

INGENIERIA DE PRESAS DE FABRICA EN ESPAÑA

Joaquín Díez-Cascón Sagrado
Catedrático de Ingeniería Hidráulica
Universidad de Cantabria

1. INTRODUCCION

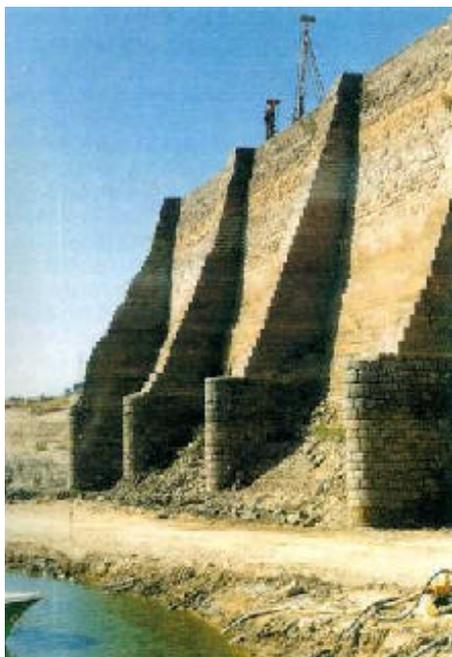
En España existen más de 1.200 grandes presas (fotografía 1) cuyos embalses palian la irregularidad de nuestros ríos y nos permiten disponer de recursos hidráulicos, entre otras cosas, para:

- * Abastecer nuestras ciudades.
- * Regar 3,3 millones de hectáreas asegurando cosechas, diversificando productos y garantizando rentas agrarias.
- * Producir 3 millones de toneladas equivalentes de petróleo, aliviando nuestra balanza de pagos y disminuyendo la contaminación.
- * Y, también, para generar ambientes de alto valor ecológico; es importante reseñar que de los 56 humedales españoles considerados de importancia internacional según los criterios del Convenio Ramsar, 22 son embalses.



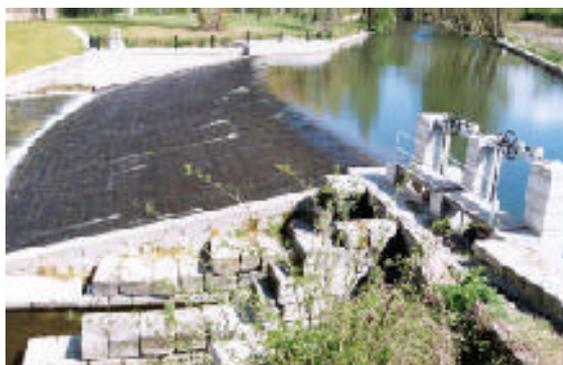
Fotografía 1. Presa de Aldeadávila (Salamanca).

Algunos autores estiman que los embalses que crean las presas generan unos beneficios anuales totales del orden de 5 billones de pesetas, es decir entre el 7 y 8% del PIB, lo que equivale a unas 100 pesetas por m³ de agua regulada.



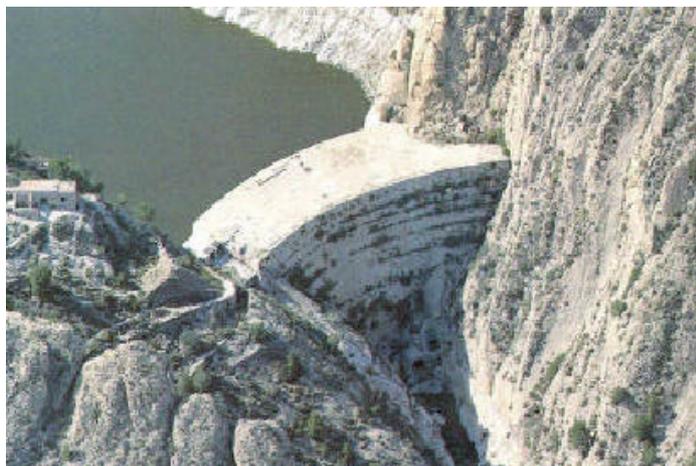
Fotografía 2. Presa de Proserpina en Mérida.

La disponibilidad de agua ha sido desde épocas remotas uno de los condicionantes más fuertes para el establecimiento y posterior desarrollo de los asentamientos (fotografía 2). El necesario equilibrio entre las necesidades y las disponibilidades de agua depende de los condicionantes relativos al entorno natural y a los de las actividades humanas desarrolladas. La búsqueda de este equilibrio ha requerido en cada circunstancia particular la adopción de soluciones de distinto tipo, entre las que siempre han destacado los azudes de derivación y las presas de embalse, sobre todo en aquellos países en los que el agua no es un bien abundante (fotografía 3). En España, si bien el agua es abundante, es irregular en su presencia en el tiempo y en el espacio.



Fotografía 3. Azud de la Casa de la Moneda (Segovia).

Desde un principio las presas y azudes han sido actores principales en la Historia de España en lo que afecta a la supervivencia y la satisfacción de las necesidades de cada asentamiento o núcleo y, en más épocas recientes, también lo ha sido en lo que afecta a sus procesos de organización, es decir a los de la planificación territorial¹.



Fotografía 4. Presa de Tibi (Alicante).

En la época que ocupa desde dos centurias antes de nuestra Era hasta finales del siglo XIX, y salvo tímidos, inconclusos y variados intentos, no puede hablarse de planificación territorial e hidráulica (fotografía 4). En el presente siglo los esfuerzos planificadores han requerido la construcción de un gran número de presas, erigiéndose estas como “motores” del desarrollo socio-económico de nuestro país (fotografía 5).

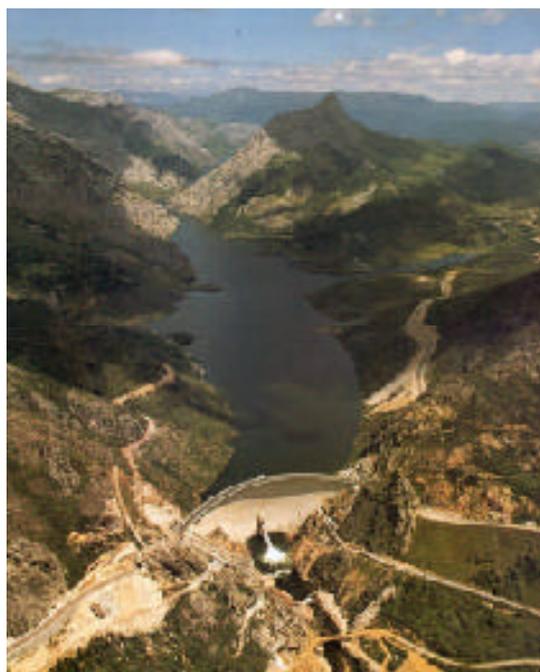


Fotografía 5. Presa de La Serena (Badajoz).

¹ Todas las culturas han necesitado de las presas y azudes, probablemente con una relación amor/odio, pero en todo caso siempre han sido concedoras de su dependencia.

2. CONDICIONANTES EN LA EVOLUCION TIPOLOGICA DE LAS PRESAS DE FABRICA

El diseño y construcción de presas varía en el “espacio” y en el “tiempo”. En el espacio porque los condicionantes de cada emplazamiento son irrepetibles² y en el tiempo porque el conocimiento de los condicionantes que intervienen en la decisión ha ido evolucionando, así como la capacidad de influencia sobre ellos y el peso relativo de cada uno en la decisión final.



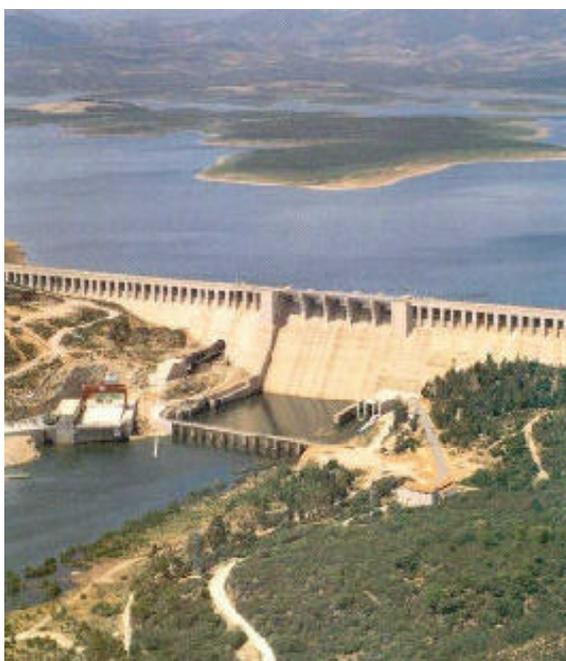
Fotografía 6. Presa de Riaño (León).



Fotografía 7. Presa de Rialb (Lérida).

² Esta situación, que es común a todas las obras públicas, es particularmente cierta en el caso de las presas, debido a la gran cantidad de variables que intervienen en su planificación, proyecto y construcción, y a su íntima relación y dependencia con la naturaleza circundante.

Los condicionantes pueden clasificarse en endógenos y exógenos. Los relativos a la ingeniería de presas o endógenos se clasifican en intrínsecos o propios de cada emplazamiento (fotografía 6) y “entorno” -ambientales, topográficos, geológicos, geotécnicos, hidrológicos, etc- y de tipo general o relativos al “estado del arte” en cada momento, es decir al “estado de la teoría, de la técnica y de la tecnología” (fotografía 7). Dentro de los condicionantes endógenos de tipo general³ los más relevantes son los referentes a los materiales utilizados en la construcción, al conocimiento de la interacción de la presa con su “entorno”, es decir del cómo las “acciones” generan “respuestas” en la presa-embalse y al estado de la tecnología aplicable a la construcción de presas. Los condicionantes exógenos o externos a la ingeniería de presas son los relativos a los aspectos económicos, sociales, de políticos en general o de política de infraestructuras de cada época (fotografía 8).



Fotografía 8. Presa de Gabriel y Galán (Cáceres).

3. PERIODOS EN LA EVOLUCION DE LA INGENIERIA DE PRESAS DE FABRICA

La disponibilidad de los materiales y el avance de la ciencia que los estudia ha condicionado el desarrollo de la Ingeniería de Presas de Fábrica. En este siglo, la evolución de los hormigones ha determinado la de la tipología de las presas, métodos de construcción y calidad y economía de obra. La evolución de los conglomerantes ha estado dirigida por la búsqueda de sistemas de fabricación que garantizaran una calidad uniforme y suficiente y por las indagaciones sobre elementos sustitutos que mejorasen las características del cemento base y redujesen su calor de hidratación. Pueden distinguirse los siguientes periodos en el desarrollo de los conglomerantes:

³ La transmisión de las “ideas” y “saber” siempre ha sido mas fácil que la transferencia de “medios” y “recursos”.

- * Periodo de utilización de cales y cementos naturales, que ocupa desde las primeras civilizaciones hasta los primeros años de este siglo.
- * Periodo inicial de los cementos artificiales, que ocupa las primeras décadas de este siglo. En este periodo se alcanza el conocimiento elemental de los componentes y procesos de hidratación que explican las características de los distintos cementos hidráulicos.
- * Periodo de desarrollo y mejora de los cementos artificiales, que ocupa desde la década de los 40 hasta la mitad de la de los 60. En este periodo se produce un paulatino y sustancial progreso en los procesos de fabricación y control y, en consecuencia, de la uniformidad del suministro.
- * Periodo de inicio en el uso de adiciones puzolánicas, que comprende gran parte de la década de los 50 y se extiende hasta finales de la de los 70.
- * Periodo de intensificación en el uso de adiciones puzolánicas, que comprende desde finales de los 70 hasta la actualidad y coincide con el desarrollo de las presas de HCR.

En el desarrollo evolutivo de los hormigones se pueden establecer distintos periodos y “escuelas”. En lo que se refiere a las escuelas se puede en esencia distinguir: la escuela americana, que abogaba por bajas dosificaciones de conglomerante y altos contenidos de puzolanas, y la europea, que lo hacia por las altas dosificaciones de conglomerante y reducidos contenidos de puzolanas. En lo que se refiere a los periodos evolutivos se pueden señalar los siguientes.

- * Periodo previo, que ocupa el tiempo hasta a 1940. Durante este periodo se desarrollan los aspectos básicos, se utilizan distintos tipos de hormigones, se alcanza un estadio mínimo en la ciencia y tecnología y se publicación de las primeras normas.
- * Periodo de desarrollo, que ocupa el tiempo desde 1940 hasta 1970. Durante este periodo se le da una progresiva importancia de las arenas, se produce un cambio en la concepción de la calidad y su control y se hace un uso progresivo de las puzolanas.
- * Periodo de desarrollo del hormigón compactado con rodillo (HCR), que ocupa desde 1970 a la actualidad.

La evolución de la tecnología en la construcción de presas ha estado condicionada por el desarrollo tecnológico general y por el incremento de la velocidad de construcción, que conllevan la necesidad de utilizar conglomerantes de baja energía y técnicas de refrigeración del hormigón y/o de sus componentes y de revisar los criterios de diseño. Se pueden considerar los siguientes periodos en la evolución tecnológica

- * Periodo pretecnológico, que ocupa el tiempo hasta 1900. Este periodo se caracteriza por la utilización de medios manuales y métodos “intuitivos” (fotografía 9).
- * Periodo en el que se dan los primeros pasos del desarrollo tecnológico, que ocupa los años desde 1900 hasta 1930. Durante periodo coexisten las fabricas de mampostería con las hormigón, los medios e instalaciones de puesta en obra son cada vez mas potentes y se construyen las presas por ménsulas, es decir aparecen las juntas funcionales (fotografía 10).
- * Periodo de desarrollo de los “actuales” métodos de puesta en obra, que ocupa los años desde 1930 hasta 1970. Durante este periodo las plantas de tratamiento de áridos cada vez mas fiables y regulares, se introduce la clasificación hidrodinámica de las arenas -a partir de los 60- y las técnicas de enfriamiento de los componentes

del hormigón y/o del hormigón colocado, se construyen las presas por bloques - juntas longitudinales y transversales-, se desarrollan las técnicas de inyección en general y se incrementa el distanciamiento entre el “regulado pragmatismo” americano y la “practicidad” europea (fotografía 11).

- * Periodo de desarrollo de la técnica de construcción de presas de fábrica con hormigones consolidados con vibración y compresión externas (Rollcrete o HCR), que ocupa los años desde 1970 hasta la actualidad (fotografía 12).



Fotografía 9. Presa del Viejo del Angel en Marbella (Málaga).



Fotografía 10. Presa del Regato (Vizcaya).



Fotografía 11. Presa de Almendra (Salamanca).



Fotografía 12. Presa de Santa Eugenia (La Coruña).

La evolución del conocimiento de la interacción de la presa con su “entorno” y del cómo las “acciones actuantes” generan las “respuestas” en la presa-embalse depende del grado de desarrollo del conocimiento teórico y empírico alcanzado al respecto -modelos a escala reducida y auscultación de presas-. Se pueden considerar los siguientes periodos de evolución:

- * Periodo de conocimiento “exclusivo” e “intuitivo”, que ocupa el tiempo desde el 3.000 a.d.C. hasta las primeras décadas del siglo XIX.
- * Periodo de inicio de la aplicación de los principios de la Mecánica Racional, que ocupa gran parte del siglo XIX y fundamentalmente la segunda mitad. Durante este

periodo se observa una gran desorientación en los diseños y se descubre la “realidad física” de la subpresión - roturas de las presas de El Habra y Bouzey -.

- * Periodo que ocupa las primeras cuatro décadas del siglo XX. Durante es periodo se aplican de las teorías de Levy, se mejora la modelización de las presas de gravedad y arco, se dan primeros pasos en la instrumentación, se desarrollan los primeros ensayos en modelos estructurales e hidráulicos y la modelización del terreno es simplista.
- * Periodo que ocupa los años centrales del siglo XX (1940-1965). Durante este periodo se utiliza la auscultación de las presas para el refinado modelos físicos y numéricos de cálculo, se mejora la técnica de los ensayos elásticos, se inician y desarrollan los ensayos geomecánicos y a rotura, se desarrollan soluciones hidráulicas “novedosas” y se produce la rotura de la presa de Malpasset y deslizamiento de ladera en el embalse de Vaiont.
- * Periodo que ocupa las ultimas décadas del siglo XX. Durante este periodo se desarrolla el método de los elementos finitos (MEF), se utilizan de forma progresiva de medios informáticos, se mejora el conocimiento de algunas acciones -sismos- y la respuesta de otras -sismos, envejecimiento, efectos térmicos, fisuraciones, etc -, se desarrolla auscultación y se produce un cierto “desinterés” por la realización de ensayos estructurales.

La Ingeniería de Presas en general ha tenido a partir del siglo XIX un desarrollo similar en todos los países⁴, pudiéndose establecer en lo que se refiere a presas de fábrica los siguientes periodos:

- * Hasta mediados del siglo XIX. A este periodo se le puede denominar como de intuitivo.
- * Segunda mitad del siglo XIX. En este periodo se llevan a cabo las primeras aplicaciones de los principios de la Mecánica Racional.
- * Primeras décadas del siglo XX. En este periodo se produce la expansión de las presas de hormigón y gradual abandono de las de mampostería así como el gran desarrollo de las instalaciones y medios de puesta en obra.
- * Décadas centrales del siglo XX. Es el periodo en el que de refina y agota el proceso evolutivo de las soluciones y sistemas clásicos de construcción.
- * Ultimo cuarto del siglo XX. En este periodo se desarrollan de nuevas soluciones y sistemas de construcción.

España ha estado, salvo cortos periodos de tiempo, en el grupo de países con mayor desarrollo de la Ingeniería de Presas con las siguientes puntualizaciones y/o hechos destacables:

- * Durante el periodo⁵ intuitivo en la Ingeniería de Presas España ha sido referencia en la construcción de presas, en particular en la época de dominación romana y en los siglos XVI y XVII con la construcción de las modernas presas levantinas (fotografía 13).
- * En la segunda mitad del siglo XIX se produjo en España una rápida adopción los principios de la Mecánica Racional y su traslado al campo de las realizaciones

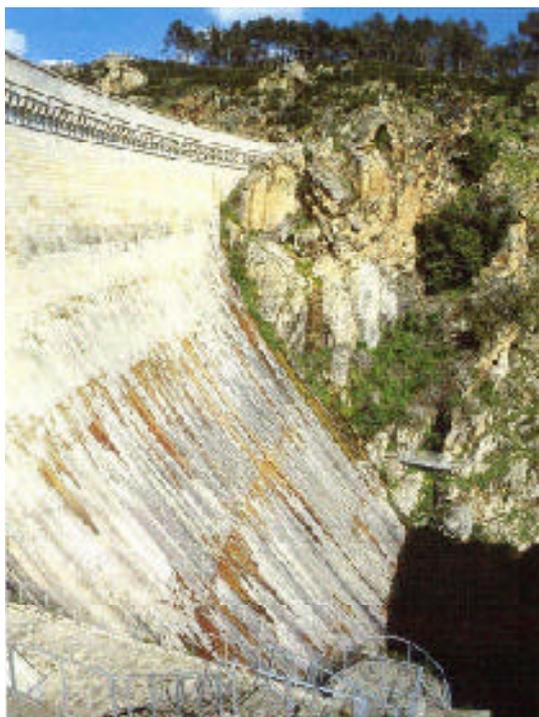
⁴ En Estados Unidos, Europa y Japón. Sin confirmación en la antigua Unión Soviética, China e India, debido a las escasas referencias técnicas.

⁵ El “fracaso operacional” de algunas presas españolas en este periodo no puede considerarse como tal y sí como una consecuencia lógica de la entrada en “terrenos” no experimentados.

prácticas. La experiencia y buenos resultados del periodo “intuitivo” evitaron la “desorientación” existente en otros países (fotografía 14).



Fotografía 13. Presa de Liérganes (Cantabria).



Fotografía 14. Presa de El Villar (Madrid).

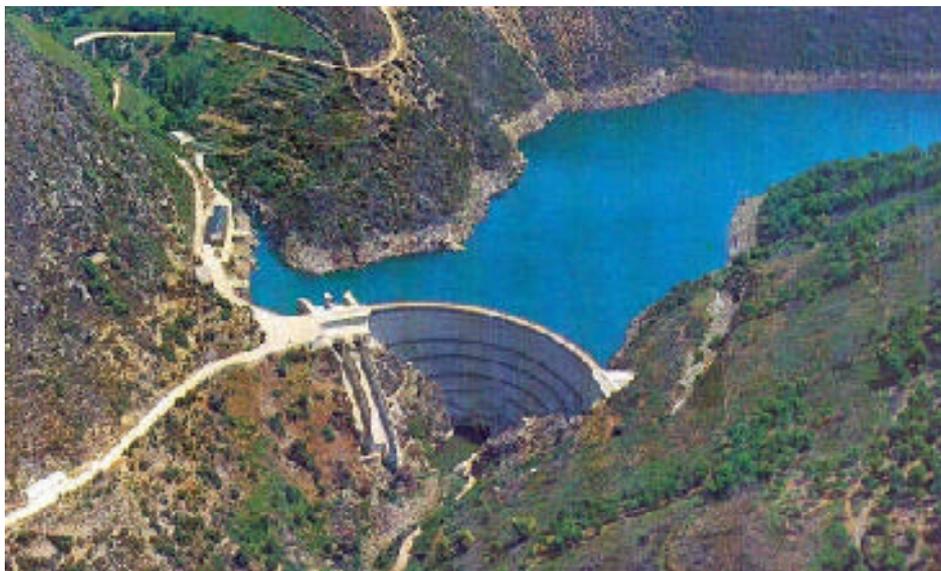
- * Durante las primeras décadas del siglo XX se utilizó de forma casi exclusiva la tipología de presas de gravedad y de forma esporádica la de arco. En la construcción de las primeras grandes presas “hidroeléctricas” se utilizaron instalaciones auxiliares y medios de construcción de primer nivel, repercutiendo de forma negativa en los medios y financiación de las presas del Estado la descoordinación existente en la administración. Los ensayos hidráulicos en modelo reducido y tratamiento del

terreno adquirieron un alto nivel y la instrumentación y control de las presas era casi nula. Durante este periodo los ingenieros tenían un alto nivel técnico y un buen número de realizaciones figuraron entre las más importantes del mundo (fotografía 15).



Fotografía 15. Presa de Montejaque (Málaga).

- * Durante las décadas centrales del siglo XX la mala situación económica existente desde el final de la guerra hasta el levantamiento del embargo y bloqueo internacional (1953) generó el mayor desfase que ha existido nunca con el resto del mundo. Los precarios medios de puesta en obra fueron causa de un estancamiento de los rendimientos y en algunos casos de la falta de calidad en las décadas de los 40 y gran parte de los 50. Sin embargo, en determinados casos y con instalaciones utilizadas dos décadas antes se consiguieron realizaciones notables en cuanto a calidad y rendimiento. El Servicio de Vigilancia de Presas -creado a finales de la década de los 50- sirvió en gran medida de catalizador y generador del saber hacer de la Ingeniería de Presas. El “despegue económico” de las décadas de los 60 y 70 necesito del gran desarrollo de la política hidráulica en sus facetas hidroeléctrica y de regadío. La capacidad técnica general permitió que en un plazo de 10 años se corrigiesen los atrasos tecnológicos y se alcanzase un alto nivel en todos los aspectos (fotografía 16).
- * Las últimas décadas del siglo XX se ha producido una rápida adopción y desarrollo de la técnica del hormigón HCR (Rollcrete), permitiendo que España pueda considerarse como un país “pionero” en este campo. En este periodo se está concediendo especial importancia a la adecuación de las presas existentes a las normativas y conceptos de seguridad vigentes en la actualidad (fotografía 17).



Fotografía 16. Presa de Santa Eulalia (Orense).



Fotografía 17. Presa de Bayona (La Coruña).