

EVOLUCION DE LA INGENIERIA DE PRESAS EN ESPAÑA. EL CASO DE LOS “SALTOS DEL DUERO”

Francisco Bueno Hernández

Diego Saldaña Arce

Area de Ingeniería Hidráulica

Escuela Politécnica Superior. Universidad de Burgos

1. INTRODUCCION

El proyecto y construcción de presas ha estado y está condicionado por una serie de factores que, esquemáticamente, pueden clasificarse en:

- * factores endógenos.
 - * intrínsecos de cada emplazamiento y “entorno”.
 - * de tipo general.
- * factores exógenos.

Por su parte, el desarrollo de la Ingeniería de Presas a lo largo de la historia ha estado condicionado por la evolución de las ciencias de materiales, la tecnología existente en cada momento -plasmada en los medios disponibles y los métodos de construcción utilizados-, el conocimiento de la interacción de la presa con su “entorno” y de cómo las acciones generan respuestas en el conjunto presa-embalse, y por la situación económica y las políticas de infraestructuras propias de cada país y cada época.

El análisis de este desarrollo puede realizarse de diversas formas y en distintos ámbitos. En esta comunicación se hace analizando lo que puede denominarse como un “sistema homogéneo”, es decir aquél en el que mantenimiento de diversos condicionantes permite un análisis en los ámbitos más generales de la Ingeniería de Presas, tanto endógenos como exógenos, permitiendo desligarlos de los “intrínsecos” a cada realización. El “sistema” elegido aquí es el del complejo hidroeléctrico “Saltos del Duero”, en el que la homogeneidad del terreno -si es que esto es posible- un mismo marco de gestión y un mismo fin -el hidroeléctrico- lo permite. Por otra parte la idea, mantenida desde los primeros estudios realizados a principios de siglo, de considerar el “Sistema Duero” como “integral”, en el sentido de un aprovechamiento conjunto en el que los distintos elementos se proyectaban en función de los demás, facilita este análisis.

Así, se analiza el desarrollo de los esquemas generales de aprovechamiento desde principios de siglo hasta nuestros días -prestando especial interés al de los azudes y presas, así como a su interacción con el resto de los elementos-, y la influencia de los factores endógenos y exógenos, haciendo lo mismo -de forma simultánea- con la evolución de las presas, tanto tipológica como de proyecto y construcción. haciendo especial mención a los hechos que constituyeron en su día “hitos” importantes de la Ingeniería de Presas, no sólo en España sino en el mundo. También se hace una referencia a las presas portuguesas del tramo internacional, comparando las soluciones con las adoptadas en el “Sistema Duero”.

2. EL SISTEMA DUERO

El complejo hidroeléctrico denominado “Sistema Duero”, o “Saltos del Duero”, comprende los saltos de Aldeadávila y Saucelle sobre el río Duero y el salto de Villarino sobre el Tormes, en la provincia de Salamanca, y los saltos de Ricobayo sobre el río Esla y los de Villalcampo y Castro sobre el río Duero, en la provincia de Zamora (figura 1).

El río Duero es uno de los más caudalosos de España. Una de sus particularidades consiste en que los mayores desniveles los tiene en un tramo intermedio de su curso, inmediatamente antes de internarse en Portugal, tras recoger las aportaciones de su propia cuenca y de dos importantes afluentes: el Esla y el Tormes. Así, en dicha zona confluyen favorablemente los dos factores básicos de una instalación hidroeléctrica: un fuerte desnivel y unos elevados caudales, a los que hay añadir las ventajosas características geológicas y topográficas para poder situar las presas necesarias y conseguir embalses con la suficiente capacidad de almacenamiento.

El Duero internacional, al ser fronterizo entre España y Portugal, tiene su utilización regulada mediante acuerdos entre ambos países, siendo el acuerdo hispano-luso de 16 de agosto de 1927 el que fijó inicialmente las condiciones de utilización. Dentro de este acuerdo, el tramo asignado a España fue el situado entre la desembocadura del río Tormes y el lugar donde se ha construido la presa de Saucelle, con una longitud de 54 km y un desnivel aprovechable de 201 metros. Portugal dispone de dos tramos, uno aguas arriba y otro aguas abajo del español. El de aguas arriba comienza en el lugar donde se ubica la presa y la central de Castro, punto donde el Duero comienza a ser frontera entre ambos países, y la desembocadura del Tormes. Este tramo tiene una longitud de 52 km y aprovecha un desnivel de 195 metros. El situado aguas abajo se sitúa entre la actual ubicación de la presa de Saucelle y la desembocadura del río Agueda, donde el Duero se adentra ya en tierras portuguesas. La longitud de este tramo es de 13 km y el desnivel pequeño, por lo que aunque desde el punto de vista técnico es aprovechable con potencias muy pequeñas, económicamente no lo es.

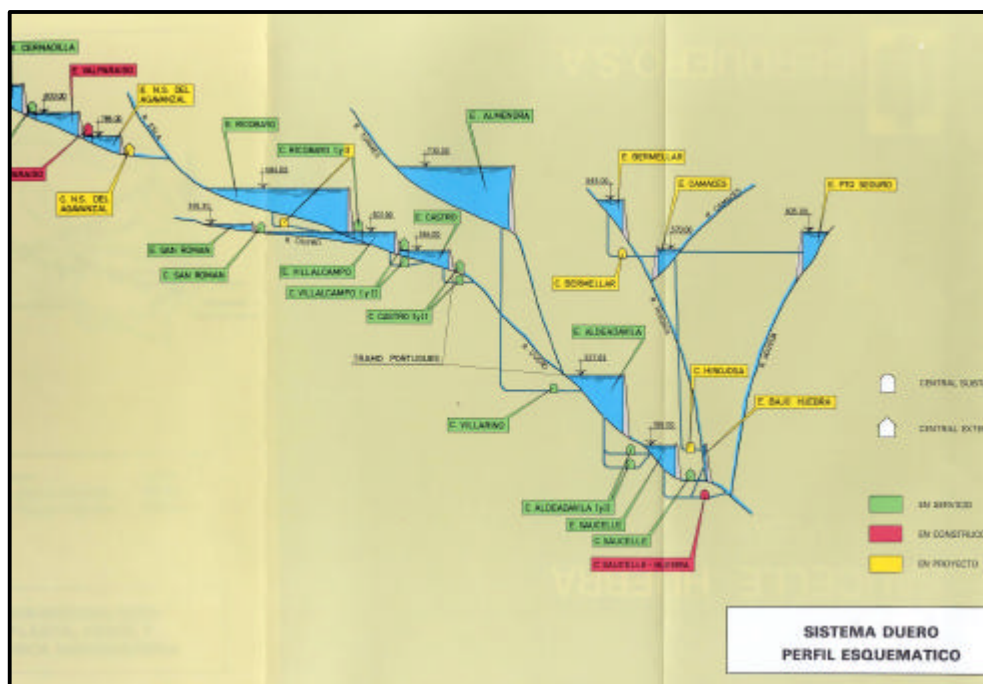


Figura 1. Esquema general actual del Sistema Duero.

La forma en la que Saltos del Duero llega hasta nuestros días se debe fundamentalmente a dos hechos: la fusión en 1944 de Saltos del Duero y de Hidroeléctrica Ibérica, que dio lugar a Iberduero, y la fusión en 1989 de Iberduero con Hidroeléctrica Española, que dio lugar a la actual Iberdrola.

3. DESARROLLO DEL ESQUEMA Y DE LAS PRESAS DEL SISTEMA¹

La historia comienza en los primeros años del siglo, cuando distintos grupos de ingenieros y empresarios empezaron a interesarse por el enorme potencial hidroeléctrico del tramo final del recorrido español del Duero y de sus afluentes Esla y Tormes.

A partir de ese momento y hasta la finalización en la versión actualmente en explotación, los esquemas y disposición final de los distintos elementos fueron variando en función de los condicionantes antes señalados. Incluso con posterioridad a la década de los 70 -cuando quedó prácticamente configurada la solución actual- los proyectos que se siguen considerando han ido adaptándose a la realidad técnica y socio-económica de la sociedad española.

Y en todo momento las presas, como elementos principales del sistema, han sido por un lado causa y por otro efecto en la configuración final del sistema.

En la evolución tanto de las presas como del sistema, pueden distinguirse varios periodos, caracterizados cada uno de ellos por una serie de condicionantes:

- * Periodo previo a la firma del Convenio Internacional de 1927.
- * Periodo de inicio de las obras del Sistema (1927-1936).
- * Periodo de escasez tecnológica (1936-1955).
- * Periodo de esplendor de la Ingeniería de Presas (1955-1970).
- * Periodo de optimización de las instalaciones existentes y estudio de nuevas instalaciones (1970-2000).

3.1. Periodo previo a la firma del Convenio de 1927

Desde el punto de vista de los condicionantes exógenos, este periodo se caracterizó por:

- * Problemas de tipo político con Portugal.
- * Problemas de tipo burocrático internos.
- * Luchas entre empresas por el control de las concesiones.
- * escasez de medios tecnológicos.

Mientras que desde el punto de vista de los condicionantes endógenos -de tipo general-, lo hizo por:

- * Primeras etapas del desarrollo de la maquinaria hidroeléctrica en España.
- * Primeras etapas del desarrollo de la Ingeniería de Presas “moderna” en España. Respeto a las presas altas y a los condicionantes del terreno e hidráulicos.

¹ En este apartado se hará un análisis general de los principales esquemas adoptados y de las presas. Una detallada descripción de todas las concesiones, proyectos y esquemas puede verse en: “*Historia de las Obras Públicas de Salamanca*”, Francisco Bueno, *Excelentísima Diputación de Salamanca. En prensa.*

Las primeras concesiones datan de 1906, siguiéndoles otras muchas entre dicho año y 1924. La mayor parte de ellas afectaban a zonas parciales de algunos de los ríos que finalmente forman parte del aprovechamiento conjunto y no consideraban una solución conjunta de los mismos -Duero, Tormes, Esla, Huebra y Agueda fundamentalmente-.

A pesar del carácter internacional del Duero en gran parte de la zona afectada, en las dos primeras décadas los proyectos fueron exclusivamente españoles, no conociéndose ninguno correspondiente a Portugal. Fueron muchas las concesiones solicitadas por diversos grupos empresariales e industriales en la zona que nos ocupa. Cada una de ellas planteaba soluciones distintas e incluso algunas de ellas fueron variando en el tiempo, consecuencia de la mejora en el conocimiento del medio físico, del estado de la Ingeniería y de las cada vez mayores necesidades del mercado.

Como característica común a todas ellas, y consecuencia de los condicionantes antes señalados, podemos citar:

- * En las dos primeras décadas los esquemas de los saltos eran en derivación, con azudes y canales. En algunos casos se plantearon presas, primero de pequeña y después de mediana altura. Todo ello de acuerdo con el desarrollo de la Ingeniería antes señalado.
- * En un primer momento las soluciones adoptadas preveían una utilización de todo el tramo internacional, con ocupación de ambos márgenes con canales y/o presas, a la espera de las interminables conversaciones entre los gobiernos de España y Portugal. Ante el fracaso de estas y de la no aplicación real del Convenio de 1912, estas soluciones pasaron a utilizar de forma casi “exclusiva” los tramos nacionales, la margen española o a “puentear” el tramo portugués mediante canales que tomaban el agua del Duero antes de su entrada en dicho tramo y la devolvían en la desembocadura del Agueda, siendo su recorrido totalmente español.

Cuando Orbegozo se incorporó al proyecto de Saltos del Duero², pronto se dio cuenta de que gran parte del éxito se basaba en la construcción de embalses de regulación, almacenando los altos caudales invernales para turbinar en las épocas de estiaje, en la que los caudales eran muy pequeños. Sobre esta idea empezó a trabajar, modificando las propuestas iniciales para adaptarles a tal fin.

En 1919 se presentó una petición de la Hispano-Portuguesa para el aprovechamiento de las aguas del Esla y del Aliste por un lado, y del Tormes por otro. En esta solución aparecen por primera vez centrales de pie de presa: una en la ubicada en las proximidades de la actual de Ricobayo y otras dos en las situadas en el tramo final del Tormes. En este río se preveía ubicar otras dos centrales, una situada entre ambas presas que aprovechaba las aguas desaguadas por la primera y otra aguas abajo de la segunda presa y situada pocos metros aguas arriba de la confluencia con el Duero (figura 2).

La denominada “Solución Ugarte” se presentó por parte de Saltos del Duero con el objetivo de forzar la situación ante las autoridades portuguesas. En esta solución se contemplaba la construcción de la presa de Ricobayo en el Esla, en un emplazamiento casi coincidente con el actual, y la presa de Villardiegua en el Duero, en un emplazamiento próximo al actual de la presa de Castro. Desde ésta un canal derivaba aguas a una central situada en la margen derecha del Tormes, poco antes de su desembocadura. Sobre este río se situaban dos presas y dos centrales

² En el libro “*Historia de las Obras Públicas de Salamanca*” antes citado se hace una cronología de las empresas que fueron el embrión de Iberduero, desde la Sociedad General de Transportes Eléctricos a Saltos del Duero, pasando por la Sociedad Hispano-Portuguesa de Transportes Eléctricos. Este “grupo de empresas” fue la que mayores recursos e interés puso en el desarrollo hidroeléctrico del Sistema, por lo que finalmente fue el concesionario de todas ellas.

de pie de presa. Además, de la central de aguas abajo partía un canal que llevaba el agua a la central que recibía las aguas desde Villardiegua. Otra presa pequeña derivaba las aguas del Tormes antes de que entrasen en el tramo internacional, mediante otra presa, desde donde partía un canal que discurría paralelo al Duero por su margen izquierda hasta desembocar en una central situada en los metros finales del río Huebra, poco antes de su confluencia con el Duero. Además a esta central se enviaban las aguas derivadas del mismo río. En esta solución se plasmaron las ideas acerca de la necesidad de regular tanto el Esla como el Duero en el tramo nacional como el Tormes, mediante la creación de dos grandes embalses en los dos primeros y otros dos de menor capacidad en el último (figura 2).

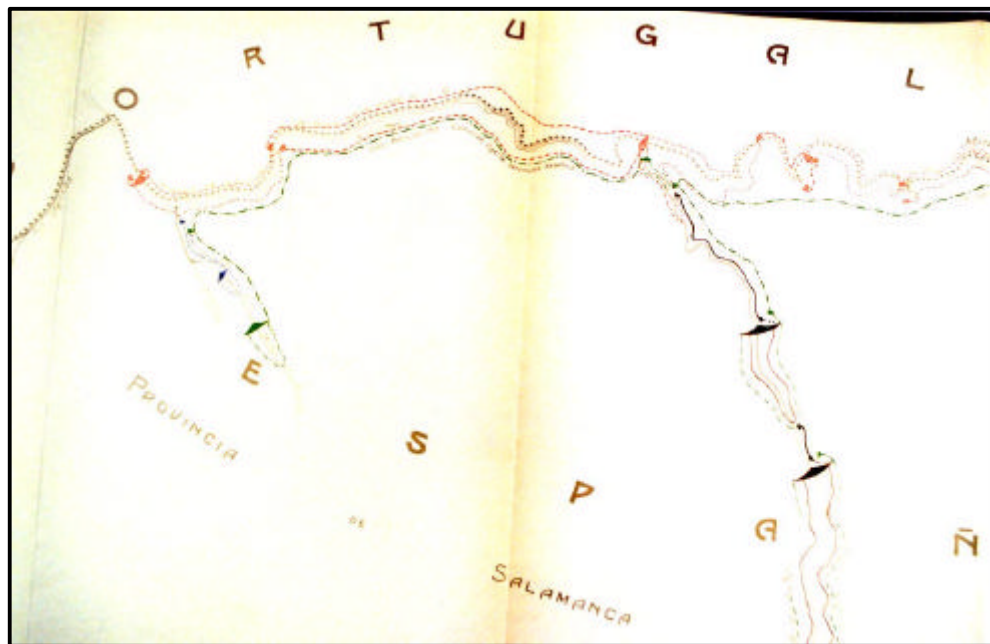


Figura 2. Soluciones “urbano Pérez” y “Ugarte”, presentadas por la S.H-P. T.E.

Por personas también afines a la Hispano-Portuguesa se presentaron las soluciones “Echevarrieta” y “Lizundia”. Ambas presentaban un aprovechamiento de todo el tramo internacional del Duero, con un esquema más convencional en el caso de la primera y más innovador en la segunda. Esta última preveía la construcción de dos grandes presas, las más altas de todas las presentadas hasta entonces. La primera tenía entre 90 y 95 metros de altura sobre el cauce y estaba ubicada aguas abajo del comienzo del tramo internacional, con la cola del embalse extendiéndose hasta el pie de la actual presa de Ricobayo. La otra se situaba ligeramente aguas arriba de la actual presa de Aldeadávila y extendía su embalse por encima de la confluencia con el Tormes, con una altura máxima sobre el cauce próxima a los 100 metros.

En el año 1924 y viendo el final de las discusiones con Portugal más cercano, los trabajos de la Hispano-Portuguesa se intensificaron. Era el momento de empezar a definir de forma precisa todos los aspectos del proyecto, que quedaron plasmados de forma resumida en el informe presentado por José Orbegozo en la Conferencia Mundial de la Energía celebrada en Londres.

Esta solución era una mezcla entre una netamente española y otra en la que se suponían resueltos los problemas con Portugal. Los estudios realizados tenían ya un alto nivel de precisión e incluían ya todos los tramos nacionales, es decir el Tormes, el Esla y el tramo nacional del

Duero. En el Esla se ubicaba la presa de Ricobayo, con una altura de 70 metros y un embalse de 563 hm³. En el tramo salmantino del Duero se emplazaba por primera vez la presa y central de Aldeadávila y la central en derivación de Saucelle. El tramo zamorano se saltaba en su casi totalidad mediante un canal que partía desde la central de Río Castro -situada en el pie de la presa de Villardiegua, donde después se construiría la presa de Castro- y llevaba el agua hasta la de El Piélagos, poco antes de la desembocadura del Tormes, mediante un canal de 41 kilómetros y un caudal de 120 m³/sg. Además se aprovechaba el Tormes gracias a las presas de la Espundia y Argusino, ambas de 70 metros de altura, y cuatro centrales, dos de pie de presa y dos en derivación (figura 3).

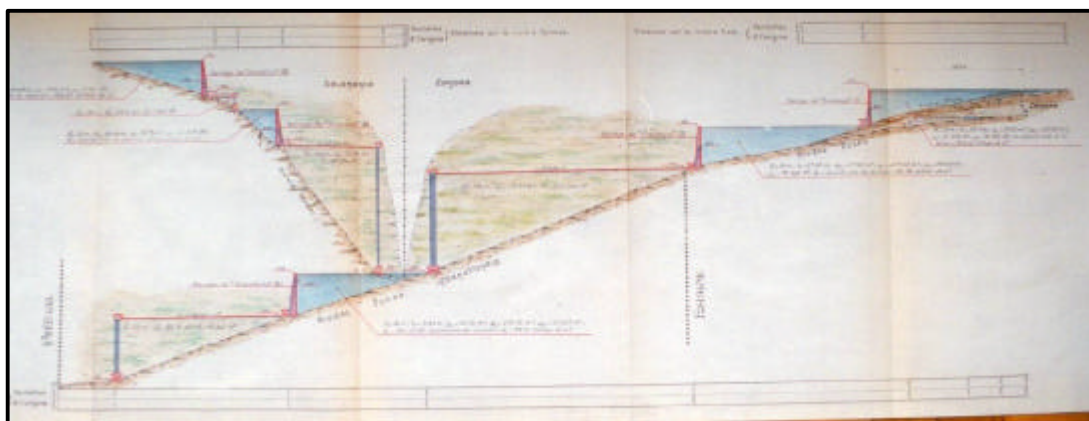


Figura 3. Solución "Orbegozo" de 1924.

Esta solución supuso un notable avance técnico respecto a las anteriores, pasándose de presas de mediana altura a considerarse razonable construirlas de alturas próximas a los 70 metros y abandonado -aunque no en su totalidad por los problemas diplomáticos con Portugal- la mayor parte de los canales en derivación, que hubiesen sido de construcción muy difícil por lo escarpado del terreno.

Con esta disposición se podía conseguir un aumento de la potencia disponible en época de estiaje realmente notable. Según los estudios realizados, en el tramo del Esla la potencia aprovechable sin regulación era de 382 CV mientras que con la regulación en Ricobayo podía ser, en la misma época del año, de 37.593 CV, es decir 98 veces superior. En los demás tramos la situación era similar. Con la regulación, la potencia total aprovechable se multiplicaba por 11.

En 1926 el Gobierno español reconoció todas las concesiones solicitadas por la Hispano-Portuguesa, y un año después se firmó el acuerdo definitivo con Portugal. Fue entonces cuando se empezaron a definir totalmente los primeros saltos. En el tratado con Portugal se incluía la obligación de que el concesionario español realizase el embalse del Esla, lo que coincidía con los planes previstos por Saltos del Duero, por lo que fue este salto el primero que se construyó, comenzando las obras en el año 1929.

3.2. Periodo de inicio de los obras del Sistema (1927-1936)

En este periodo se construye en su casi totalidad la presa de Ricobayo, elemento principal del Sistema, al constituir el elemento regulador, tal y como se ha visto. Esta presa marcó un hito de la Ingeniería de Presas en España, no sólo por su altura sino, y sobre todo, por los medios y métodos de puesta en obra utilizados durante su construcción, sin precedentes no sólo en España

sino en todo el mundo³. Los ingenieros de la empresa eléctrica recorrieron todo el mundo en busca de información y dispusieron de los medios más avanzados utilizados en la construcción de presas (figura 4).

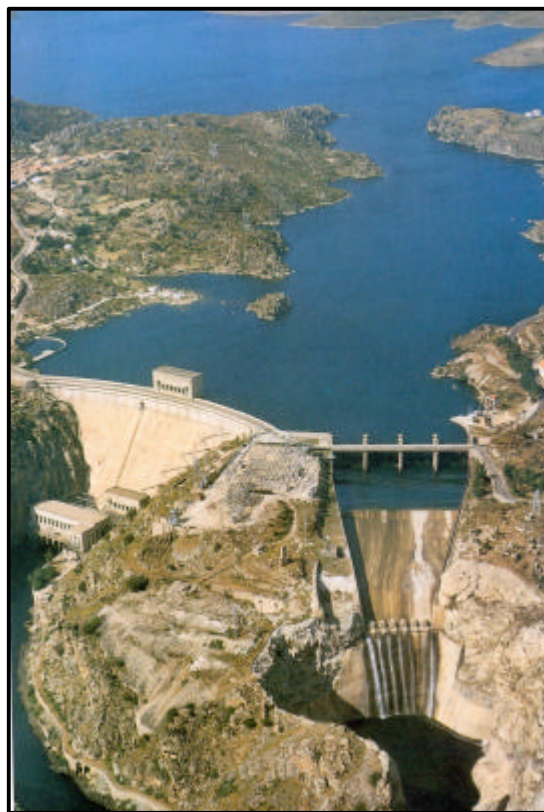


Figura 4. Estado actual de la presa de Ricobayo.

El tiempo transcurrido desde los primeros estudios de Orbeagoz acerca del emplazamiento y características de esta presa, así como el avance experimentado en la Ingeniería de Presas en el mundo y en España, permitieron que los iniciales 70 metros de altura pudiesen llegar a ser 95, con lo que el volumen útil pasó de 563 hm³ a 1.120 hm³, aumentando sustancialmente la capacidad de regulación en la cabecera del sistema. Además de las mejoras que eso supuso para los futuros saltos, en el propio del Esla permitió pasar de una potencia instalada prevista de 75.000 CV a los finales de 200.000.

Esto indujo a estudiar una nueva solución para el tramo nacional del Duero: desdoblarse el embalse de Villardiegua, de 162 hm³, en los de Villalcampo y Castro -ubicado éste en un emplazamiento muy próximo al previsto para Villardiegua -, de 53 y 20 hm³ respectivamente. Esta disminución en la capacidad de regulación propia se veía ampliamente compensada con el aumento citado de la del embalse del Esla, que permitió que la potencia inicialmente prevista de 191.000 CV en Villardiegua, pasase a ser de 254.000 CV entre ambos saltos. Esta solución fue definitivamente adoptada para dicho tramo.

³ Para más detalle acerca de los detalles técnicos ver: “Ingeniería de Presas de Fábrica en España”, Joaquín Díez-Cascón Sagrado y Francisco Bueno Hernández. Universidad de Cantabria. En prensa.

3.3. Periodo de escasez tecnológica (1936-1955)

Este periodo estuvo marcado en un primer momento por el desarrollo de la guerra civil y posteriormente por las dificultades económicas de la posguerra y el bloqueo internacional. Consecuencia de todo ello fueron las dificultades en la consecución de los medios necesarios para la construcción de presas, lo que en un principio debería haber influido en la calidad de las obras y en los plazos de construcción.

Si bien esto es cierto, no lo es menos el que con los mismos medios que se utilizaron en Ricobayo y teniendo en cuenta que durante varios años estuvieron sin utilizarse, se construyeron las presas de Villalcampo (finalizada en 1949) y Castro (finalizada en 1953), con resultados que siguen asombrando hoy en día. Los ingenieros españoles demostraron su capacidad, supliendo con esfuerzo y eficacia la carencia de medios materiales. Es de destacar además las soluciones “ingenieriles artesanas” que sin embargo dieron un buen resultado. Es el caso de los aliviaderos de ambas presas que han mostrado un correcto funcionamiento en un río hidráulicamente tan difícil como es el Duero. En este aspecto debe resaltarse por su importancia la creación del Laboratorio de Hidráulica de Muelas del Pan (Ricobayo), uno de los más importantes en su especialidad y que ayudó a definir las soluciones hidráulicas no sólo de los saltos de Iberduero, sino de otras muchas presas (figura 5).



Figura 5. Ensayos en modelo hidráulico en el Laboratorio de Muelas del Pan.

Las soluciones adoptadas en la disposición general de los saltos y en las presas en este periodo pueden considerarse como “convencionales” y acordes con la situación tecnológica. Las presas de Villalcampo, Castro y Saucelle (terminada en 1956) son de concepción y características similares, así como los de sus saltos, todos ellos de pie de presa.

La presa de Saucelle puede considerarse no obstante como “de transición” con el siguiente periodo -los periodos nunca son “discretos” sino que existe continuidad entre unos y otros-, caracterizándose por una mejor adecuación emplazamiento -presa y elementos hidráulicos - presa, consecuencia de la mejora en el conocimiento del comportamiento del trinomio presa - terreno de apoyo-elementos de alivio, tanto a nivel mundial como nacional como de la propia empresa que ya había construido tres presas con anterioridad. Además en esta presa se empezaron a utilizar medios más avanzados, algunos de ellos importados tras la terminación del

bloqueo internacional. Todo ello se tradujo en una mayor calidad de la obra y en una mejora de los plazos.

En el informe de 1924 se preveía en el tramo salmantino una presa en Aldeadávila con central de pie de presa y un salto en derivación con la central situada en Sauce Ile, pero se especificaba que este último podía sustituirse por una serie de presas escalonadas. En la década de los 30 se consideró la opción de construir una sola presa, si bien la altura necesaria para aprovechar todo el salto, que recordemos era de 120 metros brutos, se preveía excesiva en aquellos momentos.

En la década de los 40, cuando se construía la central de Villalcampo, fue tomando cuerpo la idea de sustituir la central en derivación de Saucelle por una de pie de presa, consecuencia a su vez de la nueva ubicación prevista para la presa de Aldeadávila, que trasladaba su posición aguas abajo de lo que hasta entonces se preveía, y de la conveniencia de sustituir un canal que hubiese significado un coste económico elevadísimo por la dificultad de los terrenos que debería atravesar. En el año 1949 estaba ya fijada la construcción de la presa de Saucelle, pocos cientos de metros aguas arriba de la desembocadura del Huebra. La altura que se fijó fue de 75 metros, con un embalse de 163 hm³, de los cuales 56 eran útiles, y una potencia a instalar de 232.560 CV. En ese punto de los estudios, la situación de la presa de Aldeadávila permitía la creación de un embalse de 107 hm³ totales y 82 útiles, gracias a una presa de 118 metros de altura. La potencia que se preveía instalar era de 581.400 CV. La ubicación de las dos presas estaba condicionada sobre todo por la elección de las mejores cerradas disponibles, lo que dejaba un salto no aprovechado de unos 20 metros.

No sería esta la situación definitiva de estas dos centrales, ya que al hacer el estudio definitivo del proyecto de Saucelle, que sería el siguiente a construir después de Castro, se fijó otro esquema, esta vez de forma definitiva. La situación de las dos presas cambió ligeramente, situándose la de Saucelle algo más aguas abajo, aprovechando así parte del desnivel que quedaba hasta la desembocadura del Huebra. Las alturas definitivas de las presas se fijaron en 83 metros para la de Saucelle (figura 6) y de 140 metros para la de Aldeadávila. El “estado del arte” de la Ingeniería de Presas y la favorable perspectiva económica de mediados y finales de los 50 permitieron esta nueva mejora en la concepción general del sistema.



Figura 6. Presa de Saucelle durante una avenida.

3.4. Periodo de esplendor de la Ingeniería de Presas en España (1955 -1970)

En el proyecto del salto de Aldeadávila se consideró por primera vez la construcción de una central subterránea, disposición que si bien hoy es habitual, en aquellos momentos fue novedad en España. Situada por debajo del nivel del embalse de Saucelle aprovechaba el desnivel de cerca de 20 metros que quedaba entre el pie de presa de Aldeadávila y el máximo nivel normal del embalse de Saucelle. Otra de las razones por la que se adoptó esta disposición fue la dificultad de situar la central bajo la presa, ya que se necesitaba todo el paramento para evacuar los elevados caudales de avenida del Duero, y ante la dificultad de hacerlo de otra forma.

Los condicionantes hidráulicos fueron decisivos en el diseño de esta presa (figura 7). Otro aspecto singular de esta presa con respecto a los anteriores diseños de las presas del Sistema Duero fue la adopción de una tipología resistente de arco -gravedad frente a las de gravedad de Saucelle, Castro, Villa Icampo y Esla. Con esta disposición se consiguió un ahorro importante de hormigón y, sobre todo, una disposición más eficaz en la evacuación de los caudales de avenida.



Figura 7. Paso de una avenida de 12.000 m³/sg por la presa de Aldeadávila en construcción.

Desde el punto de vista de la Ingeniería de Presas, uno de los aspectos relevantes de esta presa fue que por primera vez en España se utilizaron técnicas y medios de puesta en obra que se habían desarrollado en Estados Unidos en la década de los 30 y 40 y que debido a los problemas políticos y económicos por los que pasó España, no se pudieron utilizar en España hasta más de dos décadas después. A partir de entonces empezaron a ser habituales la utilización de refrigeración de los bloques de hormigón, vibradores múltiples de hormigón montados sobre bulldozers, centrales de hormigonado con dosificación automática en peso, etc. Esta mejora fue imprescindible para poder acometer las dos grandes realizaciones del Sistema Duero: Aldeadávila y Almendra.

Esta mejora en la tecnología se plasmó no sólo en los aspectos relacionados con las presas, sino también en la evolución de grupos hidroeléctricos que permitió diseñar turbinas, alternadores y válvulas de cada vez mayor potencia. Especial importancia tuvo el gran desarrollo

en los años 50 de los grupos reversibles, que permitían turbinar y bombear, lo que se tradujo en una mayor flexibilidad en el diseño y explotación de los distintos sistemas hidráulicos, y que en el caso que nos ocupa permitió una sustancial mejora sobre los esquemas anteriores (figura 8).



Figura 8. Esquema actual del Sistema Duero, con indicación de las centrales reversibles.

En lo que respecta al desarrollo del esquema en el Tormes, se ha visto como en el informe de 1924 se consideraban dos centrales de pie de presa y dos en derivación. Este esquema fue variando sustancialmente. A finales de la década de los 40 la idea era ejecutar tres saltos, que desde aguas abajo hacia aguas arriba eran Villarino, Cueva Fonda y Retuerta. En la década de los 50 ya se pensaba en construir una sola presa y un salto que aprovechara la totalidad del desnivel, incluido el existente entre su pie y el del embalse de Aldeadávila, ya en el Duero.

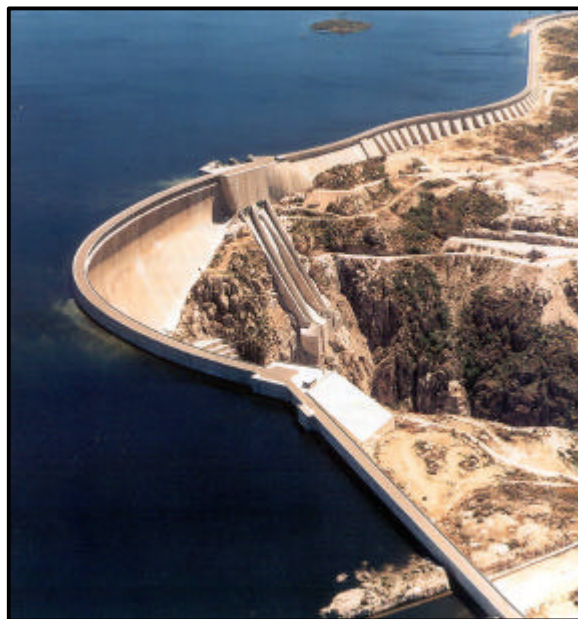


Figura 9. Presa de Almendra.

En el tiempo transcurrido entre esta solución y la finalización de la presa de Aldeadávila se fueron resolviendo dos grandes retos que permitieron definir la solución finalmente construida. Por un lado el de construir una presa de 200 metros de altura, capaz de crear un gran hiperembalse que regulase las aportaciones plurianuales del Tormes: el de Almendra. Por otro lado el de instalar grupos reversibles con potencias muy superiores a las existentes, no solo en España sino también en el mundo. El desarrollo de la ingeniería de presas y de la tecnología de los grupos reversibles y la mejora en las condiciones económicas de nuestro país permitieron la construcción de la que es la presa más alta de España y una de las más importantes de Europa, y de una de las instalaciones hidroeléctricas más complejas existentes en aquel momento. Además la solución a los dos retos planteados permitieron un incremento sustancial en la energía regulada total en el Sistema Duero, al permitir bombear grandes volúmenes de agua desde el Duero hasta el Tormes, merced a la gran capacidad del embalse (figura 9).

3.5. Periodo de optimización de las instalaciones existentes y estudio de nuevas instalaciones

Este periodo se caracteriza por la optimización de las instalaciones existentes y por la paralización de nuevas presas que se venían estudiando y proyectando desde décadas antes. Así se ha mejorado la central de Saucelle, construyendo la primera fase de lo que en un futuro -nos tememos que lejano- será el aprovechamiento conjunto Saucelle -Huebra, se ha aumentado la potencia instalada en Ricobayo y se han ampliado las centrales de Aldeadávila y Villarino (Almendra), amén de otras modificaciones menores.

Esta paralización en la construcción de presas ha coincidido con el periodo de disminución de construcción de presas en España a partir de la mitad de la década de los 50. A este hecho no son ajenos dos nuevos aspectos “exógenos” que han influido no sólo en el caso que nos ocupa sino en toda España. Nos referimos a la Política Energética y a la consideración de la Variable Ambiental en los proyectos de todo tipo y de Obra Civil en particular.

No obstante lo anterior, se han seguido haciendo estudios y proyectos de los tramos que falta por aprovechar de todo el sistema, los correspondientes a los ríos Agueda, Huebra y Camaces. En relación con la Ingeniería de Presas interesa seguir la evolución de estos estudios ya que nos da una idea de la evolución tipológica de las presas en este último cuarto de siglo.

En España las presas de materiales sueltos fueron casi testimoniales -sin que ello suponga restarles importancia- hasta la década de los 70. A partir de entonces tuvieron un importante auge hasta la década de los 90 en que parece que ha decaído algo.

En la actualidad en el Sistema Duero dos de las cuatro presas proyectadas son de materiales sueltos (Camaces, sobre el río del mismo nombre y Bermellar, sobre el Huebra) y dos de tipo arco, una bóveda (Puerto Seguro, sobre el Agueda) y otra arco-gravedad (Bajo Huebra, sobre el río del mismo nombre y que formará parte del aprovechamiento Saucelle -Huebra).

De tipo arco-gravedad es la presa del Bajo Huebra, para aprovechar las características de la cerrada. Por su parte, mientras la presa de Puerto Seguro, sobre el Agueda, siempre ha estado prevista como presa bóveda, desde los años 70, la presa de Bermellar se proyectó inicialmente como presa bóveda (figura 10), en la época en la que esta tipología tuvo un gran auge en España para alturas medias-altas. Con posterioridad, en la década de los 80 y con el auge de las presas de materiales sueltos debido a su economía en ciertas condiciones, se proyectó con esta tipología (figura 11).

El aprovechamiento del río Camaces contemplaba desde un primer momento, salvo los lógicos tanteos, una solución de materiales sueltos, sin que haya variado la disposición hasta

nuestros días, a excepción de las mejoras introducidas por los cambios técnicos y tecnológicos de la Ingeniería de Presas.

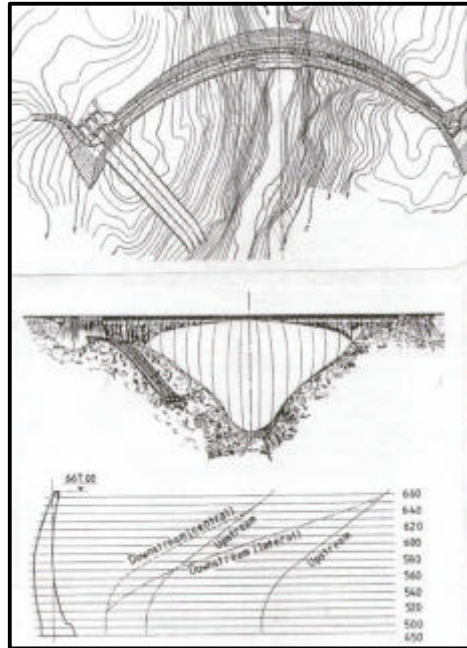


Figura 10. Solución bóveda de la presa de Bermellar.

De esta forma, mientras las características intrínsecas de los emplazamientos han condicionado decisivamente la tipología de las presas de Puerto Seguro y Bajo Huebra, las de Bermellar y Camaces han seguido los mismos cambios que han permitido el auge de las presas de materiales sueltos en España.

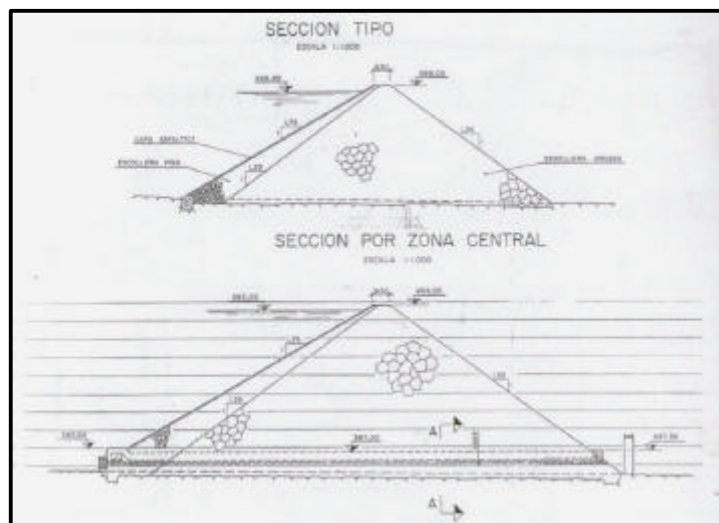


Figura 11. Solución de materiales sueltos para la presa de Bermellar.

4. LAS PRESAS PORTUGUESAS DEL DUERO INTERNACIONAL

Para terminar, una breve mención a las presas portuguesas del Duero Internacional, que comparten con las que nos han ocupado hasta ahora varias características comunes: emplazamientos similares, funcionalidad, características hidráulicas, etc.

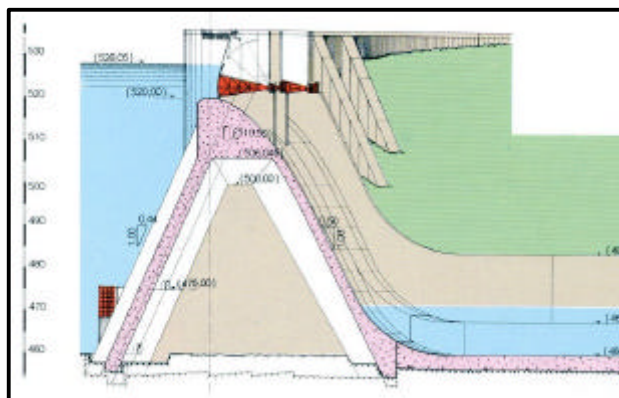


Figura 12. Sección transversal de la presa portuguesa de Miranda.

Sin embargo y a pesar de ello, el resto de los condicionantes han derivado a soluciones bastante diferentes. Desde aguas arriba hacia aguas abajo de su tramo -comprendido entre el Duero nacional en Zamora y el tramo internacional reservado a España en Salamanca -, son:

- * Presa de Miranda (1964), de contrafuertes, 80 metros de altura, vertido sobre la parte central de presa (figura 12).
- * Presa de Picote (1958), bóveda de 100 metros de altura y vertido sobre la parte central de la presa sobre una estructura apoyada en un zócalo y en la coronación (figura 13).
- * Presa de Bemposta, arco-gravedad aligerada, de 87 metros de altura y vertido por coronación (figura 14).

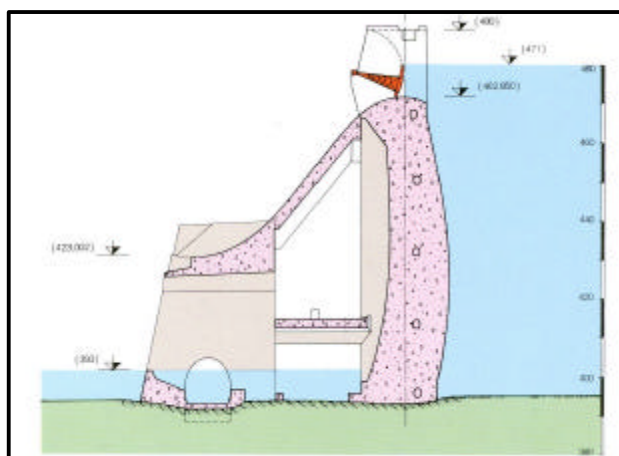


Figura 13. Sección transversal de la presa portuguesa de Picote.

Todas ellas se construyeron entre 1954 y 1966 por la notable ingeniería portuguesa de presas, que queda aquí representada por su diversidad tipológica.



Figura 14. Presa portuguesa de Bemposta durante el paso de avenida.

5. BIBLIOGRAFIA.

- * *Ingeniería de presas de fábrica.* Joaquín Díez-Cascón y Francisco Bueno. Universidad de Cantabria. En prensa.
- * *Historia de las obras públicas en Salamanca.* Francisco Bueno Hernández. Excma. Diputación de Salamanca. En prensa.
- * *Ecos de un pasado.* Alvaro Chapa. Iberdrola. Bilbao, 1996.
- * *La construcción de los Saltos del Duero. 1903-1970. Historia de una epopeya colectiva.* Alvaro Chapa. Iberdrola, 1997.
- * *Orbegozo. Historia de un ingeniero.* Vicente Machiambarena. Madrid, 1941.
- * *Nota relativa a los Saltos del Duero.* José Orbegozo. Documento inédito, 1924.
- * *Los Saltos del Duero.* José Orbegozo. Informe presentado en la World Power Conference. Londres, 1924.
- * *Revista de Obras Públicas.* Madrid. Diversos artículos de varios años. En particular los siguientes:
 - * *Los Saltos del Duero.* José Orbegozo. Números 2443, 2445 y 2446. Años 1925 y 1926.
 - * *Sondeos para los Saltos del Duero.* Ricardo Rubio. Número 2440. Año 1925.
 - * *Aforos del Duero, Esla y Tormes.* Victor de No. Número 2441 y 2442. Año 1925.
 - * *Geología de los Saltos del Duero.* Primitivo Sampelayo. Año 1926.
 - * *Saltos del Duero.* Pedro Martínez Artola. Número 2536. Año 1929.
 - * *Medios auxiliares en el Salto del Esla.* José Orbegozo. Número 2553 a 2558. Año 1930.
 - * *Ensayos en laboratorio en el Salto del Esla.* Antonio del Aguila. Número 2627. Año 1933.

- * *El bombeo en el Salto de Villarino*. Pedro Martínez Artola. Número 2998. Año 1964.
- * *La construcción de Aldeadávila*. Luis Olaguibel. Número 2988. Año 1964.
- * *La presa de Almendra*. Angel Galíndez y Pedro Guin ea. Número 3028. Año 1967.
- * *La presa de Almendra*. Instalaciones. Carlos Duelo. Número 3028. Año 1967.
- * *Recrecido de las presas de Villalcampo y Castro*. F. Olarreaga. Número 3176. Año 1979.
- * *Grandes Presas*. Iberduero. Bilbao, 1973.
- * *Iberdrola en Castilla y León*. Iberdrola. Bilbao, 1990.
- * *Centrales hidroeléctricas*. Iberduero. Bilbao, 1989.
- * *Aldeadávila*. Iberduero. Bilbao, 1987.
- * *El Salto de Villarino*. Iberduero. Bilbao, 1989.
- * *Salto de Villalcampo. Obras definitivas*. Iberduero. Bilbao, 1949.
- * *Salto de Castro. Obras definitivas*. Iberduero. Bilbao, 1952.
- * *Salto de Saucelle. Obras definitivas*. Iberduero. Bilbao, 1956.
- * *Salto de Saucelle-Huebra*. Iberduero. Bilbao, 1986.
- * *Ampliación de las centrales hidroeléctricas de Aldeadávila y Saucelle*. José Fora. Cauce 2000, 1988.