

COMITÉ NACIONAL ESPAÑOL DE GRANDES PRESAS

ADECUACIÓN DE LOS ALIVIADEROS DE LA PRESA DE ARENÓS (CASTELLÓN)

Francisco Hijós Bitrián¹
M^a Gabriela Mañueco Pfeiffer²
Nuria Segura Notario³

RESUMEN: Con objeto de cumplir la nueva normativa española vigente en materia de seguridad de presas, y de recuperar la capacidad del embalse de Arenós actualmente restringida, Acuamed, en coordinación con la Confederación Hidrográfica del Júcar, ha redactado el proyecto adecuando el aliviadero primitivo existente, creando un nuevo desagüe intermedio y cerrando el aliviadero de collado debido a las inestabilidades de las laderas del barranco.

La modernización del aliviadero primitivo permite garantizar su seguridad estructural, aumentar los caudales de desagüe y dispersar el flujo para evitar erosiones en el cauce. Por otra parte, la pérdida de capacidad de desagüe por el cierre del aliviadero de collado se ve compensada con el resto de actuaciones y de esta forma se garantiza que no se puedan producir erosiones en el barranco donde desagua y bloquear el cauce del río Mijares, aguas abajo de la presa.

La mejora más importante es la creación de un desagüe intermedio con gran capacidad de vertido, equivalente a la del aliviadero actual, que permite evacuar caudales importantes y crear una importante reserva de volumen en el embalse en caso de avenidas.

¹ Ingeniero de Caminos. Director de construcción de Acuamed

² Ingeniero de Caminos. Subdirector de construcción de Acuamed

³ Ingeniero de Caminos. Directora de proyecto de Acuamed

1. INTRODUCCIÓN

La presa de Arenós, se construyó con la finalidad de aumentar en 130 hm³ el volumen regulado de las aportaciones del río Mijares, para su uso en los riegos de la zona de la Plana de Castellón. Por otra parte garantizaba mayores caudales aprovechables en la producción hidroeléctrica de las cinco centrales del río.

La presa es de escollera con núcleo inclinado de arcilla y una altura máxima sobre cimientos de 107 m. La cota de coronación se sitúa a la 603,00 m.s.n.m. y el nivel máximo normal del embalse a la 600,00 m.s.n.m.

Por problemas estabilidad de laderas y de acuerdo con el informe sobre la primera inspección de seguridad de la presa de Arenós, redactado en cumplimiento de lo establecido en el Reglamento Técnico de seguridad de presas y embalses (aprobado por Orden Ministerial del 12 de Marzo de 1996), se pone de manifiesto la necesidad de estudiar, para adaptarse a las nuevas exigencias de seguridad, algunos aspectos que afectan al funcionamiento, o a determinados componentes, del conjunto presa-embalse y condicionan su nivel máximo normal.

Sobre dicha base se planteó la redacción de un Proyecto Constructivo con la finalidad de estudiar y desarrollar de las actuaciones que fueran necesarias para garantizar un nivel de seguridad adecuado y reducir los resguardos a niveles compatibles con la nueva reglamentación, aumentando de esta forma el volumen de explotación, temporalmente restringido.

Con estas premisas, la "Adecuación del Embalse de Arenós" fue una de las actuaciones urgentes incluidas en el anexo IV del Real Decreto Ley 2/2004 primero y en la ley 11/2005 después, encomendándose a ACUAMED su realización con vistas a conseguir unos recursos adicionales de unos 15 hm³.

2. PROBLEMÁTICA

En la actualidad la explotación del embalse de Arenós se enfrenta a los dos problemas indicados anteriormente, que obligan a restringir los niveles de embalse. Por una parte los potenciales deslizamientos de ladera, que en caso de tener lugar podrían afectar al nivel de embalse y por consiguiente a la seguridad de la propia presa y a la localidad de Puebla de Arenoso, situada junto al embalse. Por otra parte se encuentra la capacidad de desagüe de los aliviaderos, en la actualidad inferior a la requerida por el Reglamento Técnico.

2.1. DESLIZAMIENTOS

En el embalse de Arenós hay 30 zonas clasificadas de potencialmente inestables, de las que únicamente tres podrían afectar a los niveles de embalse. Para estimar su influencia se ha realizado un estudio hidráulico que determina la variación del nivel para distintas hipótesis de deslizamiento (volúmenes, tiempos,...), de forma que se pueda determinar los niveles de explotación.

Por otra parte la Confederación Hidrográfica del Júcar está realizando obras de emergencia junto a la localidad de Puebla de Arenoso, con objeto de

tender los taludes del terreno y de esta forma reducir el riesgo de deslizamiento.

2.2. CAPACIDAD DE DESAGÜE

Del estudio hidrológico desarrollado para el proyecto de “Adecuación del embalse de Arenós” se determinaron los siguientes volúmenes de avenida:

Periodo de retorno (años)	2	10	50	100	500	1.000	5.000	10.000
Caudal (m ³ /s)	58,3	429,9	1.066,1	1.421,7	2.450,1	2.966,1	4.341,5	5.021,0
Volumen (hm ³)	3,7	24,8	60,2	79,8	136,1	164,1	238,9	275,8

Para determinar la capacidad de desagüe necesaria se consideró la avenida de proyecto 1.000 años de periodo de retorno, y la avenida extrema 10.000 años de periodo de retorno, ya que se trata una gran presa de materiales sueltos.

Por otra parte la capacidad de desagüe en la actualidad es:

SITUACIÓN ACTUAL (m ³ /s)				
Nivel de embalse	595 (Actual N.M.N.)	600	601,5 (N.A.P.)	603 (Coronación)
Aliviadero Principal	372	1.286	1.628	1.997
Aliviadero Primitivo	40	612	891	1.212
Aliviadero de Collado	0	144	291	468
Desagüe de fondo	237	244	246	247
Toma inferior de riego	46	48	50	52
Toma intermedia de riego	23	26	28	30
SUMA	718	2.360	3.134	4.006

Como se puede deducir de la comparación de las dos tablas, es preciso incrementar la capacidad de desagüe. Para ello el proyecto de “Adecuación del embalse de Arenós” contempla la mejora de elementos existentes (aliviadero primitivo) y la construcción de un nuevo elemento de desagüe que permita alcanzar los caudales requeridos para el Reglamento Técnico (nuevo desagüe intermedio). Además se ha planteado el cierre del vertedero de collado con objeto de garantizar de la seguridad frente a erosiones. Con todo ello se obtienen los volúmenes siguientes de desagüe:

SITUACIÓN PROYECTADA (m³/s)				
Nivel de embalse	595 (Actual N.M.N.)	600	601,5 (N.A.P.)	603 (Coronación)
Aliviadero Principal	372	1.286	1.628	1.997
Aliviadero Primitivo	291	1.073	1.375	1.701
Aliviadero de Collado	0	0	0	0
Desagüe Intermedio	1.402	1.448	1.461	1.475
Desagüe de fondo	237	244	246	247
Toma inferior de riego	46	48	50	52
Toma intermedia de riego	0	0	0	0
SUMA	2.348	4.099	4.760	5.472

Como se comprueba, con las actuaciones proyectadas se consigue desaguar las avenidas, cumpliendo los requerimientos técnicos, al incrementar en más de 1.500 m³/s los caudales.

3. ACTUACIONES

A continuación se describe en profundidad las obras proyectadas en cada uno de los elementos de la presa.

3.1. ALIVIADERO PRIMITIVO

El actual aliviadero primitivo presenta ciertos problemas tanto desde el punto de vista hidráulico, derivados de su geometría, como desde el punto de vista estructural, debidos a las condiciones geotécnicas y topográficas del emplazamiento y de su propio dimensionamiento estructural.

Se encuentra situado en la margen izquierda de la cerrada, quedando a continuación de la presa, siendo un aliviadero superficial. La ladera sobre la que se sitúa ha sufrido numerosos deslizamientos, estudios y actuaciones correctoras. Estos problemas de funcionalidad llevaron a su reemplazo por un aliviadero nuevo (aliviadero principal en túnel); pasando a desempeñar una función secundaria de colaboración con el anterior.

Actualmente consta de embocadura de tres vanos, canal convergente, canal de desagüe y trampolín de lanzamiento. La reforma proyectada para el aliviadero primitivo sigue la misma alineación que la estructura inicial, ya que se trata de una estructura interior a la existente, en la que se diferencian cuatro tramos: zona de aproximación, embocadura, canal convergente y canal de ancho constante.

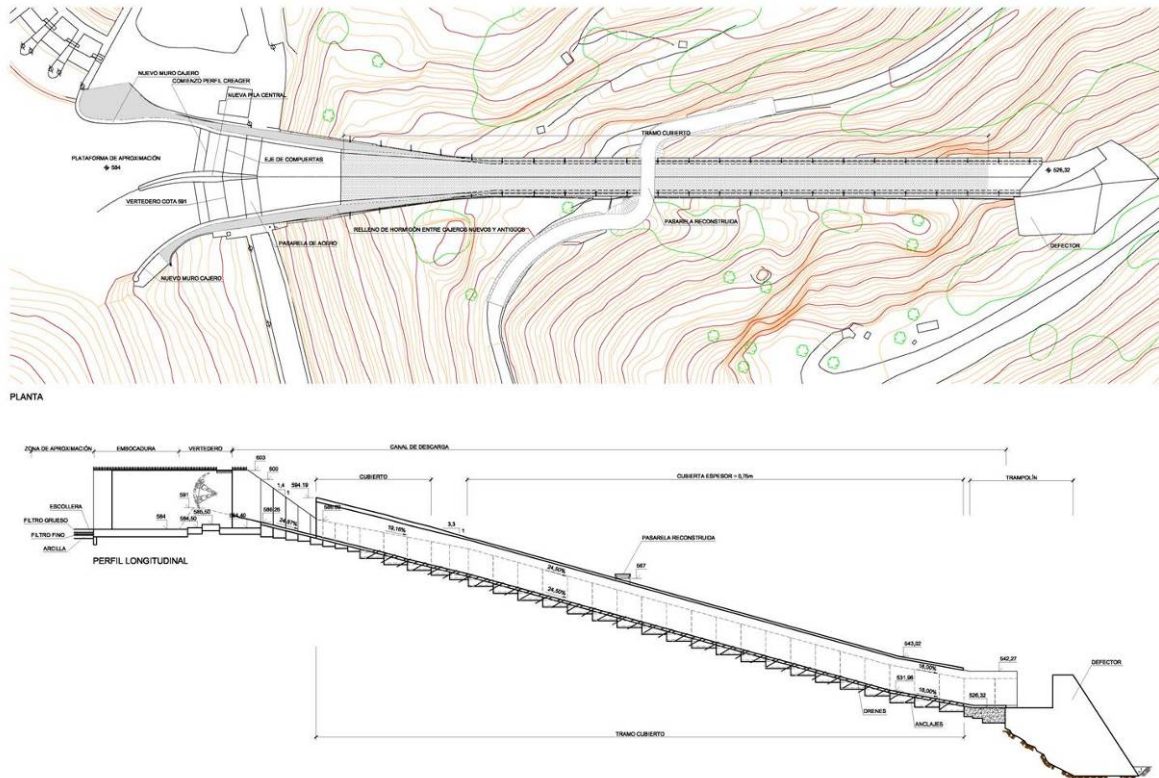


Fig. 2 Aliviadero primitivo proyectado

Las obras en la zona de aproximación tienen como objetivo principal el reparto proporcional y equitativo del flujo entre los dos aliviaderos existentes en el embalse (primitivo y principal), con el fin de garantizar el correcto funcionamiento hidráulico de ambos. Para ello, en la zona anterior a los labios de vertido se construirá una plataforma con cota 584,00 m.s.n.m., de forma que las velocidades de aproximación a ambos órganos de desagüe sean lo más bajas posibles y así conseguir que el flujo de agua se reparta de forma equilibrada.

Además se prolongan los cajeros del aliviadero en dirección sensiblemente paralela a la que se considera como más probable para el flujo de agua en caso de avenida, y se construye una pila divisoria de unos 41 m de longitud.

Las obras de embocadura que comprenden el labio de vertido y el tramo inicial de aceleración, discurren a cielo abierto y dentro de los límites impuestos por los cajeros del aliviadero inicial. Se han diseñado los cajeros con formas que permitan una alimentación del vertedero lo más perpendicular y simétrica posible, por lo que se adaptan a curvas circulares.

El vertedero, situado en la ubicación original, pasa de los tres vanos existentes a solo dos, con labio fijo de 24,0 m de ancho regulado por dos compuertas Taintor de 12,0 m cada una. La cota del labio se rebaja respecto a la situación actual, hasta a la 591,00 m.s.n.m., la misma que el aliviadero principal.

El canal convergente enlaza la embocadura con el tramo de ancho constante. Este tramo tiene una longitud de 85,37 m y pasa de un ancho de 27,0 m a otro de 9,0 m. El trazado de los cajeros se adapta también mediante curvas circulares. Este tramo se localiza en el interior del actual y será

cubierto en los últimos 49 m de su longitud para evitar vertidos o salpicaduras ocasionales sobre el talud de aguas debajo de la presa.

El último tramo consiste en un canal de ancho constante de 9 m y cubierto en toda su longitud, unos 245,10 m. El cubrimiento se realiza mediante un marco de hormigón, interior al canal actual. Al final de este tramo se sitúa un deflector para desviar los vertidos y que no impacten en la ladera opuesta, evitando erosiones en el cauce.

3.2. ALIVIADERO PRINCIPAL

No se han planteado actuaciones sobre el aliviadero principal, únicamente pequeños trabajos de mantenimiento, como la colocación de barandillas y nuevos elementos de seguridad.

Solo cabe destacar que su funcionamiento se verá afectado, tal y como se ha indicado anteriormente, debido a la proximidad con el aliviadero primitivo al reducir en este último la cota del umbral de vertido y la geometría de la embocadura. Para mejorar la distribución del flujo entre ambos aliviaderos se ha proyectado una plataforma conjunta y se va a realizar un modelo a escala reducida para determinar el funcionamiento de ambos elementos de desagüe con la nueva geometría.

3.3. DESAGÜE INTERMEDIO

Las obras del nuevo desagüe intermedio de la presa de Arenós han sido proyectadas para disponer de la capacidad global suficiente para asegurar, con unos coeficientes de seguridad adecuados y con cualquier nivel de embalse al iniciarse la crecida, la laminación de las grandes avenidas.

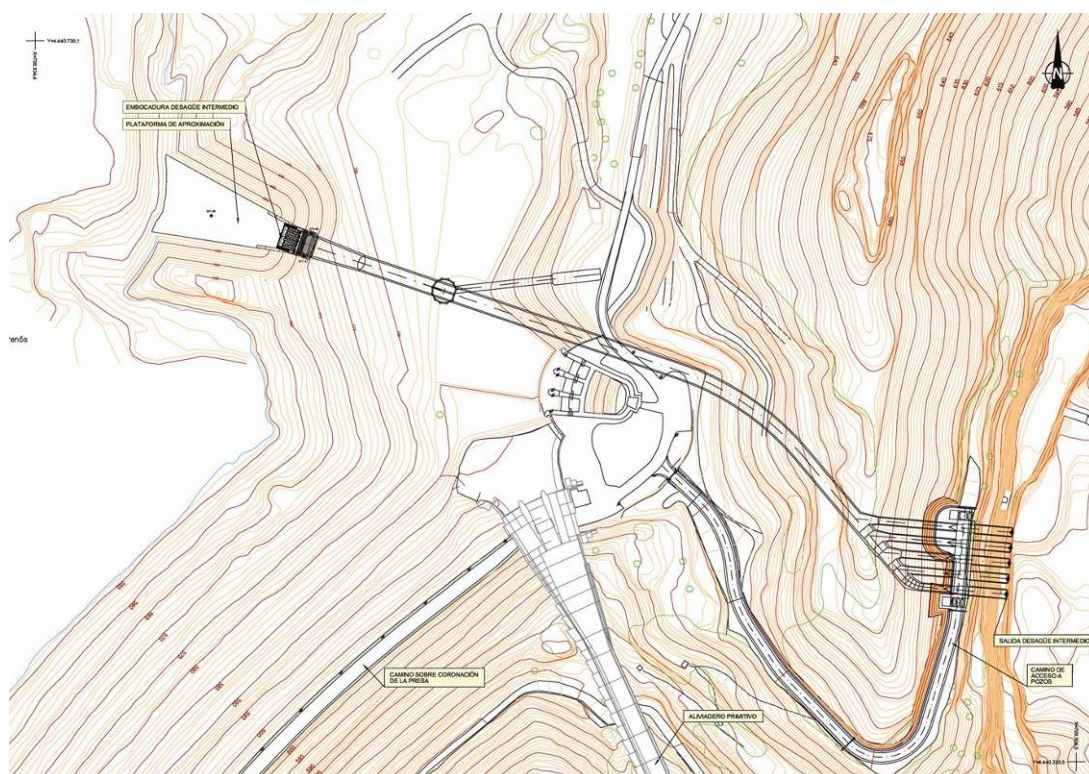


Fig. 3 Desagüe intermedio

El desagüe está constituido por una embocadura de grandes dimensiones, un tramo de conducción en hormigón armado construido parcialmente a cielo abierto, una torre de compuertas, un tramo de galería con blindaje metálico, una cámara de compuertas y una sección final en la que se encuentran los conductos de descarga a la atmósfera. Entre la galería con blindaje metálico, aguas abajo de la torre de compuertas, y la cámara de compuertas se encuentra una importante obra de transición y derivación desde un conducto único circular de 7,50 m de diámetro, a 5 conductos circulares de 3,50 m de diámetro al final de los cuales y con las transiciones correspondientes se encuentran las compuertas de regulación, de tipo radial, que cierran una sección de 3,00 x 4,50 m².

La embocadura tiene unas dimensiones interiores de 12 m de ancho por 18 m de altura y está provista de un sistema de pilas y traviesas de hormigón, formando un enrejado, con objeto de evitar la entrada al desagüe de objetos de grandes dimensiones arrastrados por el agua. En total, dispone de 4 pilas de sección hidrodinámica, de 2,00 m de longitud y 0,75 m de ancho máximo, que separan cinco vanos con siete traviesas o riostras, de forma también hidrodinámica, de 1,40 m de longitud y de 400 mm de ancho máximo. El área de la sección hidráulica de entrada es de 140,85 m², mientras que la sección de salida tiene una superficie de 78,5 m² (área de una sección circular de 10,0 m de diámetro).

La ejecución de la embocadura se realiza en el interior del embalse. La heterogeneidad del relleno antrópico en el que se ubica dificulta la construcción de la estructura por lo que se considera necesaria su retirada. Por otro lado, se trata de un terreno permeable y la cota del nivel del embalse es superior a la cota de la base de la excavación, por lo que será necesario impermeabilizar el recinto.

Aguas abajo de la obra de embocadura se ha proyectado una transición cónica, de 10 m de longitud, en la que el conducto de desagüe pasa de una sección circular de 10,0 m de diámetro a otra de 7,50 m de diámetro. Esta última sección se mantiene en el tramo comprendido entre el final de la transición mencionada y la transición de entrada a la torre de compuertas, con una longitud de 56,076 m. Este tramo incluye un codo, con un ángulo en el centro de 35°, un radio de 20 m y una longitud desarrollada a lo largo del eje de 12,22 m.

La torre de compuertas es una estructura de hormigón en la que se alojan las compuertas para cierre de seguridad y de emergencia del desagüe. La compuerta de seguridad tiene unas dimensiones de 6,0 de ancho y 7,50 m de altura, del tipo vagón, accionada mediante un servo situado en la cámara proyectada a la cota 604 m.s.n.m. La compuerta vagón está protegida con una ataguía metálica de las mismas dimensiones y provista de un mecanismo de by-pass para asegurar que el izado de la compuerta vagón, en condiciones normales, se puede hacer bajo presiones equilibradas. Aguas abajo de las compuertas se ha dispuesto un importante dispositivo de aireación constituido por dos tuberías de 2,0 m de diámetro.

El tramo de conducción asociado a la torre de compuertas es de 30,0 m de los que 7,50 y 12,50 m corresponden a las transiciones de entrada y de salida de la torre mientras que los restantes 10,0 son de sección rectangular de las mismas dimensiones que las compuertas (6,0 x 7,50 m²).

Aguas abajo de la torre de compuertas, la conducción mantiene la sección circular de 7,50 m de diámetro interior, pero la sección lleva además un

revestimiento metálico constituido por una chapa de acero de 20 mm de espesor reforzada por rigidizadores colocados con una separación de 2,75 m. La longitud de este tramo, de sección circular de 7,50 m de diámetro y provisto de blindaje, es de 247,50 m.

Al final del tramo mencionado en el punto anterior se han situado las tuberías de derivación hasta las cinco compuertas de regulación. El objeto de estas derivaciones es garantizar que, aunque se produjese por error la apertura de uno de los conductos, no se producen inundaciones en las localidades situadas aguas abajo.

La obra de distribución de caudales podrá funcionar con velocidades muy elevadas, por lo que las derivaciones y transiciones han sido proyectadas tratando de evitar variaciones bruscas del régimen de velocidades del flujo y, por tanto, tratando de reducir las pérdidas de carga y el riesgo de aparición de vibraciones o de cavitaciones en zonas localizadas.

Los cinco conductos que alimentan las correspondientes compuertas de regulación tienen un diámetro de 3,50 m. Al final de los mismos se han dispuesto sendas transiciones redondocadrado, de 4,50 m de longitud.

Aguas abajo de las transiciones redondo-cuadrado los conductos pasan de la sección de $3,50 \times 3,50 \text{ m}^2$ a una sección de $3,50 \times 3,00 \text{ m}^2$ en un tramo de 3,10 m de longitud. Al final de este tramo están colocadas las compuertas que regulan los caudales de desagüe. Las compuertas son de tipo radial, de 6 m de radio y su umbral está situado a la cota 518,25 m.s.n.m.

En general, las dimensiones de las tuberías de derivación y de sus accesorios han sido estudiadas de manera que se mantengan velocidades similares en todas las derivaciones y a lo largo de cada derivación. También la longitud que recorre el agua antes de su salida a la atmósfera es similar cualquiera que sea el conducto de salida, por lo que no se debe esperar variaciones significativas en el caudal descargado por cada uno de los conductos. Para el cálculo de la curva característica, se han determinado las pérdidas de carga empleando las dimensiones y características del conducto situado más aguas abajo.

La velocidad del agua a la salida de las compuertas de regulación podrá alcanzar velocidades por encima de 37,6 m/s. Para evitar la erosión de las paredes de los conductos de descarga, se ha proyectado la aireación a la salida de las compuertas y se han estudiado las formas de manera que se cree un colchón de aire alrededor del chorro de salida que sirva para amortiguar su impacto sobre los hastiales y sobre la solera de los conductos de descarga.

Las compuertas y sus accionamientos han sido alojados en una cámara de compuertas excavada en calizas jurásicas para las que se presupone una excelente calidad de acuerdo con la experiencia obtenida en la ejecución del conducto de descarga del aliviadero principal de la presa, conducto excavado en túnel y situado en las proximidades de la cámara de compuertas.

La cámara de compuertas tiene unas dimensiones interiores, en planta, de $8,00 \times 43,25 \text{ m}^2$. Adosada a la misma se han situado los pozos de aireación, un pozo de acceso, con montacargas y escaleras, y un pozo para la entrada y salida de equipos y maquinaria.

El acceso a la cámara podrá hacerse a través del pozo de acceso mencionado o a través de una nueva galería que enlazará la cámara de

compuertas con la galería existente que sirve de aireación a las válvulas del desagüe de fondo. La cámara de compuertas estará conectada, mediante el ascensor o las escaleras, a una galería existente, utilizada durante la construcción de las obras del aliviadero principal y situada en un nivel intermedio.

Los caudales desaguados a través de las compuertas serán lanzados directamente a la atmósfera a través de unas galerías de 23,0 m de longitud y de sección abovedada, de 4,50 metros de ancho y 4,50 m de altura. Estas galerías trabajarán en lámina libre y disponen al final de las mismas de un deflector encargado de esparcir y emulsionar la lámina con la finalidad de amortiguar su impacto sobre el cauce. Sus formas definitivas deberán ser ajustadas mediante un ensayo hidráulico a escala reducida.

3.4. DIQUE DE CIERRE DE COLLADO

La posible entrada en funcionamiento del aliviadero del collado ha planteado ciertas dudas sobre los efectos que tendría en el barranco al que desagua, en especial en lo referido a la estabilidad de las laderas de su cauce y al volumen de materiales arrastrados. Debido a lo estrecho y angosto del cauce del barranco, no más de 10 m anchura en muchos puntos y limitado por paredes subverticales de hasta 15 m de altura, y la presencia de bloques sueltos en su vertiente izquierda susceptibles de ser arrastrados por el agua, en caso de desagüe de caudales podrían generarse taponos a lo largo del barranco, con el riesgo que esto entraña.

El aliviadero existente en el Collado consta de embocadura de tres vanos de 8 m con perfil Creager con umbral a la cota 597,50 m.s.n.m., canal convergente (ancho variable entre 15,50 y 25 m y pendiente del 20 %) y trampolín.

Aguas arriba del aliviadero se encuentra un dique, coronado a cota 599,50 m.s.n.m., que restringe su funcionamiento. Este dique fue construido mediante espaldón de escollera y relleno de todo uno. Los taludes de la sección transversal son de 3:2 aguas arriba y 1:1 aguas abajo, su longitud es de 43 m y su altura media aproximada es de 5,50 m.

El cuerpo del dique a construir se ubica aguas arriba del dique existente actualmente sobre el que va apoyado. Su tipología es de materiales sueltos con núcleo vertical de arcilla y pantalla de hormigón plástico (1 m de espesor) para garantizar la impermeabilidad. Dispone de filtros verticales de arena que garantizan el drenaje. El material de los espaldones es grava arenosa. El talud de aguas arriba va recubierto por una escollera de rip rap de 0,8 m de espesor mientras que el talud de aguas abajo lleva una protección de escollera.

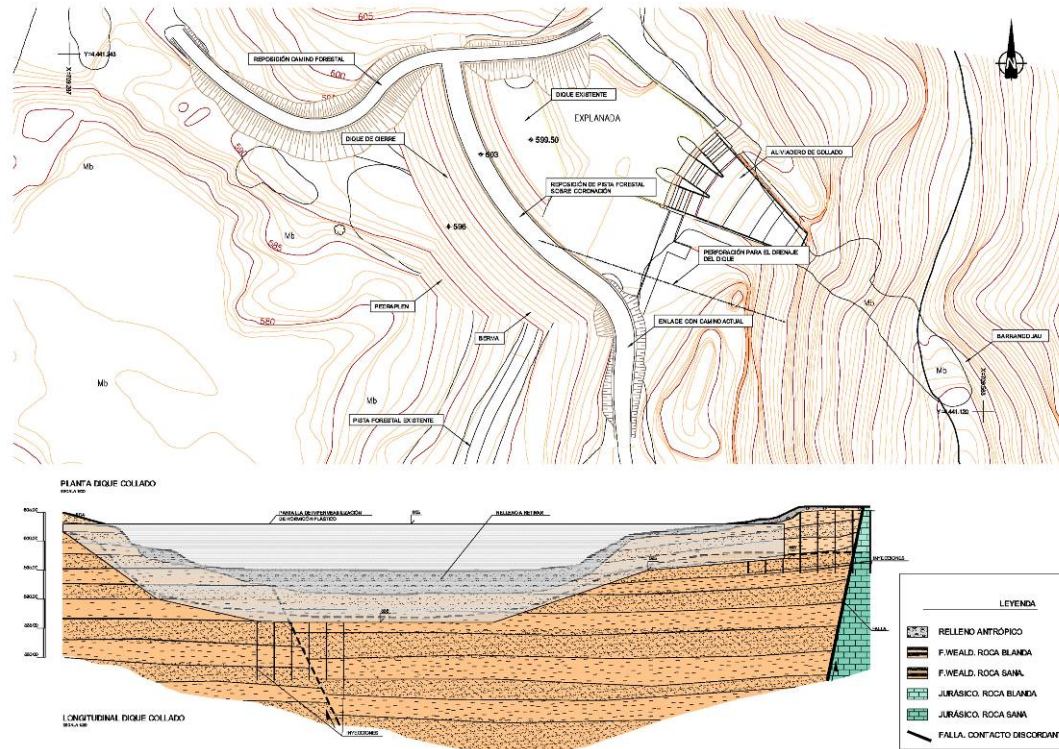


Fig. 4 Planta y perfil longitudinal del dique de cierre de collado

La coronación se sitúa a la cota 603 m.s.n.m., la misma que la presa, con un ancho de la misma es de 10 m por razones constructivas. La longitud de la pantalla de hormigón es de 140 m, situándose la misma a 2 m de distancia del eje del dique hacia el embalse, con profundidad variable en función de la cota de aparición de la Facies Weald donde apoya.

4. CONCLUSIONES

Entre los objetivos de la actuación de “Adecuación del embalse de Arenós” se persigue recuperar volumen de embalse actualmente restringido al conseguir una capacidad de desagüe que cumpla el Reglamento Técnico, garantizando la seguridad aguas abajo, y definir nuevos niveles de explotación.

Para ello, basándose en los estudios geológicos-geotécnicos, estructurales, de avenidas y de laminación, se ha desarrollado la solución óptima que incluye la construcción de un nuevo desagüe, la adecuación del aliviadero primitivo y el cierre del dique de collado.

Con estas actuaciones sobre los aliviaderos de la presa, y trabajos de acondicionamiento y mejora de accesos, instalaciones y auscultación, se consigue el cumplimiento de las exigencias del informe sobre la primera inspección de seguridad de la presa de Arenós, redactado en cumplimiento de lo establecido en el Reglamento Técnico, pero sobre todo establecer unas condiciones de seguridad adecuadas para un embalse cuya funcionalidad es de gran importancia para los distintos usuarios.