla (Toledo).

otras partes se inundó la huerta, las pérdidas fueron superiores a los 80 M (actualizado a 2008) y murieron 85 personas. Por tal motivo se elaboró en 1977 el *Plan General de Defensa contra avenidas de la cuenca del Segura* (3), que supuso la construcción de más de 10 presas (*José Bautista, Los Rodeos, La Risca, Cárcabo*, el recrecimiento de *Puentes y La Cierva*) y numerosos encauzamientos.

En Valencia, a finales de los 50 y comienzo de los 60 se construyeron *Arquillo de San Blas* y *Tous*, pero las importantes inundaciones de 1987, que afectaron a Alzira, Algemesí, Carcaixent y otras localidades de la Marina Alta (¡¡ se registraron en 36 horas más de 1000 mm de lluvia !!!) motivaron la aprobación del *Plan General de Defensa contra avenidas de la cuenca del Júcar*, que supuso la construcción a principios de los 90 de la nueva

(3) Fue aprobado 10 años más tarde, en 1987.

Tous, Bellús, Escalona, y *Algar*, la más reciente, cuya construcción terminó en el año 2000. Queda todavía pendiente *Villamarchante*, como protección de la ciudad de Valencia.

Evolución de las tipologías

Las presas más antiguas españolas *Muel, Almonacid de la Cuba, Cornalvo, Proserpina* (Foto 1), *Alcantarilla* (4) (Foto 2), y otras 45 más (Figura 3), fueron fundamentalmente construidas por los romanos entre los siglos I antes de Cristo y II-III después de Cristo. Muchas de ellas se encuentran todavía en explotación y son, básicamente, un precedente de las presas de contra-

(4) De acuerdo con los criterios de ICOLD, es la primera gran presa española.

fuerzas construidas en el Siglo XX, ya que, en general, son de planta recta y formadas por un muro de fábrica, simple o reforzado, que, a veces, se complementa con un dique de materiales sueltos adosado aguas abajo (Figura 4).

El elemento constructivo básico incluido en la mayor parte de las presas romanas es el muro de fábrica, con el que se conseguía la estanquidad de la estructura. A este muro se agregaban –y no siempre– otros elementos, que aseguraban (o completaban) la estabilidad del sistema. El muro-pantalla romano es de concepción muy sencilla (Figura 5): un núcleo de hormigón de cal (*opus caementicium*), enmarcado por dos paños de fábrica, que solían ser de mampostería (*opus incaertum*) o sillería (*opus quadratum*). A veces a estos paños, que servían en ocasiones de simples encofrados perdidos, y sobre todo cuando la mampostería era de baja calidad, se adosaban otros, de características cada vez mejores hacia el exterior. De este conjunto el elemento más importante era el núcleo de *opus caementicium*, que era el que debía cumplir la misión de impedir el paso del agua.

En el Renacimiento surge, posiblemente de forma intuitiva, la idea de construir presas robustas, pero de planta arqueada, para lograr ventajas con respecto a las de planta recta. De todas ellas cabe destacar las de *Almansa* y *Tibi*, terminadas a finales del Siglo XVI. La presa de *Elche* se construyó en el siglo XVII y a pesar de que es un “arco grueso” debería ser calificada de tipo bóveda pues, considerando altura y espesores, no podría resistir si se considerara como formada por ménsulas independientes. La presa de *Relleu* (“arco medio” y record de esbeltez en su momento) es también de esa misma época. Otra presa bien conocida por los ingenieros presistas españoles es la inconclusa de *El Gasco*, del siglo XVIII.

Presas representativas del siglo XIX pueden ser *Puente II*, que se rompió por sifonamiento de la cimentación en 1802, *Valdeinfierno*, de planta arqueada, *Zamores*, cuya construcción finaliza en 1850 y es el primer antecedente de presa arco, y *El Villar*, que es la primera presa diseñada utilizando la *mecánica racional* a finales del siglo (1880). Si bien la mayor parte de las presas construidas a lo largo de ese siglo eran, básicamente, de planta recta, y con un paramento de aguas abajo escalonado –característica ésta que se mantendrá en otras más hasta bien entrado el siglo XX–, la ventaja estructural de los arcos y las presas arqueadas mencionadas ponen de manifiesto que la ingeniería de presas espa-



Foto 3.- Presa de José María de Oriol.

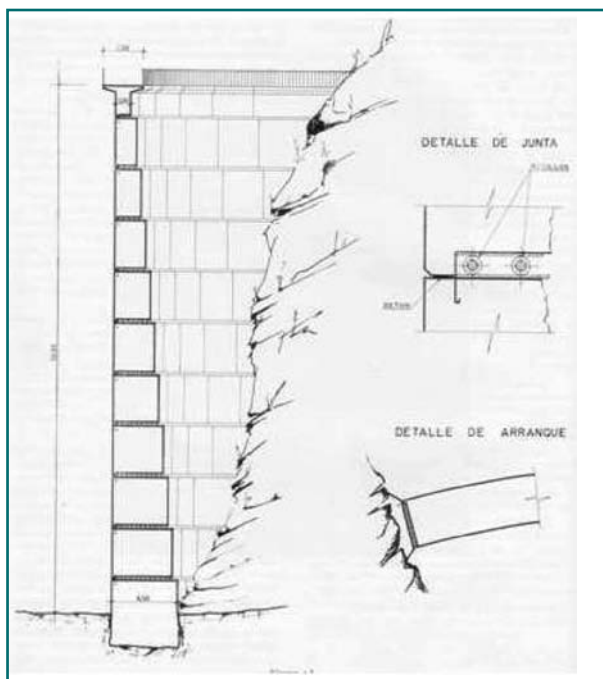
ñolas comenzaba ya a ser en ese momento puntera a nivel mundial.

A pesar de lo anterior y hasta finales del siglo XX se construyen en España un gran número de presas de gravedad, debido, posiblemente, a que las crecidas en nuestros ríos tienen una gran intensidad respecto a los caudales medios, lo cual conlleva unos aliviaderos muy importantes y sólo posibles con presas de esa tipología. Quedan caracterizadas todas ellas por un perfil triangular con suma de taludes característica de entre 0,80 y 0,85 (0,05 a 0,1 aguas arriba y 0,7 a 0,75 aguas abajo).

El mayor conocimiento en el comportamiento de las presas de gravedad de planta recta construidas permite comprobar que en éstas el material está mal aprovechado desde el punto de vista de su resistencia. Surge así la idea de su aligeramiento, de una disminución de su volumen global, y para compensar la pérdida de estabilidad se las dota de una mayor inclinación de su paramento de aguas arriba para añadir el peso del agua. Surgen así las presas de contrafuertes abiertos o cerrados, la primera de las cuales, si excluimos las romanas, es *Ontígola* (5). El exponente máximo de las presas de esta tipología es *José María de Oriol (Alcántara II)* (Foto 3), cuya construcción finalizó en 1969. También y de esa misma época son, entre otras, *Chandreja* (1953), *el Dique de collado de San Juan* (1955), *Respomuso* (1957), *Prada* (1958), *El Vado de las Cabras* (1958), *Puente Porto* (1958), *San Sebastián* (1959), *Cavallers* (1960), *Aracena* (1969) y *el Dique*

(5) Se creó en tiempos de Felipe II para suministrar agua a los jardines de Aranjuez.

Fig. 6. Ataguía de la presa de Benageber: Rodillos de Fibrocemento entre arcos (Peña Boeuf).



de collado de la Almendra (1970). De todas ellas queremos destacar, por su triste recuerdo, *Vega de Tera*, cuya rotura en 1959 motivó la creación del Servicio de Vigilancia de Presas y la necesidad de controlar en el diseño de este tipo de estructuras la deformabilidad relativa presa/cimiento, una de las principales lecciones aprendidas de esa rotura.

Son característicos de este tipo de presas unos taludes que oscilan, dependiendo de las propiedades resistentes del cimiento, entre 0,20 y 0,40 (H):1(V) aguas arriba y 0,50 a 0,70 (H):1(V) aguas abajo.

Hay otro ejemplo de presas aligeradas distintas a las de contrafuertes surgido en la misma época. Al igual que las anteriores, nacen con la idea de disminuir el volumen global de hormigón y de evitar en la base de las mismas los nocivos efectos de la subpresión. Las secciones tipo, en forma de A, presentan uno o dos huecos de importancia. Son escasísimas y pueden citarse como ejemplos característicos *La Campañana* y *Torrejón*.

Con respecto a las presas arco, se construyeron al principio haciendo que los arcos tuvieran, con independencia de la altura (cota) a la que se encontrarán, el mismo radio que el de coronación. Surgieron así las **presas de radio constante**. Además se extendió la idea de que, para que predominara el efecto arco (presencia en todo él de compresiones) y disminuyera el efecto viga (tracciones moderadas en los extre-

mos), su desarrollo angular debía encontrarse entre 90° y 120°. Surgen así numerosas **presas arco gravedad de ángulo constante**.

Pueden citarse como ejemplos característicos de presas de radio constante, o arco gravedad, las siguientes: *Buseo* (cuya construcción finalizó en 1912), *Aldeadávila* (1963), *Valdesamario* (1968), *Cedillo* (1978), *Cortes II* (1978), *Gergal* (1979), *Escalona* (1995), o las más recientes, *Los Melonares* y *La Colada* (2007).

Todas ellas son presas en las que es característica una suma de taludes variable entre 0,35 y 0,65, con paramento aguas arriba vertical.

Cabe citar aquí las ideas de Alfonso Peña Boeuf relativas a las presas de arcos independientes, que dieron lugar a las presas hoy en explotación de *Isbert*, *El Tiemblo* y la ataguía de la *presa de Benageber* (Figura 6).

Un caso particular de este tipo de estructuras es el de las presas arco de simple curvatura o bóvedas cilíndricas, caracterizadas por una altura reducida (hasta 30 m) y espesor de los arcos cuasi constante o moderadamente variable con la altura. Con carácter general son presas que apoyan lateralmente en estribos de gravedad y en la base en un zócalo. Pueden citarse como ejemplos típicos *El Pelgo* (1938) (6), *La Retorna* (1944), *Las Vencías* (1962), *Bodión de la Ibiensa* (1967), *Valdesamario* (1968), *El Aravalle* (1978), *Alta-rejos* (1989) o *El Duende* (1993). De esta misma tipología se construyeron las ataguías de las presas de *Bao* (1957), *Santa Eulalia* (1963) y *El Atazar* (1967).

Son destacables también, por su singularidad, las presas *La Tosca* (1964), *Vilella Baixa* (1983) y *Bembibre* (1986), por el importante desplome que presentan hacia aguas abajo.

También por su singularidad son reseñables las presas de arcos múltiples o bóvedas múltiples, que no son más que una serie de arcos semicirculares, desplomados o no hacia aguas abajo, apoyados sobre un conjunto de contrafuertes. En el *Inventario de presas españolas* de 2006 tan sólo figura una, *Meicende* (1961), de 21 m de altura. Sin embargo en el año 1958 se construyeron otras dos *Fuensagrada* –también llamada *Leguaseca*– y *Orjales*, que se rompieron en 1987 y en 1994, respectivamente.

Con respecto a las presas de ángulo constante, para que funcionaran adecuadamente, si la ménsula central es vertical las laterales debían resultar inclina-

(6) Se terminó de construir en 1925, pero se recreció en 1938.

das hacia aguas arriba y en el caso de que el embalse se encontrara vacío podían aparecer tracciones y, por consiguiente fisuras, al pie de ellas. Por ese motivo, para reducir la inclinación de las ménsulas hacia aguas arriba vino la práctica de inclinar hacia aguas abajo la ménsula central y, como consecuencia, surgieron las **bóvedas de doble curvatura**, que además necesitaban de un terreno de apoyo capaz de admitir fuertes presiones y una cierta geometría de la cerrada. Al principio se utilizaron solamente en cerradas estrechas, con relación cuerda/altura del orden de 2,5-3, pero posteriormente se llevaron a cabo algunas en las que esta cifra llegó a ser de hasta 6,5. La construcción de este tipo de presas comienza, si excluimos *Alloz*, que fue terminada en el año 1930, en los años 60, manteniéndose con cierta intensidad hasta finales de los años 80, cuando comienzan a terminarse las *buenas cerradas*. De esa época son típicas de esta tipología *Canelles* (su construcción terminó en 1960), *La Jocica* (1964), *Valdecañas* (1964), *Santa Eulalia* (1966), *La Barca* (1966), *Susqueda* (1968), *Almendra* (1970) (7), *El Atazar* (1972), *Las Portas* (1974), *Quentar* (1975), *Llauset* (1983), *Beznar* (1986), *La Tajera* (1993) y *La Llosa del Cavall*, la última construida, en 1999.

Esta estructura tiene grandes ventajas sobre el arco gravedad, ya que dando suficiente rigidez al arco de coronación, sobre el que apoyan todas las ménsulas, se puede conseguir que la presa actúe como cúpula y no como un conjunto de arcos, lo que globalmente supone una importante reducción del volumen de hormigón.

¿Y en relación con las presas de materiales sueltos? La experiencia general española en la realización de este tipo de presas, tal y como las conocemos en la actualidad, es relativamente reciente. En 1940 se contabilizaban un total de 22 presas de tierra de tipología homogénea, cuyas alturas eran, en general, inferiores a 20 m. De todas ellas, sólo 4 superaban los 100.000 m³ de volumen de materiales. Cabe concluir pues que las buenas condiciones que presentaban la mayor parte de las cerradas estudiadas inclinaba la balanza hacia el diseño y construcción de presas de fábrica. Del conjunto de presas españolas –que como ya se ha indicado actualmente asciende a unas 1.250– las de fábrica aparecen representadas con un 58%, siendo las de materiales sueltos, las segundas en importancia, con un 32%. La tabla 1 recoge la distribu-

Tabla 1. Distribución de presas por tipos

Tipo	Número	(%)
Homogéneas	259	20,7
Núcleo de arcilla	102	8,2
Pantalla Asfáltica	20	1,6
Pantalla de Hormigón	20	1,6
Geomembrana	20	1,6
Homogénea- Mampostería	4	0,3
Mat. Suelos-Gravedad	16	1,3
Total	441	37,6

ción de estas últimas, por tipologías, con respecto al total de presas existentes.

Hasta 1950 casi todas las presas de materiales sueltos construidas en España eran de tipo homogéneo. De esa época, y de esa misma tipología, la presa más representativa es, sin duda, *La Sotonera*, con un volumen de materiales de 5.5 Hm³. Tuvieron que pasar casi 40 años para que la nueva presa de *Tous*, de núcleo central y con un volumen de materiales de más de 8 Hm³, superara esa cifra.

Las presas de tipo homogéneo españolas tienen, en general, menos de 25 m de altura. Sólo cuatro de ellas tienen alturas por encima de los 50 m (*Charco Redondo*, *La Pedrera*, *Uzquiza* y *Retuerta*). Por encima de los 100 m, la técnica se decanta claramente por las de tipo zonado, con núcleo vertical o inclinado (*Tous*, *Zahara*, *Zufre*, *Giribaile*, *Calanda*, o las más recientes *Arenoso* y *Siles*, esta última actualmente en construcción). Precisamente de esta tipología es la presa de materiales sueltos más alta de España: *Canales*, de 155 m de altura, núcleo central estrecho y situada sobre una de las áreas más sísmicas de la península.

Con respecto a las de pantalla, si bien existen algunas de pequeña altura (del orden de los 20 m) realizadas a principios del siglo XX (*Domico*, *Ribera de Mula*, *Plandescun*, *Urdiceto*, etc.), realmente tuvieron su mayor profusión en las décadas de los 70 y los 80, construyéndose, en general, con alturas de entre 50 y 75 m. Primero se construyeron las pantallas de tipo rígido, pero la difícil unión con el plinto, los asentamientos diferenciales que se producían en las inmediaciones de esta zona (*El Tejo* y *Pías*), los agrietamientos, nunca graves, de las pantallas y los problemas asociados,

(7) Con sus 202 m es la presa más alta de España.

decantaron los diseños en favor de las pantallas flexibles, asfálticas, que presentaban, además, el atractivo de la mayor rapidez de ejecución, la economía, y la facilidad de reparación en caso de agrietamiento. Ejemplo de ello son el estribo derecho de la presa de *Almendra*, la de *Valmayor*, *Aboño* y, la más reciente, *Yalde*. Hoy en día, por la importante carestía de los productos petrolíferos esta tipología parece que puede tener un futuro difícil.

También construidas con productos derivados del petróleo son las presas de núcleo asfáltico, que están especialmente aconsejadas cuando no existen en las inmediaciones materiales adecuados para construir un núcleo impermeable. En España son muy escasas y relativamente recientes: el estribo derecho de *El Algar* (2002) y *Mora de Rubielos* (2005).

Y como resumen de la geometría de todas estas tipologías, puede concluirse que:

- Las presas homogéneas presentan una suma de taludes variable entre 4,5 y 6, dependiendo de la competencia del cimientado, llegando a los casos extremos de *Lebrija*, con 10, y *Barbate*, con 8, al estar ambas construidas sobre cimientados débiles o blandos.
- En presas de núcleo resulta habitual una suma de entre 3 y 4, cifra que depende de la posición del núcleo (la suma es mayor si es inclinado), tipo de cimientado, de la zona en la que se sitúa (si es sísmica o no) y de la calidad del material con el que se construyen los espaldones.
- Las presas de escollera con pantalla de hormigón presentan una suma comprendida entre 2,5 y 3,5, si bien la mayoría de ellas se encuentra entre 2,6 y 2,8.
- En el caso de las presas de pantalla asfáltica, el paramento de aguas arriba es más tendido por razones constructivas y, en consecuencia, la suma de taludes es algo mayor: entre 3 y 3,5. La excepción a lo anterior es *Aboño*, que debe ser la presa de esta tipología de menor altura del país y cuya suma de taludes es de 4,9.
- Las presas homogéneas son la solución más frecuente cuando su altura es moderada (un 50% de las españolas responden a esa tipología, aunque se procura que haya una cierta selección de los materiales de forma que los más impermeables se sitúen aguas arriba y los más permeables aguas abajo; incluso hay ligeras modificaciones en lo que

se refiere a incluir en la sección tipo filtros y drenes (*Pedreña, Barbate*, etc.).

- Las de núcleo son más adecuadas cuando la presa es de mayor altura y el cimientado tiene la suficiente competencia para soportar un cuerpo de presa con taludes exteriores más escarpados. Con respecto al material de los espaldones, si bien antes se creía que debía ser de mucha calidad hoy en día se admite la utilización de casi cualquiera.

Evolución de los materiales

Ya hemos comentado que las presas romanas se construían con un núcleo de hormigón de cal envuelto, bien por muros de mampostería o sillería. Esa concepción de las presas se mantuvo hasta las dos primeras décadas del siglo XX. De las presas de mampostería de principios de siglo es reseñable la de *Buseo*.

La situación comienza a cambiar con la construcción de la presa *El Villar* (Canal de Isabel II), cuya construcción finaliza en 1882 y en la que se emplea un mortero para la unión entre sillares a base de arena, cal y cemento de Zumaya.

Sin embargo, el cambio como tal se produce a principio de los años 20 del siglo XIX, momento en el que se empiezan a introducir con fuerza en la construcción de presas los hormigones y cementos tal y como hoy los conocemos. Ejemplo de ello son las presas de *Montejaque*, *Alloz*, etc.

Los primeros hormigones ciclópeos; en la presa de *La Peña* se sabe que se colocaron bloques de piedra de hasta 2 Tn cuyos huecos se rellenaban con cantos de menor tamaño y mortero.

Simultáneamente se empiezan a utilizar como conglomerantes de los hormigones, por el buen comportamiento tenido en algunas presas americanas, mezclas de cemento (50% - 60%) y arena caliza muy fina (en un 40% - 50%), o *sand-cement* en terminología anglosajona. La arena no se añadía al cemento sino que se molía junto con el clinker. Se utilizó esa mezcla en las presas de *Jándula*, *Rumblar*, *Tranco de Beas*, *Camarasa* y *Talarn*. Sin embargo, los problemas surgidos para dar la finura deseada a esa arena motivaron que pronto se abandonara la ejecución de los hormigones con ese tipo de mezclas.

Los cementos a emplear en los hormigones de todas esas presas procedían, en general, de fábricas próximas a ellas, con lo que se garantizaba así un

control del producto fabricado, de la materia prima y de su proceso de fabricación. Sin embargo, hubo casos en los que no fue así. Cuando el volumen de hormigón a colocar era importante se recurrió a instalar fábricas de cemento en la propia presa, como en *Ricobayo*, por ejemplo.

Las importantes dosificaciones de cemento que llevaban los hormigones de toda esa época –que oscilaban entre los 200 y los 250 kg/m³– y los cada vez mayores volúmenes que era posible colocar *in situ* obligaban a instalar costosos sistemas de refrigeración del hormigón para reducir los importantes picos de temperatura que se producían durante su curado. Surgieron así los *cementos de bajo calor de hidratación*, empleados con gran profusión hasta el comienzo de la década de los 60 en las presas de *Aldeadávila*, *Valdeacañas*, *La Jocica*, *Belesar* o *Vellón*, entre otras.

Se produce un importante avance en la materia cuando a mediados de los años 60 se demuestra que, además, es posible sustituir parte del contenido de cemento por puzolanas naturales o artificiales, sin que el hormigón sufra pérdidas de resistencia. Como puzolanas artificiales se usan cenizas volantes de Clase F o silico-aluminosas.

Con esta idea se construyen entre otras las presas *El Atazar*, *Cedillo*, *Las Portas*, *Baserca*, *LLauset*, *Canchito del Fresno*, *Cortes II*, *Naranjero*, con sustituciones de cemento entre un 30% y un 35% por cenizas volantes), *Tanes* (con sólo el 17%) o *Albarellos* (25%).

Por último, surge a mediados de los 80 la técnica del hormigón compactado, consistente en emplear en la construcción de presas de fábrica la tecnología habitualmente empleada en la ejecución de las de materiales sueltos y en que en el conglomerante empleado en el hormigón hay una mayor presencia de puzolanas naturales o artificiales. En este sentido no es raro encontrar actualmente porcentajes de cenizas volantes por encima del 65-70%; complementariamente se emplea un tamaño máximo de árido más reducido, de 40 a 50 mm.

Ejemplos de estas presas, de las cuales España es el 4º país del mundo por número de ellas, con un total de 30, serían: *Santa Eugenia*, *Puebla de Cazalla*, *Urdalur*, *Cenza*, *Atance*, *Maroño*, *El Esparragal* y *La Breña II*, cuya construcción termina a finales del año 2008 y que con su 1,4 Mm³ de hormigón será la presa más importante de Europa de esa tipología.

Con respecto a las presas de materiales sueltos, la evolución que han sufrido los materiales empleados

en su ejecución, su disposición en el interior de la sección tipo y la forma en la que se han colocado, ha estado ligada, fundamentalmente, a la evolución que ha tenido a lo largo del siglo XX la mecánica de los suelos y de las rocas.

Hasta la mitad de los años 20 la preocupación esencial era la impermeabilidad de los materiales a emplear en la ejecución de la presa, fuera ésta homogénea o de núcleo central muy ancho. Y se buscaban los más impermeables, aunque estuvieran a varias decenas de kilómetros de distancia de la cerrada.

El primer gran avance empleado en la ejecución de estas presas fue el control de la compactación propugnada por Proctor en 1933. Sin embargo, los principios del ensayo Proctor se utilizaban ya en España en el año 1917, durante la construcción de la presa *La Sotonera*; se empleaba en ésta un molde al que se denominaba *El cañón* en el que se compactaban de forma estandarizada las tierras usadas en su construcción, midiéndose, a continuación, la *concentración de sólidos* obtenida, es decir, lo que hoy denominaríamos la *densidad seca*.

En esta misma presa se usó un aparato cuya utilización años más tarde sería muy habitual en los laboratorios de mecánica del suelo: una *caja de corte* con la que medir la resistencia al deslizamiento de las tierras empleadas en la construcción de la presa. Sin embargo, la presencia mayoritaria de gravas en ellas, distorsionaba notablemente los resultados obtenidos por lo que su utilidad práctica fue muy reducida.

También se efectuaron ensayos de permeabilidad a gran escala mediante diques de gran tamaño, forma cuadrada y varios metros de altura, cuyo interior se rellenaba de agua, y en los que se observaban las pérdidas producidas.

Aproximadamente en la década de los 60, comienzan a ver la luz las teorías de estabilidad de taludes y con ellas, una nueva concepción de este tipo de presas. Se comienzan a construir núcleos constituidos por materiales muy permeables –incluso con arenas muy finas y limpias– y núcleos muy estrechos (por ejemplo, *Canales*). La seguridad de estas presas se confiaba a los filtros situados aguas abajo, diseñados éstos en base a las teorías de filtración, retención y drenaje que en 1922 propuso Terzaghi y que después se fueron perfeccionando en las siguientes décadas. También en esa misma época comienzan a emplearse en la ejecución de los espaldones escolleras; inicial-



Foto 4. Recrecimiento de La Breña II.



Foto 6. Presa de Yesa.



Foto 5.
Recrecimiento
de Montoro III.

mente a base de rocas de buena calidad, sin apenas finos (8), simplemente vertidas en tongadas de hasta 3 m de espesor y con aportaciones importantísimas de agua (hasta 4 y 5 veces el volumen de escollera colocada). Sin embargo, el mal comportamiento que presentan éstas –bajo carga y en presencia de agua sufrían unos asentamientos de cierta importancia, especialmente en el espaldón de aguas arriba (*Alcorlo, Canales, Rivera de Gata y Tirajana*)– motiva su compactación mediante rodillos vibratorios lisos en capas de hasta 1,25 a 1,50 m de espesor y aportaciones de agua del orden de 100 a 200 litros por metro cúbico de escollera colocada (*Huesna, Arenós, Martín Gonzalo, Pajares y Zahara*).

Este proceder ha proporcionado con el tiempo la posibilidad de utilizar rocas de baja calidad como escolleras (*Huesna, Martín Gonzalo*), de manera que en vez de tener éstas una vez compactadas una estructura abierta, se fragmentan, cierran, son más densas, más impermeables –por lo que necesitaban drenajes complementarios– y, a veces, resultan ser menos resistentes, lo que conlleva una inclinación de los taludes algo más reducida.

(8) En algunas presas se llegaron a eliminar los tamaños inferiores a 5 mm.

Evolución de los recrecimientos

Posiblemente el primer recrecimiento de presa efectuado en España es el de la presa de *Proserpina*, tal y como ponen de manifiesto los estudios efectuados en ella tras la retirada en el año 1993 de los tarquines que rellenaban el vaso de su embalse.

El recrecimiento de la presa de *Almansa* (terminado en 1911) y de *Valdeinfierno* (1897) son otros dos antecedentes muy importantes de obras de recrecimiento.

Sin embargo, el primer recrecimiento de presa bien documentado es el de la presa de *Arguís*, que terminada de construir a principios del XVIII fue recrecida entre los años 1925 y 1929. El objetivo del recrecimiento era el de aumentar la capacidad del embalse para poder satisfacer las crecientes demandas de riego y para compensar el aterramiento producido en el embalse.

Fundamentalmente con ese mismo objetivo, para satisfacer mayores demandas, se han efectuado en España, de acuerdo con los datos que figuran en el *Inventario de presas Españolas* de 2006, un total de 91 recrecimientos, un 80% de los cuales han sido en presas de fábrica y el resto en presas de materiales sueltos. Actualmente hay 3 en ejecución (*Yesa, La Breña y Santolea*) y uno se ha terminado recientemente (*Montoro III*). Sin embargo, conviene destacar que tan sólo los de *Yesa* y *Santolea* lo son en sentido estricto, ya que los restantes han consistido en la construcción de nuevas presas aguas abajo de las existentes (Fotos 4, 5 y 6).

En el caso de las de presas de fábrica, como su fuerza resistente es el peso, una solución para el recre-

Tabla 2. Roturas de presas en España

Nombre	Río	Tipo	H (m)	V (Hm ³)	Construcción (año)	Rotura (año)	Causa de la rotura
1. El Gascón	Guadarrama	PG (M)	54	4,6	-	1799	Deslizamiento del talud aguas abajo
2. Puentes	Guadalentín	PG (M)	50	52	1791	1802	Erosión interna de la cimentación
3. Granadillar	Granadillar	PG (M)	20	0,1	1933	1933	Inestabilidad de los taludes
4. Xureguera	Xureguera	PG	42	1,1	1902	1944	Deslizamiento del estribo derecho
5. Vega de Tera	Tera	CB	34	7,3	1956	1959	Colapso de los contrafuertes
6. Odiel-Río Tinto	Odiel	ER	35	3,3	1970	1968	Vertido por coronación
7. Jerte	Jerte	ER	16	-	-	1977	Vertido por coronación
8. Tous	Júcar	ER-PG	71	51	-	1982	Vertido por coronación
9. Fuensagrada	Leguaseca	MV	20	0,06	1958	1987	Deterioro del hormigón y fenómeno de expansión
10. Orjales	Orjales	MV	13	0,02	1958	1994	Colapso de contrafuertes

cimiento es un incremento de aquél, pudiendo lograrse de dos formas diferentes: añadiendo masa a base de hormigón o mediante cables anclados al cimiento. La primera de las dos soluciones anteriores es la más fiable, directa y segura, por lo que nos referiremos a ella. En ese caso, cuatro alternativas son posibles:

- Recrecido añadiendo masa al paramento de aguas abajo, conservando o no el talud original: *Irabia* (9) (en el año 1947), *Bolarque* (1984) o *Bachimaña* (1951). Tiene la ventaja de que se puede mantener la explotación del embalse durante la ejecución de las obras si bien hay un momento crítico cuando se excava el pie de aguas abajo para cimentar lo nuevo, ya que en ese momento la estabilidad puede verse comprometida.
- Recrecido añadiendo masa al paramento de aguas arriba: *Alsa Torina* (1981), *El Vado* (1972), *Mediano* (1974), *Riudecanyes* (1991) y *Santolea* (actualmente en ejecución).
- Recrecido añadiendo masa a la coronación: *El Pelgo* (1938), *Conde de Guadalhorce* (1947), *Doiras* (1.958), *El Sancho* (1972), *Ulldecona* (1984), *La Cierva* (1988) y *Aguascebas* (1991).
- Combinación de las soluciones anteriores: *Barasona* (1972).

Con respecto al recrecimiento de las presas de materiales sueltos cabe señalar que si bien su ejecu-

(9) Se ha recrecido en cuatro ocasiones adosando contrafuertes aguas abajo unidos en coronación por un macizo de hormigón, tres de ellas antes de 1935. El año que figura es el de la última.

ción es mucho más simple que en las de fábrica, al desaparecer uno de sus mayores inconvenientes, la necesidad de unir, para que trabajen solidariamente, materiales de distintas características, en la práctica son escasísimos los llevados a cabo. Tan sólo en las presas de núcleo hay que prestar una especial atención a la junta que necesariamente se produce en este último, para evitar que el agua circule de forma franca por ella.

Varias alternativas son posibles:

- a) Adosar una banda de material al talud de aguas abajo, conservando o no la inclinación del talud original. Así se hizo en la presa de *Torre del Águila*, cuyo recrecimiento se terminó en el año 1961.
- b) Lo mismo pero aguas arriba
- c) Elevar la cota de coronación mediante muros o dados de hormigón. Con este último sistema –mediante un dado de hormigón– conocemos el proyecto de recrecimiento de la presa de *Vadomojón*.
- d) Combinación de las soluciones anteriores. Conocemos los proyectos de recrecimiento de la presa de *Guadarranque*, consistente en un muro de tierra armada en el extremo de aguas arriba de la coronación y una banda de material adosada al talud de aguas abajo con la misma inclinación que el existente, y, con un sistema parecido, pero sin el muro de tierra armada, el de la presa de *Malvecino*, actualmente en fase de redacción.

Evolución de la seguridad

Es un tema muy importante ya que la rotura puede ocasionar numerosas víctimas aguas abajo y cuantiosos daños materiales y medio ambientales. Es por ese motivo por el que la evolución de la legislación en seguridad de presas ha estado muy influenciada, como en otros muchos países, por los accidentes y roturas ocurridas (Tabla 2).

Es en el año 1905 en el que aparece en España la primera normativa Europea relacionada con la seguridad de las presas: *Instrucción para la redacción de los proyectos de pantanos*. La Instrucción tenía un carácter muy abierto, acorde con la singularidad que en ese momento representaban para los Ingenieros las presas como estructura. Esa singularidad se anunciaba en su introducción, en la que se decía: *Las reglas, prescripciones y programas contenidos (en el proyecto) no han de considerarse como una pauta invariable a la que necesariamente habrán de sujetarse todos los proyectos. Los Ingenieros tienen libertad para introducir las modificaciones que consideren necesarias o que sean indispensables*. Otro aspecto de gran importancia de esa Instrucción, es el que hace referencia a la seguridad de las personas y bienes situadas aguas abajo de las presas, primer precedente de la filosofía que rige actualmente la normativa de seguridad de presas Española, y que figura en su Capítulo X, donde se dan algunas recomendaciones relativas a los peligros que ofrecería la rotura del embalse y los medios de prevenirlos.

El control de la seguridad de las presas comienza, verdaderamente, en el año 1959, tras la rotura de la presa de contrafuertes de *Vega de Tera* (de 33,5 m de altura y 8 Hm³ de volumen de embalse). El entonces Ministerio de Obras Públicas crea la Comisión de Normas de Grandes Presas, con el cometido de desarrollar una Instrucción sobre presas, y la Sección de Vigilancia de Presas, órgano encargado de velar por la seguridad de este tipo de estructuras en todo el territorio Español.

Las funciones principales del Servicio de Vigilancia e Inspección de Presas eran la revisión de los Proyectos para su aprobación formal, la inspección de su construcción, en particular de su cimiento, de su tratamiento y de numerosos detalles constructivos, la aprobación de las Normas de Explotación, fomentar el archivo de los principales

documentos, la puesta al día del Inventario de Presas y la elaboración de recomendaciones técnicas relacionadas con la ingeniería de presas.

En el año 1960, la Sección de Vigilancia de Presas redacta unas Normas Transitorias sobre Vigilancia de (grandes) Presas y posteriormente un suplemento de las mismas, en el cual se destaca que toda presa debe estar dotada de los dispositivos adecuados que permitan conocer su comportamiento y estado de seguridad. Ambas publicaciones eran internas del Departamento, pero constituyeron la base de lo que sería la futura Instrucción. Ésta se aprobó con carácter provisional en 1962 y en 1967, tras examinar ciertas sugerencias, de manera definitiva. Su título era indicativo de lo pretencioso de su cometido: *Instrucción para el Proyecto, Construcción y Explotación de Grandes Presas*.

La Instrucción era una norma técnica muy detallada y rígida que impedía recoger en los proyectos de las nuevas presas las novedades de todo tipo (métodos de cálculo, procesos constructivos, nuevos materiales, etc.) que iban apareciendo a medida que avanzaba el número de las que se construían tanto en España como en el resto del mundo, y se profundizaba en el conocimiento de su comportamiento y en el de su cimiento. Sin embargo y a pesar de lo anterior, la Instrucción se ha mantenido vigente en España durante más de 30 años, coincidiendo ese tiempo con el periodo de máxima construcción de presas en el país.

El 20 de Octubre de 1982 se produce la rotura por vertido por la coronación de la presa de *Tous*. La rotura no motivó ni la preparación de una nueva normativa ni la revisión de la existente, sino la puesta en marcha de un Programa de Seguridad y Explotación de las presas pertenecientes al Estado. Este programa no cumplió las expectativas deseadas por insuficiencia de medios, elaborándose en el año 1.994 uno nuevo que tampoco recibió los fondos para satisfacer las necesidades previstas. En cualquier caso, ambos programas sirvieron para aumentar la seguridad de todas las presas estatales dado que se instaló un elevado número de instrumentos de auscultación, se adquirieron grupos electrógenos, se contrató personal, se elaboraron ciertos documentos (XYZT), etc.

La Dirección General de Obras Hidráulicas del Ministerio de Obras Públicas y Medio Ambiente

decidió en el año 1992 redactar una moderna normativa de Seguridad cuya tarea se encomendó a la Comisión de Normas para Grandes Presas concluyendo en el año 1996 con la aprobación del *Reglamento Técnico sobre Seguridad de Presas y Embalses*. Este reglamento más conceptual y menos detallado que la Instrucción de 1967 ha necesitado ser complementado por un conjunto de Guías Técnicas, a modo de recomendaciones, elaboradas por el Comité Nacional Español de Grandes Presas y por la propia Dirección General del Agua.

Casi al mismo tiempo que se estaba finalizando la preparación del Reglamento se terminaban en el Ministerio del Interior los trabajos tendentes a la elaboración de la *Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones*, cuya aprobación se produjo en el año 1995 y en la que se planteaba una nueva filosofía en la gestión de la Seguridad de las presas, ya que por una parte obliga a clasificarlas en función del riesgo potencial derivado de su rotura o funcionamiento incorrecto en las categorías A (mayor riesgo), B (riesgo intermedio) o C (menor riesgo) y por otra exige que elaboren e implanten Planes de Emergencia en todas aquellas que hayan sido clasificadas en las categorías A o B.

La aprobación del Reglamento no supuso la derogación de la Instrucción, sino la coexistencia de ambas normas. Mientras que aquél se aplicaría a la presas de titularidad estatal u objeto de con-

cesión administrativa (empresas hidroeléctricas y de abastecimiento de aguas, fundamentalmente), el resto de las presas (básicamente aquellas cuyos propietarios son particulares), continuaría rigiéndose por la Instrucción. Esa doble Normativa para evaluar la seguridad de las presas, en función de quien es el titular, ha sido uno de los inconvenientes más intensamente denunciados por parte de la comunidad presística española a las autoridades de las que dependía aquella.

Para solventar el inconveniente anterior y superar esa situación a fin de que la normativa aplicable determinara con claridad las obligaciones de los titulares y se adecuara al reparto constitucional de competencias entre el Estado y las comunidades autónomas, en Enero de 2008 se aprobó, al amparo del artículo 123 bis del Texto Refundido de la Ley de Aguas, el RD 9/2008 por el que se modifica el Reglamento del Dominio Público Hidráulico aprobado en Abril de 1986, en el cual se incluye un nuevo título, concretamente el VII en el que se habla de la Seguridad de Presas, Embalses y Balsas. Se determinan en él las condiciones esenciales de seguridad que deben cumplir presas, embalses y balsas, y se establecen las obligaciones y responsabilidades de sus titulares, los procedimientos de control de la seguridad y las funciones que corresponden a las administraciones públicas, con la finalidad de proteger a las personas, el medio ambiente y las propiedades. ♦

Referencias:

-A.C.S. *La enjundia de las presas españolas*.
-Comité Español de Grandes Presas. 1.976. *Grandes Presas. Experiencias Españolas en su Proyecto y Construcción*.
-Comité Español de Grandes Presas. 1.992. *The Heritage of Spanish Dams*. Servicio de Publicaciones del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

-Comité Español de Grandes Presas. 2.008. *Las Presas en España*. Servicio de Publicaciones del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.
-Revista de Obras Públicas. Números extraordinarios como motivo de la celebración de los Congresos Internacionales de Grandes Presas.
-Sociedad Española de Mecánica del Suelo e Ingeniería de Cimentaciones. Zaragoza. 1.993. *Memorias del Simposio so-*

bre Geotecnia de Presas de Materiales Suelos.

-Vallarino, E. 1.998. *Tratado Básico de Presas*. Servicio de Publicaciones de la Escuela de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.
-Revista Ingeniería y Territorio 2003. Presas y Embalses. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.