

LA PRESA DE MATERIALES SUELTOS DE ARENOS PROYECTO Y CONSTRUCCION

Dr. Ing. C. C. P. V. DE GRACIA(*) VOCAL

1. HISTORIA Y CARACTERISTICAS FUNDAMENTALES

La presa de Arenós (originalmente denominada presa de Montanejos) está ubicada en el río Mijares, sobre la cerrada de El Romeral, en el término municipal de Campos de Arenoso, provincia de Castellón, siendo su finalidad primordial la regulación y aprovechamiento de las aportaciones del río para poner en regadío 27.000 Ha de terrenos cultivables de la Plana de Castellón.

(*) Agradecemos a nuestro compañero Sr. C. Cañedo-Argüelles la colaboración prestada para la redacción del presente artículo.

La idea de disponer de este embalse como elemento fundamental del sistema de regulación del río Mijares se remonta al año 1946, en el cual la Dirección General de Obras Hidráulicas encargó a la Confederación Hidrográfica del Júcar su correspondiente estudio de viabilidad.

En el año 1966 la Dirección General de Obras Hidráulicas redactó un proyecto del embalse de Montanejos que preveía la ejecución de una presa bóveda de 175 m de altura, en una angosta cerrada formada por calizas jurásicas y situada unos 2 Km agua abajo de la actual.

Consideraciones posteriores sobre la posible permeabilidad del vaso en el tramo jurásico indujeron a la Di-

11

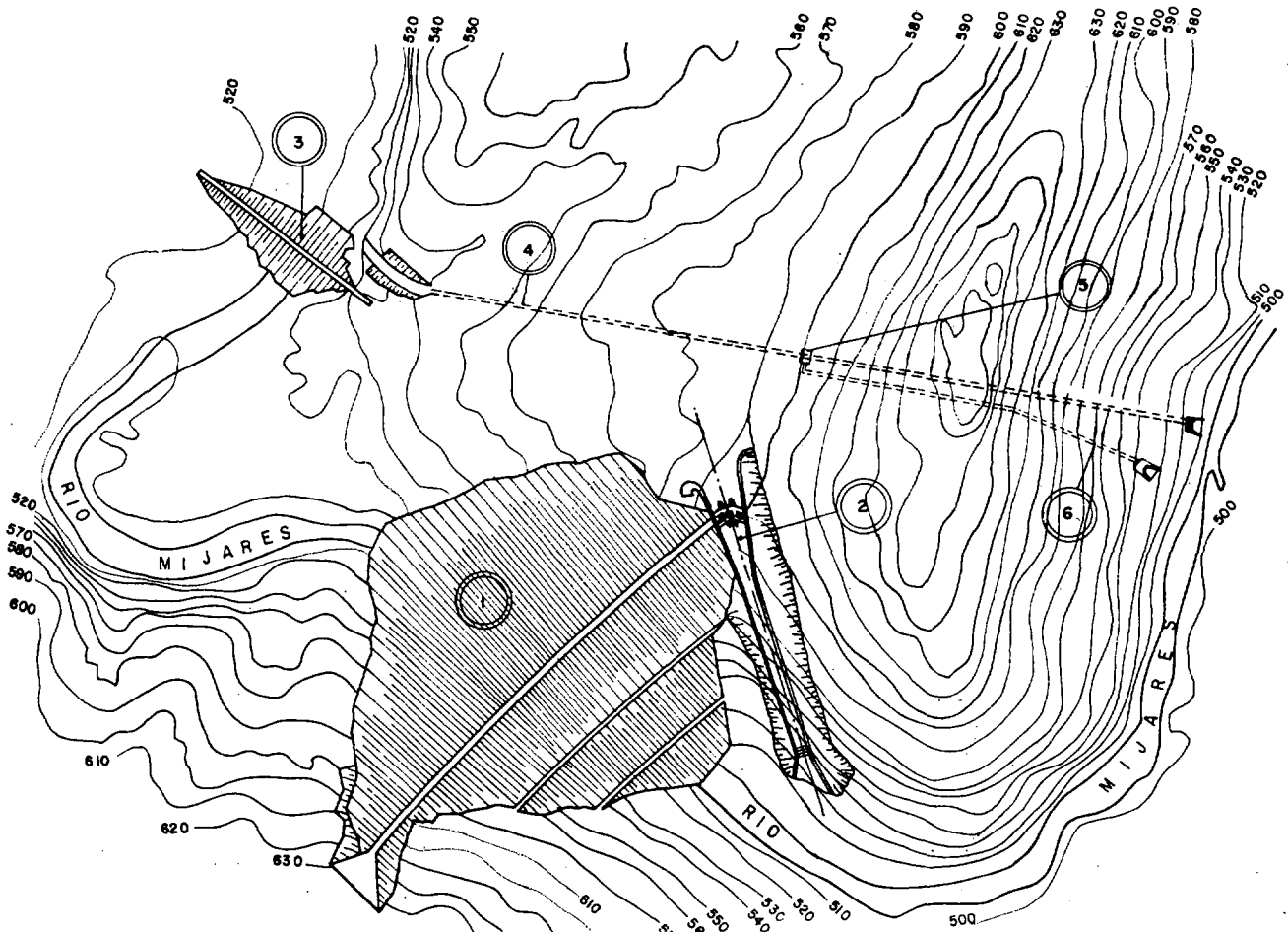


Fig. 1. — Planta general. 1, presa; 2, aliviadero; 3, ataguía; 4, túnel de desvío y desagües de fondo; 5, cámara de llaves; 6, galería acceso cámara de llaves.



Fig. 2. — Vista general desde agua arriba.

rección General de Obras Hidráulicas a prescindir de este emplazamiento y elegir la ubicación actual, coincidente con el límite de agua arriba de la zona de calizas jurásicas, encargando al Laboratorio de Transporte y Mecánica del Suelo la realización de un "Estudio preliminar de presa de materiales sueltos".

En base a esta documentación, la Dirección General de Obras Hidráulicas convocó en el año 1969 un concurso de proyecto y ejecución de la presa, cuya adjudicación recayó en una de las soluciones presentadas por Construcciones Civiles, S. A.

El proyecto de construcción ha sido realizado bajo la supervisión del ingeniero encargado D. Luis Bermejo Zeropa, designado por la Confederación Hidrográfica del Júcar, con el asesoramiento del ingeniero de la División de Vigilancia de Presas, D. Rafael Nieto Cufí. El desarrollo

del mismo ha sido llevado a cabo por la empresa consultora PROINTEC, S. A.

Las obras se iniciaron en abril de 1970, estando prevista su terminación para el próximo año 1974.

En la actualidad los trabajos se encuentran muy avanzados, hallándose la presa construida hasta la cota 560.

Las características fundamentales del embalse y de la presa son las reflejadas en el cuadro adjunto.

Cuenca y embalse:

Superficie cuenca	1.430 Km ²
Aportación media anual	250 Hm ³
Máxima avenida teórica (quinientos años)	1.700 m ³ /seg
Volumen total de embalse	130 Hm ³
Cota máxima embalse normal	600 m

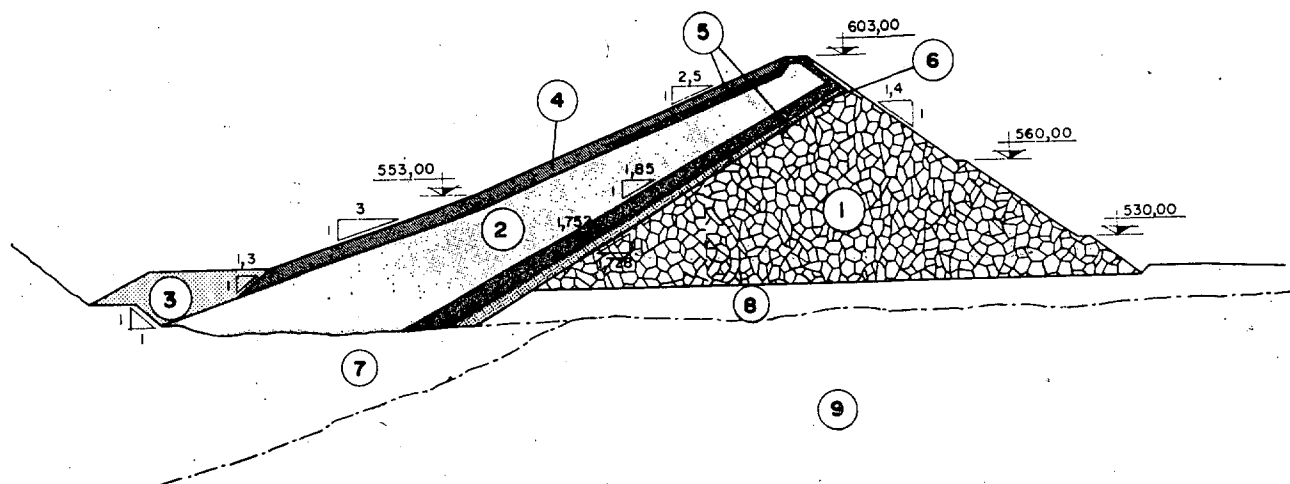


Fig. 3. — Sección tipo de presa: 1, espaldón de escollera; 2, núcleo impermeable de arcilla; 3, material de derrubios procedente de excavación; 4, escollera de protección; 5, filtro fino; 6, filtro grueso; 7, terreno natural (wealdense); 8, terreno natural (coluviones); 9, terreno natural (jurásico).

Presa:

Tipo: escollera con núcleo de arcilla inclinado.
 Altura máxima: 105 m (130 m con recrecimiento).
 Longitud de coronación 428 m
 Talud agua arriba 2,5/1 y 3/1
 Talud agua abajo 1,4/1
 Cota coronación 603 m
 Volumen de escollera 1.960.000 m³
 Volumen de filtros 370.000 m³
 Volumen de arcilla 1.100.000 m³

- Aliviadero lateral en superficie, de tres vanos y compuertas Taintor de 9 × 7,25 m².
 Capacidad: 1.350 m³/seg.
- Desagüe de fondo doble, en túnel, con compuertas tipo "Bureau" de 1,50 × 2 m² y Taintor de 1,50 × 2 m².
 Capacidad: 250 m³/seg.
 Toma para riego de ϕ 1,20 m.

2. ESTUDIOS PREVIOS

Hidrología.

La determinación de la aportación media anual, así como su distribución mensual, han sido efectuadas a partir de los datos recogidos en la estación de aforos enclavada sobre el río Mijares, en Montanejos, deduciéndose los siguientes valores:

Aportación media anual	249,8 Hm ³
Caudal medio del río	7,921 m ³ /seg

La estimación de los caudales de avenidas se ha realizado mediante aplicación de métodos empíricos, estadísticos —ajuste de las leyes de Gumbel y Hazen a la serie

de aforos de Montanejos— e hidrométricos, siguiendo el procedimiento del hidrograma unitario. Los resultados obtenidos son:

Avenida normal de cincuenta años.	1.200 m ³ /seg
Avenida máxima de quinientos años.	1.700 m ³ /seg
Límite superior de avenidas probables (mil años)	2.580 m ³ /seg

Geología.

La presa está situada en el límite entre el Jurásico (agua abajo), formado por calizas, margas y arcillas, y el Wealdense (agua arriba), constituido por materiales arcilloareniscosos.

Por otra parte, existe una compleja tectónica de bloques, delimitados por una serie de fallas, que complican el límite entre ambos tipos de terrenos.

El Wealdense es impermeable en masa mientras que los paquetes jurásicos presentan permeabilidad local, como consecuencia de las numerosas fisuras que los atraviesan.

En las dos márgenes de la cerrada existen importantes volúmenes de coluviones recubriendo el terreno base, con espesores considerables que alcanzan hasta las 30 m. Se trata de derrubios y materiales algo rodados que proceden de la caída de bloques y de deslizamientos del terreno, fenómenos ambos muy frecuentes en la zona. Si bien su capacidad resistente no ofrece problemas para cimentar una presa de materiales sueltos, su heterogeneidad, con mezcla de bloques calcáreos y materiales más finos, hace muy dudosa su impermeabilidad conjunta.

Elección del emplazamiento y tipo de presa.

La ubicación de la presa ha venido forzada por las condiciones geológicas y topográficas de la zona. Como decíamos anteriormente, la previsible permeabilidad del Jurásico aconsejaba disponer la presa en los terrenos



Fig. 4. — Vista general desde agua abajo.

wealdenses, situados agua arriba de la cerrada de El Romeral.

Por otra parte, el valle del río tiene una anchura considerable antes de dicho paraje, que obligaba a desechar cualquier posibilidad de construir la presa en esa zona.

La combinación de ambos condicionantes ha proporcionado como emplazamiento óptimo la citada cerrada de El Romeral, límite entre Jurásico y Wealdense.

La configuración topográfica del emplazamiento y fundamentalmente sus características geológicas, unidas a la relativa proximidad de canteras de material pétreo y arcilloso de suficiente calidad, han sido los motivos que han llevado a la elección del tipo de presa de materiales sueltos.

Por otra parte, para lograr la necesaria impermeabilidad de la cerrada era necesario disponer de un elemento de estanqueidad, cuyo entronque con el terreno se realizase lo más agua arriba posible respecto al eje

de la presa, lo cual llevó a pensar en soluciones de presa de materiales sueltos impermeabilizada en su paramento de agua arriba.

De esta forma se consideraron diferentes alternativas constituidas por cuerpo de escollera y elemento impermeable agua arriba, a base de pantalla artificial (hormigón o asfalto) o núcleo inclinado de arcilla. Se adoptó esta última solución en base a que siendo su presupuesto similar al de la pantalla asfáltica, reunía condiciones más seguras de durabilidad.

3. DESCRIPCION DEL PROYECTO

3.1. Presa.

3.1.1. Descripción general.

La sección tipo de la presa está formada esencialmente por un cuerpo resistente de escollera compactada,

impermeabilizado mediante un núcleo inclinado de arcilla próximo al paramento de agua arriba. En el contacto entre ambos elementos se disponen dos capas de filtro y, protegiendo el núcleo en su talud de agua arriba, un filtro y una capa de escollera.

Con el fin de mejorar la estabilidad de la presa y aumentar el recorrido de las líneas de corriente de filtraciones se ha dispuesto, en el pie del talud de agua arriba, un relleno con productos de excavación, de unos 15 a 20 m de altura máxima, en la zona de cauce.

El cimiento del núcleo impermeable y de los filtros de acompañamiento se realiza sobre roca *in situ*, eliminando para ello los coluviones existentes en las laderas y los acarreo de la zona del cauce, cuya impermeabilidad es muy dudosa. El cuerpo de escollera se apoya directamente sobre el terreno natural, previo despeje y desbroce del mismo, habida cuenta de que la capacidad resistente de los coluviones es más que suficiente para soportar las presiones transmitidas por este tipo de presa.

La sección tipo proyectada tiene una anchura en coronación de 10 m y sus taludes son 2,5/1 hasta la cota 553 y 3/1 en el resto, el de agua arriba y 1,4/1 el de agua abajo, estando éste interrumpido por dos bermas horizontales a las cotas 530 y 560 de 5 m y 3 m de anchura, respectivamente.

El núcleo impermeable de arcilla situado próximo al paramento de agua arriba tiene un talud igual al de este paramento por el lado más próximo a él, y un talud (1,85/1) en el lado próximo al cuerpo de escollera. Se disponen dos capas de filtros de espesor variable entre 4 y 8 m, la primera, y de 3 a 4 m, la segunda, es decir, la más alejada del núcleo.

Agua arriba del núcleo y en la zona en que no queda protegido por el relleno de pie de presa se dispone una capa de escollera de 5 m de espesor, complementada en los 30 m superiores por una capa de filtro en previsión de los efectos del oleaje y desembalses rápidos.

La planta de la presa se ha dispuesto ligeramente curva, lográndose con ello que el pie del núcleo impermeable avance al máximo hacia agua arriba y se aumenten las condiciones de estanqueidad de la cerrada. Asimismo, la disposición en planta curva mejora la resistencia del núcleo de arcilla frente a su posible fisuración. En consecuencia, los paramentos de la presa vienen definidos, a cada cota, por arcos de círculo, cuyo centro está situado siempre en un mismo eje vertical, 750 m agua abajo del eje de coronación.

También se ha previsto que el alzado de la presa tenga un bombeo en sentido longitudinal, calculado con el fin de que, al producirse los asentamientos previsibles durante el período de explotación de la presa, no se re-

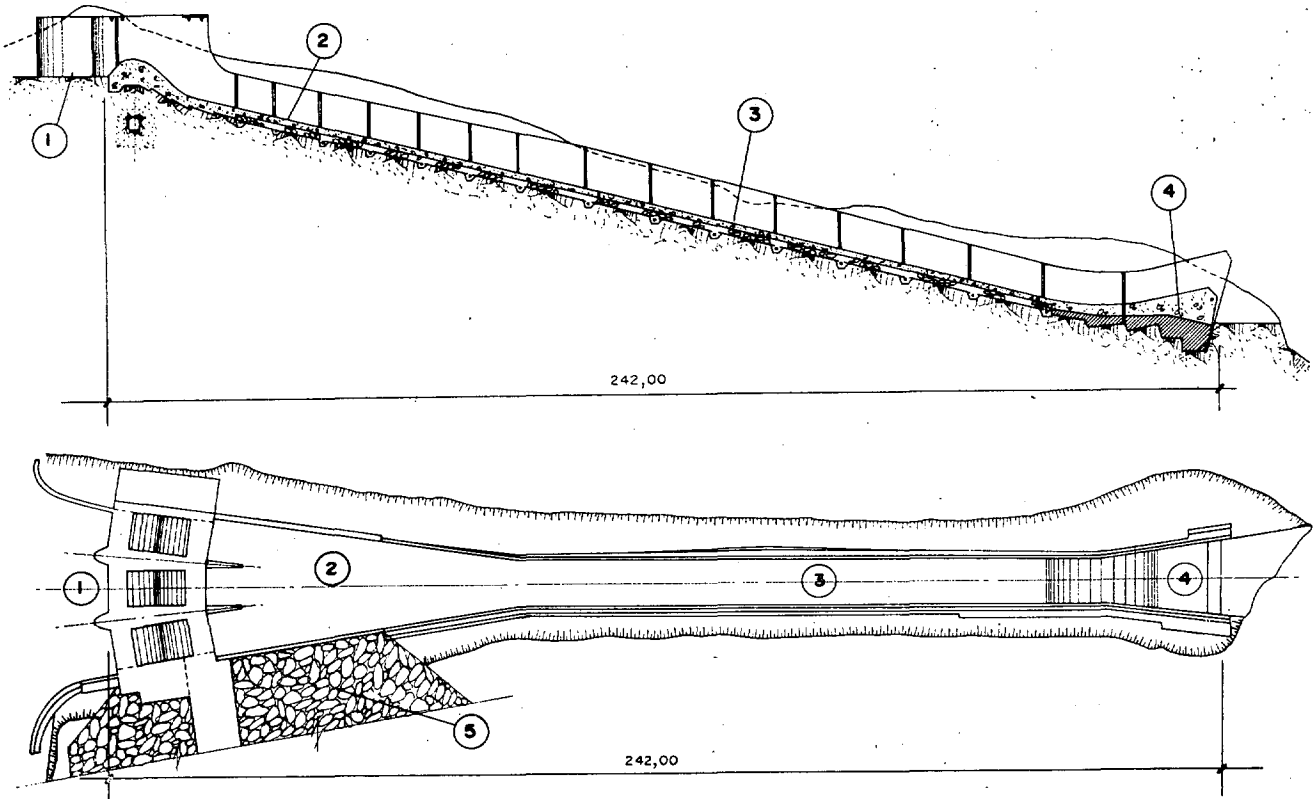


Fig. 5. — Planta y perfil longitudinal del aliviadero: 1, embocadura; 2, canal convergente; 3, canal de descarga; 4, trampolín; 5, cuerpo de presa.

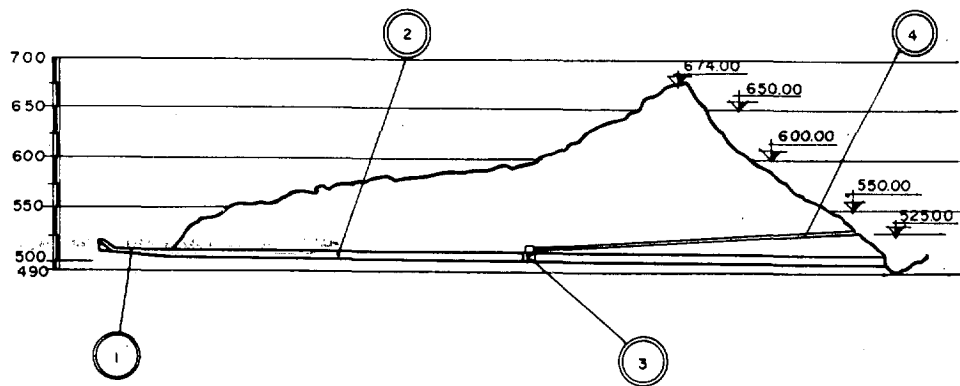


Fig. 6. — Perfil longitudinal desvío del río y desagües de fondo: 1, embocadura; 2, túnel; 3, cámara de llaves; 4, galería de acceso cámara mecanismos.

duzca en ningún punto el resguardo mínimo previsto. De esta forma, la cota de coronación, en cada punto, será la teórica (603), incrementada en un 0,5 por 100 de la altura de la presa en ese punto. Este porcentaje ha sido determinado a partir de la estadística existente sobre los asientos producidos en presas de este tipo y, en especial, tomando como base el estudio realizado por el ingeniero de Caminos D. José Luis Justo Alpañés, con una beca de la fundación Juan March, titulado "Deformación de las presas de escollera".

3.1.2. Características de los materiales.

El proyecto de la presa se ha desarrollado adaptado a las características intrínsecas de los materiales disponibles, previo estudio de las canteras elegidas.

De esta forma, el dimensionamiento de la sección tipo de presa se ha efectuado adoptando bases de cálculo compatibles con las condiciones que reúnen los materiales en origen, deduciendo a partir de las mismas las características de los materiales colocados en obra, utilizando la experiencia obtenida en presas similares de reciente construcción.

Escollera:

La densidad aparente de la escollera colocada ha sido estimada en $1,80 \text{ Tm/m}^3$ y se ha deducido a partir del peso específico real de la piedra ($2,69 \text{ Tm/m}^3$) y del valor de la porosidad a obtener después de la compactación (33 por 100). Esta porosidad es ligeramente superior a la conseguida en presas similares de reciente construcción y, como veremos más adelante, ha sido reducida de forma apreciable durante la ejecución de la obra.

En el pliego de condiciones del proyecto se han establecido especificaciones destinadas a garantizar la adecuada calidad de la piedra y la densidad y granulometría de la escollera compactada.

En particular, las condiciones exigidas son:

Calidad de la piedra:

- Resistencia sulfatos: pérdida < 10 por 100.
- Desgaste: coeficiente Los Angeles < 35 por 100.

Compactación de la escollera (densidad):

- Espesor máximo de tongadas: 2 m.
- Peso estático del rodillo: 8 Tm.
- Número mínimo de pasadas: 4.
- Asiento máximo entre dos últimas pasadas: 1 cm.

Granulometría de la escollera:

- Tamaño máximo: 1,50 m.
- Proporción máxima de tamaño inferior a 25 mm: 20 por 100.

Arcilla:

Las características adoptadas y exigidas en la obra, después de la investigación llevada a cabo con el material procedente de la cantera, son las siguientes:

Condiciones intrínsecas de la arcilla:

- Límite líquido máximo: 50.
- Índice de plasticidad mínimo: 7.
- Densidad Proctor normal mínimo: $1,70 \text{ Tm/m}^3$.
- Permeabilidad máxima: 10^{-7} cm/seg .

Condiciones de compactación:

- Densidad mínima: 98 por 100 Proctor normal.
- Máxima tolerancia de humedad respecto óptima: ± 1 por 100.
- Espesor máximo de capas: 25 cm.

En el cálculo de la sección tipo de presa se han supuesto además las siguientes características mecá-

nicas, consecuentes con los anteriores:

Módulo edométrico: 80 Kg/cm².

Cohesión: 0,12 Kg/cm².

Angulo de rozamiento: 23°.

Filtros:

El material granular para filtros procede del machaqueo de piedra caliza, debiendo cumplir las siguientes condiciones:

Granulometría:

Debe estar comprendida entre los husos granulométricos indicados (fig. 10).

Plasticidad:

El índice de plasticidad del material que pasa por el tamiz número 40 debe ser nulo.

3.2. Sistema de drenaje y control.

A lo largo del contacto entre el núcleo impermeable y el cimientó se ha dispuesto una galería perimetral excavada parcialmente en zanja, y cuando el terreno lo permite, en túnel, para inspeccionar directamente el comportamiento de las fracturas y posibles filtraciones.

La evacuación del caudal recogido por esta galería longitudinal se efectúa mediante una galería transversal en túnel, en posición paralela al trazado del cauce del río.

Desde la galería perimetral se ejecuta una pantalla de drenaje y control, constituida por taladros de 100 mm de diámetro, que en la zona weaidense son entubados mediante conductos de plástico perforados para evitar el arrastre de finos.

El sistema general de control y auscultación de la presa está destinado a:

- a) Medir corrimientos desde una base exterior.
- b) Medir deformaciones, mediante elementos ubicados en la misma presa.
- c) Medir presiones en el núcleo.
- d) Medir presiones de agua en el cimientó.

Los dispositivos proyectados para cada uno de los apartados son los siguientes:

- a) Bases de alineación y nivelación y testigos en el paramento agua abajo.
- b) Células de medición de asiento en el núcleo e inclinómetros horizontales en la escollera.
- c) Células de presiones totales y células de presiones intersticiales.
- d) Piezómetros en la galería transversal de evacuación de filtraciones.

3.3. Elementos de evacuación.

Aliviadero (fig. 5):

Está ubicado en la ladera izquierda totalmente en superficie, inmediato a la presa y vertiendo directamente

sobre el río. Se ha dimensionado para la avenida máxima de 1.350 m³/seg, obtenida deduciendo de la avenida de quinientos años la capacidad del desagüe de fondo y el efecto de laminación del embalse.

La embocadura, dispuesta en posición frontal, consta de tres vanos de 9 m dotados de compuertas Taintor de 7,26 m de altura.

El canal de descarga, de 10 m de ancho, se excava a cielo abierto y se cimenta sobre roca sana, disponiendo un revestimiento de hormigón que mejore sus condiciones hidráulicas y garantice su durabilidad.

La transición entre la embocadura y el canal de descarga se realiza por medio de un canal de ancho variable entre 28 y 10 m, también revestido.

La reincorporación de caudales se efectúa mediante un trampolín situado a la cota 540.

El funcionamiento hidráulico del aliviadero ha sido estudiado mediante ensayo en modelo reducido realizado en el Laboratorio del Centro de Estudios Hidrográficos.

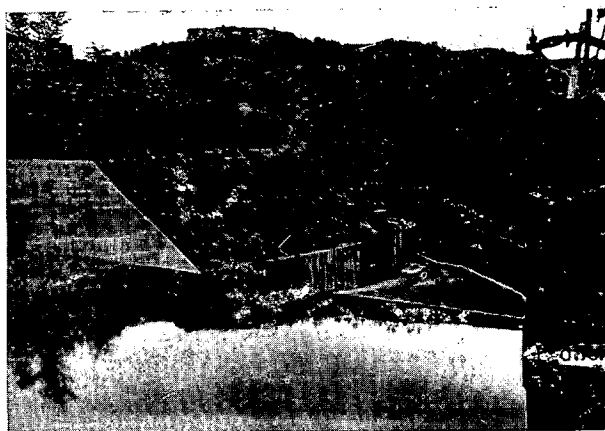


Fig. 7. — Embocadura del túnel de desvío.

Desvío del río, desagüe y tomas (figs. 6 y 7):

Se ha previsto aprovechar el túnel de desvío provisional del río como conducto a través del cual se efectúe el doble desagüe de fondo de la presa y toma de agua para riegos.

El citado túnel se perfora bajo la ladera izquierda con una longitud de 700 m y una sección de excavación de 62 m². Durante la fase de construcción de la presa su capacidad es de 425 m³/seg, siendo la sección interior revestida de 42 m².

La transformación en desagües y toma se lleva a cabo instalando a 200 m de la embocadura las compuertas y mecanismos de accionamiento. Este primer tramo del túnel se ha dimensionado de forma que resista la carga de agua del embalse lleno.

La capacidad de los desagües de fondo a embalse



Fig. 8. — Cantera de escollera.

lleno es de 250 m³/seg, que permite poder acometer de forma rápida y eficaz cualquier situación de emergencia que requiera vaciar o rebajar el nivel del embalse.

Cada uno de los dos desagües de fondo está provisto de una compuerta de seguridad tipo Bureau, de 2 x 1,50 m², y de una compuerta Taintor de regulación de 2 x 1,50 m².

Se ha dispuesto además una toma para riego de diámetro 1,20 m, centrada sobre los dos desagües y provista de una válvula compuerta de seguridad y otra de chorro hueco para regulación.

3.4. Impermeabilizaciones.

En la ladera izquierda existe una zona jurásica permeable que no queda cubierta por el núcleo de arcilla de la presa. Se ha previsto acometer su impermeabilización mediante un tapiz superficial que recubra con arcilla, protegida por escollera, toda la superficie de Jurásico en contacto con el embalse.

4. EJECUCION DE LAS OBRAS

Las obras se iniciaron en abril de 1970, estando prevista su terminación para los primeros meses de 1974.

Durante el primer año se llevaron a cabo los trabajos correspondientes al desvío del río y excavaciones en laderas, efectuándose asimismo la instalación de los medios auxiliares de machaqueo y clasificación de material granular y la central de fabricación de hormigón.

La ejecución del cuerpo de presa propiamente dicho se inició en octubre del año 1971, y su terminación está prevista para finales del presente año 1973.

Los volúmenes totales y ritmos medios y máximos de las unidades fundamentales son los siguientes:

	m ³	m ³ /mes (medio)	m ³ /mes (máx.)
Escollera	1.960.000	84.000	148.000
Arcilla	1.100.000	37.000	80.000
Filtros	370.000	11.500	21.500

4.1. Escollera.

Extracción (fig. 8):

La piedra caliza que se utiliza como escollera de cuerpo de presa es extraída de una cantera ubicada agua abajo de la cerrada, en la margen izquierda del cauce del río, a unos 700 metros del eje de la presa. Antes de decidir su elección se efectuó un reconocimiento de la calidad de la piedra y de sus condiciones de explotación.

La cantera presentaba un frente natural sobre el cauce del río de unos 17 metros de altura. Por encima de esta cota existía una montera constituida por tierras vegetales y calizas, con espesor creciente con la altura.

La explotación de la cantera se está efectuando disponiendo plataformas a las cotas 520, 545 y 590, con el fin de elevar gradualmente el nivel de operaciones adaptándolo a la cota de colocación de la escollera en la presa.

El sistema de perforación adoptado, por bancos horizontales, facilita y mejora notablemente los despla-

mientos de los equipos. Estos están constituidos por cuatro perforadoras con diámetro de 100 mm y presión en martillo de 7 Kg/cm².

La roca es sana, sin fisuras, obteniéndose ritmos de perforación de 8 a 10 metros por hora.

Carga y transporte.

La carga del material para su transporte se efectúa mediante dos palas cargadoras, sobre ruedas con cadenas de 4,20 m³ auxiliadas con una cargadora frontal, durante los primeros meses, de 3 m³, sobre orugas, que por su mayor alcance se utilizaba para preparar el frente de carga.

Para transportar la escollera se emplean cuatro dumpers de 35 Tn eventualmente complementados por camiones con caja especial para escollera. El ciclo completo de camión tiene una duración de nueve minutos, lográndose rendimientos de 6 a 7 viajes/hora.

La anchura del camino de acceso (20 metros) y las buenas condiciones en que se mantiene, son factores decisivos en la consecuencia de estos elevados ritmos.

Compactación.

El extendido del material, una vez vertido por el dumper en el tajo, se efectúa mediante un bulldozer, en tongadas de 1,50 metros de espesor.

La compactación se realiza con un rodillo liso vibratorio de 8 Tn de peso estático, con amortiguación neumática, remolcado por un tractor oruga, dándose cuatro pasadas.

Dos monitores están regando continuamente la escollera con una presión de 5 Kg/cm², proporcionando un volumen de agua equivalente, aproximadamente, al 80 por 100 del volumen de material colocado.



Fig. 9. — Ejecución de terraplenes y galería de drenaje.

Control.

De una forma sistemática se efectúan las comprobaciones necesarias para garantizar que la escollera y su ejecución verifican las condiciones exigidas en el proyecto.

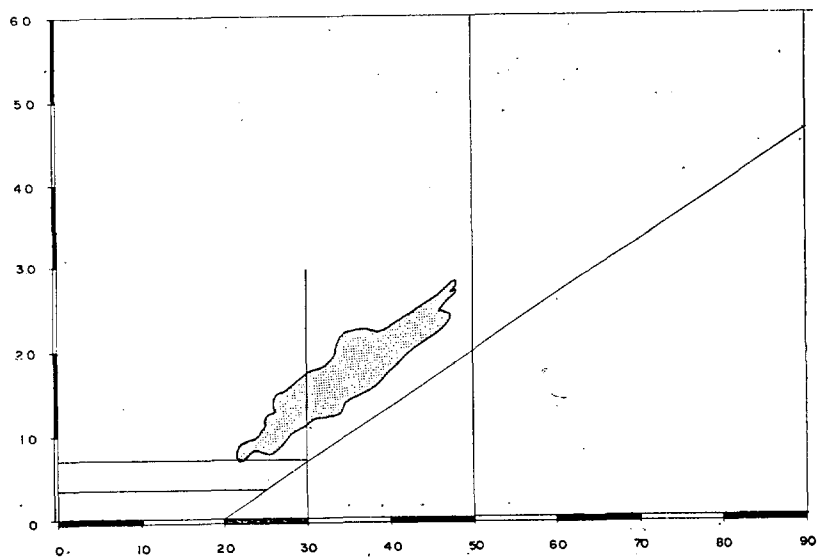
La calidad de la piedra se comprueba extrayendo muestras de la cantera y determinando el coeficiente de desgaste y la estabilidad frente al sulfato sódico.

Del ensayo de Los Angeles, con granulometría A, se han obtenido hasta el momento valores inferiores al exigido (35 por 100), resultando un coeficiente medio del 30 por 100.

En el análisis de estabilidad a sulfatos el índice medio obtenido es del 4 por 100 frente al 10 por 100 admisible.

El control de la granulometría se lleva a cabo mediante pesaje y cribado en cantera. Dada la existencia

Fig. 10.—Características plásticas de la arcilla del núcleo impermeable. Carta de Casagrande.



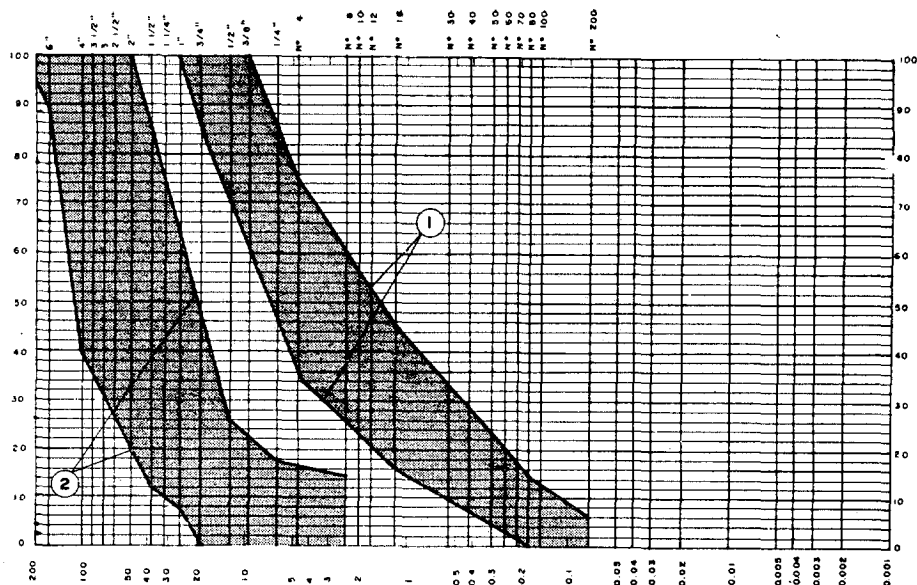


Fig. 11. — Husos granulométricos del material utilizado para filtros: 1, filtro fino; 2, filtro grueso.

de estratos margosos es preciso rechazar algunas fracciones del material volado.

Finalmente, las condiciones de compactación son controladas cada cuatro tongadas determinando el asiento diferencial entre pasadas de rodillo. Se ha comprobado que el número previsto de cuatro pasadas es suficiente para conseguir que el valor de dicho asiento sea inferior a 1 cm. La determinación de la densidad aparente *in situ* proporciona resultados sensiblemente superiores al exigido en proyecto, siendo como media 2,05 Tn/m³.

4.2. Ejecución del núcleo impermeable.

Explotación de la cantera y transporte.

La cantera de arcilla se encuentra ubicada en el cerro "El Cobezo", en terrenos miocenos, a 4 Km de la presa.

En alternancia con los estratos de arcilla aparecen areniscas y arenas compactas. No obstante, mezclando

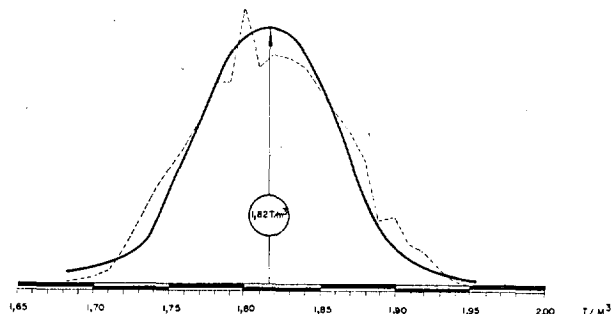


Fig. 12. — Curva distribución frecuencia de la densidad *in situ* del material del núcleo: ----- Distribución real. ——— Distribución de Gauss adaptada.

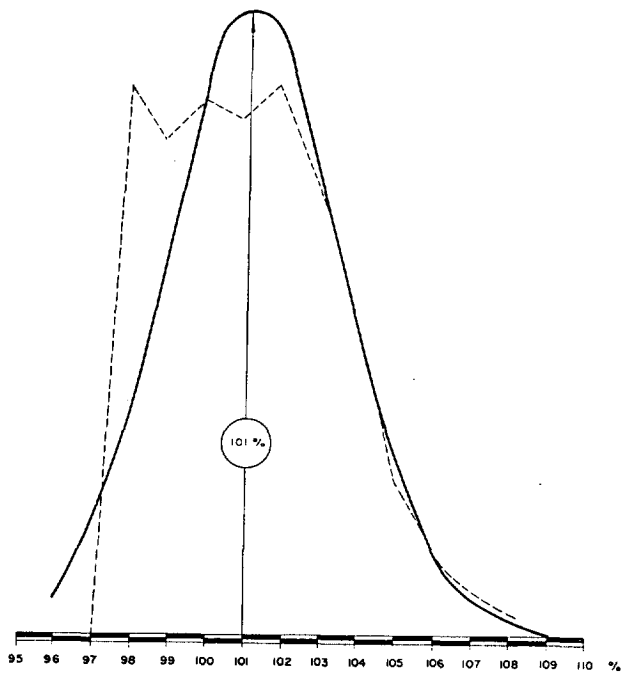


Fig. 13. — Curva de frecuencia del grado de compactación del núcleo impermeable, referido al porcentaje del ensayo Proctor normal: ----- Distribución real. ——— Distribución de Gauss adaptada.

convenientemente estos materiales y eliminando los bolos de areniscas se consigue obtener un producto que cumple las condiciones exigidas al material de núcleo impermeable.

El arranque se efectúa mediante un D-9 trabajando en plataformas inclinadas para favorecer la adecuada

mezcla de estratos. El escarificado de los mismos se consigue adaptando al tractor un ripper triple.

La carga se ejecuta mediante una pala sobre ruedas, de 3,45 m³ de capacidad y una cargadora sobre oruga de 1,78 m³.

El transporte de la arcilla desde la cantera hasta la presa se efectúa utilizando un acceso de 3,8 Km de longitud, construido especialmente para ello, con una pendiente media de 11 por 100 descendente hacia la presa.

La construcción de este camino está justificada económicamente, puesto que de haber aprovechado las comunicaciones existentes, el recorrido hubiera sido de 7 kilómetros.

Se emplean 30 camiones de 12 Tn, obteniéndose un rendimiento medio de 1,63 viajes/hora por camión.

Compactación.

El extendido y la compactación del material impermeable se efectúa con rodillo 825 B Caterpillar, con ruedas tampón y dotado de cuchilla bulldozer.

Previamente al vertido de una nueva tongada se riega la superficie de la anterior, dándose una pasada con el compactador con el fin de que, dejando su huella, facilite la unión entre tongadas sucesivas.

Después de la pasada de extendido se alcanza una densidad media equivalente al 98 por 100 de la máxima Proctor normal, de forma que con una pasada más se obtienen densidades superiores a la exigida en el proyecto.

La humedad del material procedente de la cantera es muy próxima a la óptima; no obstante, para alcanzar los límites impuestos se efectúa, si es necesario, un riego adicional con manguera flexible.

La compactación en los bordes y en los contactos con las laderas se realiza con bandejas vibrantes.

Con el fin de evacuar rápidamente las aguas de lluvia, la superficie de las tongadas se dispone con pendiente del 5 por 100 hacia agua arriba y, en casos necesarios, se procede a su sellado pasando un rodillo liso.

Control.

Diariamente se realizan los siguientes controles del material:

- Análisis de identificación, con determinación del límite líquido e índice de plasticidad.
- Análisis granulométrico.
- Determinación de la densidad máxima y humedad óptima del ensayo Proctor normal.
- Cálculo de la densidad *in situ*, por el método de la arena.

Los resultados obtenidos hasta el momento correspondientes a 3.250 ensayos realizados, se han reflejado en los gráficos adjuntos (figs. 9, 10, 11 y 12).

La confrontación de estos valores con los supuestos del proyecto es satisfactoria, tanto en lo que respecta a los resultados medios como a las dispersiones conseguidas.

En particular los valores medios de densidad *in situ* y del Proctor son 1,82 Tn/m³ y 101 por 100, siendo las desviaciones correspondientes 0,05 y 2,35.

4.3. Ejecución de filtros.

El material granular de formación de filtros procede de la cantera caliza denominada "El Frontón", cuya explotación está complementada con una instalación de machaqueo y clasificación para obtener la granulometría exigida en proyecto.

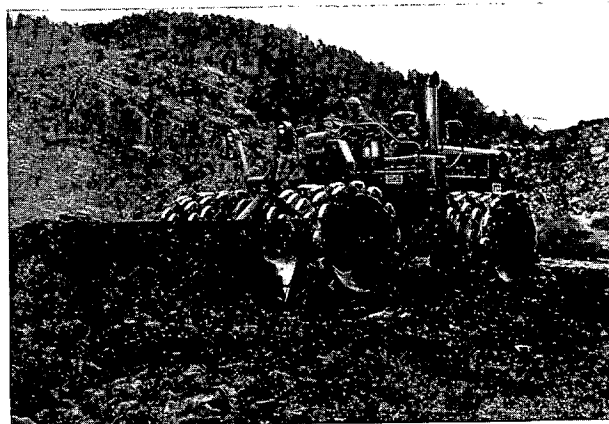


Fig. 14.— Extendido y compactación del núcleo impermeable.

El transporte se efectúa mediante camiones de 14 toneladas, cuyo ciclo completo dura veintidós minutos, efectuando un recorrido de unos 1.500 metros.

La extensión del material se realiza en tongadas de 60 a 80 cm de espesor, con una pala Caterpillar 955. El riego se hace manualmente y la compactación se logra con el paso de los camiones y de la máquina extendidora.

En los gráficos que se incluyen se aprecian los resultados proporcionados por los ensayos de control periódicos a que se somete el material.

Las curvas granulométricas obtenidas encajan con las tolerancias admitidas en proyecto. El peso específico real de la piedra, el coeficiente de desgaste y su estabilidad frente a sulfatos, cumplen, asimismo, las limitaciones impuestas.