

COMITÉ NACIONAL ESPAÑOL DE GRANDES PRESAS

RECRECIMIENTO DE LA PRESA DE YESA. CONDICIONANTES DE LA EXPLOTACIÓN EN LAS OBRAS

Raimundo Lafuente Dios¹
Marcelo Merino Arroyo²
Pablo De Diego Calvo³
José Luis Martínez Mazariegos⁴
Luis Javier Corcuera Arriola⁵

RESUMEN: La actual presa de Yesa, de gravedad con sección de hormigón, fue puesta en servicio en 1959, tiene 78 m de altura y 447 hm³ de capacidad, está situada sobre el río Aragón, afluente del Ebro, en el norte de España.

Esta presa se ha comportado muy satisfactoriamente durante los casi 50 años que lleva en explotación, pero como consecuencia de los cambios de cultivo en su zona regable de 110.000 hectáreas y el nuevo suministro de agua de calidad a la ciudad de Zaragoza y su entorno (actualmente con más de 800.000 habitantes), han hecho necesario proceder a su recrecimiento para disponer de 1.079 hm³ de capacidad, con una nueva presa de 108 m de altura, que se está construyendo en la actualidad, sin afectar a la explotación de la presa existente.

Tras la justificación de la necesidad de su recrecimiento, se analizan las diversas alternativas posibles, se determinan sus dimensiones y se describe el recrecimiento proyectado, con las repercusiones que para las obras supone la necesidad de mantener la explotación normal del embalse, haciendo especial mención a sus órganos de desagüe.

¹ I.C.C.P. - Confederación Hidrográfica del Ebro (rlafuente@chebro.es)

² I.T.O.P. - Confederación Hidrográfica del Ebro (merino@chebro.es)

³ I.T.O.P. - Confederación Hidrográfica del Ebro (pdediego@chebro.es)

⁴ I.C.C.P. - Euroestudios, S.L. (j.l.martinez@euroestudios.es)

⁵ I.C.C.P. - CV Yesa UTE (obra.yesa@euroestudios.es)

1. MARCO GEOGRÁFICO

La presa de Yesa se encuentra situada al norte de España, en el límite de las comunidades de Navarra y Aragón, dentro de la cuenca del río Ebro, y más concretamente en uno de sus principales afluentes por su margen izquierda, el río Aragón (ver Fig.1). La cuenca dominada por la presa de Yesa tiene una superficie de 2.170 km², con una aportación media de 1.322 Hm³/año.

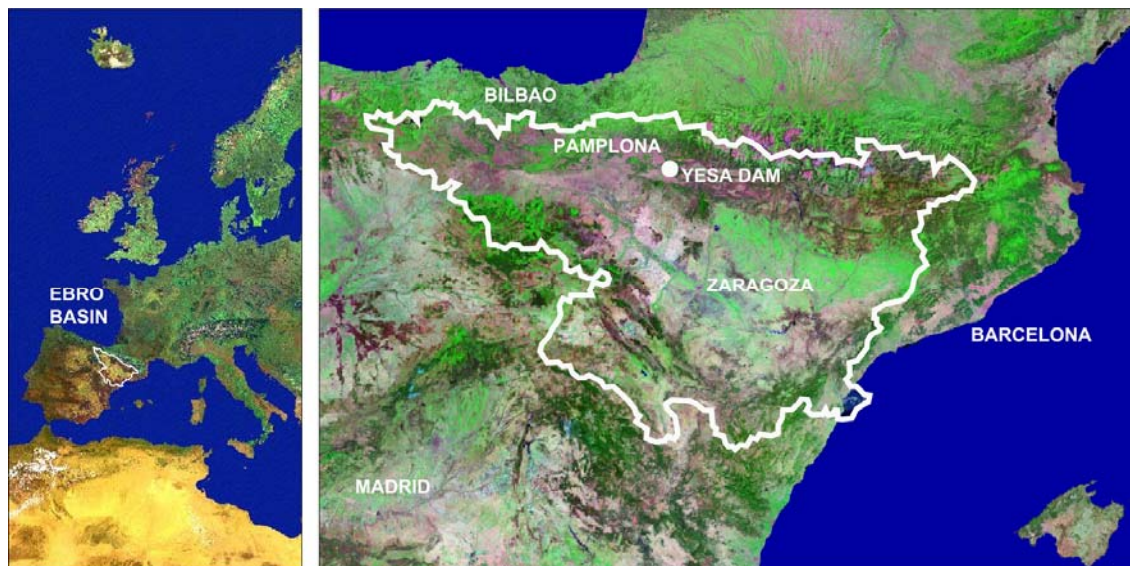


Fig. 1. Situación de la presa

2. LA PRESA EXISTENTE

La regulación del río Aragón es un objetivo que se persigue desde hace varios siglos (documentado desde el año 1498). El primer proyecto completo de la actual presa se redactó en el año 1912, iniciándose su construcción en el año 1928, habiendo entrado en servicio en año 1959, sirviendo desde entonces para: satisfacer las demandas de una importante zona regable (Bardenas) con unas 85.000 ha; abastecer a los pueblos de la zona; para laminar las avenidas del río Aragón; y para mantener el caudal ecológico del río.

La presa es de gravedad, tiene 78 m de altura sobre cimientos y 480.000 m³ de hormigón; el paramento de aguas arriba es vertical y el de aguas abajo escalonado, con un talud equivalente a 0,78(H):1(V). Su coronación tiene 398 m de longitud a la cota 490,0 y 7,0 m de anchura. El volumen de embalse a su Nivel Máximo Normal (cota 488,61 m) es de 447 Hm³.

El aliviadero, situado fuera de la presa en las proximidades del estribo izquierdo, está formado por cuatro pozos verticales, con compuertas de tipo sector de 20 m de longitud y 6 m de altura, que conectan con cuatro galerías en túnel, a través de las cuales se entregan las aguas vertidas por aquel al río Aragón, a través de un cuenco amortiguador.

3. NECESIDAD DEL RECRECIMIENTO

La zona regable del Canal de Bardenas (ver Fig.2) se delimitó a comienzos del siglo XX considerándose una superficie útil de 110.000 hectáreas, suponiendo que el cultivo mayoritario consistiría en cereal de invierno (trigo y cebada) por lo que, dadas las dotaciones y la distribución temporal de los caudales demandados por estos cultivos, que son los tradicionales de la zona, permitiesen con el actual embalse de Yesa cubrir ampliamente sus necesidades.

La puesta en explotación de esta extensa zona regable todavía no ha finalizado, mientras que la distribución de cultivos se ha modificado con el paso del tiempo, existiendo una mayor diversificación de los cultivos (alfalfa, maíz, hortalizas, arroz, además de trigo y cebada), produciéndose unas mayores demandas de agua con una distribución a lo largo del año distinta al régimen natural del río Aragón; por este motivo, ha aumentado la dotación unitaria de agua y además se han incrementado las necesidades de regulación para adaptarse a las necesidades de los nuevos cultivos.

La ciudad de Zaragoza y su entorno (actualmente con más de 800.000 habitantes) se abastecen de agua proveniente del río Ebro, cuya calidad es baja. Para mejorar la calidad del abastecimiento a esta importante población, se estudiaron diversas alternativas, habiendo sido seleccionada la que, tomando agua del embalse de Yesa, utiliza los canales de la Zona regable de Bardenas para aproximarse a la ciudad de Zaragoza, a la que finalmente llega por una tubería de nueva construcción (ver Fig.2).



Fig. 2. Situación zona regable y ciudad de Zaragoza

4. ALTERNATIVAS PARA EL RECRECIMIENTO

Una vez evidenciada la necesidad de incrementar la regulación del río Aragón, se estudió la conveniencia de crear un nuevo embalse o recrecer el existente. Ante esta cuestión se optó por recrecer el existente ya que se minimizaban las afecciones y se evitaba el desvío del río, aunque se tenía el condicionante de no afectar a la explotación de la presa actual con las obras del recrecimiento.

El recrecimiento del embalse produce menos afecciones que uno nuevo, ya que para el mismo volumen se ocupa menos superficie al situarse en la parte superior del valle de mayor anchura. Además, en esta zona las tierras de mayor valor agrícola y como consecuencia de ello los asentamientos y los elementos del patrimonio cultural, se encuentran en las proximidades del río, por lo que el recrecimiento apenas afecta a otros elementos que los ya afectados por el embalse actual.

Una vez decidido recrecer el embalse de Yesa, con el fin de determinar la ubicación óptima de la presa recrecida y su tipología más adecuada, se analizaron tres posibles localizaciones y varios tipos para la nueva presa. Para todas las soluciones se exigía como condición indispensable que se mantuviese o mejorase, tanto durante la construcción como en la posterior explotación, el coeficiente de seguridad de la presa actual que, por los materiales de su cimentación, se considera estricto y no se afectara a la explotación normal del embalse durante la construcción del recrecimiento.

Se consideró una cerrada situada aguas abajo de todas las obras actuales, de tal modo que la nueva presa fuese totalmente independiente de la antigua; otra entre la presa actual y la desembocadura del aliviadero, sin apoyarse en la presa actual, pero pudiendo aprovechar parte de los aliviaderos; y una tercera apoyada sobre la presa existente.

Respecto a los tipos de presa considerados, fueron también tres: presa de gravedad similar a la actual, con aliviadero sobre el cuerpo de presa; presa de escollera con pantalla impermeable aguas arriba; y presa de escollera con núcleo impermeable. Estas últimas, tanto con nuevos aliviaderos laterales como aprovechando los túneles de los aliviaderos existentes.

Planteadas las soluciones anteriores y realizado un completo análisis multicriterio, se llegó a las siguientes conclusiones:

- 1) Todas las cerradas tienen características geológicas similares. El substrato rocoso está constituido por rocas blandas (margas del Eoceno en la parte inferior y flysch, alternancia de capas de areniscas y margas, en las laderas), con importantes recubrimientos de suelos coluviales y roca meteorizada en los estribos, de hasta 30 m de espesor. La proporción del flysch en la cerrada aumenta conforme nos desplazamos hacia aguas abajo de la presa actual, empeorando la cimentación.

- 2) Las presas apoyadas contra la presa actual permiten hacer uso del cierre hidráulico de la presa existente, cuyo comportamiento ha sido bueno durante los cincuenta años que lleva en explotación.
- 3) De acuerdo con la experiencia existente (Avon, New Exchequer, Ouatardes 2) se ha previsto el apoyo, tanto de la presa de pantalla como de núcleo, en el paramento de aguas abajo de la actual, a una altura de los 2/3 del total de ésta, para garantizar la estabilidad de la presa actual.
- 4) Las margas que constituyen la cimentación tienen una resistencia a compresión simple de 100 kg/cm² y un módulo de elasticidad de 15.000 kg/cm², no conociéndose muchos precedentes de presas de fábrica de más de 100 m de altura sobre materiales similares.
- 5) Las excavaciones que sería necesario realizar junto a la presa actual para recrecerla con hormigón, que podrían comprometer su estabilidad si no se realizan a embalse vacío, hacen técnicamente inviable esta posibilidad, al tener que mantener la explotación normal durante las obras.
- 6) Las presas de materiales sueltos resultaban más económicas que las de hormigón y cualquier solución con materiales sueltos en la cerrada actual es económicamente mejor que aguas abajo, ya que no aprovechan los aliviaderos existentes.

Como consecuencia de las cuestiones anteriormente expuestas, se llegó a la conclusión de que la solución óptima era una presa de materiales sueltos apoyada contra la presa actual, con aliviaderos en pozo en la margen que conectarán con los túneles existentes (ver Fig.3).

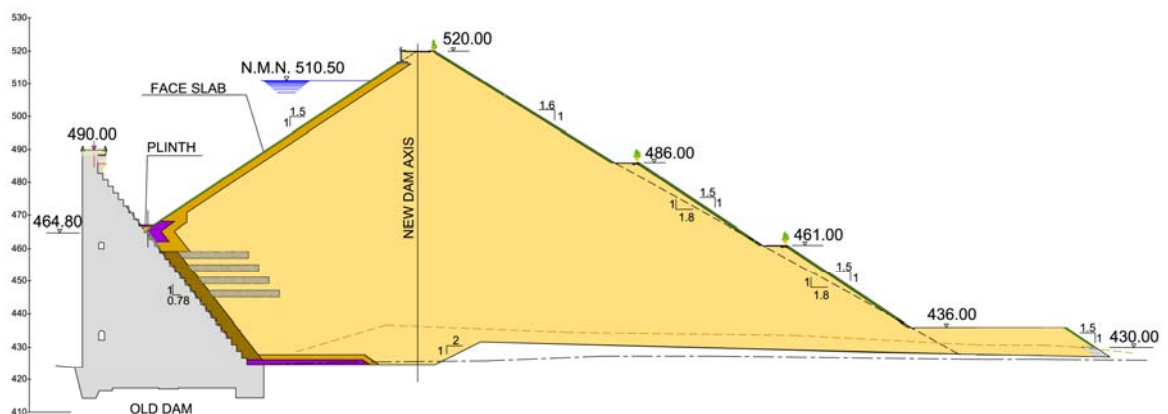


Fig. 3. Sección tipo de la nueva presa de Yesa

5. ALTURA DEL RECRECIMIENTO

La población de Sigüés se asienta sobre una ladera junto al río Esca, afluente del río Aragón por su margen derecha. Para mantener este pueblo se contempla un dique de protección, formado por un muro de hormigón cuya coronación no debe superar la cota 514,25 m, que rodee su núcleo urbano con suficiente amplitud, permitiendo la creación de una zona de expansión al rellenar y acondicionar el espacio comprendido entre el muro de hormigón y el casco urbano.

Por la zona del embalse de Yesa han discurrido, desde el siglo IX, los peregrinos en su camino hacia Santiago de Compostela, habiendo existido siempre diversas rutas para realizar el trayecto, encontrándose anegada por el embalse actualmente en explotación la ruta mejor documentada. En esta zona el elemento de interés histórico artístico, asociado al Camino de Santiago, situado a menor cota (cota 515,00 m) es la ermita de San Juan en Ruesta, románica del siglo X. Limitándose el recrecimiento a la cota indicada para la población de Sigüés, la longitud de su actual trazado que debe ser repuesta, para mantener el paso de los peregrinos por esta zona, es de solo 4,2 Km.

Para minimizar la afección a los ecosistemas más interesantes y a los espacios protegidos (Zona de Especial Protección de Aves del río Aragón), se requiere que el Nivel Máximo Normal no supere la cota 512,00 m.

Durante el verano, el embalse de Yesa, coincidiendo con las menores aportaciones del río Aragón, debe suministrar los mayores volúmenes de agua por él regulados, destinados principalmente al riego de los cultivos agrícolas. Esta situación hace que la explotación del embalse procure tenerlo lo más lleno posible al inicio del verano para finalizar este trimestre con el menor volumen de todo el año.

Las mayores avenidas se presentan en el embalse de Yesa en otoño y las siguientes en primavera, calculándose los resguardos necesarios para esta época, en la que el embalse debe estar lo más lleno posible antes de comenzar la campaña de riego. De esta forma, se fija el máximo nivel de embalse en primavera, que es válido tanto para invierno como para verano, ya que sus avenidas son menores. El máximo nivel de embalse en otoño se determina reduciéndose el establecido para primavera, de forma que pueda laminarse sus mayores avenidas disponiéndose de mayores resguardos, sin que ello afecte la capacidad de regulación del embalse, puesto que al principio del otoño finaliza la campaña de riego.

Después de varios tanteos y cálculos, que se describen con mayor detalle en el artículo presentado a estas mismas Jornadas denominado “RECRECIMIENTO DE LA PRESA DE YESA. DISEÑO DEL ALIVIADERO”, se ha limitado el Nivel Máximo Normal del embalse (NMN) en primavera (y también en verano e invierno) a 511,00 m; reduciéndose el NMN en otoño a 509,00 m para poder laminar sus mayores avenidas. Esta reducción de 2 m, en el nivel de embalse en otoño, que suponen 70 Hm³, no condiciona la explotación de este embalse dada la estacionalidad de las aportaciones y sus demandas. A partir del Nivel Máximo Normal de embalse se determina la cota de coronación de una presa (520,00 m).

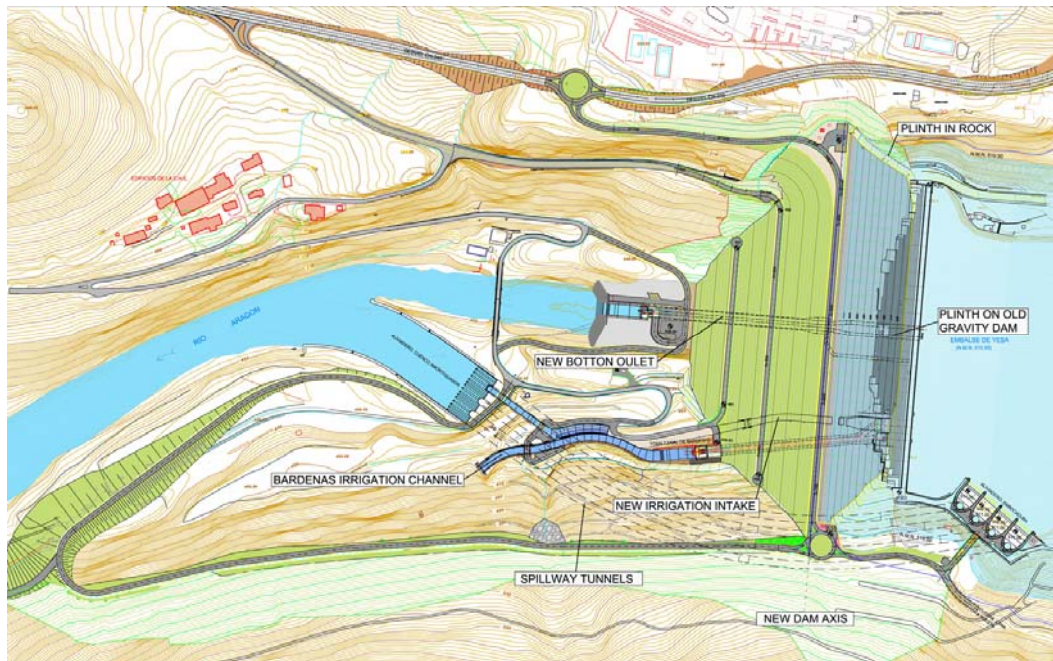


Fig. 4. Planta del embalse de Yesa

6. ÓRGANOS DE DESAGÜE

6.1. DESAGÜE DE FONDO

Puesto que la presa de Yesa se encuentra en explotación y como se ha expuesto las obras no pueden condicionar su uso, debe mantenerse operativo el actual desagüe de fondo, ya que la legislación española requiere que todas las presas en servicio dispongan de este elemento. La condición anterior impide prolongar el actual desagüe de fondo, puesto que las obras a realizar lo dejarían temporalmente fuera de servicio.

Cuando se construyó la presa actual se dejaron dos conductos de 2,50 m de diámetro atravesando el cuerpo de presa para permitir la instalación de una central de pie de presa. Dicha central no ha llegado a construirse, ya que desde los años 70 se preveía inminente el recrecimiento del embalse. Para el nuevo desagüe de fondo se aprovecha la doble toma existente para la citada central cuyo umbral en origen se encuentra a la cota 448,40 m (ver Fig.5). Aunque la embocadura de este nuevo desagüe de fondo está casi 20 m por encima del actual, el volumen muerto por debajo de ella es de sólo 18 hm³, y se encuentra por debajo de la toma del Canal de Bardenas, por lo que no se reduce el volumen disponible para satisfacer las demandas abastecidas desde este embalse.



Fig. 5. Obras del desagüe de fondo (julio 2007)

Dentro de las dos tuberías de 2,50 m de diámetro embebidas en el cuerpo de presa, se introducen otras de 2 m de diámetro, que se prolongan dentro de una galería de 230 metros de longitud con 5,35 m de anchura interior en su base y 6,19 m de altura máxima, que atraviesa todo el cuerpo de la presa recrecida, hasta finalizar en un cuenco disipador de energía a través del cual se incorpora el río Aragón. Las tuberías se recubren de hormigón en toda la anchura de la galería, dejándose acceso por encima del relleno de hormigón, simplificándose las labores de mantenimiento durante la explotación de la presa.

Cada uno de los dos conductos dispone de dos válvulas compuertas tipo Bureau; las de aguas arriba alojadas en una cámara situada al pie del talud escalonado de la actual presa, y las de aguas abajo situadas al pie de la presa recrecida.

Del conducto izquierdo surge una tubería de 0,80 m de diámetro que finaliza con una válvula Howell-Bunger desde la que se podrán suministrar caudales medioambientales, que es la única demanda a suministrar desde este desagüe. Del conducto derecho surge una tubería de 1,50 m de diámetro que finaliza con una brida ciega, a la que podrá conectarse la futura central hidroeléctrica de pie de presa.

6.2. TOMA DE BARDENAS

Todas las demandas que suministra el embalse de Yesa se realizan desde la toma del Canal de Bardenas, situada a la cota 453,30 m, quedando un volumen muerto por debajo de ella de 36 hm³. La actual toma dispone de tres conductos de 2 m de diámetro, que atraviesan la presa saliendo a un cuenco amortiguador común en el que se inicia el Canal de las Bardenas de 60 m³/seg. de capacidad en origen.

Como no se puede condicionar la explotación de la presa por las obras del recrecimiento de la presa, se ha optado, de forma análoga al desagüe de fondo, por utilizar uno de los dos conductos de 3 m de diámetro situados a la misma cota que la toma del canal, que también se dejaron para otra central hidroeléctrica que tampoco ha llegado a construirse, junto con uno de los tres conductos actuales.

En el inicio de cada conducción, en una cámara de válvulas adosada a la presa actual, se instalan sendas válvulas Bureau de las que surgen tuberías 2,00 y 2,50 metros de diámetro, respectivamente, que atraviesan el cuerpo de la presa recrecida dentro de una galería de 185 metros de longitud, con la misma sección que la del desagüe de fondo, finalizando con válvulas tipo Taintor. Al final de la galería se deriva del conducto izquierdo una tubería de 0,80 m de diámetro que finaliza con una válvula Howell-Bunger para caudales menores. Del conducto izquierdo surge una tubería de 2,50 m de diámetro y del conducto derecho otra de 2,00 m, a las que se conectará la futura central hidroeléctrica de la toma.

La galería donde se alojan las tuberías de la toma de Bardenas se ha diseñado junto al canal actual, por su margen izquierda y lo más cerca posible sin afectarlo. Las excavaciones previstas para la galería han requerido la construcción de un importante muro de hormigón armado con anclajes de 150 Tn de tensión para contener el terreno (ver Fig.6), obra que, aunque costosa, está evitando afectar al servicio del canal.



Fig. 6. Obras de la toma de Bardenas (septiembre 2008)

Las conexiones, en la toma actual y con el canal, se realizarán aprovechando que desde el 15 de octubre hasta el 1 de marzo, únicamente se suministra la demanda de abastecimiento ($2 \text{ m}^3/\text{s}$) en períodos de 3 días cada 21, disponiendo por tanto de 18 días de corte, suministrándose en estos periodos los caudales de mantenimiento del río Aragón desde el desagüe de fondo.



Fig. 8. Obras del recrecimiento de la presa de Yesa (junio 2008)

6.3. ALIVIADERO

El aliviadero de la nueva presa estará situado en la ladera izquierda de la cerrada y aprovechará los cuatro túneles existentes del aliviadero actual, recreciéndose sus embocaduras. En cuanto a su tipo, se ha optado por disponer un aliviadero mixto con compuertas en dos de sus embocaduras y labio fijo en las otras dos. Respecto al aliviadero de la presa recrecida, se ha presentado a estas Jornadas un artículo denominado “RECRECIMIENTO DE LA PRESA DE YESA. DISEÑO DEL ALIVIADERO”.