Estudio de remodelación del cuenco amortiguador de la presa de Buendía

Alonso Tejedor, M.E.[a] y Moreno Calle, E.[b]

[a]Sers, Consultores en Ingeniería y Arquitectura, S.A. C/ Alustante 1, 28002 Madrid. E-mail: ealonso@sers.es.

[b]Confederación Hidrográfica del Tajo. Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente. Av. del Ejército 12, 19004 Guadalajara. E-mail: enrique.moreno@chtajo.es.

Línea temática D | Estructuras hidráulicas

RESUMEN

La Presa de Buendía, situada en el río Guadiela afluente del río Tajo, cuenta con un aliviadero de cinco vanos con compuertas y tres desagües de fondo ubicados sobre el propio cuerpo de presa que desaguan al cuenco amortiguador.
Comprobaciones teóricas de este cuenco mostraron que sus dimensiones parecen suficientes para amortiguar la energía del caudal desaguado por los desagües de fondo, pero no ante un vertido por el aliviadero.
Se ha construido un modelo reducido en el Laboratorio de Hidráulica del CEDEX en el que se ha observado el funcionamiento y la disipación de energía en el cuenco. En el modelo se ha comprobado que los problemas, en realidad, se plantean con los desagües de fondo y los ensayos realizados han permitido definir la mejor solución a adoptar para asegurar el correcto funcionamiento del cuenco amortiguador de la presa.A partir de esta solución, se ha redactado el proyecto de construcción que permitirá abordar las obras necesarias para garantizar la seguridad de esta infraestructura.
Palabras clave | cuenco amortiguador; disipación de energía; modelo reducido.

INTRODUCCIÓN

La presa de Buendía, presa de gravedad de 78,70 m de altura sobre cimientos, cuenta con un cuenco amortiguador al pie de la misma que recibe los vertidos del aliviadero y de los desagües de fondo y disipa la energía con que llegan, antes de su reincorporación al cauce.

Figura 1 | Presa de Buendía.

El caudal que habitualmente se sirve desde este embalse se turbina en la central de pie de presa y, por tanto, se reincorpora al cauce en paralelo al cuenco amortiguador. En escasas ocasiones el aliviadero ha llegado a verter, datando el último episodio de la primavera de 1979, y los desagües de fondo apenas han entrado en funcionamiento, en todo caso lo han hecho cuando los niveles del embalse han descendido drásticamente. Por tanto, no se tiene constancia de que el cuenco amortiguador funcione adecuadamente cuando estos órganos de desagüe funcionen a plena capacidad.

Con motivo de la redacción de las Normas de Explotación de la presa, en octubre de 2004, se realizaron una serie de comprobaciones teóricas respecto a la suficiencia hidráulica del cuenco amortiguador. Como conclusión del estudio, se manifestaba que, si bien las dimensiones del cuenco sí parecían suficientes para un correcto funcionamiento y disipación de energía del caudal desaguado por los desagües de fondo, no ocurría lo mismo con el vertido por el aliviadero.

La longitud del resalto calculada, según el Hidraulic design of stilling basins and energy dissipators del Bureau of Reclamation, para el vertido por el aliviadero es superior a la longitud del cuenco. El resalto donde se pierde la energía del caudal vertido se produce teóricamente fuera de la estructura del cuenco existente, lo que conlleva un peligro de erosionabilidad de esta zona, que puede ocasionar un problema por descalzamiento del pie de aguas abajo.

Se propone, por tanto, realizar un ensayo en modelo reducido en el Laboratorio de Hidráulica del CEDEX con objeto de observar el funcionamiento y la disipación de energía en el cuenco amortiguador de la presa de Buendía, analizando si sus dimensiones son adecuadas tanto para el vertido por el aliviadero como por los desagües de fondo, y de efectuar, en su caso, las modificaciones necesarias para que cumpla adecuadamente su misión, optimizando su diseño dentro de los condicionantes existentes. Es éste un proceso interactivo que requiere tanto del conocimiento experto de los técnicos del CEDEX, como del criterio de los responsables de la presa, que marcan necesidades a resolver y condicionantes a respetar.

Los resultados alcanzados mediante el ensayo en modelo reducido conducirán a la redacción de un proyecto constructivo para la remodelación del cuenco amortiguador de la presa de Buendía, que permita materializar en la realidad la solución óptima alcanzada en el Laboratorio.

CARACTERÍSTICAS DE LA PRESA DE BUENDÍA

La presa de Buendía, finalizada en 1958, se encuentra situada en el río Guadiela afluente del río Tajo, en el término municipal de Buendía en la provincia de Cuenca. La cuenca vertiente tiene una superficie de 3.256 km^2, prácticamente la totalidad de la cuenca del río Guadiela, ya que el embalse dista sólo 8,3 km de la confluencia con el río Tajo en el embalse de Bolarque. El embalse posee una capacidad de 1.651 hm^3 a cota 712,20 msnm, correspondiente al nivel superior de compuertas. Junto con la presa de Entrepeñas constituye un sistema de regulación entre los ríos Tajo y Guadiela. Considerando el conjunto de los dos embalses, comunicados por un túnel de 168 m^3/s de capacidad por el que llegan a Buendía los excedentes de Entrepeñas cuando alcanza la cota 711,45 msnm, se trata de uno de los aprovechamientos hidráulicos más importantes de España, además de ser la principal fuente de aportaciones al trasvase Tajo-Segura.

La presa de Buendía fue proyectada inicialmente en 1.941 por el Ingeniero de Caminos D. Benito Jiménez Aparicio. Se realizaron posteriormente 3 reformados, el primero en 1.942 por el mismo autor, el segundo en 1.950 por D. José Ignacio Cabrera y el tercero en 1.952 por D. J. A. Gallego. Las obras se comenzaron en 1.946, realizándose inicialmente el desvío del río y las ataguías, alcanzando su fin el año 1.958. Desde entonces se han llevado a cabo diversos trabajos de reforma y mantenimiento, como la sustitución de las compuertas del aliviadero, la reperforación de drenes, la impermeabilización del cimiento o la instalación de nuevos elementos de auscultación.

La presa de Buendía es de tipo gravedad, con taludes 0,05H:1V aguas arriba y 0,76H:1V aguas abajo. La coronación, a la cota 714,28 msnm, presenta una longitud de 315 m y una altura sobre cimientos de 78,70 m.

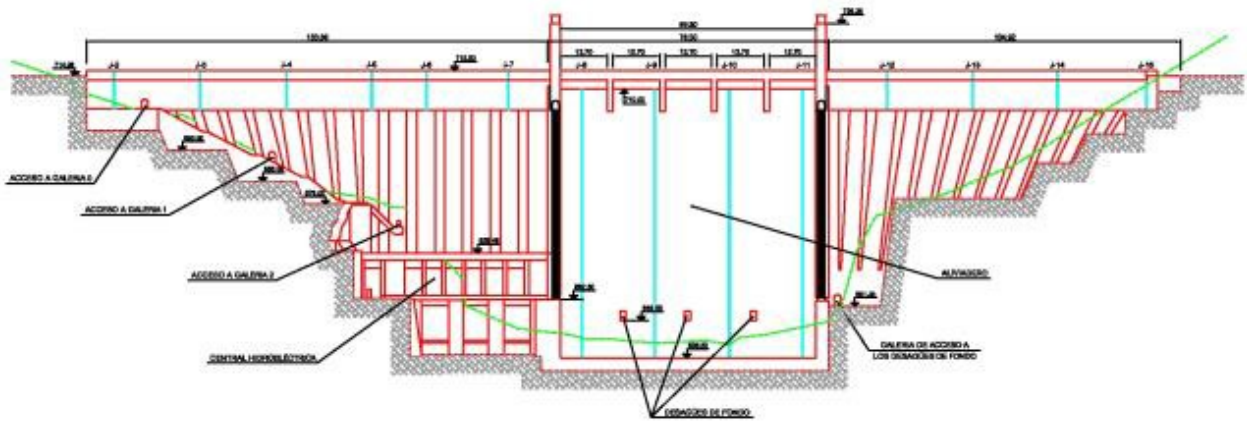

Figura 2 | Presa de Buendía. Alzado aguas abajo. Fuente: Documento XYZT

El Nivel de Avenida Extraordinaria (N.A.E.) se define a la cota 714,28 msnm y el correspondiente a la Avenida de Proyecto (N.A.P.) se fija a la cota 713,13 msnm. Se adopta como Nivel Máximo Normal (N.M.N.) la cota 712,20 msnm en los periodos de primavera, verano y otoño, y la cota 710,58 msnm para los meses de invierno.

La presa de Buendía cuenta con un aliviadero con compuertas tipo clapeta, ubicado sobre el cuerpo de presa, formado por 5 vanos de 12,20 m de anchura y pilas de 2 m de espesor, con una luz libre de 61,00 m. La cota del umbral del vertedero es la 710,50 msnm y el perfil de vertido es de tipo Creager para una lámina de agua de aproximadamente6 m hasta el punto de tangencia con la rápida. Los cajeros que acompañan la rápida tienen una altura de 5,98 m en la parte superior y 3,43 m en la inferior, donde comienzan los cajeros del cuenco.

El caudal desaguado a la cota 712,20 msnm (N.M.N.) es de 206,55 m^3/s, a la cota 713,13 msnm (N.A.P.) es de 508,41 m^3/s y a la cota 714,28 msnm (N.A.E.) es de 910,96 m^3/s.

Figura 3 | Aliviadero de la presa de Buendía. Detalle de las compuertas tipo clapeta.

El cuenco amortiguador presenta dos zonas bien diferenciadas. Según el Documento XYZT, la primera zona del cuenco se inicia a la cota 643,21 msnm con una curva tangente a la rápida de 10 m de radio y 5,19 m de longitud, a la que le sigue una recta de 2,81 m y otra curva de radio 30,78 m que finaliza en un diente (de 2 m de altura) a la cota 638,50 msnm. El punto más bajo del cuenco se encuentra a la cota 636,50 msnm.

Sin embargo, el levantamiento topográfico realizado ubica este último punto a la cota 636 msnm, lo que determina la cota de cajeros a la 652 msnm y la salida de los desagües de fondo a la 646 msnm. La anchura medida en el cuenco es de 69,25 m.

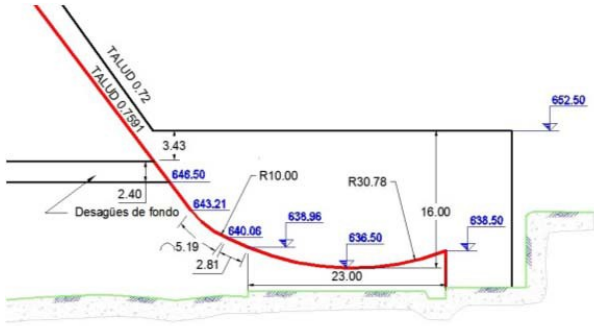

Figura 4 | Sección trasversal de la primera zona del cuenco. Fuente: Documento XYZT

La segunda zona del cuenco, situada aguas abajo, cuenta con 17,70 m de longitud con solera desigual, sensiblemente horizontal, con cotas comprendidas entre 637 y 638 msnm. Esta zona termina con un muro de cierre irregularmente escalonado a cota 643 msnm, que se sospecha corresponde a la contraataguía de construcción de la presa. Este muro enlaza con el cajero derecho del cuenco mediante un murete de escasa altura y dudosa naturaleza y con el cajero izquierdo mediante un muro en L, ejecutado mediante obra de emergencia tras los daños ocasionados en la ladera izquierda por la apertura del desagüe de fondo más próximo a esa ladera.

Figura 5 | Cuenco amortiguador de la presa de Buendía.

Los desagües de fondo están compuestos por tres conductos, con una separación entre ejes de 18,21 m y cota de salida en solera 646 msnm. Cada conducto, de sección rectangular de 1,50 m de ancho por 2,40 m de altura, está equipado con dos compuertas Bureau y evacua un caudal de 97 m^3/s con el embalse a la cota 712,20 msnm, correspondiente al nivel máximo normal.

Figura 6 | Desagües de fondo de la presa de Buendía.

La presa también cuenta con tres tomas para la central hidroeléctrica de pie de presa con una capacidad, a nivel máximo normal (712,20 msnm), de 33 m^3/s por turbina. La restitución al cauce de los caudales turbinados se produce en paralelo al cuenco amortiguador.

Figura 7 | Salida de la Central Hidroeléctrica de Buendía.

MODELO FÍSICO DE LA PRESA DE BUENDÍA

Para realizar los estudios propuestos sobre la presa de Buendía, se ha proyectado y construido, en el Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX, un modelo físico a escala 1/50 del aliviadero, los desagües de fondo y el cuenco amortiguador. En el modelo se ha reproducido también una zona del embalse y una longitud de 170 m de río aguas abajo del cuenco.

La escala elegida para la construcción asegura el desarrollo de la turbulencia en el modelo, garantizando la semejanza con el prototipo, a la vez que resulta conveniente tanto por la construcción como por la adaptación del modelo en el Laboratorio, por la precisión de los registros y por la facilidad de operación.

Trabajos previos a la construcción del modelo

Para la construcción del modelo, además de analizar la documentación existente en las oficinas de la Confederación Hidrográfica del Tajo en Guadalajara (1ª Actualización del documento XYZT y sus planos, Normas de explotación y cartografía asociada y Plan de emergencia), se consultaron en el Archivo técnico de la presa de Buendía documentos correspondientes al proyecto de construcción, sus posteriores modificaciones y a las distintas liquidaciones de la obra.

Se realizaron trabajos de topografía en campo con objeto de confirmar la ubicación y las dimensiones de los diferentes elementos a representar en el modelo y la topografía circundante. Para posibilitar el levantamiento topográfico del cuenco amortiguador y la estructura de cierre aguas abajo del mismo, como piezas clave en el modelo a ensayar, el equipo de mantenimiento de la presa procedió al vaciado del cuenco amortiguador de la misma.

Figura 8 | Trabajos topográficos en la presa de Buendía.

Construcción del modelo

La construcción de los muros que delimitan el modelo están realizados en fábrica de ladrillo con los desagües necesarios que permitan el vaciado del modelo. Los muros están enfoscados con mortero fratasado al igual que la solera, sobre los que se realiza la impermeabilización con doble capa de tela asfáltica y la construcción de la montea o plano horizontal perfectamente nivelado que se extiende en planta hasta el límite material del modelo.

La montea sirve de base para el resto de los trabajos. Sobre ella se sitúan unas tiras de papel con la ampliación de los planos topográficos a escala del modelo y se efectúa la reproducción del terreno, que pueda considerarse como lecho fijo, mediante la formación de un armazón topográfico a base de redondos de acero soldados a varillas que reproducen las curvas de nivel. Dicho armazón se rellena posteriormente de arena y se recubre con mortero de cemento.

En las zonas que corresponden a fondos móviles se han preparado cajas impermeabilizadas de holgura suficiente. En estas cajas se aloja el material que reproduce el fondo móvil, debiendo tener una profundidad superior a las máximas socavaciones previstas.

Por último, se colocaron los desagües de fondo según su geometría y posición.

Figura 9 | Construcción en el modelo del río Guadiela aguas abajo de la presa de Buendía.

La alimentación del caudal se realiza en circuito cerrado, comenzando en un depósito de nivelconstante utilizado para absorber las variaciones del caudal proporcionadas por el sistema debombeo desde el depósito inferior.

El control del caudal se realiza a través de un aforador con placa triangular de 90°; desde ésteel agua llega a la arqueta de entrada y tras pasar por un sistema de tranquilización, seincorpora al modelo y finaliza con el vertido a una arqueta de retorno al depósito inferior.

Los niveles de agua se han medido utilizando dos limnímetros manuales situados en el cauceaguas abajo de la presa.

Ensayos en modelo físico de la situación actual

Se realizaron ensayos de **vertido por aliviadero**, sin compuertas, para distintos caudales, hasta alcanzar el correspondiente a la avenida extrema. El funcionamiento del cuenco es correcto para los caudales desaguados por el aliviadero correspondientes a la avenida de proyecto (508,41 m^3/s), pudiéndose considerar aceptable al tratarse de la avenida extrema (910,96 m^3/s).

Figura 10 | Funcionamiento del cuenco amortiguador con vertido por aliviadero. Avenida de proyecto (izquierda) y avenida extrema (derecha).

Al evacuar los **desagües de fondo** el caudal correspondiente a embalse a N.M.N, es decir, 97 m^3/s cada uno, se ha observado que el flujo sobrepasa el cuenco amortiguador, no amortiguándose en su interior y produciendo erosiones aguas abajo.

Figura 11 | Funcionamiento del cuenco amortiguador funcionando el desagüe de fondo central.

Elnivel de embalse de la presa de Bolarque, ubicada en la confluencia de los ríos Tajo y Guadiela, llega al pie de la Presa de Buendía, por lo que no existe una curva de gasto en el río Guadiela aguas abajo de Buendía propiamente dicha.

Los niveles en el río tienen influencia en el comportamiento del cuenco y en la reincorporaciónal cauce. Los ensayos en el modelo físico se han realizadoconsiderando la peor de las situaciones, es decir, sin fijar niveles en el cauce aguas abajo de la Presa de Buendía.

Estudio de soluciones

A la vista de los problemas que se generan en el cuenco amortiguador , principalmente con el funcionamiento de los desagües de fondo, se propone realizar ensayos de acuerdo a dos posibles líneas de actuación: modificar la salida de los desagües de fondo o ampliar el cuenco.

Consideradas las dificultades de la ejecución de cualquier modificaciónen la salida de los desagües de fondo en prototipo y de acuerdo con los técnicos de la Confederación Hidrográfica del Tajo, la línea de actuación elegida se centra en la ampliación del cuenco actual, aumentando su longitud en 25 metros.

Para desarrollar el estudio propuesto, se ha reproducido en el modelo físico la rápida del aliviadero, los desagües de fondoy el terreno aguas abajo de la Presa de Buendía sin considerar las excavaciones inevitables enla margen izquierda para la ampliación de la longitud del cuenco. Dicha longitud se ha ampliadoen 25 m y se ha rematado la salida del cuenco con un diente terminal de talud 2H:1V.

El cajero de la margen izquierda se ha prolongado hasta el nuevo final de cuenco manteniendola cota 647 msnm correspondiente a la segunda parte del cajero existente. En la margen derechael cajero se ha prolongado a dos alturas, la primera 10 m aguas abajo del muro de cierreexistente también a cota 647 msnm y la segunda hasta la prolongación del cuenco a cota más baja, 643 msnm, para permitir la salida del agua sobre él.

El funcionamiento del cuenco para la Avenida de Proyecto es satisfactorio, incluso con los tres desagües de fondo funcionando.También es adecuado el funcionamiento del cuenco para la Avenida Extrema.

Figura 12 | Funcionamiento del cuenco amortiguador ampliado25 m. Avenida de proyecto (izquierda) y avenida extrema (derecha).

En el funcionamiento de los desagües de fondo se observa el choque contra el muro de cierre existente y cómo la prolongación del cuenco sirve para amortiguar y regularizar la salida del flujo al cauce.

Figura 13 | Funcionamiento del cuenco amortiguador ampliado25 m. Desagües de fondo laterales (izquierda) y los tres desagües de fondo (derecha).

Solución propuesta

Visto el correcto funcionamiento del cuenco amortiguador tras ampliar su longitud en 25 m, se procede a optimizar la solución propuesta en base a la máxima reducción de las excavaciones necesarias y, por tanto, a la adaptación de las nuevas formas del cuenco a la topografía existente.

Definición

Siguiendo dicha topografía existente y de acuerdo a los ensayos realizados sobre el modelo físico reducido en el Laboratorio de Hidráulica del Centro de Estudios Hidrográficos, el cuenco de la Presa de Buendía queda enmarcado dentro de los límites de la obra existente en sus dos primeras zonas, realizándose una ampliación de 25 m ajustando los cajeros a la topografía de la zona aguas abajo de la presa.

Debido a la incertidumbre sobre la cimentación del muro de cierre final del cuenco existente, seelimina dicho muro colocando en su lugar un diente intermedio a la misma cota, 643 msnm, conpared vertical aguas arriba y talud 1H:1V aguas abajo. Se continúa la tercera zona del cuencoa cota 639,50 msnm y se finaliza con un diente terminal a cota 642 msnm con talud aguas arriba 2H:1V yvertical aguas abajo.

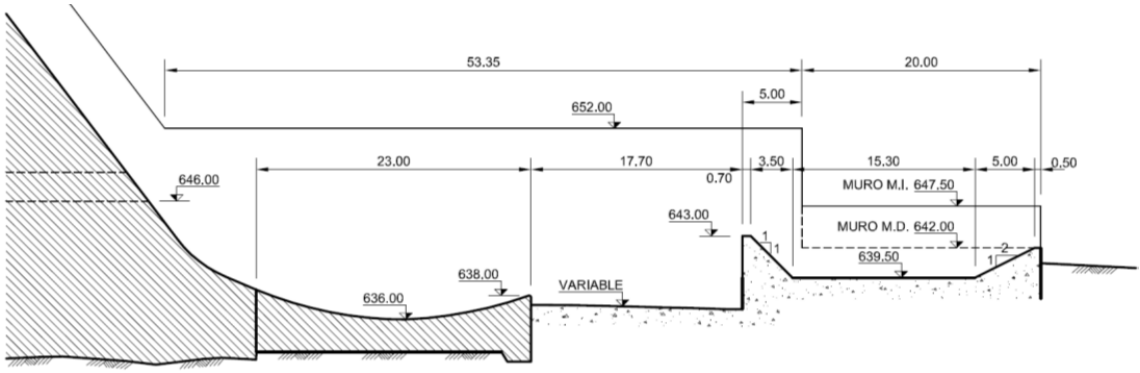

Figura 14 | Solución propuesta. Ampliación del cuenco. Alzado.

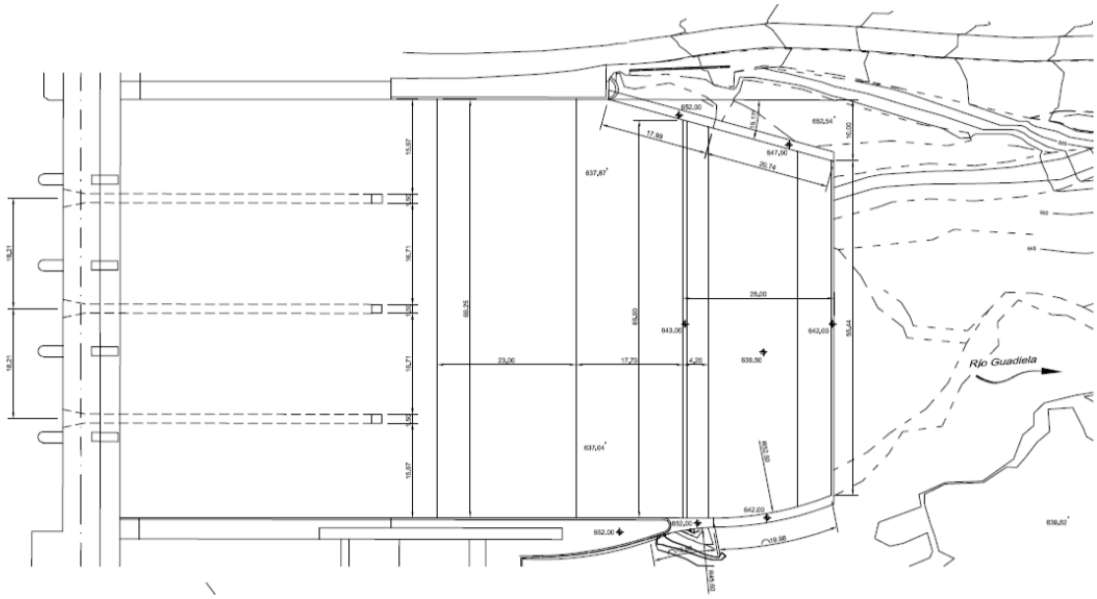

Figura 15 | Solución propuesta. Ampliación del cuenco. Planta.

En la margen izquierda se elimina el segundo tramo de muro, actualmente desplazado por los empujes del terreno, y se sustituye con un cajero, a cota 647,50 msnm, girado en planta para adaptarse a la topografía y reducir, en la medida de lo posible, el volumen de excavación.

En la margen derecha, para no perturbar a la salida de la central y con la conformidad de los técnicos de la empresa concesionaria de la central hidroeléctrica, se ha prolongado el cajero existente con planta curva. La primera zona de ampliación se ha realizado, a la misma cota que el muro existente: 652 msnm, con el intradós recto y el trasdós curvo de radio 45,60 m hasta aguas abajo del diente intermedio. Posteriormente se ha continuado el cajero con un radio de 52,50 m hasta alcanzar el diente final y a la misma cota que éste, 642 msnm.

Situar la cota del segundo tramo del cajero derecho a la misma cota que el diente final permite que el flujo rebose sobre el cajero, aumentando la longitud de vertido en unos 20 m, compensando en parte la reducción producida por la definición convergente de los cajeros izquierdo y derecho.

Figura 16 | Solución propuesta. Margen izquierda (izquierda) y margen derecha (derecha).

Experimentación

Se han desarrollado ensayos para vertidos por el aliviadero de las Avenidas de Proyecto y Extrema y del funcionamiento de los desagües de fondo.

Los ensayos del **aliviadero** se han realizado, sin compuertas, para la Avenida de Proyecto, 508,41 m^3/s y para la Avenida Extrema 910,96 m^3/s.El vertedero no ha sufrido ningún tipo de modificación por lo que los ensayos se han centradoen el funcionamiento del cuenco.

En el apartado Estudio de Soluciones se hace referencia albuen funcionamiento del cuenco para el caudal correspondiente a la **Avenida de Proyecto**.Alargar el cuenco según la Solución Propuesta, con la definición de cajeros convergentes, nomenoscaba su buen funcionamiento.La reincorporación al cauce del flujo vertido por el aliviadero es satisfactoria.

Para el caudal correspondiente a la **Avenida Extrema** el funcionamiento del cuenco y la reincorporación al cauce también son satisfactorios.

Figura 17 | Solución propuesta. Vertido por el aliviadero. Avenida de Proyecto (izquierda) y Avenida Extrema (derecha).

El funcionamiento del cuenco con los **desagües de fondo** se ha evaluado para el caudal correspondiente a embalse lleno, 97 m^3/s cada uno.No se han realizado modificaciones sobre la definición actual de los desagües de fondo, pero las modificaciones en el cuenco afectan notablemente a la reincorporación al cauce del caudal evacuado por éstos.

Tanto si la apertura corresponde a uno, dos o los tres desagües, se produce un impacto contra el diente intermedio amortiguando la energía del chorro. En la zona ampliada del cuenco se amortigua la energía restante reincorporándose con normalidad al cauce.

Si bien el funcionamiento es correcto para las distintas situaciones, se aprecian diferencias entre unas y otras. El funcionamiento del cuenco es mejor cuanto mayor es el nivel en su interior, es decir cuando están abiertos mayor número de desagües.

El funcionamiento de los desagües de fondo es correcto para las maniobras unitarias. Cuando solo se abre un desagüe se tiende al vaciado del cuenco ya que el impacto del chorro hace que parte del agua alojada en el cuenco salga de él. En el caso de funcionamiento unitario es preferible el funcionamiento del desagüe central y en último lugar el desagüe izquierdo por la elevación de los niveles sobre los muros cajeros de esa margen.

Figura 18 | Solución propuesta. Desagües de fondo. Funcionamientos unitarios.

En general, con apertura de dos desagües sería preferible el funcionamiento de los dos laterales para tener una circulación simétrica del flujo, pero en este caso, debido a la topografía del cauce aguas abajo, se observa como mejor opción abrir los desagües central y derecho evitando vertidos sobre los cajeros izquierdos.

Figura 19 | Solución propuesta. Desagües de fondo. Funcionamientos pareados.

El accionamiento conjunto de los tres desagües también es adecuado, incluso se puede decir que es el más satisfactorio de los escenarios ya que los niveles en el cuenco son más elevados facilitando una mejor formación del resalto en su interior.

Figura 20 | Solución propuesta. Desagües de fondo. Funcionamientos laterales (izquierda) y conjuntos (derecha).

PROYECTO CONSTRUCTIVO

A partir de la definición de la solución propuesta, se redacta el proyecto de construcción necesario para ejecutar sobre la propia presa de Buendía las modificaciones descritas anteriormente sobre el cuenco amortiguador.

Ampliación del cuenco amortiguador

La solución propuesta consiste en conservar las dimensiones y cotas de la primera zona del cuenco existente, eliminar la segunda zona de cota de losa variable y con el muro de cierre frontal, ejecutar una nueva segunda zona consistente en una losa a cota 637,25 msnm, que finaliza en un diente corrido a cota 643 msnm y ampliar el cuenco con una tercera zona de 20 metros de longitud consistente en una losa a cota 639,50 msnm, que finaliza en un diente terminal de talud 2H:1V a cota 642 msnm.

Transversalmente el cuenco se encuentra dividido, a través de juntas de dilatación, en 10 paños. En cada paño se han dispuesto mechinales de 0,10 m de diámetro para disminuir los efectos de la supresión de las losas.

Además de los mechinales, en la segunda zona del cuenco es necesario colocar anclajes pasivos en la losa. De los cálculos estructurales realizados se desprende que hay que anclar la losa a la roca mediante barras de 32 mm de diámetro colocadas en una malla de 1,25 m x 1,25 m, y de 4,5 metros de longitud de anclaje en la roca. En la tercera parte del cuenco, como el espesor de hormigón poroso es significante, se ha previsto unirlo, mediante barras de acero, a la losa de forma que colabore con su estabilidad y no sea necesario su anclaje a la roca.

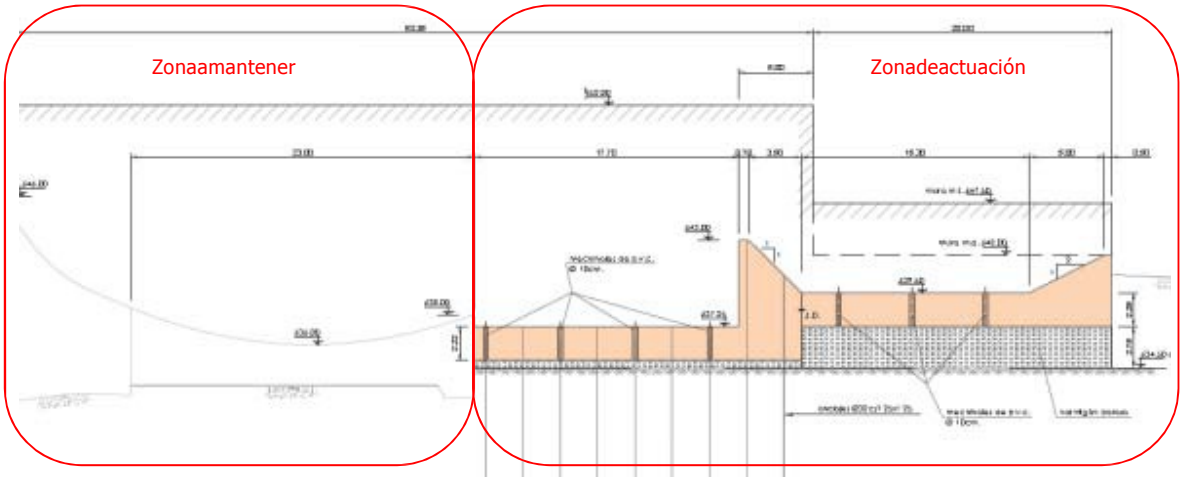

Figura 21 | Perfil longitudinal del cuenco amortiguador proyectado

Prolongación del muro de la margen derecha

Para no perturbar a la salida de la central se ha prolongado el cajero existente con planta curva. La primera zona de ampliación se ha realizado, a la misma cota que el muro existente 652 msnm, hasta aguas abajo del diente intermedio. Posteriormente se ha continuado el cajero con un radio de 52,50 m hasta alcanzar el diente final y a la misma cota que éste, 642 msnm.

La ejecución de este muro está condicionada por las características geológicas del terreno que se debe de excavar para su ejecución, formado por gravas arenosas cuaternarias de elevada permeabilidad, con el nivel freático a unos 2 m de profundidad, o incluso más somero, debido a su proximidad al cauce del río, a la salida de la central.

En estas condiciones, dado el elevado caudal de agua que entraría en la excavación, se ha adoptado la recomendación propuesta en el estudio geotécnico realizado, consistente en la ejecución de una pantalla de pilotes secantes.

Para poder realizar la pantalla de pilotes, en la zona adyacente al muro actual que hay que prolongar, se hace preciso demoler previamente la esquina derecha del cierre frontal del cuenco. Para demoler este muro se ha previsto realizar en el cuenco un relleno con material impermeable que sirva a la vez de ataguía y de plataforma de trabajo.

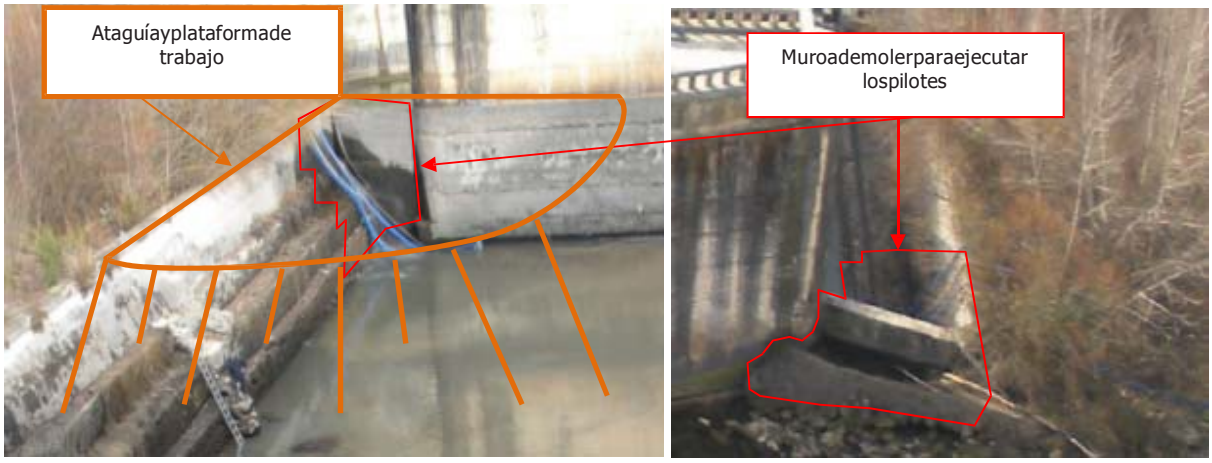

Figura 22 | Trabajos previos a la prolongación del muro de la margen derecha.

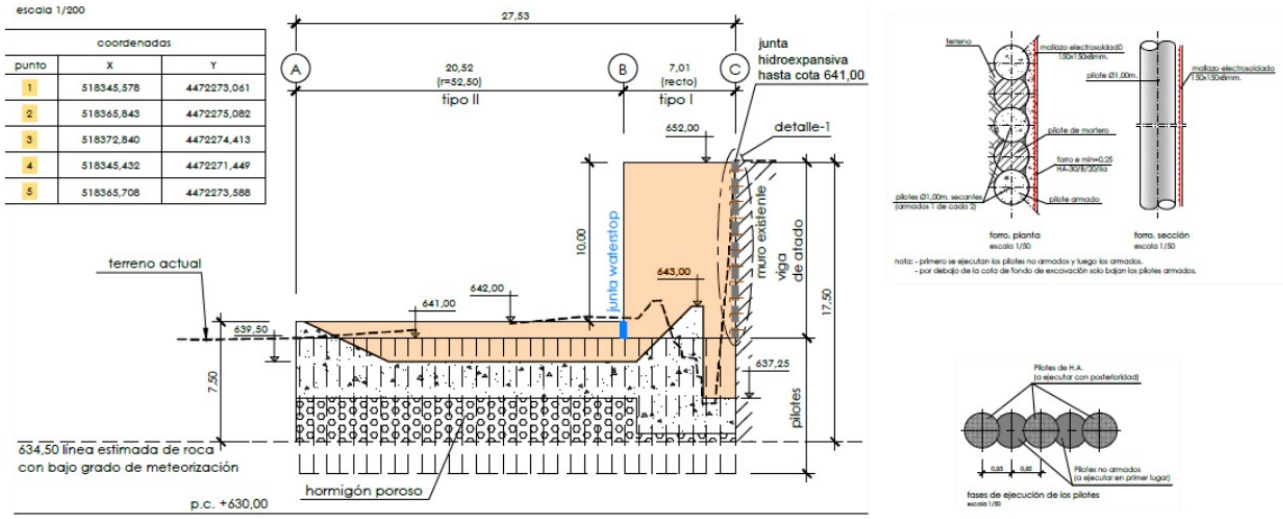

Figura 23 | Prolongación muro margen derecha. Sección longitudinal y planta de pilotes secantes.

Los pilotes propuestos son de 1,00 m de diámetro y 9,50 m de altura, de los cuales, 2,00 m quedan empotrados en roca sana. Esta solución se lleva a cabo en las dos zonas del muro pero en la zona 1 la pantalla de pilotes se recrece con un muro de 11 m de altura y 1,50 m de espesor para alcanzar la cota 652 msnm.

El muro de pilotes lleva un forro de 0,25 m de espesor armado con una mallazoelectrosoldado.

Prolongación del muro de la margen izquierda

En la margen izquierda también es necesario prolongar el muro existente. Para lo cual es necesario eliminar el segundo tramo de muro, actualmente desplazado por los empujes del terreno, que se sustituye con un cajero, girado en planta para adaptarse a la topografía y poder así reducir el volumen de excavación.

El terreno existente está formado por areniscas-arenas que según los trabajos geotécnicos realizados se pueden excavar con un talud 1H:4V. Para disminuir el movimiento de tierras y la posible afección al vial de acceso, se ha proyectado una solución similar a la propuesta para el muro de la margen derecha, basada en una pantalla de pilotes secantes, a excepción de los primeros metros del nuevo muro que coinciden con el muro existente a demoler. En esta zona se propone ejecutar una excavación a cielo abierto con talud 1H:4V hasta alcanzar la roca donde se ejecuta el muro, unido a la losa del cuenco.

La prolongación proyectada se divide en dos zonas, en función de la cota de coronación, una a la cota 647,50 msnm y la otra a la cota 652 msnm. A su vez, el tramo del muro con rasante a la cota 652 se subdivide en dos tramos, según la forma de su ejecución, uno mediante excavación a cielo abierto y otro mediante pantalla de pilotes.

Los pilotes propuestos son de 1,00 m de diámetro y 16 m de altura, de los cuales, 3,00 m quedan empotrados en roca sana. Para ejecutar los pilotes se ha previsto realizar un relleno provisional para formar una pista de trabajo que se retira con posterioridad a la ejecución de la pantalla. Esta solución se lleva a cabo tanto en la zona de coronación a la cota 647,50 msnm como de la zona de coronación a la cota 652 msnm, pero en este último tramo se recrece con un muro de 5,50 m de altura y 1,50 m de espesor.

El muro de pilotes lleva un forro de 0,25 m de espesor armado con una mallazoelectrosoldado.

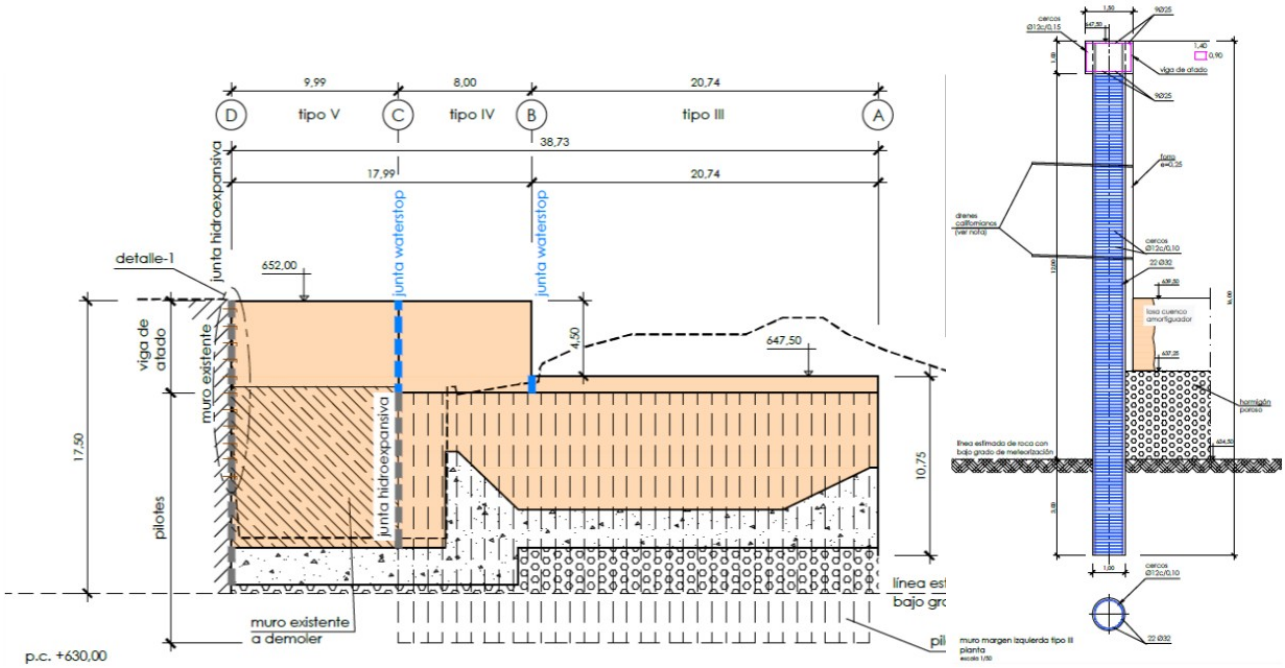

Figura 24 | Prolongación muro margen izquierda. Sección longitudinal y sección transversal tipo.

CONCLUSIONES

Los ensayos en modelo reducido realizados en el Laboratorio de Hidráulica del CEDEX han permitido definir la mejor solución a adoptar sobre los elementos de desagüe de la presa de Buendía para asegurar el correcto funcionamiento de su cuenco amortiguador y, por tanto, la estabilidad de la estructura. Pese a lo inicialmente planteado, los problemas se plantean con la disipación de energía de los caudales evacuados por los desagües de fondo, y no de los caudales evacuados por el aliviadero.

A partir de la definición de la solución propuesta, se redacta el proyecto de construcción necesario para ejecutar sobre la propia presa de Buendía las modificaciones descritas anteriormente sobre el cuenco amortiguador.

El estudio mediante ensayo en modelo reducido ha permitido ajustar con detalle el análisis realizado a la complejidad de la realidad, difícil de representar mediante técnicas de modelización numérica. Es destacable el efecto del chorro del desagüe de fondo deslizando sobre la superficie de agua alojada en el cuenco o los grandes remolinos de eje vertical que se producen en el cuenco, que representan fenómenos inestables difíciles de calcular por métodos numéricos. También ha permitido ofrecer pautas para la operación de los desagües de fondo, que permiten mejorar la disipación de energía con caudales inferiores al máximo.

AGRADECIMIENTOS

El presente artículo recoge el desarrollo y las conclusiones del *Estudio hidráulico mediante modelo físico a escala reducida de los órganos de desagüe de la presa de Buendía (Cuenca)*, llevado a cabo en elCentro de Estudios Hidrográficos del CEDEX enMadrid, a cuyos técnicos, en particular a Mª Dolores Cordero Page y Víctor Elviro García, agradecemos su dedicación e implicación en este trabajo, la transmisión que realizan de su conocimiento y las aportaciones con que han contribuido a la redacción de este artículo.