

La Presa del Arenoso

The Arenoso Dam

Francisco Romero Alcón. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Ingeniero Director de las Obras (AQUAVIR). *Fr_alcon@aquavir.com*

Alfonso Bobis Cañal. Ingeniero de Minas

Asistente al Ingeniero Director de las Obras (AQUAVIR). *abobis@aquavir.com*

Juan José García Palacios. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Asistencia Técnica (INITEC). *jgpalacios@infraestructuras.initec.es*

David J. Cruz García. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Asistencia Técnica (PYCSA). *dcruz@pycsa.es*

Resumen: El embalse del Arenoso, integrado dentro de las actuaciones del Programa A.G.U.A. del Ministerio de Medio Ambiente, está destinado al abastecimiento del bajo Guadalquivir, enmarcado en la regulación general del río. La presa que lo crea está emplazada en el río del mismo nombre, afluente del Guadalquivir por margen derecha, y situada próxima a la desembocadura en el término municipal de Montoro, provincia de Córdoba, a unos 41 km al noreste de la capital, teniendo un acceso en el PK 364 de la autovía A-4. La obra principal consiste en una presa de materiales sueltos zonificada, con núcleo central de arcilla y espaldones de grauwacas y pizarras. El núcleo lleva adosado un material de filtro aguas abajo y un material de transición aguas arriba. Asimismo dispone de una ataguía de materiales y sección tipo similares, que queda incorporada al cuerpo de presa. La altura de la presa es de 80 m, la longitud de coronación es de 1.480 m, y su construcción ha requerido el empleo de un volumen de materiales superior a los tres millones de metros cúbicos, creando una barrera impermeable al paso del agua capaz de almacenar en torno a 160 Hm³, como embalse útil. Para vigilancia y control de filtraciones, dispone la presa de una galería perimetral, que recorre el cimientado. También se han practicado numerosos tratamientos en el terreno de cimentación, consistentes en pantallas e inyecciones, algunos de los cuales se han ejecutado previamente y durante la ejecución del cuerpo de presa la mayoría. En un edificio adosado al paramento de aguas abajo de la presa, se ha construido una central de bombeo y turbinación, pieza clave para la regulación del Guadalquivir mediante bombeo, aprovechándose también la energía de los caudales desaguados a través de la turbina. La presa dispone también de un aliviadero de labio fijo con el umbral a la cota 209, y 24 m de longitud, con capacidad de evacuación de caudales hasta 500m³/s al NAE. Los desagües profundos se componen de dos conducciones con capacidad de evacuación de 80m³/s a embalse lleno. El proyecto contempla asimismo la mejora de los caminos de la zona. Actualmente la presa se encuentra en ejecución, siendo la Sociedad Estatal Aguas de la Cuenca del Guadalquivir S.A., la empresa promotora y Dirección de Obra, Dragados S.A. la empresa constructora, y las empresas Técnicas Reunidas y Proyecto y Control, en UTE, las encargadas de la Asistencia Técnica y Control y Vigilancia de las obras. Los trabajos comenzaron en abril del año 2004, estando prevista su finalización durante el mes de marzo del año 2007.

Palabras Clave: Presa, Núcleo, Arcilla, Espaldón, Aliviadero, Avenida, Filtro, Ataguía, Coronación

Abstract: Arenoso reservoir, integrated on A.G.U.A. program, which belongs to Environment Ministry, is destined to downstream Guadalquivir's water supply, and framed on the general regulation of the river. The dam which creates the water reservoir is located on the same name river, Guadalquivir's right margin affluent and its mouth is next to the Montoro's municipal district, 41 km northeast of Cordova, and having an access at 364km of the A-4 motorway. The main work consists on an embankment dam, with central clay core, and slates and greywacke shoulders. The core is covered downstream by a filter material and upstream by a transition material. Likewise it has a cofferdam with similar section and materials, that remains leaned against the dam's body. The dimensions of the dam are 80 m high, 1.480 m long at its crest, and in its construction have been used more than 3 million m³ of materials, creating a waterproof barrier able to keep 160 hm³ as a useful reservoir. To watch over seepage and control it, there has been constructed a perimeter gallery in the dam's foundation. The surrounding soil has been treated by means of screens and injections, some of them previously done and most of them meanwhile the dam's body construction. Leaned against the downstream dam's face there has been constructed a building containing a pumping and turbine central. This is a key element to the Guadalquivir's pumping regulation and also for the exploitation of the energy provided by the flow drained into the turbine. The dam has an uncontrolled spillway with its crest at the 209 level, 24 m long, and outlet flow capacity nearly 500 m³/s with the water level placed at PMF level. The deep outlets are two circular pipes with 2.000 mm and 2.500 mm in diameter and 80 m³/s outlet capacity with the full reservoir. The project also includes environmental measures, road access and refurbishment of the area paths and roads. Nowadays the dam is under construction, being the Sociedad Estatal Aguas de la Cuenca del Guadalquivir S.A. the property, Dragados S.A. the builder, and the joint-venture Técnicas Reunidas - Proyecto y Control in charge of the technical assistance and construction supervision of the works. The construction was begun in April 2004 and its conclusion foreseen in March 2007.

Keywords: Dam, Core, Clay, Shoulders, Spillway, Flood, Filter, Cofferdam, Crest

Se admiten comentarios a este artículo, que deberán ser remitidos a la Redacción de la ROP antes del 30 de junio de 2007.

Recibido: enero/2007. Aprobado: enero/2007



Fig. 1.

1. Introducción y objeto

El objeto del proyecto es la construcción de una presa sobre el río Arenoso, afluente del Guadalquivir por su margen derecha, aguas abajo de la ciudad de Montoro, cuya finalidad es la de regular las aportaciones propias y aquellas que se trasvasen desde el río Guadalquivir, para abastecimiento y regadíos en el cauce bajo del río. La dificultad de construir presas en el propio Guadalquivir, debido a las afecciones graves que los correspondientes embalses producirían a núcleos urbanos, zonas cultivadas, vías de comunicación, grandes infraestructuras, etc., hacen necesario acometer la regulación de sus afluentes, entre los cuales los de la margen derecha presentan, en general, buenas condiciones para la creación de embalses; por sus características geomorfológicas y topográficas ofrecen buenas cerradas próximas a su desembocadura en el Guadalquivir. Numerosas presas construidas en la zona donde se ubica este embalse (medio Guadalquivir), aprovechan por medio de estaciones de bombeo y turbinación los recursos hídricos aportados por sus cuencas y parte de los recursos del río Guadalquivir, los cuales se almacenan en invierno hasta el momento de máximo consumo en estiaje. El embalse del Arenoso tiene como objetivo,

además de regular su propia cuenca y laminar las avenidas que se produzcan en la misma, aumentar la regulación de la cuenca del río Guadalquivir, mediante un bombeo desde éste hasta el embalse, y posterior aprovechamiento hidroeléctrico de los caudales, de cara a optimizar energéticamente dicha regulación. La construcción de la presa, así como todos sus elementos hidráulicos de seguridad y regulación (aliviadero, desagües, desvío del río,...), la central y las diferentes actuaciones en la red de comunicaciones de la zona, así como las actuaciones ambientales previstas constituyen la totalidad de la actuación.

2. Características del entorno

2.1. Situación geográfica de las obras

El conjunto de las obras se sitúan en el término municipal de Montoro (Córdoba), estableciéndose el acceso principal a través de la autovía A-4, en su PK 364, que dista unos 36 Km de la capital de la provincia.

2.2. Características hidrológicas de la cuenca

Las características de la cuenca hidrográfica del Arenoso, son las siguientes:

- Perímetro de la cuenca: 110 Km
- Superficie total de la cuenca: 404,00 Km²
- Pluviometría media anual: 740 mm
- Aportación media 60 hm³
- Aportación base realizada para el estudio de regulación: 20 hm³. (Las aportaciones son muy irregulares)
- Longitud del cauce principal: 34 Km
- Avenidas del río Arenoso:

Periodo de retorno (años)	Precipitación (mm)	Caudal (m ³ /s)	Aportación punta (hm ³)
5	66,7	188	10,6
10	78,7	253	14,3
25	95,5	351	19,8
50	108,8	433	24,4
100	122,6	520	29,3
500	156,8	743	41,9
1.000	173,3	853	48,2
10.000	233,5	1.262	71,5

La aportación regulada de la cuenca propia del Arenoso es de 25 hm³/año y el incremento de regulación por bombeo del Guadalquivir, de 20 hm³/año, con lo que la regulación total asciende a 45 hm³/año.

2.3. Características geomorfológicas del vaso y la cerrada

2.3.1. Características geomorfológicas del vaso

El valle medio y bajo del Río Arenoso, y de su Tributario, el Arenosillo, están labrados en una serie de materiales rocosos que se pueden dividir en dos grandes grupos: por una parte, las rocas del Paleozoico, compactas y muy deformadas, dispuestas en capas fuertemente inclinadas en dirección ONO-ESE. Por otra parte, los materiales del Triásico, del Terciario y del Cuaternario, mucho menos consolidados y afectados únicamente por fallas y fracturas de diversa entidad, se disponen subhorizontales coronando los relieves.

Dentro de este grupo, se diferencian dos conjuntos litológicos, pertenecientes a dos áreas estructural y litológicamente diferentes, separados por un gran accidente tectónico (una falla inversa de gran salto), cuyo trazado sigue aproximadamente la dirección NO-SE.

Por una parte, los materiales que afloran al en el Sector Norte son fundamentalmente pizarras y algunas intercalaciones areniscosas, en monótona sucesión. Por otra, los materiales situados al S. del accidente Sector Sur se componen de conglomerados cuarcíticos, cuarcitas y metagrauwacas, rocas vulcano-sedimentarias y rocas volcánicas y plutónicas básicas.

Entre ambos afloran de forma discontinua granitoides que es un cuerpo de rocas plutónicas deformado por la Orogenia Hercínica.

El Mesozoico un conjunto litológico muy característico, compuesto por un paquete basal de conglomerados, y en su parte alta por areniscas, lutitas y algunas pasadas de microconglomerados, todo ello con el color rojizo habitual de esta formación.

Las *areniscas* son areniscas de grano grueso, compactas, y casi siempre de tonos rojizos. Se presentan con espesores métricos a decamétricos.

Las *lutitas* son rocas arcillosas medianamente consolidadas, de color rojo-violáceo. Estas rocas contienen porcentajes variables de arenas y areniscas, existiendo todos los términos litológicos intermedios entre ambas.

Al Terciario pertenece un conjunto heterogéneo de materiales que van desde las calizas arrecifales hasta las gravas y arenas.

Los materiales más abundantes son los *limos arenosos* que engloban porcentajes variables de gravas de granulometría muy variable.

Las fallas y demás fracturas son muy numerosas en la zona estudiada, generalmente verticales.

2.3.2. Características geológicas de la cerrada

En la zona del cauce predomina el paleozoico. En ambas laderas está representado el triásico, además del terciario, en la derecha, y el cuaternario, en la izquierda.

La parte alta de la ladera derecha está ocupada por materiales del Terciario: limos arenosos con gravas y delgadas capas de calizas intercaladas, de alrededor de 20 m de potencia, donde a partir de ahí, se detectan areniscas triásicas. El contacto entre el Terciario y el Triás es discordante y aproximadamente horizontal. Los afloramientos terciarios se interrumpen bruscamente, cortados por una falla, permitiendo que el Terciario mencionado se ponga en contacto lateral con las areniscas del Triásico, una vez recorridos los primeros 400 m de presa. De ahí hacia el río, aflora-

ban materiales triásicos recubiertos por depósitos de ladera de poco espesor. El contacto de dichos materiales con el Paleozoico que aflora en el lecho del río es también por falla. A partir de ese punto, aproximadamente en el pk 0+980 del eje de presa, los materiales aflorantes son diabasas del Paleozoico, roca densa muy compacta, con una excelente resistencia mecánica. Según se avanza hacia la ladera izquierda, afloran grauwacas compactas, algo meteorizadas en superficie. Es una roca gris, compacta, densa, con abundantes fracturillas selladas por calcita, cuarzo y sulfuros de hierro (pirita, pirrotina), idónea para cimentar la parte baja de la presa.

La parte alta de la ladera izquierda, cerca de la cota de coronación y donde se dispone la alimentación del aliviadero, está constituida por gravas, arenas y limos arcillosos del cuaternario. La profundidad de este sustrato en coronación supera los 30 m en algunos puntos. El contacto de este paquete con el Triásico que aparece más abajo en esta ladera es discordante. Del Triásico afloran en esta margen tanto los conglomerados como las areniscas.

2.4. Capacidad del embalse

Teniendo en cuenta los datos expuestos anteriormente, y partiendo del estudio de regulación realizado en el Proyecto base, se fijan los niveles del embalse que se reflejan en la tabla 1.

3. Descripción de las obras de la presa del Arenoso

3.1. Presa y elementos constitutivos

3.1.1. Cuerpo de presa y ataguía

La presa es de materiales sueltos, su sección tipo es de núcleo central y espaldones de escollera de grauwacas y pizarras. El núcleo está protegido por un filtro-dren aguas abajo y una transición aguas arriba. La escollera tiene una protección de rip-rap calizo, en su paramento de aguas arriba. La ataguía, con una sección tipo similar, queda incorporada a la presa. Los taludes exteriores de la presa son 1,70/1, interrumpidos por bermas de 3,00 m, en el paramento de aguas abajo, a cota 167,50 y 190,00, y por una berma amplia de 27,50 m, a nivel de la ataguía, en el paramento de aguas arriba. La coronación de la presa se establece a la cota 215, estando

Niveles característicos embalse	Cota (m.s.n.m)	Volumen (hm ³)	Superficie (ha)
N.M.N.	209,00	166,97	764,12
N.A.P.	212,45	194,98	859,60
N.A.E.	213,68	205,77	895,28

los cimientos de la misma por debajo de la cota 135, en la zona de la galería de visita. La altura de presa es por tanto superior a 80 m, y los anchos de la misma en las zonas bajas alcanzan hasta los 300 m.

El núcleo es doble, con una zona central de mayor impermeabilidad, con taludes 0,20/1, que está amparado lateralmente por sendas zonas del todo-uno arcilloso que, en el préstamo, recubría al material utilizado en la zona central. El resultado es un núcleo amplio, con taludes 0,50/1. La permeabilidad exigida al núcleo en la zona central ha sido 10⁻⁶ cm/s, conseguida perfectamente en obra. La permeabilidad exigida al núcleo adyacente ha sido de 10⁻⁵ cm/s. Para cumplir esos objetivos de permeabilidad, se ha impuesto que en ambos núcleos el porcentaje de finos sobre la fracción arenosa del suelo supere el 50% para el núcleo central y el 30% para el adyacente. Se ha colocado el material en obra en tongadas de 30cm, alcanzando los materiales una densidad de colocación del 100% del P.N., y una humedad en torno al 2% de la humedad óptima. La maquinaria de compactación empleada ha sido un compactador CAT-825.

Para el filtro se ha adoptado el huso granulométrico representado en la fig. 2 y la tabla 2.

Con estos materiales, se garantizan la estabilidad del núcleo, así como la autoestabilidad del propio filtro. La permeabilidad del filtro, se ha comprobado que es inferior a 10⁻³ cm/s, en ensayos in situ y en laboratorio. Este material se ha colocado en tongadas de 60cm, con una densidad de colocación en torno al 95% del P.N., obtenida tras una pasada de compactador liso vibratorio de 19 t.

Los espaldones de grauwacas, se han ejecutado con materiales de una cantera próxima, con un ángulo de rozamiento interno superior a 41°, un tamaño máximo de 300mm aproximadamente, y un porcentaje de finos inferior al 10%. Se ha medido in situ, por un método similar al de Haefeli, la permeabilidad del material, resultando ésta superior a 10⁻² cm/s. La densidad ha superado los 2,25 t/m³. El material se considera bien graduado.

Fig. 2.

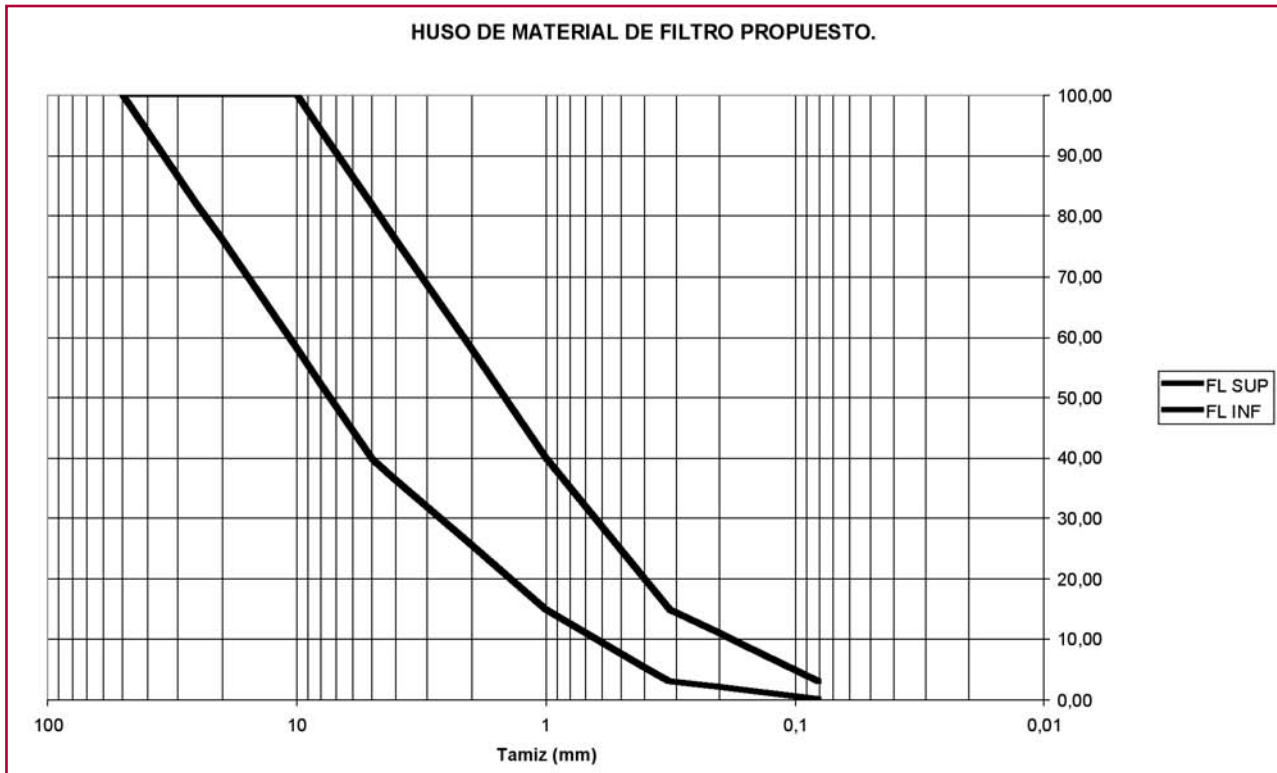


Tabla 2.

Tamiz	% Pasa	Observaciones
50 mm	100%	50 mm: Tamaño máximo recomendado por Sherard para evitar la segregación
10 mm	58%-100%	58%: Por interpolación Límite Grueso del huso 100%: Relación de diámetros de los Límites Fino y Grueso del huso para un mismo % que pasa debe ser ≤ 5 (D100: 10 a 50 mm)
5 mm	40%-82%	40%: Criterio Sherard para no segregación 82%: Por interpolación Límite Fino del huso
1 mm	15%-40%	15%: Criterio de Sherard para un filtro crítico 0-50 mm y arcilla fina: $D_{15} \leq 1$ mm 40%: Relación de diámetros de los Límites Fino y Grueso del huso para un mismo % que pasa debe ser ≤ 5 (D40: 1 a 5 mm)
0,32 mm	3%-15%	3%: Relación de diámetros de los Límites Fino y Grueso del huso para un mismo % que pasa debe ser ≤ 5 (D3: 0,08 a 0,32 mm) 15%: Criterio de Sherard para un filtro crítico 0-50 mm y arcilla fina: $D_{15} \geq 0,30$ mm
0,08 mm	0%-3%	El contenido de finos se suele limitar al 5% en la fracción 0-5 mm, lo que para una curva centrada en el huso, con un 60% de 0-5 mm, equivale a limitarlo al 3%. Deben hacerse ensayos de permeabilidad en función del contenido de finos, para determinar si dicho 3% es acertado o procede el corregirlo

Se ha colocado el material en capas de 80 cm de espesor, y compactado en ocho pasadas con compactador liso vibratorio de 19 t.

El material de transición, adosado al núcleo por aguas arriba, tiene una granulometría entre 0 y 200 mm y un D_{15} inferior a 40 mm, ha sido obtenido de la misma

cantera que los espaldones. Los parámetros resistentes y la densidad de ambos materiales son similares, así como su puesta en obra.

Para protección contra el oleaje, se ha optado por una escollera caliza de la zona, con resistencia a compresión superior a 500 kp/cm² y tamaños máximos de



Fig. 3.

roca próximos a 1,00 m de diámetro, si bien la mayor parte de los materiales tienen tamaños más pequeños, haciendo de recebo de las rocas grandes, de cara a dejar lo más plano posible el paramento de aguas arriba colocada y taluzada con retroexcavadora.

En la zona más baja del espaldón de aguas abajo, se ha excavado hasta niveles de roca descompuesta, y las primeras tongadas de escollera han sido de materiales de gran permeabilidad ($K > 10^{-2}$ cm/s). Adosado al pie de aguas abajo, y hasta la cota 148,50, la presa dispone de un repié de escollera caliza, con ob-



Fig. 4.

Tabla 3.

Núcleo arcilloso	1.120.500 m ³
Espaldones de grauvacas y materiales procedentes de la excavación.	1.710.000 m ³
Filtro y dren	107.000 m ³
Rip-rap	190.000 m ³
Resto (repie de escollera, material en zona baja..)	200.000 m ³

jeto de facilitar la salida de las aguas tanto de infiltración del embalse, las menos, como las que una hipotética crecida del río Guadalquivir pudiera infiltrar en el espaldón de aguas abajo.

Entre la presa y la ataguía, en la zona del espaldón, se han empleado materiales provenientes tanto del cemento paleozoico como triásico, aptos para su empleo como espaldón.

La presa tiene 1.481 m de longitud y 80 m de altura máxima sobre cimientos. Los volúmenes más importantes de la obra son los reflejados en la tabla 3.

Los materiales arcillosos para el núcleo se han obtenido de préstamos localizados en el vaso del embalse, dentro del cual, se ha explotado también la cantera de grauvacas. El filtro, el dren y los áridos para los hormigones se han obtenido procesando los aluviales del río, en una planta de machaqueo y clasificación.

3.1.2. Galería perimetral

Recorriendo el cimiento de la presa, con accesos desde ambas márgenes a la cota 167,50 recorre el cimiento del núcleo central una galería perimetral, por la cual también se puede acceder a la cámara de válvulas. La razón de la misma es la inspección del cuerpo de presa y su apoyo en el terreno. La sección recta de la galería es de 1,80 m de ancho y 2,30 m de

alto, rematado con clave semicircular. La galería, ha sido hormigonada en una trinchera excavada a lo largo del eje de la presa. Aguas abajo dispone de una canaleta para recogida y aforo de filtraciones provenientes del embalse y las laderas.

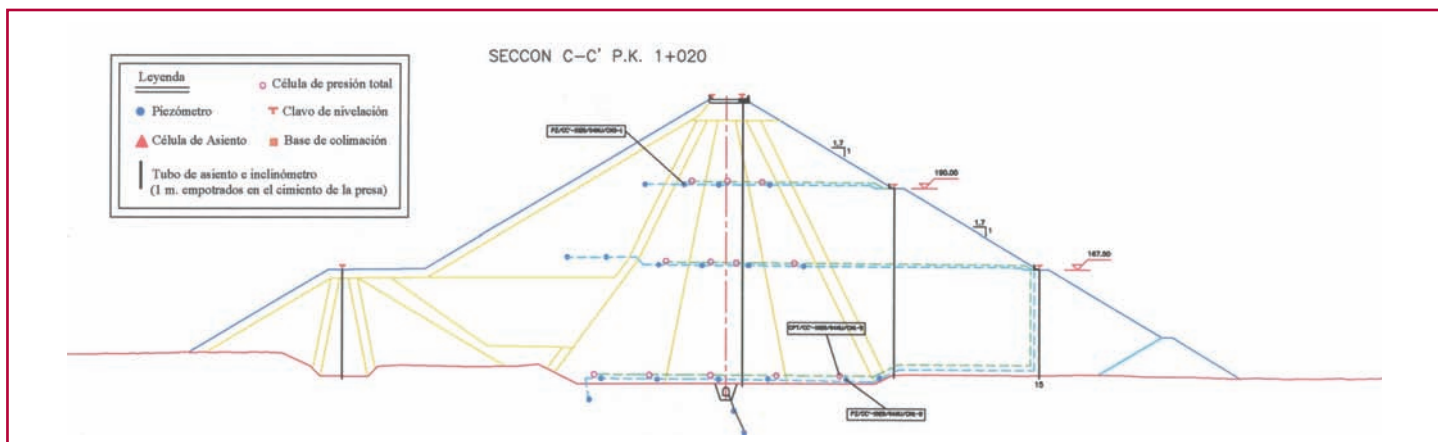
3.1.3. Desvío y obra de toma de agua

Previamente a la presa, se ha construido el desvío del río, consistente en una galería de hormigón armado, con la embocadura a la cota 142,40 y salida a la 138,45, y sección de 8,00 x 6,00 m rematado los dos últimos metros con clave semicircular simétrica de 5,00m de radio. La sección interior tiene 43,12 m² y la capacidad de descarga con el agua al nivel de coronación de la ataguía es de 680 m³/s. Dicha galería tiene cuatro tramos diferenciados, diferenciándose entre espesores variables, siendo los espesores de 2,50m en las secciones bajo el núcleo de la presa, 2m en las secciones bajo los espaldones y 0,50m en las secciones finales en la central. La pendiente de la galería es homogénea, del 1%.

3.1.4. Auscultación

Se ha instalado un sistema de auscultación, consistente en la medida de presiones intersticiales mediante piezómetros de cuerda vibrante, tanto en el cuerpo de presa, como en la roca del cimiento en la galería perimetral; medida de presiones totales por medio de células de presión total de cuerda vibrante, en el cuerpo de presa; medida de movimientos tanto por inclinometría, como por anillos magnéticos de asiento en la coronación y las bermas. Hay previsto asimismo, instalar hitos topográficos en coronación en las ber-

Fig. 5.



mas de aguas abajo. En la galería de visita se controlan movimientos por medio de ternas de bases. Se controlan también filtraciones por medio de aforadores en la galería perimetral. Está prevista la instalación de armarios de control para los diferentes dispositivos de cuerda vibrante.

3.1.5. Tratamientos del terreno

Todo el contacto presa-cimiento está sometido a tratamientos diversos, cuyas características se exponen a continuación:

- En el estribo izquierdo, en la zona de apoyo de presa en materiales cuaternarios, junto al aliviadero, se ha dispuesto bajo el núcleo una pantalla de impermeabilización de bentonita-cemento de 80 cm de espesor empotrada en el triásico. El material del núcleo que envuelve la pantalla es de gran plasticidad. Las profundidades de pantalla, en los bataches más próximos al aliviadero, han superado los 30 m.

Los tratamientos del terreno en la galería de visita, han consistido fundamentalmente en

- Taladros inclinados con separación de 5 m, y longitud variable, de tal forma que se alcanza en todos los casos una profundidad cercana al 60% de la carga hidráulica en cada punto de la pantalla. Los mayores taladros han alcanzado longitudes próximas a los 40m.
- Taladros inclinados, intermedios a los anteriores, y separados entre sí 5 m, de longitud variable, a resultas de los resultados de admisiones en los taladros anteriores
- Inyecciones de contacto, en las zonas menos competentes.

Las zona de apoyo en areniscas, así como las zonas de mioceno donde se han detectado gravas, han sido tratadas con varias fases de inyección de taladros desde el eje de presa, de longitudes mínimas de 20m, prosiguiendo sucesivas fases hasta que las admisiones en el terreno fueran inferiores a 50 kg/ml. Las presiones de inyección para estos taladros han variado entre 2,00 kg/cm² y 4,00 kg/cm², dependiendo de la altura de relleno de presa hasta coronación en cada zona.

En la zona de limos, con objeto de reducir el gradiente hidráulico de posibles filtraciones, se ha dispuesto una pantalla de bentonita-cemento de 4,00 m de profundidad y 0,50 m de espesor.

3.2. Aliviadero

Para el control de avenidas la presa dispone de un aliviadero por margen izquierda en contacto con la presa, con el umbral del vertedero a la cota 209 (NMN), y capacidad de evacuación de 468 m³/s con la avenida extrema y 285 m³/s con la avenida de proyecto. Cuenta con las siguientes zonas diferenciadas: embocadura adaptada a un perfil de vertido tipo Bradley, de 23,876 m de longitud; una rápida o canal de descarga de sección rectangular de 12,00 m de anchura y de 241,00 m de longitud, que termina en un lanzador en salto de esquí, con tres dientes rompedores de la lámina. La amortiguación de la energía se realiza en un cuenco de impacto con el fondo a la cota 135,00 y dimensiones en planta de 17,00 m x 50,00 m.

Bajo la solera del canal de descarga se ha dispuesto una capa de hormigón poroso de alta permeabilidad para disipación eficaz de las posibles subpresiones que soliciten a la solera en su contacto con el terreno. El cimiento del aliviadero en la zona de vertido, conecta con la pantalla de bentonita cemento del estribo izquierdo, zona por donde se prolonga la presa en este estribo.

El aliviadero ha sido modelizado y ensayado satisfactoriamente en el laboratorio de Hidráulica de la Confederación Hidrográfica de Guadalquivir, en Granada.

Los niveles y caudales vertidos por el aliviadero, se adjuntan en la tabla 4.

El aliviadero se localiza en el estribo izquierdo de la presa, en contacto sus muros laterales con la misma. Por ello para dar continuidad al camino de coronación de la presa, ha sido necesario ejecutar una es-

Tabla 4.

	Cota (msnm)	Caudal (m ³ /s)	Avenida (periodo de retorno)
NMN	209	0	
NAP	212,45	285	1000 años
NAE	213,68	468	10.000 años

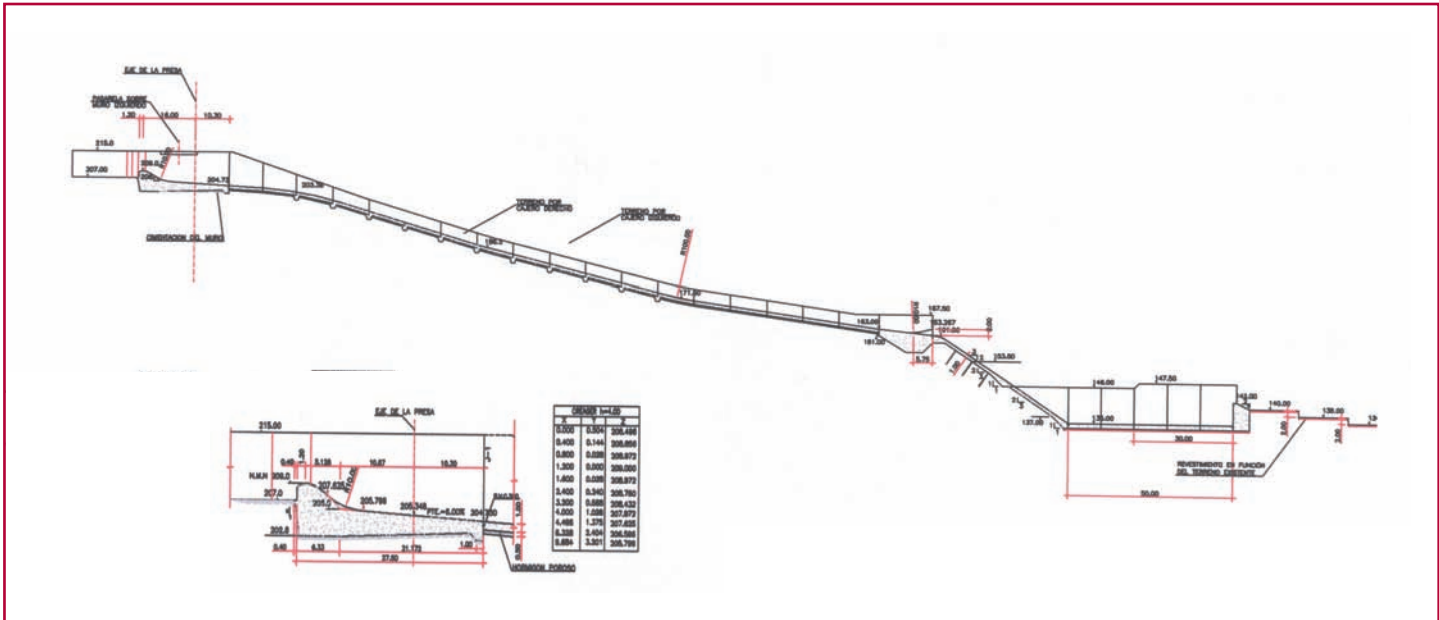


Fig. 6.

estructura de paso sobre el mismo, consistente en vigas de 24m de longitud, con sus estribos y apoyos en los muros del aliviadero y losa del tablero ejecutada con placas de encofrados perdidos.

3.3. Desagües de fondo

Para alojar los desagües y tomas del embalse se ha aprovechado la galería de desvío del río, que una vez efectuado el tapón de aguas arriba se ha acondicionado para su transformación en los desagües de fondo y tomas de agua.

Junto a la embocadura de la galería va dispuesta la estructura de toma, común a los desagües de fondo, bombeo y turbinación, consistente en una torre de sección octogonal, construida en hormigón, de 2,10 m de lado interior, sobre la cual se ha montado la estructura metálica de rejillas de 5 m de altura. La embocadura de

la toma está a la cota 160 m.s.n.m., dejando por debajo un embalse muerto de 7,11 Hm³ de capacidad.

Los desagües de fondo están configurados por dos tuberías metálicas circulares. La izquierda, en sentido de la circulación del flujo, es de 2.000 mm de diámetro y 160 m de longitud, y la derecha es de 2.500 mm y 160 m de longitud, que se destina también a alimentar la central de bombeo y turbinación.

Los desagües se gobiernan mediante dos compuertas tipo Bureau por conducto, alojadas en la cámara ubicada bajo el núcleo de la presa.

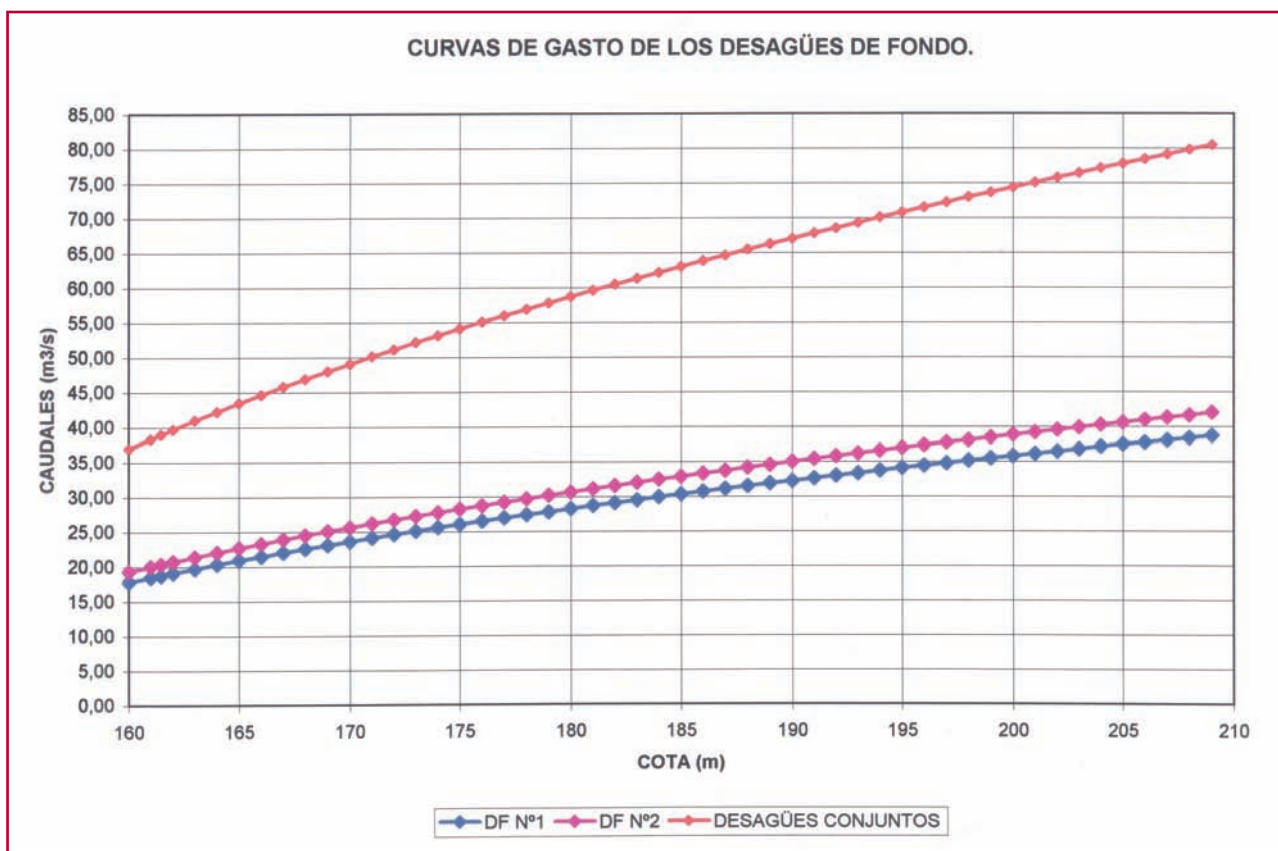
A partir de la bifurcación de la tubería derecha hacia la central, el diámetro de los desagües de fondo se reduce a 1.500 mm, en una longitud aproximada de 50 m, y su descarga se produce a través de sendas válvulas Howell Bunger del mismo diámetro.

La capacidad hidráulica de los desagües de fondo se recoge en la tabla 5 y fig. 7.

Tabla 5.

Cota embalse (m)	Caudal (m ³ /s)				
	Desagüe individual	Desagüe Individual	Desagües Conjuntos		
	Caudal DF n° 1 Solo	Caudal DF n° 2 Solo	DF n° 1	DF n° 2	Suma
170	23,66	25,66	23,56	25,56	49,12
180	28,31	30,71	28,19	30,59	58,78
200	35,85	38,88	35,70	38,74	74,43
205	37,50	40,67	37,34	40,52	77,86
209	38,77	42,05	38,60	41,89	80,49

Fig. 7.



Teniendo en cuenta, la capacidad de los desagües de fondo, el tiempo de vaciado del embalse es de 28 días, desagüando a máxima capacidad por ambos conductos, 52 días desagüando por el DF n°2 (ϕ 2500), y 56 días, desagüando por el DF n°1 (ϕ 2000).

3.4. Central de bombeo y turbinado

Para el llenado del embalse del Arenoso desde el Guadalquivir y aprovechamiento hidroeléctrico de los desembalses, se ha construido una central de bombeo y turbinado, cuyas principales características se exponen a continuación.

Para el bombeo se disponen 4 (3+1 de reserva) grupos motobomba de 2.400 kW de potencia cada uno, para un caudal de funcionamiento conjunto de 10 m³/s, siendo el caudal nominal de funcionamiento de una bomba de 12.000 m³/h (3,33 m³/s). Para la turbinación, se ha dispuesto de una turbina Francis de eje vertical de 20 m³/s de caudal nominal, la cual acciona un generador de 12.520 KVA, cuyas dimensiones adjuntamos a continuación.

Hidráulicamente, el esquema parte de la tubería derecha (2.500 mm) del desagüe de fondo, que se bifurca en dos (desagüe de fondo, de 1.500 mm, y central, de 2.500 mm), separándose a su vez el ramal de la central en dos (turbinado y bombeo).

En el ramal del turbinado se produce una reducción a 2.100 mm, se dispone una válvula de mariposa de 2.100 mm, un caracol de 4,85 m, un codo de descarga de 1.800 mm de diámetro a la cota 139,91 en la entrada, y de sección rectangular de 2.175 mm x 6.400 mm a la salida, estando el punto más bajo del caracol la cota 136,69 msnm.

La distribución para el bombeo parte también de la conducción de 2.500 con una válvula de mariposa de 2.500 mm a la entrada de los conductos de bombeo, tiene una reducción progresiva de la tubería de 2.500 mm a 2.000 mm y posteriormente de 2.000 a 1.000, con entronques de los conductos de bombeo. Tales conductos son de 1.000 mm de diámetro, disponen de una válvula de mariposa, una válvula de retención y finalmente las bombas.

Las dimensiones del conjunto del edificio son de 36 m de ancho y 50 m de largo, con una altura de

18,50 m en la zona de bombas, 14 m en la zona de la turbina y 11 m en la zona de conducciones. Posteriormente a la salida de las bombas y la turbina, se disponen sendas cántaras de aspiración compuestas por un azud y unas compuertas de tablero de 5,10 m de ancho por 2,90 m de alto en las bombas, 5,70 m por 2,175 m en la turbina.

Las principales características de los grupos motobomba son las reflejadas en la tabla 6 y las características del aprovechamiento hidroeléctrico en la tabla 7.

3.5. Encauzamiento del río Arenoso

El tramo del río Arenoso desde la presa hasta el Guadalquivir (alrededor de un kilómetro) se ha acondicionado de cara a la importante función que ha de tener: transportar los caudales del Guadalquivir al Arenoso y viceversa. Se han protegido con escollera los cajeros del encauzamiento para evitar las erosiones por vertidos desde el embalse.

3.6. Mejora de los accesos y la red de carreteras del entorno

La actuación se completa con la ejecución de una red de carreteras interiores en la zona, con nuevas vías de comunicación entre Adamuz y Montoro, así como un nuevo puente que une los dos márgenes del río Guadalquivir, poniendo en comunicación directa Algallarín con la carretera N-IV.

El citado puente tiene 178,20 m de longitud total, está dispuesto en cinco vanos resueltos con vigas prefabricadas y tablero de hormigón armado. La calzada tiene dos carriles de 3,50 m, arcenes de y aceras de 1,0 m. Se disponen barandillas de protección en los bordes y una bionda entre los arce- nes y las aceras. Debido a las características del terreno, fue necesario recurrir a una cimentación profunda mediante pilotes en pilas y en estribo.

La carretera de acceso a la presa desde la N-IV, tiene una longitud total de 1900m, anchura de 9,00, constituido por dos carriles de 3,50m y dos arcenes de 1,00m. Su firme consta de explanada, suelo-cemento y mezclas bituminosas.

Para el resto de carreteras y caminos de la zona, la actuación ha consistido en caminos de 9,00m de sección, 7,00m de carril y 2,00m de arce-

Tabla 6. Principales características de los grupos motobomba.

Caudal nominal del bombeo	10 m ³ /s
Tipo de equipos y alojamiento	Verticales con motor superior, alojados en cántara con toma en río Arenoso
Número de equipos	4
Caudal unitario	2,5 m ³ /s
Potencia de los motores	2.400 kW
Velocidad nominal de giro	740 r.p.m. y 595 r.p.m (motores de dos velocidades)
Tensión de alimentación	6.600 V
Cota mínima de aspiración	135,80 m.s.n.m.
Cota máxima de aspiración	142,50 m.s.n.m.
Cota mínima de llegada al embalse	160,00 m.s.n.m.
Cota máxima de llegada al embalse	203,00 m.s.n.m.
Cota máxima residual de llegada	209,00 m.s.n.m.
Impulsión	1 Conducto de acero de 2,50 m de diámetro

Tabla 7. Características del aprovechamiento hidroeléctrico.

Número de conductos:	1 de 2.500 mm de diámetro común con el de los desagües de fondo, hasta la llega a la central donde se bifurca uno de 2.100 mm de diámetro hasta la turbina.
Tipo de conducto:	Uno de 2.100 mm de diámetro hasta la turbina
Cierre:	Válvula mariposa DN 2.100
Tipo de turbina	Francis de eje vertical.
Caudal nominal	20 m ³ /s
Salto nominal:	56,00 m
Potencia:	10.360 kW para el salto nominal
Potencia generador:	12.520 KVA de potencia nominal

nes, con firme consistente en zahorra artificial y mezclas bituminosas.

3.7. Actuaciones ambientales

El proyecto de construcción de la Presa del Arenoso fue declarado ambientalmente viable mediante Resolución de 14 de abril de 1997 de la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental del Ministerio de Medio Ambiente.

La mencionada Declaración de Impacto Ambiental (DIA) recogía dos condicionados fundamentales:

- Construcción de los dispositivos necesarios para que los peces puedan salvar la presa



Fig. 8.

- Habilitar estructuras adecuadas para que las nutrias puedan cruzar las nuevas carreteras proyectadas.

Otras actuaciones recogidas en el proyecto de construcción de la presa y llevadas a cabo hasta la fecha son las que siguen:

- Establecimiento y seguimiento de un Plan de Vigilancia Ambiental.
- Deforestación del vaso.
- Recuperación de los árboles singulares del vaso mediante la técnica de escayolado.
- Estudio y adecuación de los yacimientos arqueológicos.
- Trazados alternativos de las vías pecuarias.

Fig. 9.



- Restauración de una cantera que fuera del área de inundación.

3.8. Servicios afectados

Dentro del vaso del embalse se encuentran infraestructuras de transporte tanto de vehículos como de energía cuya restitución es necesario acometer previo al llenado total del embalse. Entre éstas destacan:

Vías de comunicación:

Autovía A-4, conexión en este punto de la carretera de acceso a presa.

Carreteras -3000 (antigua CO-414) y CO-510. Trazados alternativos para su restitución.

Líneas eléctricas:

Líneas aéreas de 25 kV "La Azucena" y "La Torrecilla", ambas quedan inundadas por el embalse por lo que se han de restituir por nuevos trazados.

4. Instalaciones de obra

Para la obtención de áridos de hormigón, así como para la ejecución de materiales para filtro en el cuerpo de presa, ha sido necesario implantar unas instalaciones de procesamiento de áridos, consistentes en dos tolvas de recepción de 45 m³ cada una, con parrillones que impiden la entrada a la planta de áridos con tamaño superior a 200 mm, dos trómeles deslamadores, una cinta de recogida de trómeles con áridos de tamaño superior a 5 mm, una cinta de recogida de materiales de los trómeles, una criba, un molino para rechazo de la criba, y un ciclón y una noria para producción de arena, además de varias cintas transportadoras, con una capacidad de producción de 150 t de árido/hora (fig. 8).

5. Sala de emergencia

En su día se procedió a la implantación del Plan de Emergencia de la ataguía, a cuyo fin se habilitó y adecuó un edificio como sala de emergencia, que actúa como centro de control ante emergencias y eventual aviso a las autoridades. También se instalaron las preceptivas sirenas necesarias para aviso a la población (fig. 9). ♦