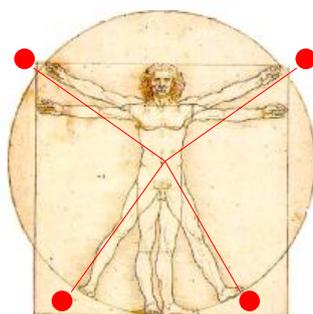


# TECNOLOGÍ@ y DESARROLLO

*Revista de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente*

VOLUMEN XV. AÑO 2017

SEPARATA



## EVOLUCIÓN DE LAS PRESAS DE HORMIGÓN HASTA 1950

**Francisco Gimenez Rothermund**  
**David Martín Ruiz**



UNIVERSIDAD ALFONSO X EL SABIO  
Escuela Politécnica Superior  
Villanueva de la Cañada (Madrid)

© Del texto: Francisco Gimenez Rothermund, David Martín Ruiz  
Junio, 2017.

<http://www.uax.es/publicacion/evolucion-de-las-presas-de-hormigon-desde-1950.pdf>

© De la edición: *Revista Tecnol@ y desarrollo*

Escuela Politécnica Superior.

Universidad Alfonso X el Sabio.

28691, Villanueva de la Cañada (Madrid).

ISSN: 1696-8085

Editor: Javier Morales Pérez – [tecnologia@uax.es](mailto:tecnologia@uax.es)

No está permitida la reproducción total o parcial de este artículo, ni su almacenamiento o transmisión ya sea electrónico, químico, mecánico, por fotocopia u otros métodos, sin permiso previo por escrito de la revista.

# EVOLUCIÓN DE LAS PRESAS DE HORMIGÓN HASTA 1950

**Francisco Gimenez Rothermund (a), David Martín Ruiz (b)**

- (a) Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Jefe de Ingeniería de Proyectos en el Ministerio de Obras Públicas de Catar (Ashghal)  
email: [paco.gimenez@hotmail.com](mailto:paco.gimenez@hotmail.com)
- (b) Dr. por la Universidad Alfonso X El Sabio. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Escuela Politécnica Superior. Área de Ingeniería Civil. Tlf: 918105087, email: [druizmar@uax.es](mailto:druizmar@uax.es)

## RESUMEN:

A finales del siglo XX las presas utilizadas se limitaban básicamente en España a la mampostería y a la sillaría (los mampuestos podían ser manejados por un solo hombre, mientras que los sillares requerían el empleo de medios auxiliares por su mayor tamaño). Las presas de gravedad de fábrica, empezaron a construirse con hormigón durante la primera década del siglo XX, constituido por grandes bloques de piedra embebidos en hormigón. Paulatinamente, se fue reduciendo el tamaño y proporción de los bloques de piedra hasta generalizarse el empleo del hormigón en masa y dejó de utilizarse sillares para recubrir los paramentos quedando el hormigón visto.

## PALABRAS CLAVE:

Presa, hormigón en masa, aliviaderos.

## ABSTRACT:

By the end of the twentieth century, dams were limited mainly used in Spain to masonry and ashlar (the masonry could be handled by one man, while the blocks required the use of aids by their larger size). Gravity dams began to be built with concrete during the first decade of the twentieth century, consisting of large blocks of stone embedded in concrete. Gradually, it was reducing the size and proportion of the stone blocks to generalize the use of mass concrete blocks and stopped used to coat the walls leaving the concrete.

## KEY-WORDS:

Dam, Mass Concrete, spillway.

## SUMARIO:

1. Introducción, 2. Evolución constructiva de las presas de hormigón en España hasta 1950, 3. Principales tipos de presas de hormigón empleados hasta 1950, 4. Evolución de los tipos de aliviadero en las presas de hormigón. Presas vertedero, 5. Conclusiones, 6. Referencias

## 1. Introducción

A finales del siglo XX las fábricas utilizadas se limitaban básicamente en España a la mampostería y a la sillería (los mampuestos podían ser manejados por un solo hombre, mientras que los sillares requerían el empleo de medios auxiliares por su mayor tamaño). Las presas de gravedad de fábrica, empezaron a construirse con hormigón durante la primera década del siglo XX, constituido por grandes bloques de piedra embebidos en hormigón. Paulatinamente, se fue reduciendo el tamaño y proporción de los bloques de piedra hasta generalizarse el empleo del hormigón en masa y dejó de utilizarse sillares para recubrir los paramentos quedando el hormigón visto.

Los estudios de presas se realizaban conforme a la mecánica racional. Se limitaban a aplicar las condiciones de equilibrio para un cuerpo pesado descansado sobre el terreno, considerando dicho cuerpo un sólido rígido e indeformable, exigiendo que la resultante del peso y de la presión horizontal del agua pasara por dentro de la base y que el ángulo de la resultante con la vertical fuese inferior al ángulo de rozamiento estimado para la fábrica. Todo ello sin considerar el efecto de la subpresión.



Figura 1. Fotografía del ingeniero de caminos José Nicolau.

Fuente: [http://ropdigital.ciccp.es/pdf/publico/1917/1917\\_tomoI\\_2155\\_01.pdf](http://ropdigital.ciccp.es/pdf/publico/1917/1917_tomoI_2155_01.pdf)

A principios del siglo XX se introdujo en España el cálculo de las presas de gravedad de fábrica teniendo en cuenta el efecto de las subpresiones, fundamentalmente mediante el método del francés Maurice Levy. Los principales métodos de cálculo

existentes en Europa para las presas de fábrica por gravedad fueron introducidos en España por el ingeniero de caminos José Nicolau, destacando una serie de artículos publicados en la Revista Obras Públicas en 1899 englobados bajo el título “El perfil de las presas de Fábrica”, que analizaba los principales métodos de cálculo existentes tales como Delocre, Rankine, Castigliano, Levy...etc. El método de Levy será el principal método utilizado para abordar el estudio de los perfiles de las presas de gravedad de fábrica en España hasta prácticamente mediados del siglo XX.

El perfil utilizado en las presas de gravedad de fábrica, conforme a los estudios de José Nicolau, era siempre triangular con un talud agua arriba casi vertical y un talud aguas abajo con una relación base entre altura, que para cumplir con las teorías de Maurice Levy que consideraba el efecto de las subpresiones, estaba comprendido entre 0,70 y 0,80. En función de que el ingeniero proyectista, considerara total o parcialmente el efecto de las subpresiones, el talud aguas abajo sería más o menos tendido.

## **2. Evolución constructiva de las presas de hormigón en España hasta 1950**

Las presas de gravedad de hormigón empezaron a construirse a primeros del siglo XX con hormigón ciclópeo, constituido por grandes bloques de piedra procedentes de canteras próximas embebidos en hormigón, con un porcentaje de bloques comprendido entre el 25 y el 10 por ciento. El cuerpo de la presa se solía recubrir a modo de encofrado con sillares, lo que se conocía normalmente como el “sillarejo. Con el paso del tiempo, se redujo paulatinamente el tamaño y proporción de los bloques de piedra hasta generalizarse el empleo del hormigón en masa y dejó de utilizarse el sillarejo quedando el hormigón visto. No obstante, hay muchos ejemplos tardíos de construcción de presas con hormigón ciclópeo, como los de las presas de Barasona y el Rumblar, que fueron terminadas respectivamente en 1932 y 1941.

El cemento utilizado en la fabricación del hormigón era en su mayoría cemento artificial tipo portland, salvo con algunas excepciones muy importantes tales como las grandes presas de Talarn, Camarasa, Jándula, Tranco de Beas y el Rumblar; donde se empleó la variedad de cemento conocida como “Sandcement”. El “Sandcement” era un tipo de conglomerante que se había utilizado con éxito en la construcción de presas americanas, constituido entre un 50 y 60 por ciento de cemento y un 40 y 50 por ciento de arena caliza muy fina que se molía junto con el clinker, resultando bastante difícil conseguir la finura deseada para la arena, por lo que dejó de utilizarse tempranamente. En el artículo publicado por el ingeniero de caminos José Solana en la Revista de Obras Públicas en 1916, titulado “Sandcement”, se muestran datos comparativos de ensayos de laboratorio sobre resistencias mecánicas entre ambos tipos de cemento, así como algunos datos económicos sobre su empleo en algunas construcciones norteamericanas.

Si se requería un gran volumen de cemento, como en la construcción de grandes presas, podía construirse una fábrica de cemento a pie de obra si los áridos de la zona eran adecuados. Así se realizó en la construcción de la importante presa de San Antonio, también conocida como Talarn, sobre el río Noguera Pallaresa en la provincia de Lérida, que requería un consumo diario de 285 toneladas de cemento para su ejecución siendo esta cantidad imposible de ser suministrada por la producción de cemento de la época. En la Revista de Obras Públicas, podemos encontrar un artículo publicado en 1916 por el ingeniero de caminos José Solana, titulado “Pantano de San Antonio”, donde da una explicación detallada de la fábrica de cemento que se instaló a pie de obra, así como de las principales características y composición del cemento resultante. Además del laboratorio que solía construirse a pie de obra para ensayar los hormigones obtenidos, normalmente a compresión simple mediante rotura de probetas con prensa hidráulica, también se construyó en este caso un laboratorio específico a pie de obra para ensayos de cemento.

El control de los procesos de fabricación y control del cemento fueron bastante rudimentarios hasta la década de los cuarenta. En consecuencia, el suministro de cemento era bastante irregular tanto en calidad como en cantidad, especialmente durante los periodos posteriores de la guerra civil española y hasta 1950 como consecuencia del embargo internacional entre 1946 y 1950 que provocó una importante escasez de maquinaria.

El contenido de cemento solía oscilar para el caso de hormigón ciclópeo entre 150 y 250 kg/m<sup>3</sup> usado como aglomerante. En el caso de hormigón en masa solía utilizarse una dosificación mayor de cemento comprendida entre 250 y 350 kg/m<sup>3</sup> para aumentar la compacidad e impermeabilidad del hormigón, sobre todo en el caso de las pantallas donde no se bajaba de los 300 a 350 kg/m<sup>3</sup>. La utilización de aglomerantes adicionales tales como puzolanas, escoria procedente de altos hornos o cenizas volantes, para reducir la cantidad de clinker y disminuir el calor de fraguado, no se empezó a utilizar en España hasta bien entrado la segunda mitad del siglo XX.

En cuanto a las juntas de construcción, al principio no se empleaban en las presas de mampostería. Posteriormente empezaron a usarse en las presas de hormigón ciclópeo. En esta etapa, las presas se construían como ménsulas por lo que solo existían las juntas de construcción longitudinales siendo inicialmente la distancia entre ellas de aproximadamente 15 o 20 m, como por ejemplo en la presa de Talarn o Camarasa, para ir aumentando paulatinamente con el tiempo hasta alcanzarse distancias de entre 30 y 35 m como en las presas de Cala, Jándula, el Rumblar o la Cuerda del Pozo.

Tras la guerra civil española en la década de los 40, debido a la escasez de medios y la falta de maquinaria, se produjo un repunte en la construcción de presas de mampostería a la vez que se redujo ostensiblemente el número de presas de hormigón construidas, situación que prácticamente se extendió hasta 1950.

El hormigón se fabricaba en obra mediante hormigoneras usando métodos de dosificación manual, lo que dificultaba la homogeneidad en las características del hormigón y favorecía la dispersión de los datos de resistencias mecánicas a compresión simple obtenidos mediante ensayos. Los medios de puesta en obra habitualmente utilizados eran las canaletas, con los consiguientes problemas de segregación del árido y pérdida de homogeneidad. Los encofrados metálicos todavía no se empleaban, usándose solo los de madera que daban problemas de adhesiones especialmente peligrosos en el paramento de aguas arriba.

Los medios de transporte del hormigón en obra podían ser desde medios manuales como carretillas, a la utilización de vagonetas o teleféricos y cables grúas, como los utilizados en la construcción de la presa del Pintado en Sevilla cuya construcción finalizó en 1948. Destacar, que la mencionada presa fue una de las primeras en España en la que se vibró el hormigón para la eliminación de oquedades.

En cuanto a los elementos funcionales de la presa, tales como los desagües de fondo y la toma de agua, eran realmente sencillos. Los desagües de fondo se limitaban salvo raras excepciones a uno solo dispuesto en las proximidades del cauce con el objeto de permitir la limpieza de sedimentos cerca del paramento de la presa. En algunos casos especiales se disponían de hasta dos desagües de fondo a distintas alturas, como por ejemplo los casos de Camporredondo, Puentes Viejas y Cuerda del Pozo. Por otra parte, se disponían varias tomas de agua a distintas alturas que podían variar entre 10 y 20 m, al menos una en las proximidades del nivel máximo del embalse, una o varias a nivel intermedio y otra más próxima al fondo por encima del desagüe de fondo.

En la Tabla 1 puede observarse el número y capacidad de los desagües de fondo de las principales presas de hormigón construidas en España hasta 1950 con datos del inventario de presas y embalses del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.

Se adjunta a continuación una tabla con las principales presas de gravedad de hormigón construidas en España durante la primera mitad del siglo XX:

Nombre de la presa	Año finalización	Altura sobre cimientos (m)	Distancia entre juntas (m)	Tipología
Burguillo	1913	91	32	Hormigón con 15% bloques y 250-300 kg /m <sup>3</sup> de cemento
Talarn	1916	86	20	Hormigón con bloques y "Sandcement"
Camarasa	1920	103	16	Hormigón con "Sandcement"
Cala	1927	53	35	Hormigón ciclópeo
Barasona	1932	65	3 juntas en la parte superior a 14 y 18 m.	Hormigón con 12% bloques y 200 kg/m <sup>3</sup> de cemento
Santolea	1932	51	15	Hormigón con bloques y 250 kg/m <sup>3</sup> de cemento
Jándula	1932	90	32	Hormigón ciclópeo con "Sandcement"
Fuensanta	1933	82	Cada 30 m. Cada 15 m en parte superior.	Hormigón con 175-300 kg/m <sup>3</sup> de cemento
Ricobayo	1934	100	21	Hormigón con 150-250 kg /m <sup>3</sup> de cemento
La Requejada	1940	57	25	Hormigón con 15% bloques
El Rumblar	1941	68	32	Hormigón con 20% bloques y "Sandcement"
Tranco de Beas	1944	93	Cada 22 m en parte central y 15 m en laterales.	Hormigón con bloques y "Sandcement"

Tabla 1. Características de las principales presas de gravedad de hormigón hasta 1950. Material empleado y distancia entre juntas de construcción. Fuente: Inventario de presas y embalses del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente

### 3. Principales tipos de presas de hormigón empleados hasta 1950

El tipo de presa de hormigón predominantemente empleado fue el de gravedad con planta curva, con radios constantes habituales entre 200 y 300 m, con un desarrollo angular entre 90 y 120 grados, generalmente calculadas con perfil Levy (subpresión plena). A finales de la década de los años 20 empezó a admitirse una cierta reducción de

la supresión en el cálculo, siguiendo las tendencias de otros países europeos como Italia, donde la normativa permitía reducir la subpresión hasta en un 50 por ciento o Suiza. Así por ejemplo, el ingeniero suizo H.E. Gruner, proyectista de las presas de Cala y Montejaque en España, afirmaba realizar los cálculos con un 70 por ciento de la supresión total. Cuando se reducía la subpresión en el cálculo, era habitual introducir medidas adicionales que garantizaran la reducción efectiva de las mismas tales como la disposición de pozos o galerías filtrantes junto al paramento de aguas arriba.

En cuanto al perfil utilizado en las presas de gravedad de fábrica, tal y como ya se ha indicado, el perfil era siempre triangular con un talud agua arriba casi vertical y un talud aguas abajo con una relación base entre altura comprendido entre 0,70 y 0,80. En función de que se considerara total o parcialmente el efecto de las subpresiones, el talud aguas abajo sería más o menos tendido.

El empleo de modelos hidráulicos reducidos para comprobar el comportamiento del cuerpo de la presa, así como de aliviaderos, se generalizó en España durante la segunda década del siglo XX siendo normalmente los encargados de realizar dichos ensayos los profesores de la Escuela de Caminos de Madrid, tales como los ingenieros de caminos Alfonso Peña Boeuf, José Luis Gómez navarro y Juan Manuel de Zafra. En algunos casos especiales, solía recurrirse a especialistas extranjeros que desarrollaban estos modelos destacando en este aspecto el ingeniero alemán Theodor Rehbock, de los laboratorios alemanes Kalsruhe, que tuvo una participación bastante activa en España destacando su participación en el diseño del nuevo túnel aliviadero de la presa de Ricobayo en 1936 y en la comprobación del modelo de presas bóvedas de anillo ideado por Don Alfonso Peña Boeuf, también en 1936, que generó una agria polémica al refutar dicho modelo, tal y como se puede comprobar en un artículo publicado por el ingeniero español en la Revista de Obras Públicas ese mismo año titulado “Contestación al artículo del Profesor Th. Rehbock”.

Entre todas las presas de gravedad con planta curva cabe destacar por su gran altura, próxima o superior a los 100 m desde los cimientos y volumen de fábrica superior a los 200.000 m<sup>3</sup> las presas de Talarn (1916), Camarasa (1920), Jándula (1932), Ricobayo (1934) y Tranco de Beas (1944). La Presa de Camarasa con su altura de 103 m desde cimientos, fue record de altura en Europa hasta 1924, cuando fue superada por la presa de Waggital en Suiza con sus 112 m de altura. La presa de Ricobayo con sus 398.000 m<sup>3</sup> de hormigón fue record de volumen en España.

Se adjunta a continuación una tabla con las principales presas de gravedad de hormigón construidas en España hasta 1950 con una altura mínima desde cimientos de 45 m. Los datos han sido obtenidos del inventario de presas y embalses del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente:

Nombre de la presa	Año finalización	Altura desde cimientos (m)	Longitud coronación (m)	Tipología	Volumen de fábrica (m <sup>3</sup> )
Burguillo	1913	91	300	Gravedad recta	287.000
Talarn	1916	86	180	Gravedad curva	275.000
Camarasa	1920	103	216	Gravedad curva	218.000
Cala	1927	53	346	Gravedad recta	113.000
Moneva	1929	45	152	Gravedad curva	61.000
Camporredondo	1930	76	160	Gravedad curva	172.000
Pena	1930	47	133	Gravedad curva	42.000
Barasona	1932	65	99	Gravedad curva	30.000
Santolea	1932	51	138	Gravedad recta	105.000
Jándula	1932	90	240	Gravedad curva	350.000
Fuensanta	1933	82	232	Gravedad curva	255.000
Ricobayo	1934	100	270	Gravedad curva	398.000
Puentes Viejas	1940	66	324	Gravedad curva	145.000
La Requejada	1940	57	200	Gravedad curva	97.000
El Rumblar	1941	68	220	Gravedad curva	162.000
Tranco de Beas	1944	93	290	Gravedad curva	230.000
El Pintado	1948	86	356	Gravedad recta	286.000
Villalcampo	1949	53	300	Gravedad recta	225.000

Tabla 2. Principales presas de gravedad de hormigón hasta 1.950. Características principales. Fuente: Inventario de presas y embalses del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente

Se añade a continuación una tabla donde se indica a título orientativo la ubicación y principales características de los embalses de las presas indicadas en la tabla anterior. Los datos han sido igualmente obtenidos del inventario de presas y embalses del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente:

Nombre de la presa	Nombre del río	Provincia	Capacidad embalse a NMN (Hm <sup>3</sup> )	Superficie embalse a NMN (Ha)	Uso
Burguillo	Alberche	Avila	198	910	Abastecimiento, hidroeléctrico y riego
Talarn	Noguera Pallaresa	Lerida	227	973	Hidroeléctrico y riego
Camarasa	Noguera-Pallaresa	Lerida	163	624	Hidroeléctrico y riego
Cala	Rivera de Cala	Sevilla	55	437	Abastecimiento, hidroeléctrico y riego
Moneva	Aguas Vivas	Zaragoza	8	75	Riego
Camporredondo	Carrión	Palencia	70	388	Hidroeléctrico, riego y regulación
Pena	Pena	Teruel	18	149	Riego
Barasona	Esera	Huesca	85	664	Abastecimiento, hidroeléctrico y riego
Santolea	Guadalope	Teruel	43	382	Abastecimiento, hidroeléctrico y riego
Jándula	Jándula	Teruel	322	1231	Abastecimiento, hidroeléctrico y riego
Fuensanta	Segura	Albacete	210	890	Regulación, defensa e hidroeléctrico
Ricobayo	Esla	Zamora	1145	5725	Hidroeléctrico
Puentes Viejas	Lozoya	Madrid	49	280	Abastecimiento
La Requejada	Pisuerga	Palencia	66	333	Abastecimiento, defensa y riego
El Rumblar	Rumblar	Jaen	126	565	Abastecimiento y riego
Tranco de Beas	Guadalquivir	Jaen	500	1800	Hidroeléctrico y riego
El Pintado	Guadalquivir	Sevilla	213	1050	Hidroeléctrico y riego
Villalcampo	Duero	Zamora	66	445	Hidroeléctrico

Tabla 3. Principales presas de gravedad de hormigón hasta 1.950. Datos de los embalses. Fuente: Inventario de presas y embalses del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente

El uso de presas tipo bóveda fue residual, limitándose a las presas de Montejaque (1924), Alloz (1930) e Isber (1944). Las dos primeras se calcularon por el método de Stucky y la de Isber por el método de las bóvedas de anillos ideado por el profesor

Boeuf. Hasta 1953 no volvió a construirse ninguna presa bóveda en España, cuando se finalizó la construcción de la presa de la Cohilla. La presa de Montejaque fue obra del ingeniero civil suizo H.E. Gruner, mientras que la de Alloz, la primera de doble curvatura construida en España, fue proyectada por el ingeniero de caminos Enrique Becerril. La construcción de presas de bóvedas múltiples con contrafuertes fue inexistente y se ciñó al campo teórico.

En cuanto a las presas de hormigón de pantalla plana con contrafuertes, solamente se construyó la presa de Burgomillodo (1930), que posteriormente fue recrecida en 1953, convirtiéndose en una presa de gravedad tradicional. Los detalles sobre la construcción original de dicha presa pueden observarse en un artículo publicado en la Revista de Obras Públicas en 1931 por el ingeniero de caminos Federico Cantero Villamil titulado “Presa de contrafuertes en Burgomillodo”. A efectos de proyectos de este tipo de presas de bóvedas múltiples con contrafuertes destacan los trabajos teóricos de los ingenieros de caminos y profesores de la Escuela de Caminos de Madrid Don Alfonso Peña Boeuf y Don Enrique Becerril.

Se adjunta a continuación una tabla con las principales presas bóvedas construidas en España hasta 1960. Dada la escasez de presas de este tipo construidas durante este periodo, se ha decidido incluir también en esta tabla, sólo a título orientativo, las presas bóveda construidas durante la década de los 50. Los datos principales han sido obtenidos del inventario de presas y embalses del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente:

Nombre de la presa	Año finalización	Volumen de fábrica (m <sup>3</sup> )	Altura sobre cimientos (m)	Longitud coronación (m)	Espesor de la base (m)	L/H	E/H
Montejaque	1924	30.000	84	84	17.5	1.00	0.21
Alloz	1930	18.500	67	74	17.5	1.10	0.26
Isbert	1945	1.120	29	18	4.5	4.00	0.16
La Cohilla	1950	181.000	116	288	25	2.48	0.22
Canelles	1960	333.000	151	210	30	1.39	0.20
Eume	1960	225.000	103	284	19.6	2.76	0.19

Tabla 4. Principales presas bóveda de hormigón hasta 1.960. Fuente: Inventario de presas y embalses del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente

En este apartado sobre las tipologías de presas empleadas cabría también mencionar, por lo que de innovación tecnológica supuso en España, la construcción de la Presa de Jándula (1932) que fue la primera presa construida con la central hidroeléctrica

incorporada en el cuerpo de la presa. Como bien indica José Luis Gómez Navarro, en su artículo publicado en 1940 en la Revista de Obras Públicas, titulado “Presas vertedero con central interna”, este tipo de presas presentaba numerosas ventajas como el ahorro de la cimentación de la central, además de lograrse disminuir las longitudes de las tuberías de aducción y de desagüe de las turbinas.

En el mismo artículo, podemos ver como la idea de incorporar la central en el cuerpo de la presa en Jándula fue incluso anterior a las primeras presas de este tipo en Francia, las grandes presas de l’Aigle (1946) y Saint Etienne-Cantales (1945), cuya principal innovación tecnológica con respecto a la presa española de Jándula era disponer de un vertedero central con compuertas también incorporado en el cuerpo de la presa. La presa de Jándula en cambio disponía de aliviadero lateral de labio libre, disposición habitual y mayoritaria en las presas españolas de fábrica durante la primera mitad del siglo XX.

#### **4. Evolución de los tipos de aliviadero en las presas de hormigón. Presas vertedero**

Los aliviaderos utilizados eran mayoritariamente libres, de labio fijo, dispuestos independientemente en una posición lateral, con los canales excavados en trinchera en las laderas de la cerrada. Las excavaciones en trinchera sobre las laderas de roca para construir los aliviaderos laterales, suponía en muchos casos un importante gasto económico que con frecuencia alcanzaba entre el 30 y el 40 por ciento del presupuesto total de la obra. Esta disposición, facilitaba la construcción del cuerpo de la presa y facilitaba la ubicación de la central hidroeléctrica en la base de la presa aguas abajo.

Posteriormente se fue generalizando el uso de compuertas, principalmente automáticas de sector flotante por su mayor seguridad de funcionamiento. Como primer ejemplo de ello podemos citar las presas de Talam (1916) y Camarasa (1920). En la primera se dispusieron diez compuertas automáticas de sector con contrapesos y dimensiones de 10 m de ancho por 7 m de alto cada una. En la presa de Camarasa se dispusieron dos compuertas automáticas de sector flotante de hormigón armado de 27 m de ancho por 6,90 m de alto cada una. También destaca, por su tamaño, las dos compuertas automáticas de sector flotante de hormigón armado de 25 m de ancho por 6,50 m de alto cada una que se dispusieron en la presa de Barasona (1932), que además presenta la particularidad de disponer de dos aliviaderos laterales en túnel, con una capacidad total de vertido de 1.500 m<sup>3</sup>/s.

Las mejores ubicaciones para construir la presa y conseguir las mejores condiciones de embalse, fueron seleccionadas durante las tres primeras décadas del siglo XX. Posteriormente, la necesidad de aprovechar los recursos de los grandes ríos impulsó proyectos cada vez más complejos con condiciones de cimentación menos favorables. La mejora de la técnica constructiva de los aliviaderos en túnel, y el uso de modelos hidráulicos reducidos, ayudó a facilitar la redacción de estos proyectos. Los aliviaderos

laterales exigían buscar ubicaciones para la presa suficientemente anchas que permitiesen ubicar el mismo, mientras que los aliviaderos en túnel permitían elegir con mayor libertad la ubicación de la presa. En cualquier caso, la solución en túnel, empezó a utilizarse de forma más habitual a partir de 1930, debido a la mejora de los procesos constructivos de túneles y su consiguiente abaratamiento.

Inicialmente, la disposición de aliviaderos en túnel solo se utilizaba para el caso de laderas muy escarpadas y abruptas que impedían la excavación del aliviadero en trinchera. Una de las primeras veces en que se utilizó esta solución en España, fue para la construcción de la presa de mampostería de la Peña en 1913. Así por ejemplo, también se utilizó en la presa de Camarasa, donde se usó una solución combinada, un aliviadero estaba constituido por un canal lateral con una capacidad de vertido de 1.500 m<sup>3</sup>/s, mientras que el otro estaba formado por dos túneles paralelos con una capacidad de vertido de 500 m<sup>3</sup>/s.

En España fue especialmente conocido el caso de la presa de Ricobayo o Salto del Esla. En la Revista Obras Públicas encontramos sendos artículos publicados respectivamente en 1940 y 1941 por los ingenieros de caminos Ricardo Rubio Sacristán y Pedro Martínez Artola, titulados ambos “El túnel aliviadero del Salto del Esla”, donde se ponen de manifiesto las vicisitudes de esta obra y las características de la solución final adoptada. Dicha presa terminó de construirse inicialmente en 1933, con un aliviadero lateral en canal abierto con compuertas. En enero de 1934 se produjo el derrumbamiento de la ladera a la salida del canal y en marzo de 1935 se produjo un derrumbamiento regresivo en una longitud de unos 170 m, que se agrando en 1936 hasta los 350 m de longitud y unos 100 m de profundidad, todo ello debido fundamentalmente a la socavación producida por el agua al caer desde 70 u 80 m de altura sobre una roca débil o fracturada. Se montó un laboratorio de Hidráulica en el poblado del Salto de Ricobayo para poder realizar ensayos sobre modelos reducidos del comportamiento hidráulico de los aliviaderos en túnel, contando para ello con el asesoramiento del profesor alemán Theodor Rehbock. Finalmente, se decidió construir un túnel aliviadero con una longitud de 750 m y un diámetro de 6 m.

Por otra parte, los sifones aliviadero empezaron a utilizarse en la década de los años 20. La primera presa construida en España en disponer de una batería de sifones como aliviadero fue la presa de Cala (1927), proyecto del ingeniero civil suizo H.E. Gruner, donde se construyó un aliviadero lateral con tres compuertas, con una capacidad de vertido de 375 m<sup>3</sup>/s, combinado con un grupo de 6 sifones con una capacidad de vertido de 525 m<sup>3</sup>/s. Posteriormente también se utilizaron en la presa de Burgomillodo (1930). En este apartado resultan especialmente interesantes los estudios teóricos del ingeniero de caminos y profesor de Hidráulica de la Escuela de Madrid José Luis Gómez Navarro.

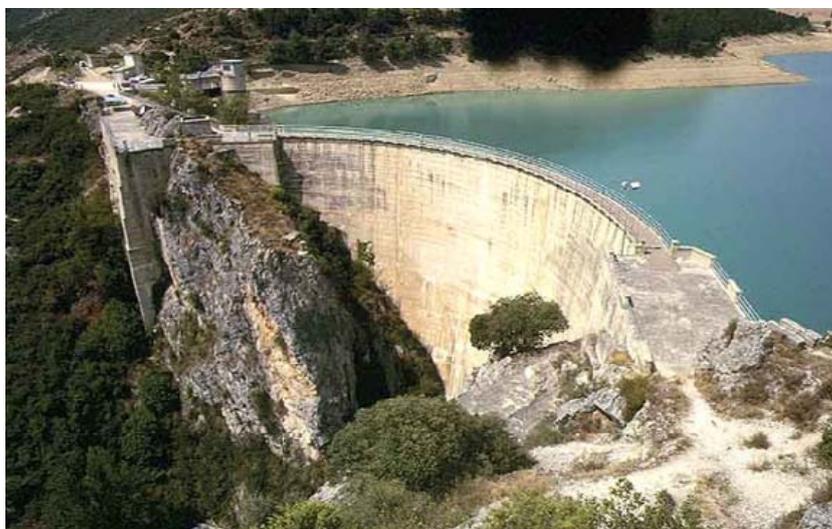


Figura 2. Presa de Alloz (1930). Fuente: SEPREM, Sociedad Española de Presas y Embalses



Figura 3. Presa de Jándula (1932). Fuente: SEPREM, Sociedad Española de Presas y Embalses

Nombre de la presa	Longitud de vertido (m)	Capacidad aliviadero (m <sup>3</sup> /s)	Caudal punta de proyecto (m <sup>3</sup> /s)	Tipología y observaciones
Burguillo	30	1171	2.411	Aliviadero lateral de 3 compuertas de 8 x1 m
Talam	70	1800	1.881	Aliviadero lateral de 7 compuertas

				automáticas 10x6 m de contrapesos
Camarasa	48	2000	1.920	Aliviadero lateral en túnel de 2 compuertas automáticas de sector flotante de hormigón armado 27x6,90 m
Cala	60 (3x20)	668+144	925	Aliviaderos lateral de 3 compuertas 20x2,35 m más un aliviadero con 6 grupos de sifones
Moneva	109	616	561	Aliviadero lateral labio fijo
Camporredondo		414	517	Doble aliviadero lateral con compuertas
Pena		134	442	Aliviadero lateral labio fijo
Barasona	50	1738	1.738	Doble aliviadero lateral en túnel con 2 alzas automáticas de sector en hormigón armado 25x6,50 m
Santolea		898	975	Aliviadero lateral con 3 compuertas tipo Taintor.
Jándula	250	1602	1.720	Aliviadero lateral labio fijo.
Fuensanta	150 (2x75)	584	800	Aliviadero lateral labio fijo.
Ricobayo	750 (en túnel)	5187+775	5.000	Aliviadero lateral con 4 compuertas más aliviadero lateral en túnel
Puentes Viejas		264	400	Aliviadero lateral con compuertas
La Requejada		491	830	Aliviadero lateral con 2 compuertas.
El Rumblar	120	450	576	Aliviadero lateral labio fijo de 120 x 1,67 m
Tranco de Beas		1100	2.200	Aliviadero lateral con compuertas automáticas de sector flotante de 14x6 m
El Pintado		1400	1.762	Aliviadero lateral con compuertas

Tabla 5. Principales presas de gravedad de hormigón hasta 1950. Tipos de aliviadero. Fuente: Inventario de presas y embalses del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente

Se adjunta a continuación en la Tabla 6, el número y capacidad de los desagües de fondo de las principales presas de hormigón construidas en España hasta 1950, con datos del inventario de presas y embalses del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Las características principales de los desagües de fondo durante este

periodo ya han comentado, y aunque no se traten propiamente de aliviaderos, su capacidad de desagüe es otro elemento de seguridad que en caso de necesidad, puede utilizarse para incrementarse la capacidad de desagüe del aliviadero.

Nombre presa	Año finalización	Altura sobre cimientos (m)	Tipología	Numero de desagües	Capacidad desagüe (m <sup>3</sup> /s)
Burguillo	1913	91	Gravedad recta	1	84
Talarn	1916	86	Gravedad curva	1	15
Camarasa	1920	103	Gravedad curva	0	0
Gallipuen	1927	36	Gravedad curva	1	8,97
Cala	1927	53	Gravedad curva	1	59
Moneva	1929	45	Gravedad curva	1	30
Camporredondo	1930	76	Gravedad curva	2	47-30
Pena	1930	47	Gravedad curva	1	50
Barasona	1932	65	Gravedad recta	2	235
Santolea	1932	51	Gravedad recta	1	219
Jandula	1932	90	Gravedad curva	2	39
Fuensanta	1933	82	Gravedad curva	1	159
Ricobayo	1934	100	Gravedad recta	1	75
Puentes Viejas	1940	66	Gravedad recta	2	96-80
La Requejada	1940	57	Gravedad curva	3	120
El Rumblar	1941	68	Gravedad curva	1	55
Tranco de Beas	1944	93	Gravedad curva	1	104
El Pintado	1948	86	Gravedad recta	1	130

Tabla 6. Número y capacidad de desagües de las principales presas de hormigón hasta 1950. Tipos de aliviadero. Fuente: Inventario de presas y embalses del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente

En cuanto a las presas vertedero, el lógico miedo a impedir el vertido por encima de coronación, así como a los posibles daños generados por la caída del agua en el pie de la presa aguas abajo, convirtió este tipo de presas en una variante muy poco utilizada y limitada a pequeñas alturas hasta prácticamente 1940. En la siguiente tabla se enumeran

las principales presas de más de 20 m de altura con vertido por coronación antes de 1940 en España:

Nombre presa	Altura sobre cimientos (m)	Año finalización	Río	Cap. Vertido (m <sup>3</sup> /s)
Almadenes	37	1925	Segura	700
Gaitanejo	35	1927	Guadalhorce	
Castadón	24	1929	Lona	150
Agueda	38	1931	Agueda	1.150
Encinarejo	33	1932	Jándula	1.500
Centenillo	33	1935	Grande	
Manufacturas	20	1940	Río Frío	4

Tabla 6. Principales presas vertedero de hormigón hasta 1940. Fuente: Inventario de presas y embalses del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente

De todas ellas, destacan por su importancia, más de 30 m de altura y capacidad de vertido, las presas de Almadenes, Agueda, Encinarejo y Centenillo. De entre ellas, quizás la más destacable por su historia constructiva sea la presa de Agueda. Esta presa se construyó inicialmente con un aliviadero lateral de labio fijo con una capacidad de desagüe de 500 m<sup>3</sup>/s terminándose las obras en verano de 1931. En diciembre de 1932 se produjo una avenida que dio lugar a una lámina de agua sobre el aliviadero que casi triplicó a la máxima prevista en el proyecto. Como consecuencia, se decidió triplicar la capacidad del aliviadero hasta los 1.500 m<sup>3</sup>/s, por lo que se proyectó un aliviadero sobre la presa cerrado con compuertas de sector. Como primer paso, se abrió en la parte central de la presa un tramo de 65 m de longitud y 8,5 m de altura, que se terminó de construir en 1935, manteniéndose en este estado hasta la década de los 60 en que se procedió a la reparación definitiva de la presa.

En cuanto al tipo de presas que tradicionalmente se denomina presas vertedero, a pesar de los avances tecnológicos y constructivos que este tipo de presas experimentó en otros países, fundamentalmente Estados Unidos, podemos concluir que en España, posiblemente debido al retraso tecnológico y depresión económica de la posguerra, las presas vertedero de gran tamaño no empezaron a construirse de forma regular hasta la década de los 50.

## 5. Conclusiones

A tenor de toda la documentación analizada y de la investigación realizada, podemos concluir los siguientes puntos:

El hormigón empezó a utilizarse en la construcción de presas en España durante la primera década del siglo XX. El hormigón era ciclópeo, reduciéndose paulatinamente el porcentaje de bloques y evolucionando hacia el hormigón en masa en la década de los 30. El cemento utilizado era inicialmente Portland y “Sandcement”, una mezcla de cemento y arena caliza muy fina que se molía junto con el clinker, resultando bastante difícil conseguir la finura deseada para la arena por lo que dejó de utilizarse tempranamente dejando al cemento Portland como el único utilizado.

Los métodos de cálculo estaban basados en la mecánica racional considerando la presa como un sólido elástico perfecto tales como Delocre, Rankine, Castigliano, Levy...etc. Destacó el método de Levy, que consideraba el efecto de las subpresiones, para el dimensionamiento de perfiles de presas de gravedad de fábrica.

La principal tipología empleada en presas de hormigón fue la de gravedad con planta curva, con radios constantes habituales entre 200 y 300 m, con un desarrollo angular entre 90 y 120 grados, generalmente calculadas con perfil Levy. El perfil era triangular con un talud agua arriba casi vertical y un talud aguas abajo con una relación base entre altura comprendido entre 0,70 y 0,80. Destacar por su gran altura y volumen de fábrica las presas de Talam (1916), Camarasa (1920), Jándula (1932), Ricobayo (1934) y Tranco de Beas (1944).

La experiencia con presas bóveda fue en general reducida y generaba desconfianza desde el punto de vista de su cálculo. Solían calcularse por el método de Stucky. La primera presa bóveda o de doble curvatura construida en España fue la de Alloz (1930), obra de Enrique Becerril. En este campo también destacó Alfonso Peña Boeuf con su teoría de las presas bóvedas de anillos que llevó a la práctica con la construcción de la presa de Isbert (1945). Lo mismo ocurría con las presas de contrafuerte. La construcción de presas de hormigón de pantalla plana con contrafuertes se limitó a la presa de Burgomillodo (1930). Las presas de hormigón de bóvedas múltiples se ciñeron a los estudios teóricos de Alfonso Peña Boeuf y Enrique Becerril.

Las presas vertedero eran minoritarias, especialmente para grandes alturas, debido a la falta de confianza sobre el efecto de la caída del agua. Los aliviaderos más utilizados eran los laterales excavados en trinchera e independientes de la presa. Conforme se abarató el coste de la excavación en túnel, se fue generalizando el empleo de los aliviaderos en túnel, que ofrecían mayor grado de libertad para elegir la ubicación del cuerpo de la presa.

## 6. Referencias

- CANTERO VILLAMIL, Federico (1931): “Presas de contrafuertes en Burgomillodo” en *Revista Obras Públicas*, Asociación de Ingenieros de Caminos, España, Año 79, Tomo I, nº 2.579, páginas 325-329.
- DÍEZ CASCÓN SAGRADO Joaquín y BUENO HERNÁNDEZ Francisco (2.001): *Ingeniería de presas: presas de fábrica*, Servicio de Publicaciones de la Universidad de Cantabria, Santander, Tomo I, tabla 4.4.
- DÍEZ CASCÓN SAGRADO Joaquín y BUENO HERNÁNDEZ Francisco (2.001): *Ingeniería de presas: presas de fábrica*, Servicio de Publicaciones de la Universidad de Cantabria, Santander, Tomo II, tabla 8.15.
- GARCÍA AGUSTÍN, José (1936): “Los auscultadores de temperatura en el Pantano de la Requejada” en *Revista Obras Públicas*, Asociación de Ingenieros de Caminos, España, año 84, Tomo I, nº 2.686, pág. 57-61.
- GÓMEZ NAVARRO, José Luis (1932): “Aglomeración de aluviones con inyecciones de lechada de cemento” en *Revista Obras Públicas*, Asociación de Ingenieros de Caminos, España, año 80, Tomo I, nº 2.602, pág. 363-365.
- GÓMEZ NAVARRO, José Luis (1940): “Presas vertedero con central interna” en *Revista Obras Públicas*, Asociación de Ingenieros de Caminos, España, año 88, Tomo I, nº 2.703, pág. 109-116.
- GONZALEZ GRANDA, Enrique (1915): “Las obras del pantano de Buseo” en *Revista Obras Públicas*, Asociación de Ingenieros de Caminos, España, año 63, Tomo I, nº 2.082, pág. 409-414.
- GRUNER, Eduardo (1927): “La presa de Montejaque y la construcción moderna de presas” en *Revista Obras Públicas*, Asociación de Ingenieros de Caminos, España, Año 75, Tomo I, nº 2.474, páginas 125-135.
- JIMÉNEZ DEL YERRO, Federico (1931): “Las obras hidráulicas de la Cuenca del Ebro” en *Revista Obras Públicas*, Asociación de Ingenieros de Caminos, España, año 79, Tomo I, nº 2.574, pág. 212-216.
- JUAN-ARACIL SEGURA, José: “Recrecimiento original de una presa” en *Revista Obras Públicas*, Asociación de Ingenieros de Caminos, España, año 97, Tomo I, nº 2.813, pág. 443-446.
- MARTÍNEZ ARTOLA, Pedro (1941): “El túnel aliviadero del Salto del Esla” en *Revista Obras Públicas*, Asociación de Ingenieros de Caminos, España, Año 89, Tomo I, nº 2.718, páginas 401-406.
- NICOLAU, José (1899): “El perfil de las presas de fábrica” en *Revista Obras Públicas*, Asociación de Ingenieros de Caminos, España, Año 46, Tomo I, nº 1.232, pág. 178-186.

- NICOLAU, José (1899): “El perfil de las presas de fábrica” en *Revista Obras Públicas*, Asociación de Ingenieros de Caminos, España, Año 46, Tomo I, nº 1.234, pág. 206-214.
- NICOLAU, José (1899): “El perfil de las presas de fábrica” en *Revista Obras Públicas*, Asociación de Ingenieros de Caminos, España, Año 46, Tomo I, nº 1.236, pág. 229-234.
- NICOLAU, José (1899): “El perfil de las presas de fábrica” en *Revista Obras Públicas*, Asociación de Ingenieros de Caminos, España, Año 46, Tomo I, nº 1.237, pág. 235-238.
- NICOLAU, José (1899): “El perfil de las presas de fábrica” en *Revista Obras Públicas*, Asociación de Ingenieros de Caminos, España, Año 46, Tomo I, nº 1.247, pág. 285-288.
- NICOLAU, José (1899): “El perfil de las presas de fábrica” en *Revista Obras Públicas*, Asociación de Ingenieros de Caminos, España, Año 46, Tomo I, nº 1.248, pág. 329-331.
- PEÑA BOEUF, Antonio: “Contestación al artículo del Profesor Th. Rehbock” en *Revista Obras Públicas*, Asociación de Ingenieros de Caminos, España, Año 84, Tomo I, nº 2.690, páginas 306-308.
- RUBIO SACRISTÁN, Ricardo (1940): “El túnel aliviadero del Salto del Esla” en *Revista Obras Públicas*, Asociación de Ingenieros de Caminos, España, Año 88, Tomo I, nº 2.705, páginas 157-161.
- SOLANA, José (1916): “Sandcement” en *Revista Obras Públicas*, Asociación de Ingenieros de Caminos, España, Año 64, Tomo I, nº 2.109, pág. 85-88.
- SOLANA, José (1916): “Pantano de San Antonio” en *Revista Obras Públicas*, Asociación de Ingenieros de Caminos, España, año 64, Tomo I, nº 2.123, pág. 253-257.
- Inventario de presas y embalses, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Madrid, accesible en:  
<http://www.magrama.gob.es/es/agua/temas/seguridad-de-presas-y-embalses/inventario-presas-y-embalses>.