

PRESA Y CENTRAL DE ALQUEVA EN PORTUGAL

Fernando Abadía Anadón

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Jefe de la División de Obras Hidráulicas de la Asesoría Técnica de Dragados

J. Morim de Oliveira

Ingeniero Civil

Director de Obra

RESUMEN

El complejo de usos múltiples de Alqueva, situado sobre el río Guadiana, es una obra de importancia estratégica para el desarrollo de la región sur de Portugal. Tiene como grandes objetivos la constitución de una reserva estratégica de agua, la garantía de abastecimiento privado e industrial, la alteración del modelo cultural de agricultura y la producción de energía. Entre sus características destaca la magnitud del volumen de su embalse, que con un volumen de 4.150 Hm³ formará el mayor lago artificial de Europa, y la concepción de su central reversible. En su construcción participan las empresas españolas Dragados O.P. y Necso. Los medios puestos al servicio de su ejecución resultan acordes con la magnitud y complejidad de las obras a ejecutar.

ABSTRACT

The Alqueva complex set on the river Guadiana is a work of strategic importance for the development of southern Portugal. The project has been undertaken with the aim of establishing strategic water reserves, in order to guarantee private and industrial water supply as well as instituting changes in the traditional form of agriculture and providing energy. The project is noted for the size of the reservoir which, at a volume of 4,150 Hm³, will form the largest artificial lake in Europe and the fact that it includes a reversible power plant. The Spanish companies Dragados O.P and Necso are participating in the construction work and the means required for the construction of the project reflect the scale and complexity of the works.

ANTECEDENTES E INTRODUCCIÓN

El Complejo de usos múltiples de Alqueva, de importancia estratégica para el desarrollo de la región sur de Portugal, tiene como grandes objetivos la constitución de una reserva estratégica de agua, la garantía de abastecimiento privado e industrial, la alteración del modelo cultural de agricultura y la producción de energía.

Su realización potenciará la diversificación de las actividades económicas y combatirá la desertización a través de la irrigación de una vasta área del territorio y de la regulación del río Guadiana, atenuando el efecto de las sequías prolongadas.

El primer proyecto de aprovechamiento hidroeléctrico de Alqueva data de 1969, que constituía el primer salto de un conjunto de tres aprovechamientos en cascada que se preveía iban a ser construidos en Alqueva, Rocha da Galé y Pomarao. La solución proyectada para una presa de Alqueva era de tipo de bóvedas múltiples y la central hidroeléctrica estaba equipada con tres grupos reversibles de 120 MW estando preparada para duplicar su potencia con tres grupos adicionales iguales a los anteriores. El área de regadío que entonces se preveía equipar era de 180.000 Ha.

En 1988 este proyecto fue revisado alterándose el tipo de presa y el dimensionamiento de la central. La solución inicial



Vista general de las obras en junio de 2000.

de bóvedas múltiples dio paso a una solución mas simple de bóveda única, que ofrecía mayores garantías de cumplimiento de los plazos de ejecución y que desde el punto de vista estructural se revelaba ventajosa. En cuanto al dimensionamiento de la central se optó por reducir al mínimo las inversiones iniciales, lo cual justificaba económicamente el proyecto para el sistema nacional de energía eléctrica.

En 1990 fue creada una comisión interministerial para la impulsión y seguimiento del Proyecto de Fines Múltiples de Alqueva. De las alternativas entonces estudiadas fue aprobada una configuración constituida por los siguientes elementos: I) Presa de Alqueva con nivel máximo de explotación a cota 152 para regar 110.000 Há; II) Central hidroeléctrica equipada con dos grupos reversible sde 120 MW; III) Azud de contra-embalse aguas abajo de la central; IV) Azud en el tramo internacional del río Guadiana, aguas abajo de Alqueva, para permitir el abastecimiento de agua al Algarve y a España.

De esta manera la configuración final del Proyecto Múltiple está constituida por los siguientes elementos principales:

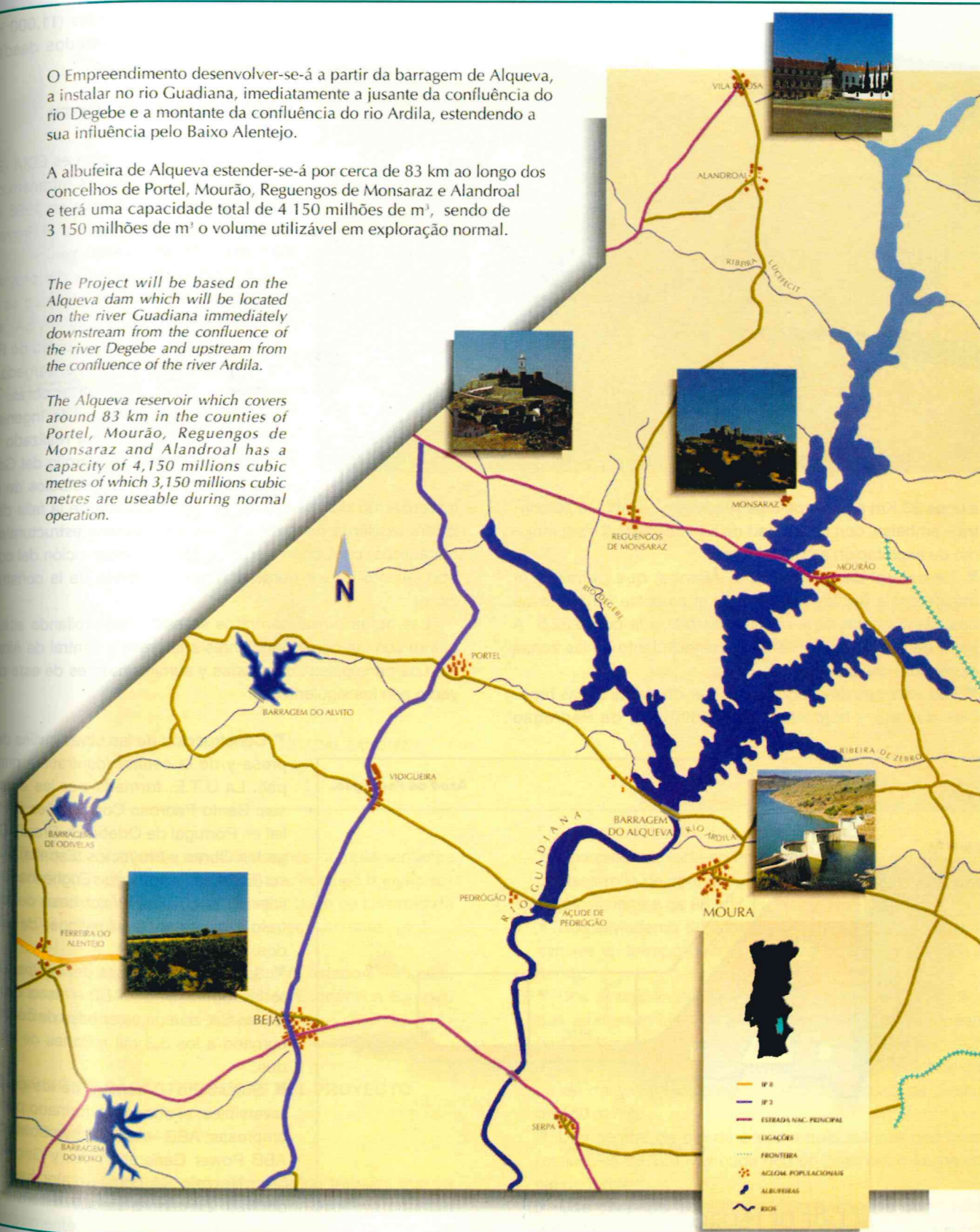
- ▼ Presa de Alqueva, en el río Guadiana, situada a unos 10,5 km al NW de Moura y ligeramente aguas abajo de la confluencia con el río Degebe, la cual originará un gran embalse de 4.150 Hm³ de capacidad total para el nivel máximo de explotación a cota 152, extendiéndose a lo largo de un centenar de kilómetros por el territorio nacional y por la zona internacional del río. Este embalse formará el mayor lago artificial de Europa.
- ▼ La central hidroeléctrica de Alqueva, a pié de presa, equipada con dos grupos reversibles de 120 MW cada uno.
- ▼ La presa de Pedrogao, de tipo gravedad, en hormigón, con 43 mt de altura máxima sobre cimientos y 448 mt de desarrollo de coronación a cota 93. Se encontrará situada

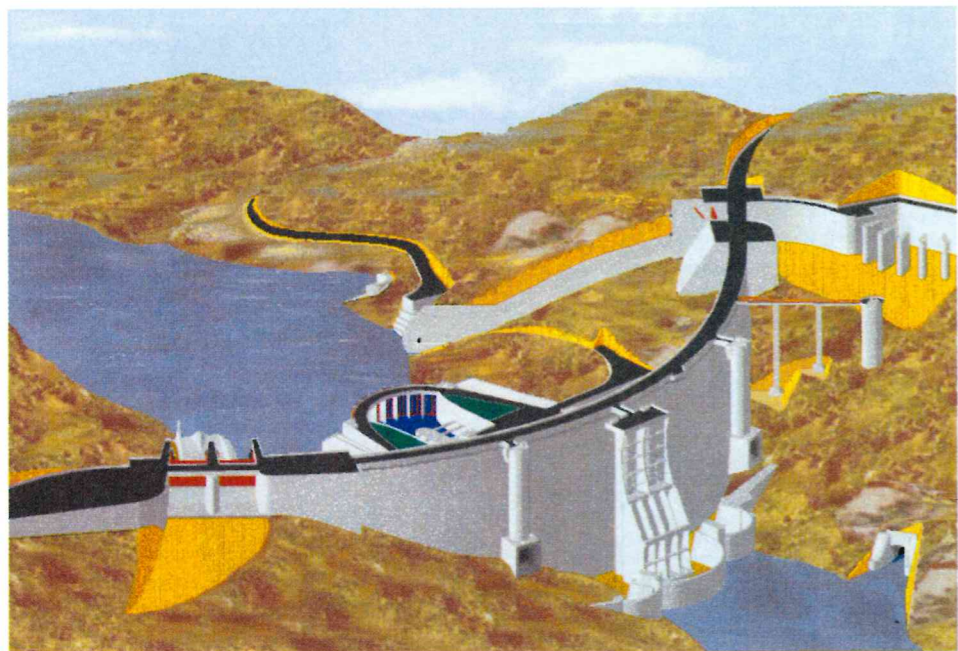
O Empreendimento desenvolver-se-á a partir da barragem de Alqueva, a instalar no rio Guadiana, imediatamente a jusante da confluência do rio Degebe e a montante da confluência do rio Ardila, estendendo a sua influência pelo Baixo Alentejo.

A albufeira de Alqueva estender-se-á por cerca de 83 km ao longo dos concelhos de Portel, Mourão, Reguengos de Monsaraz e Alandroal e terá uma capacidade total de 4 150 milhões de m³, sendo de 3 150 milhões de m³ o volume utilizável em exploração normal.

The Project will be based on the Alqueva dam which will be located on the river Guadiana immediately downstream from the confluence of the river Degebe and upstream from the confluence of the river Ardila.

The Alqueva reservoir which covers around 83 km in the counties of Portel, Mourão, Reguengos de Monsaraz and Alandroal has a capacity of 4,150 millions cubic metres of which 3,150 millions cubic metres are useable during normal operation.

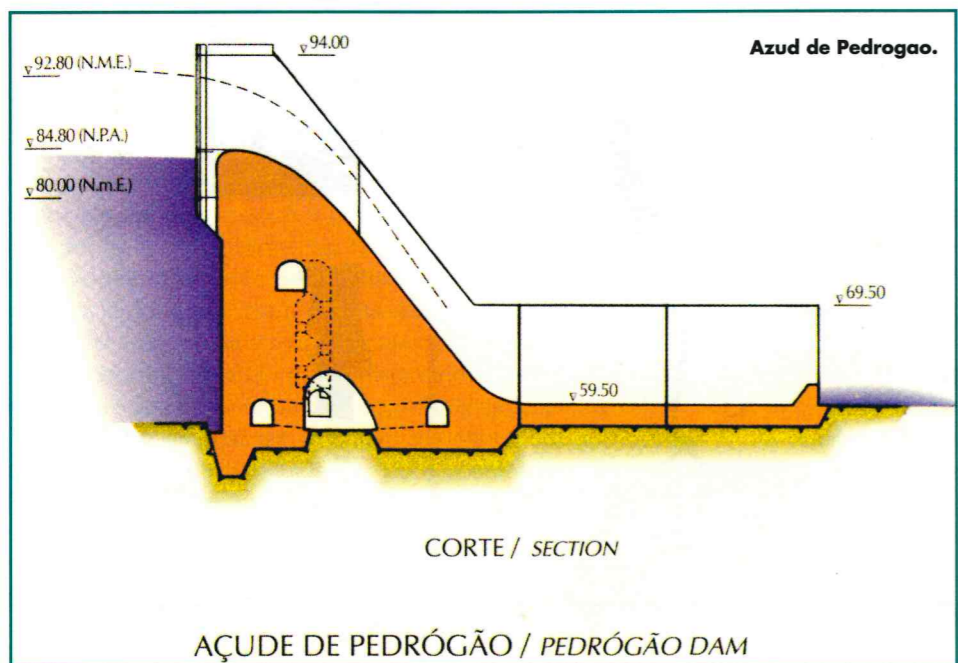




a unos 23 Km aguas abajo de Alqueva y constituirá su contra-embalse, con capacidad de 54 Hm³ para el nivel máximo de explotación a cota 84,8 mt.

▼ La central de bombeo dos Álamos, que permitirá la transferencia de caudales desde el embalse de Alqueva a dos Álamos, con nivel máximo normal a la cota 232,5. A partir de la cual se realizará el abastecimiento de las zonas de regadío del alto y bajo Alentejo.

▼ Los sistemas de aducción e irrigación de las zonas regables del alto y bajo Alentejo (70.000 Ha), de Pedrogao



(29.000 Ha), y de Ardila (11.000 Ha), estos últimos alimentados desde el embalse de Pedrogao.

ENTIDADES PARTICIPANTES

El propietario de la obra es EDIA (Empresa de Desarrollo de las Infraestructuras de Alqueva SA), creada en 1995 con capital público para gestionar el Proyecto de Fines Múltiples de Alqueva.

La entidad responsable del proyecto de aprovechamiento hidroeléctrico es HÍDRORUMO-Proyecto y Gestión SA, empresa del grupo EDP (Electricidad de Portugal), la cual está también encargada de la gestión y fiscalización de las obras.

El Laboratorio nacional de Ingeniería Civil de Lisboa (LNEC), ha realizado varios estudios para el desarrollo del Complejo, fundamentalmente estudios de

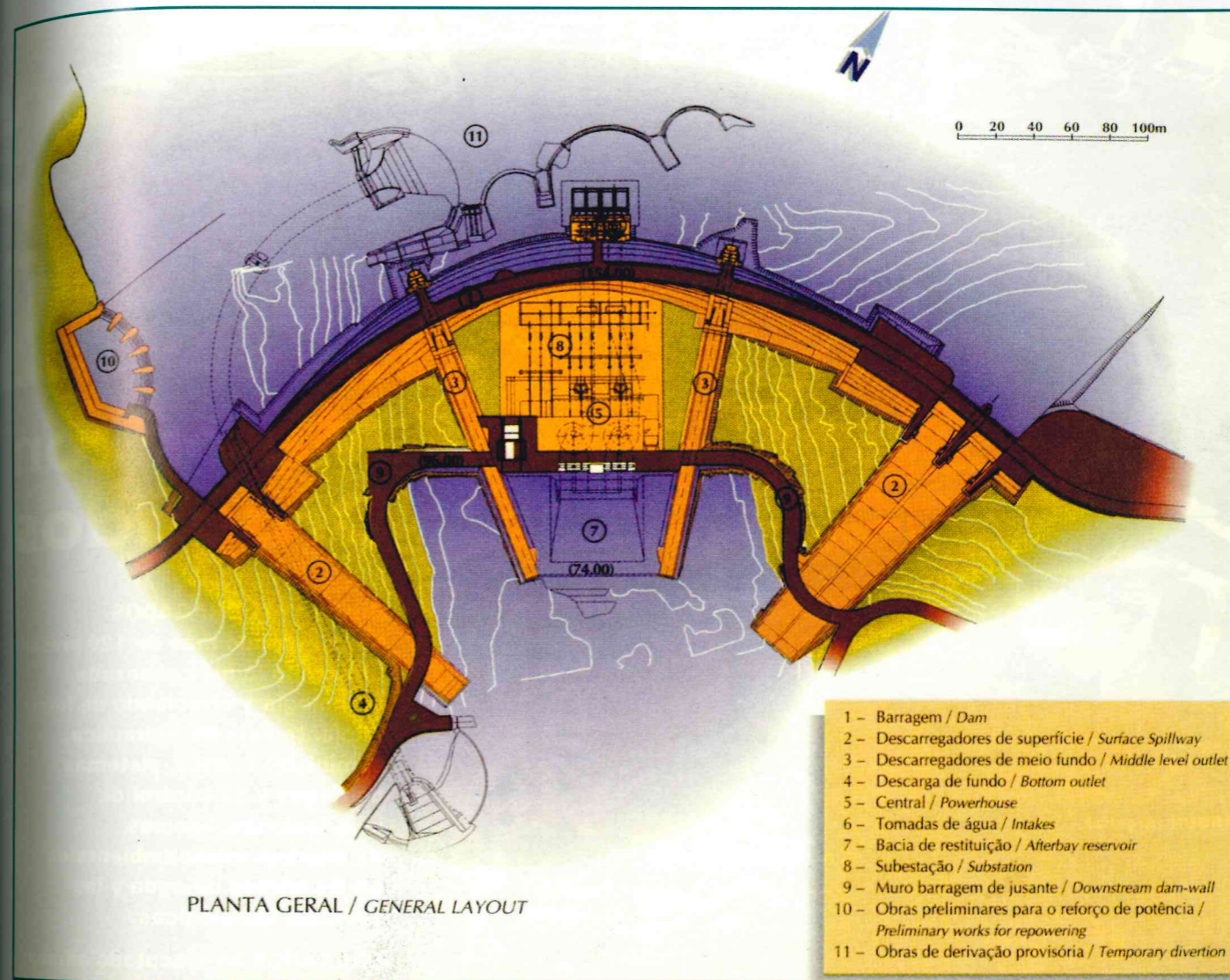
caracterización del macizo rocoso, en particular de la falla de la ladera izquierda denominada falla 22, modelos estructurales e hidráulicos, control de los hormigones y observación del comportamiento de las obras durante y después de la construcción.

Las obras cuyos contratos se están desarrollando actualmente son las correspondientes a la presa y central de Alqueva. Los principales contratistas y suministradores de este proyecto son los siguientes :

▼ Construcción de las obras civiles de la presa y de la central (contratista principal): La U.T.E. formada por las empresas: Bento Pedroso Construções SA (Filial en Portugal de Odebrech-Brasil), Dragados Obras y Proyectos (España), Necso (España), y Somague Engenharia SA líder de la U.T.E. El valor base del contrato asciende a 16 mil millones de escudos.

▼ Suministro y montaje del equipamiento hidromecánico : ABB - Asea Brown Boveri SA, con un valor base de contrato cercano a los 3,3 mil millones de escudos.

▼ Suministro y montaje de los grupos reversibles: el consorcio formado por las empresas: ABB - Asea Brown Boveri SA, ABB Power Generation SA, y Gec Alsthom Neypic SA con un valor base de contrato cercano a los 8,7 mil millones de escudos.



- 1 - Barragem / Dam
- 2 - Descarregadores de superfície / Surface Spillway
- 3 - Descarregadores de meio fundo / Middle level outlet
- 4 - Descarga de fundo / Bottom outlet
- 5 - Central / Powerhouse
- 6 - Tomadas de água / Intakes
- 7 - Bacia de restituição / Afterbay reservoir
- 8 - Subestação / Substation
- 9 - Muro barragem de jusante / Downstream dam-wall
- 10 - Obras preliminares para o reforço de potência / Preliminary works for repowering
- 11 - Obras de derivação provisória / Temporary diversion works

▼ Suministro y montaje de instalaciones complementarias de producción y el tratamiento de fundaciones e inyecciones de juntas : Afac SA por un valor base de contrato de 1,8 y 0,9 mil millones de escudos respectivamente.

La obra se encuentra financiada por el estado Portugués, por fondos estructurales de la Comunidad Económica Europea y por el Banco Internacional de Inversiones .

DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO

Caracterización general

Como se ha comentado anteriormente los trabajos que se están ejecutando en la presa y central de Alqueva constan principalmente de los siguientes elementos :

▼ Una presa bóveda en hormigón de doble curvatura, con un desarrollo de coronación de 458 mt y una altura máxima sobre cimientos de 96 mt.

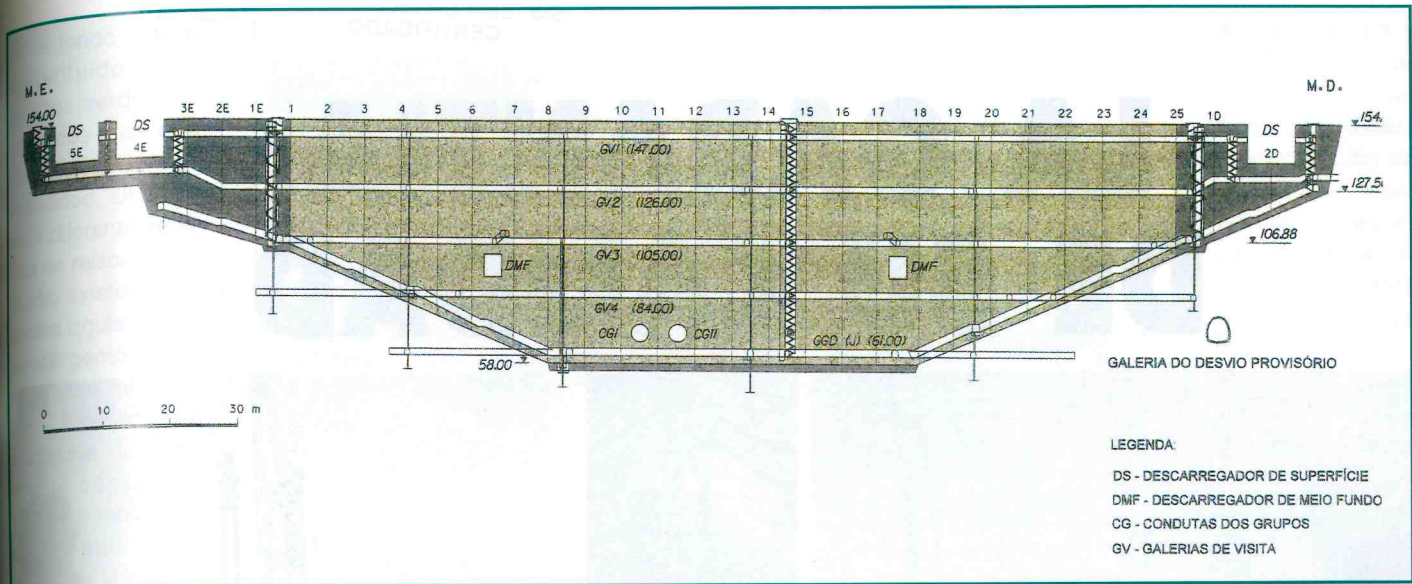
▼ Dos aliviaderos de superficie en canal y estructuras terminales en trampolín, con capacidad de descarga de 6.300 m³/sg.

▼ Dos desagües de medio fondo constituidos por orificios que atraviesan el cuerpo de la presa bóveda, con capacidad máxima de descarga de 1.750 m³/sg.

▼ Un desagüe de fondo que se instalará en la actual galería de desvío provisional, con una capacidad de desagüe de 160 m³/sg.

▼ Una central de pie de presa, equipada con dos grupos reversibles de 120 Mw cada uno de potencia máxima en el eje de turbina.

▼ Dos circuitos hidráulicos independientes constituidos por tomas de agua (restituciones en la fase de bombeo),



▼ Desvío provisional del río Guadiana constituido por una galería de derivación con capacidad para un caudal de 700 m³/sg, una ataguía de hormigón constituida por tres bóvedas apoyadas en dos contrafuertes y en las márgenes, y una contraataguía de hormigón tipo gravedad.

Características de la presa

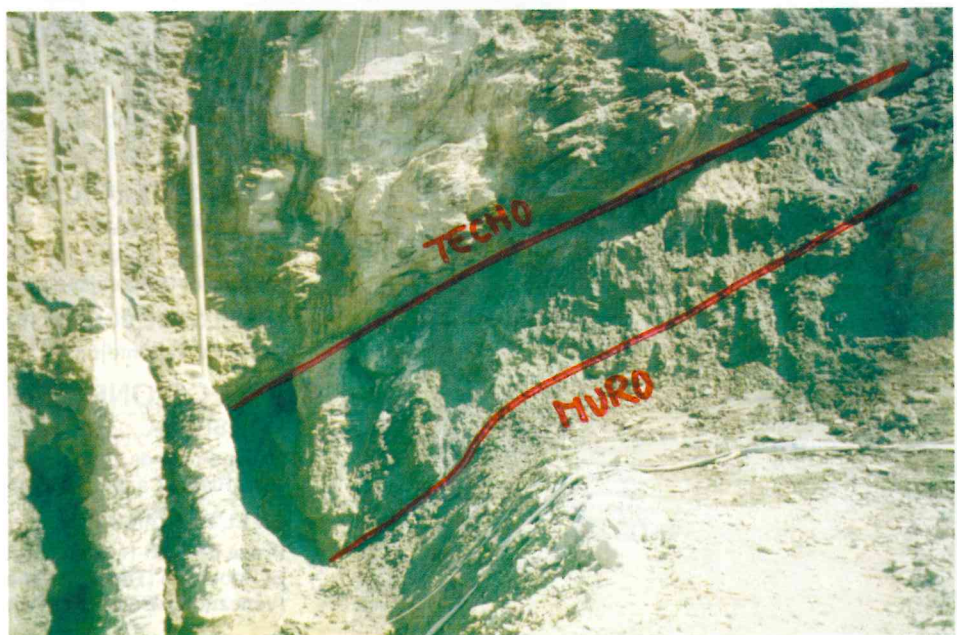
La solución proyectada para la presa de Alqueva es del tipo bóveda de doble curvatura, en hormigón vibrado, con estribos artificiales en ambas márgenes. La cerrada presenta una forma trapezoidal con una acentuada longitud en el fondo, siendo la margen derecha un poco mas abrupta que la izquierda. En la margen izquierda el Estribo artificial se justifica por las características geotécnicas del macizo de cimentación mas que por las condiciones topográficas de dicha margen. El estribo de la margen izquierda fue concebido para conseguir simetría en la inserción de la bóveda en el valle, permitiendo incorporar así dos aliviaderos de superficie.

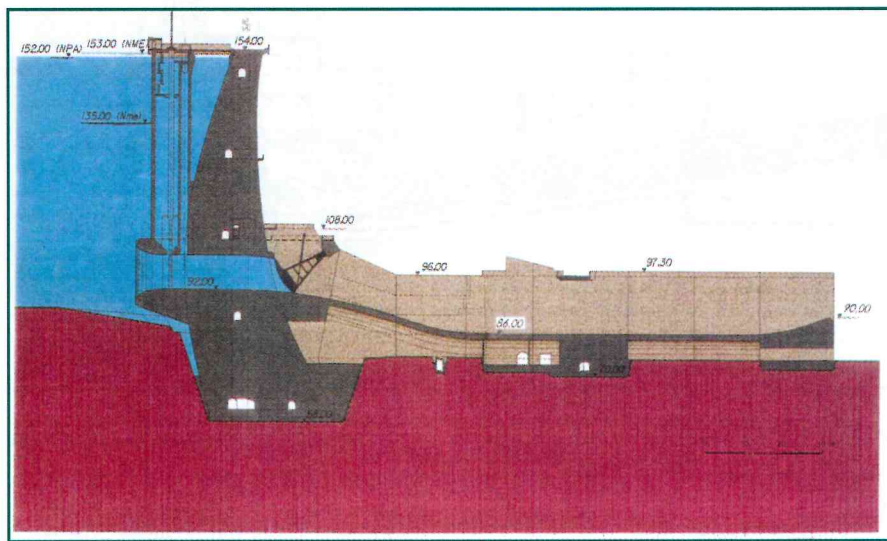
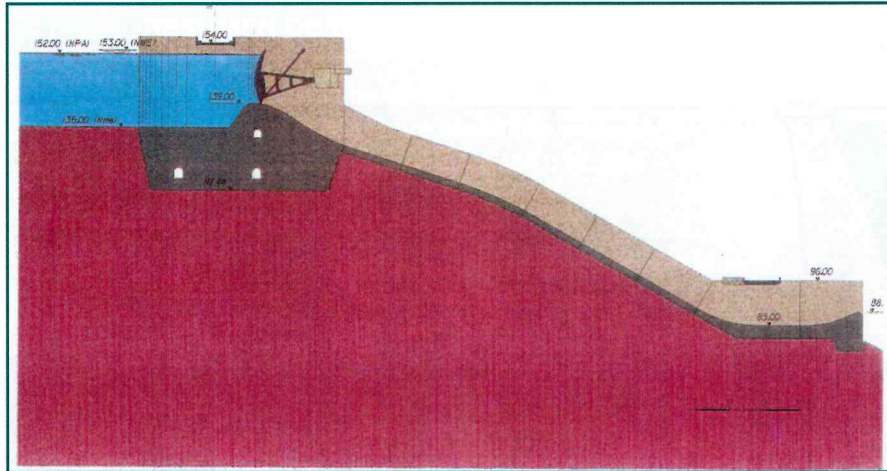
La bóveda tiene una altura máxima de 96 metros sobre cimientos, una relación cuerda/altura de 3,3 y un volumen de hormigón de 537.000 m³. Sus arcos horizontales, de directriz parabólica, son simétricos, teniendo el arco de coronación un desarrollo de 348 mt y un espesor constante de 7 mt. En cuanto al arco de base,

con 140,26 mt de desarrollo, tiene un espesor que varía entre 30 mt en el centro (valor teórico) y 33 mt en los arranques. En el contacto con la cimentación el espesor de la bóveda varía entre 33 mt en el fondo del valle y 21,32 mt junto a los estribos. El estribo de la margen izquierda tiene 50 mt de desarrollo y una altura variable entre 52,5 y 39 mt, en tanto el estribo de la margen derecha tiene un desarrollo de 60 mt y una altura variable comprendida entre 52,5 y 27 mt.

Geología de la zona y de la cerrada

La presa está implantada en un valle bastante largo, con un macizo de fundación de buena calidad en la margen derecha y





▼ Excavación a cielo abierto y reconstitución con hormigón, desde la intersección de la falla con la superficie de excavación de la cimentación hasta el bloque 3-4 de la presa.

▼ Substitución integral por hormigón del material de la caja de la falla, a partir de galerías en su interior, desde el bloque 3-4 hasta el bloque 2-3.

▼ Emparrillado de elementos de hormigón, contruados a partir de galerías, excavadas en el interior de la falla, en la zona bajo el bloque 1-2 de la presa y el aliviadero de superficie de la ladera izquierda.

en el fondo del valle, constituido por esquistos verdes poco alterados y de elevado módulo de deformabilidad. Una situación diferente se verifica en relación con el filadío existente en la ladera izquierda, accidente geológico denominado falla 22, el cual, a pesar de encontrarse razonablemente conservado, presenta módulos de deformabilidad del orden de la mitad de los esquistos verdes.

Este accidente geológico está constituido por dos fallas aproximadamente paralelas, las denominadas falla 22C y 22D, que limitan respectivamente el muro y el techo de la denominada falla 22, con espesores variables entre 3 y 7 mt en la zona mas superficial y superiores a 12 mt

bajo el aliviadero de superficie. Estas fallas 22C y 22D presentan potencias variables con intrusiones de material arcilloso de espesor variable entre decenas de centímetros hasta valores superiores a un metro, limitando un material constituido por filadío triturado y fracturado. En las zonas de mayor proximidad entre ellas el filadío se encuentra bastante triturado asemejándose a una única falla.

La definición de la solución de proyecto para el tratamiento de la falla 22 se apoyó en estudios de simulación mediante un estudio tridimensional de elementos finitos que modelizan la presa y el macizo de cimentación, en el cual se incluía la modelización de la mencionada falla 22.

Se realizaron diversos estudios de sensibilidad atribuyendo al material de la misma diversos módulos de deformabilidad, y considerando las acciones del peso propio, presión hidrostática y onda térmica anual, llegando a la conclusión de la necesidad de proceder a un refuerzo en la cimentación del estribo izquierdo.

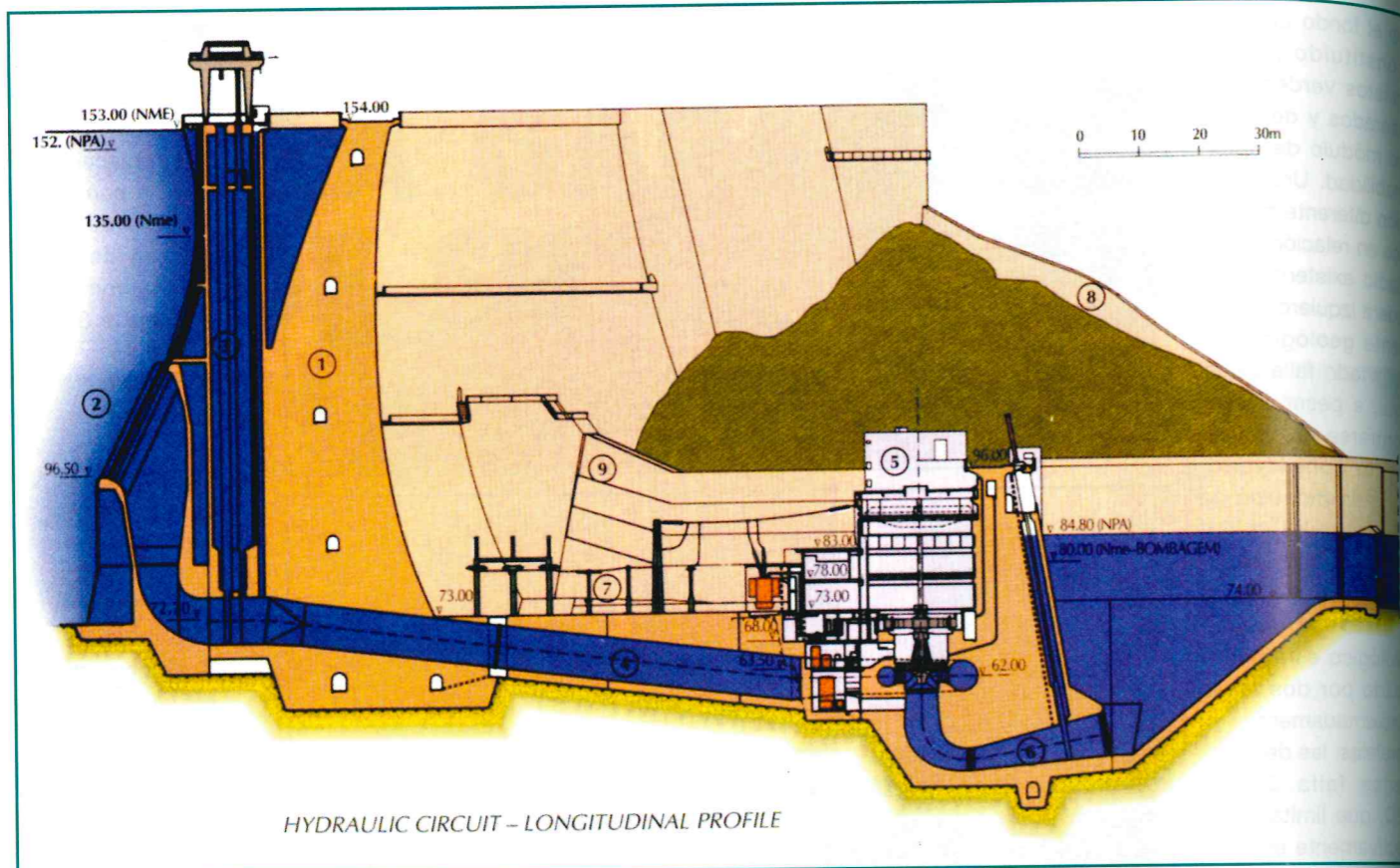
Se definió entonces una solución que incluía las tres siguientes zonas de tratamiento diferenciado :

Órganos de descarga

La solución adoptada para los órganos de descarga está constituida por :

▼ Dos aliviaderos de superficie, de tipo frontal, uno con un único vano integrado en el estribo derecho de la presa y el otro con dos vanos situado en posición adyacente al estribo izquierdo. Las capacidades máximas de descarga son de 2.100 y 2 X 2.100 m³/sg respectivamente. Cada uno de los aliviaderos de superficie está constituido por una zona de aproximación, una estructura de entrada, un canal y una estructura terminal. Las entradas están constituidas por soleras frontales provistas de compuertas semicirculares de 19 mt de anchura y 14 mt de altura, maniobradas por servomotores.

▼ Dos desagües de medio fondo constituidos por conductos blindados que atraviesan la presa, cada uno previsto para un caudal máximo de descarga de 1.750 m³/sg. Las estructuras de entrada se disponen en ménsula desde el



paramento de la presa. Los conductos tienen una sección de 7x9 m² y una longitud de 35 mt, estando provistos a la salida de compuertas de segmento para regulación de caudales.

Circuitos hidráulicos central y subestación

La central es de tipo pie de presa de planta rectangular con su mayor dimensión sensiblemente perpendicular al eje del río. Se desarrolla entre los desagües de medio fondo y estará equipada con dos grupos reversibles de eje vertical, distanciados 24 mt, constituidos por turbinas -bomba tipo Francis y por alternadores- motores síncronos trifásicos directamente acoplados a la máquina hidráulica.

Cada turbina-bomba estará servida por un circuito hidráulico independiente dimensionado para un caudal máximo de 210 m³/sg. Los trazados en planta de cada circuito están condicionados por su encaje entre la presa y la ataguía que por la distancia entre ejes de grupos. Así al tener las tomas una distancia de 15 mt entre ejes el trazado del circuito G2 es rectilíneo mientras que el trazado del G1 es ligeramente curvo.

Cada Toma está compuesta por una torre cilíndrica, de maniobra de compuertas, unida al paramento aguas arriba de la presa por una trompa a través de la cual se realiza la admisión de agua, en el funcionamiento como turbina, y la restitución

en el funcionamiento como bomba. Cada trompa constituye un bloque independiente y está subdividida por un tajamar central que origina dos secciones de entrada, cada sección tiene unas dimensiones de 20 mt de altura y 5,65 mt de anchura y están equipadas con rejillas metálicas desmontables que pueden ser extraídas, mediante guías de rodadura, por la plataforma de coronación de las torres a la cota 154.

Cada conducción dispone de una compuerta de seguridad, de tipo vagón, de dimensiones de 5,5 x 7,7 mt accionada por un servomotor situado en la cota 154. Aguas arriba de esta compuerta existen ranuras destinadas a la colocación de una compuerta - ataguía de emergencia; de esta manera se posibilita el acceso en seco en el interior de la torre y la eventual reparación de la compuerta de seguridad.

Los circuitos hidráulicos, a partir de las secciones de transición, están constituidos por conductos metálicos de 7 mt de diámetro. Estas conducciones se desarrollan en plano inclinado hasta el eje, a cota 62, del cono de reducción, de 7 a 5,6 mt, de entrada en la cámara espiral. Las conducciones están dotadas de juntas flexibles entre los bloques de la presa y de la subestación.

El tubo de aspiración de cada grupo está dividido, por el centro, mediante un tajamar de hormigón, por lo que cada salida tiene dos secciones. Cada una de ellas, con dimensiones de 6,5 x 6 m², dispone de una compuerta - ataguía para ser

RESUMEN DE CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

Presa:	<ul style="list-style-type: none"> • Tipo: bóveda de doble curvatura con estribos de gravedad • Altura máxima sobre cimientos: 96,00 M. • Desarrollo de coronación: 458,0 M. (348 + 60,0 + 50,0) • Relación cuerda - altura: 3,3 • Cota de coronación: 154,0 • Espesores máx/mín de la bóveda: 33,0 - 7,0 M. • Espesores máx/mín de los estribos: 52,0 - 32,0 M (der) y 42,0 - 24,0 M (izq)
Aliviaderos de superficie	<ul style="list-style-type: none"> • Número: 2 • Número de vanos: 1 + 2 • Cota de umbral: 139,0 • Longitud de cada vano: 19,0 M. • Altura de cada vano: 14,0 M • Tipo de compuertas: Sector accionadas por servomotor. • Capacidad máxima de descarga: 3 x 2.100 M³/s.
Desagües de medio fondo	<ul style="list-style-type: none"> • Número de desagües: 2 • Cota de la solera de entrada: 92,0 • Área de cada desagüe: 7 x 9 M². • Regulación: compuertas de sector a la salida. • Capacidad máxima de descarga: 2 x 1.750 M³/s.
Desagüe de fondo	<ul style="list-style-type: none"> • Diámetro: 3 M. • Longitud: 228 M. • Capacidad máxima de descarga: 160 M³/s.
Avenidas	<ul style="list-style-type: none"> • Avenida máxima probable: 12.000 M³/s. • Capacidad máxima de desagüe: 9.600 M³/s. • Laminación de la avenida máxima entre cotas: 152,0 y 153,0
Circuitos hidráulicos y grupos	<ul style="list-style-type: none"> • Número de circuitos: 2 • Diámetro de cada circuito: 7 M. • Longitud de cada circuito: 103 M. • Número de grupos reversibles: 2 • Potencia de cada grupo como generador: 129,6 MW. • Potencia de cada grupo como bomba: 110,3 MW. • Caudal de cada grupo como turbina: 203,2 M³/s. • Caudal de cada grupo como bomba: 170,48 M³/s. • Altura de agua como turbina: 71,1 M. • Altura de agua como bomba: 61,46 M.
Volúmenes principales de obra	<ul style="list-style-type: none"> • Hormigón en presa: 537.000 M³ • Hormigón en estribos: 150.000 M³ • Otros hormigones en masa: 65.000 M³ • Hormigón armado en estructuras: 350.000 M³ • Superficie encofrada: 250.000 M² • Acero en armaduras: 12.000 Tn.

maniobrada con presiones equilibradas; su accionamiento se realiza mediante un servomotor colocado en la plataforma a cota 96,00.

La restitución de los grupos fue concebida de manera de obtener la mejor adaptación entre las líneas de corriente y el contorno de los conductos. Esta salida se encuentra protegida por rejillas metálicas pues en bombeo actúa como toma.

La implantación de la central estuvo condicionada por :

- ▼ Adaptación al terreno.
- ▼ Localización de la presa y de las respectivas juntas de bloques.
- ▼ No interferencia con la estabilidad de las fundaciones de la presa.
- ▼ Aprovechamiento del espacio entre la presa y la central para la implantación de la subestación.

En su concepción se tuvo en cuenta la cota de calado de los álabes de las turbinas, la necesidad de áreas para servicios generales y montaje de equipos, la facilidad de comunicación entre diversas áreas y las condiciones geomecánicas del macizo rocoso.

Del nivel de calado de las turbinas – bombas con el plano medio del distribuidor a cota 62,00 , se deduce la ubicación de los niveles de los pisos de la central. Así tenemos :

Piso a cota 56,50, destinado esencialmente a la instalación de equipo mecánico como compresores y calderines de aire comprimido.

Piso a cota 63,50, también designado como piso de turbinas, destinado esencialmente a la instalación de los sistemas de regulación de velocidad y de accionamiento de los servomotores.

Piso a cota 68,00, también llamado piso de alternadores, en el que la zona aguas arriba está destinada a los equipos de refrigeración y la de aguas abajo a las excitatrices y a los cuadros de los grupos.

Piso a cota 73,00, es el piso principal de la sala de máquinas y se destina a la instalación de equipo eléctrico, estando la parte superior derecha del mismo reservado como área de montaje de los grupos.

Los pisos de cotas superiores a la del piso de central se destinan a la instalación de equipo eléctrico y áreas de apoyo (oficinas, sala de reuniones, recepción, etc).

El acceso a la central se hace por la margen izquierda mediante una carretera que pasa bajo el aliviadero de superficie y entronca con la plataforma a cota 96,00. En esta plataforma se ubica la zona de llegada y maniobra de los equipos destinados a la central y subestación, donde un pórtico grúa de 2.000 KN de capacidad permite colocar a cota 73,00, a través de una abertura de 8 x 8 m², los componentes de los equipos. En dicha plataforma se ubica también el edificio de llegada que permite el acceso a los pisos de la central mediante escaleras y ascensor.

El movimiento de cargas en el interior de la central se realiza mediante dos puentes grúa de 1.800 KN cada uno.

El muro-presa de aguas abajo de desarrolla en cada margen entre el canal de descarga del aliviadero de superficie y el del desagüe de medio fondo, prolongándose por la pared aguas abajo de la central entre los desagües de medio fondo. Por su coronación, a cota 96,00, se realiza el acceso de vehículos a la central.

La plataforma de la subestación, a cota 73,00, está delimitada por la presa, el edificio de central y los desagües de medio fondo.

PROCESOS CONSTRUCTIVOS

La ejecución del proyecto ha exigido la implementación de equipos e instalaciones acorde con las magnitudes de la obra a ejecutar y con las condiciones topográficas y geológicas del entorno.

Excavaciones y tratamiento de las cimentaciones

El proceso de excavación se realizó mediante el uso de explosivos aplicando técnicas de recorte y precorte. La carga del escombros resultante se hizo con retroexcavadoras pesadas de mas de 50 Tn y camiones articulados de 25 Tn equipados con caja especial para el transporte de materiales rocosos. Las escombreras para el vertido de estos productos se encuentran inmediatamente aguas arriba de la ubicación de la presa y quedarán cubiertas por el embalse.

Durante la ejecución de las excavaciones y comienzo de las cimentaciones se produjeron avenidas en río Guadiana que alcanzaron caudales medidos de 4.527 M³/s en la zona de obras; lo cual, dada la capacidad de laminación de la ataguía, significa una avenida de 5.500 M³/s que corresponde a un período de recurrencia de 40 a 50 años. Ello provocó el rebose de la ataguía y la consiguiente inundación de la zona de obras dando lugar a pérdidas y daños en la ejecución con el consiguiente retraso en el programa general de actividades.

Mención especial merece el tratamiento de la denominada falla 22 en la ladera izquierda. Su tratamiento está siendo realizado mediante técnicas de artesanía minera accediendo a los 6 niveles previstos de sustitución del terreno mediante dos galerías inclinadas mas de 20 °.

Dada la heterogeneidad del terreno en la zona de falla la excavación en la misma, tanto en las galerías de acceso como en las de sustitución del terreno, se realiza mediante tres técnicas distintas en función del terreno a excavar : rozadoras ligeras acopladas a retroexcavadoras, martillos rompedores hidráulicos igualmente acoplados a dichas retroexcavadoras o con empleo de explosivos, para lo cual se cuenta con un jumbo minimatic de bajo perfil que realiza la perforación.

En todos los casos la extracción de escombros se realiza con cargadora minera de perfil bajo tipo Scoop.



El tratamiento de esta falla es un trabajo que condiciona totalmente el programa de actividades y, por consiguiente, la finalización de los trabajos y la puesta en marcha del complejo.

Dosificaciones empleadas

Las instalaciones destinadas a la producción de hormigones están supeditadas a las condiciones que establece el PPT (Pliego de Prescripciones Técnicas). Es por ello que la primera condición a tener en cuenta en el diseño de las mismas es la composición de los mismos.

Para ello se emplean hasta 7 tamaños de áridos (0 - 2,5mm; 2,5 - 5 mm; 5 - 10 mm; 10 - 19 mm; 19 - 38 mm; 38 - 75 mm; 75 - 150 mm).

Los conglomerantes usados son el cemento tipo IV - 32,5 y las cenizas volantes procedentes de la central de Sines. En

todas las dosificaciones se incluyen aireantes y plastificantes. En las épocas mas calurosas del año es necesario amasar con una cierta cantidad de hielo.

Obtención de áridos, cantera y proceso de fabricación.

Los áridos necesarios para la fabricación de los distintos tipos de morteros y hormigones se obtienen de una cantera de esquistos, definida por el Cliente, que está situada en la margen derecha aguas arriba de la presa. La topografía de la zona definida para la explotación de estos materiales determina que la extracción de los mismos deba hacerse en pozo, lo cual supone una dificultad añadida en el manejo de los mismos.

Las operaciones de preparación del yacimiento se iniciaron con una limpieza por desbroce de la superficie ocupada por la explotación, dejando este material en las proximidades del perímetro con objeto de que al finalizar la explotación pueda re-



Galería de acceso a la falla 22. Abajo, vista general de la cantera.



cuperarse para las restauraciones medioambientales y paisajísticas.

La explotación se realiza en bancos con una altura media de 10 m y la cuadrícula de perforación, diámetro de taladros y carga de explosivo fueron adaptados para conseguir un producto adecuado a las dimensiones de la boca de la machacadora primaria instalada en la planta para procesamiento de áridos.

Los equipos de maquinaria utilizados son los siguientes:

Desbroce, preparación y acopio de material volado

- ▼ Una retroexcavadora sobre orugas con motor de 310 CV
- ▼ Un tractor sobre orugas con motor de 165 CV

Perforación y voladura

- ▼ Tres vagones perforadores sobre orugas con equipo para \varnothing 2 1/2"

Carga, manejo de material en cantera y transporte

- ▼ Dos retroexcavadoras sobre orugas con motor de 310 CV
- ▼ Siete dumperes articulados, con caja para roca, de 25 t

El procesamiento de los esquistos procedentes de la cantera, debido a la naturaleza exfoliable de esta roca y a su composición mineralógica rica en minerales arcillosos, es una operación con un alto grado de dificultad si pretende obtener un material con calidad suficiente para la fabricación de hormigones de una presa.

Es por ello que se diseñó y montó una planta para tratamiento de áridos con procesos de machaqueo en varias etapas, clasificación y lavado; prestando especial atención al lavado de la arena fina con el fin de poder cumplir con los requisitos de granulometría, módulo de finura, equivalente de arena, etc.

La capacidad de la instalación es de 450 ÷ 500 t/h, obteniendo los siete tamaños y proporciones siguientes:

0,15 mm ÷ 2,5 mm	24%
2,5 mm ÷ 5 mm	3%
5 mm ÷ 10 mm	9%

10 mm ÷ 19 mm	10%
19 mm ÷ 38 mm	17%
38 mm ÷ 75 mm	22%
75 mm ÷ 150 mm	15%

La instalación está compuesta esencialmente por:

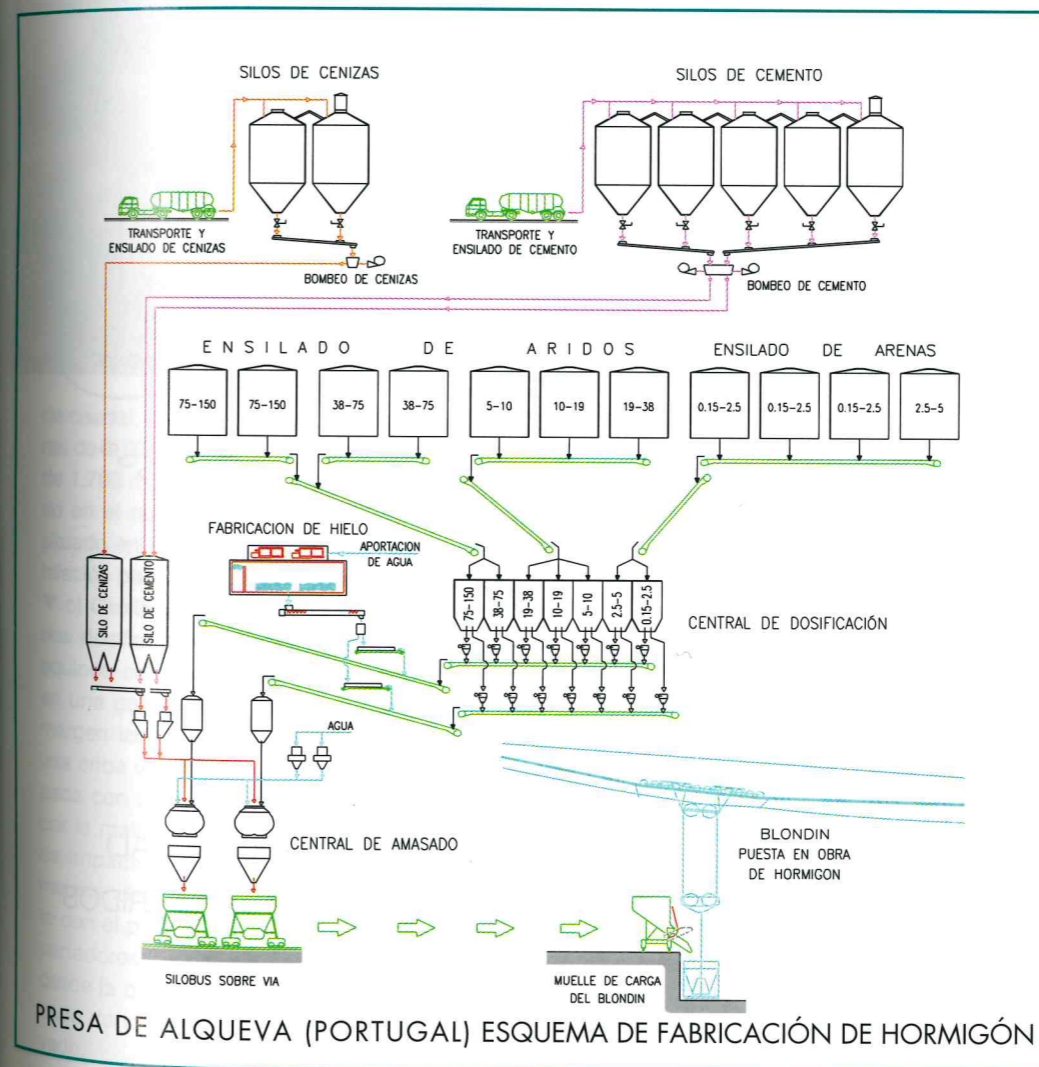
▼ a) Puesto Primario.- Situado en las proximidades de la cantera, se compone de una tolva de recepción, en la que descargan los dumperes articulados que transportan los materiales procedentes del yacimiento, que dispone en su fondo de un alimentador vibrante equipado con barrotes separadores (grizzly), con abertura de 100 mm, dimensionado para una capacidad de producción de 650 t/h.

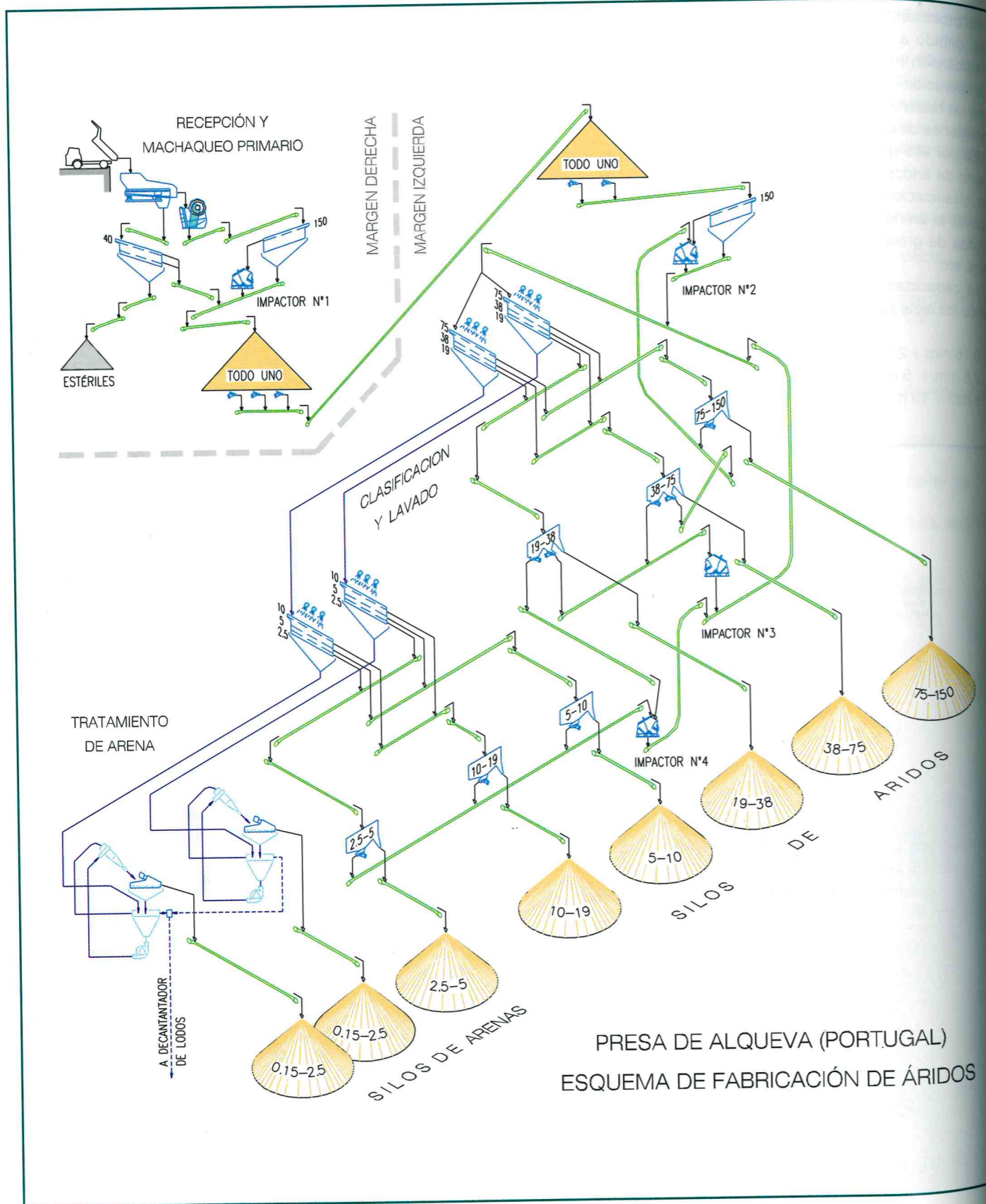
El material rechazado por el grizzly se pasa por una machacadora de mandíbulas, de 1.300 mm x 1.035 mm, con motor eléctrico de accionamiento de 180 CV. Producción 320 ÷ 510 t/h. Y el pasante, de tamaño máximo inferior a 100 mm, se envía a una criba vibrante por la que se separan los estériles e incorporan al proceso los productos utilizables.

Con el fin de reducir el material lajoso y mejorar la transportabilidad, el producto obtenido en la machacadora de mandíbulas se dirige a una criba vibrante, equipada con malla de # 150 mm, para tratar el rechazo en una trituradora secundaria de impactos, accionada por motor eléctrico de 270 CV, con capacidad para 270 t/h.

El material todo-uno obtenido en el puesto primario se envía, mediante transportadores de banda, a un acopio intermedio de regulación, con capacidad para 10.000 t aproximadamente.

▼ b) Transporte por cintas desde puesto primario hasta zona de clasificación y lavado.- A través de una galería situada bajo el acopio intermedio de regulación del puesto primario y mediante tres dosificadores vibrantes de bandeja para extracción, que disponen de equipos electrónicos para regulación





de caudal, se alimenta una cadena de cintas transportadoras de 1.000 mm de ancho de banda con una longitud total de 1.700 m, por las que se hace llegar el todo-uno acopiado en el puesto primario hasta otro acopio de regulación situado en la margen izquierda donde está ubicada la instalación para clasificación y lavado de áridos.

▼ c) Clasificación y lavado de los áridos.- Por medio de dos dosificadores vibrantes de bandeja, que disponen de equipos electrónicos para variación de caudal, instalados en una galería situada bajo el acopio del todo-uno en la margen izquierda, se extrae el material que es enviado a una criba vibrante de 9 m² de superficie de cribado, equipada con una malla de # 150 mm. El producto rechazado por la malla de la criba se trata en un molino secundario de impactos regulado adecuadamente para producir un material de tamaño máximo inferior a 150 mm. El cual, junto con el pasante por la malla de la criba y mediante transportadores de banda, se dirige a un cajón de distribución desde la que se alimentan las dos líneas o cadenas de cribado donde se efectúan los procesos de clasificación y lavado.

Las dos cadenas de cribado están compuestas por cuatro cribas vibrantes de 12 m² de superficie de cribado las dos instaladas en el piso superior y 15 m² de superficie de cribado las dos montadas en el piso inferior. Cada una de las cribas dispone de tres bandejas que están equipadas con mallas de # 75 mm, # 38 mm y # 19 mm respectivamente en la primera etapa y de # 10 mm, # 5 mm y # 2,5 mm respectivamente en la segunda etapa, donde se realiza la separación de los tamaños. Estas cribas tienen instaladas rampas de riego a base de difusores de bronce, en cada bandeja, efectuándose también el lavado de los áridos.

Los distintos tamaños de áridos superiores a 2,5 mm, una vez clasificados y lavados, se dirigen a tolvas de transferencia desde las que se pueden enviar a través de transportadores de banda hasta sus respectivos acopios sobre montón y a remachacar los excedentes. Y el producto pasante por las mallas # 2,5 mm, de las dos líneas de clasificación, junto con el agua de lavado en las cribas, se envía hacia dos equipos para tratamiento de arena, con sistemas de hidrociclón dimensionados y regulados para eliminar los tamaños inferiores a 0,15 mm, disponiendo de secadores -



deshumectadores para disminuir y homogeneizar la humedad de la arena que después es dirigida, mediante cintas transportadoras, a su correspondiente acopio sobre montón.

Los excedentes del tamaño clasificado $150 \text{ mm} \div 75 \text{ mm}$ se machacan en el molino secundario de impactos; los del tamaño $75 \text{ mm} \div 38 \text{ mm}$ se pueden tratar en el molino secundario y en un molino terciario, también de impactos; los del tamaño $38 \text{ mm} \div 19 \text{ mm}$ se pueden enviar al molino terciario de impactos y a un molino cuaternario (arenero), y los excedentes producidos en los tamaños $19 \text{ mm} \div 10 \text{ mm}$; $10 \text{ mm} \div 5 \text{ mm}$ y $5 \text{ mm} \div 2,5 \text{ mm}$, se tratan en el molino "arenero".

Los materiales resultantes de la trituración en los molinos son reciclados y cribados nuevamente.

▼ d) Sistema para recuperación del agua de lavado.- Con el fin de no afectar al medio ambiente y evitar la contaminación, se instalaron dos decantadores de lodos, con equipos automáticos para dosificación del floculante, que reciben el agua con los productos que se eliminan en los sistemas para tratamiento de arena. El agua clarificada se bombea a la red de lavado de áridos, que trabaja en circuito cerrado, reponiendo únicamente la que se pierde en el circui-

to, y los lodos se dirigen a una zona preparada y acotada, para su acopio al aire libre.

Los decantadores llegan a tratar un total de $475 \text{ m}^3/\text{h}$ de pulpa.

▼ e) Elementos auxiliares.- La instalación se completa con las correspondientes tolvas, canaletas, alimentadores regulables, cintas transportadoras, básculas sobre cintas, equipos eléctricos y de telemando, etc., que permiten gran versatilidad y eficaces controles de funcionamiento y flujos de materiales producidos y reciclados.

Existe un puesto de mando y control para el puesto primario y otro que dispone de programa informático, en la zona de clasificación y lavado.

Central de fabricación, características

En la margen izquierda de la presa fue implantado el conjunto de instalaciones necesarias para la fabricación de los distintos tipos de hormigones a colocar en la obra, que fundamentalmente constan de:

▼ a) Ensilados de áridos en presa.- Los áridos clasificados y acopiados sobre montón en la planta de tratamiento, se

transportan secuencialmente mediante cintas y alimentadores vibrantes para extracción montados en las galerías bajo los acopios, hasta una batería de once silos metálicos cerrados, de fondo plano, montados sobre cuatro galerías construidas en hormigón armado y situado próximos a la central para fabricación de hormigón.

Sobre una de las galerías están montados dos silos de 1.250 m³ de capacidad, cada uno, donde se acopia el árido 150 ÷ 75 mm; sobre otra galería están montados dos silos de 800 m³ de capacidad, cada uno, que reciben el árido de 75 mm ÷ 38 mm; sobre otra de las galerías se montaron un silo de 800 m³ de capacidad para el árido 38 mm ÷ 19 mm y dos de 700 m³ de capacidad, cada uno, para los áridos 19 mm ÷ 10 mm y 10 mm ÷ 5 mm, respectivamente y sobre la cuarta galería se montaron cuatro silos de 700 m³ de capacidad, cada uno, tres destinados al acopio de arena fina y uno para arena gruesa.

Para la extracción de los áridos se instalaron alimentadores dosificadores que alimentan una cinta transportadora situada en la correspondiente galería bajo silos, que dirige cada uno de los productos clasificados hacia la planta de hormigón.

Todos los silos están aislados exteriormente mediante un recubrimiento de protección térmica.

▼ b) Planta principal para fabricación de hormigón.- Los distintos tipos de hormigones se fabrican en una central dosificadora-amasadora con capacidad para 250 m³/h de hormigón vibrado.

La planta es de desarrollo horizontal y esencialmente se compone de una batería con siete tolvas con doble salida, de 40 m³ de capacidad cada una, para acopio de áridos; un silo regulador para cemento de 80 t y un silo para cenizas volantes de 60 t, con los correspondientes niveles de máximo y mínimo llenado y sin-fines para descarga; cintas transportadoras para recibir los áridos dosificados y envío hasta las tolvas de espera; electrobombas centrífugas para descarga de agua, etc. Dispone de dos líneas de dosificación con catorce básculas independientes para áridos, dos básculas para cemento, dos básculas para cenizas volantes, dos básculas para agua, dos básculas para hielo en escamas y cuatro básculas para aditivos líquidos. Para el amasado se utilizan dos mezcladoras con capacidad para 4,5 m³ de hormigón vibrado, cada una, montadas sobre pódico independiente del que soportan los dosificadores.

Bajo cada una de las mezcladoras se dispone de una tolva de espera de hormigón con capacidad para 9 m³, cada una, equipadas con cierres de casco.

El funcionamiento puede realizarse de forma manual o automática. Para el funcionamiento en automático dispone de un equipo electrónico que controla todo el proceso de dosificación, transporte y amasado, mediante los correspondientes sensores. Está controlado por PC indus-

trial con monitor color. Y el seguimiento del funcionamiento de la planta se efectúa a través de pantalla sinóptica con aviso de descompensaciones.

▼ c) Ensilado de cemento y cenizas volantes.- En las proximidades de la planta de hormigón se instaló un sistema para acopio de conglomerantes. Se montaron siete silos metálicos con capacidad para 500 m³, cada uno, estando destinadas cinco para cemento y dos para cenizas.

El transporte desde estos silos de acopio hasta los silos propios de la central de hormigón se realiza mediante sistemas combinados a base de aerodeslizadores y aire a baja presión. Se montaron dos en paralelo para el cemento y uno para las cenizas.

La mezcla y dosificación del cemento y las cenizas volantes se efectúa en la planta de hormigón después del pesaje independiente de cada uno de los productos. En el fondo de las básculas hay instalados sendos sistemas para su vaciado que vierten en un tornillo sin-fin común donde se realiza la mezcla antes de su incorporación a la amasadora.

▼ d) Planta auxiliar para fabricación de hormigón.- Para la fabricación de los hormigones previos a la puesta en marcha de la central principal y para atender el suministro de hormigones a frentes de trabajo situados fuera del cuerpo de presa, se instaló una planta auxiliar compuesta de dosificadora para cinco tamaños de áridos (hasta 38 mm), silos para cemento y cenizas, y pódico con amasadora forzada de eje vertical. Su capacidad real se aproxima a los 80 m³/h de hormigón vibrado.

Puesta en obra de los hormigones

Seguidamente se relacionan los distintos medios utilizados para la puesta en obra de los hormigones:

▼ a) Silobuses.- El hormigón fabricado en la planta principal se transporta, hasta llegar al cubo de los blondines, mediante tres silobuses autopropulsados, sobre vía, con tolva para 9 m³ de hormigón vibrado. Se cargan bajo las tolvas de la planta y recorren el camino preparado sobre el muelle de cazos hasta situarse para la descarga.

Cada silobus lleva instalado un motor Diesel de 60 CV que acciona una bomba oleohidráulica, la cual actúa sobre los motores de traslación y otros dispositivos con los que se comandan los mecanismos de apertura y cierre de la tolva.

▼ b) Blondines.- Para el transporte del hormigón desde el camino de silobuses hasta los distintos bloques de la presa, se instalaron dos blondines de 27 t de capacidad al gancho, carga equivalente a un volumen de 9 m³ de hormigón vibrado más el peso del correspondiente balde.

El accionamiento de los mecanismos de elevación-descenso del gancho y traslación de la bicicleta se realiza me-



dante motores eléctricos de corriente continua, con variadores de velocidad, que permiten la regulación progresiva desde cero hasta el máximo manteniendo el par motor constante.

Otras características de estas máquinas son:

Distancia entre apoyos extremos	700 m
Desnivel entre apoyos extremos	35 m
Carrera vertical del gancho.....	150 m
Altura de las torres fijas	75 m
Altura de las torres móviles	20 m
Longitud vía de rodadura.....	324 m
Línea para traslación de la bicicleta	Doble cable carril
Sistema de distanciadores.....	Fijos
Velocidad elevación/descenso gancho	2,5 m/seg
Velocidad traslación de bicicleta	7 m/seg
Velocidad desplazamiento torres móviles	0,2 m/seg

▼ c) Grúas torre.- Para la colocación de los hormigones de la central, tomas de agua, desagües, aliviaderos, etc.,

se montaron seis grúas torre, de diferentes características, con distintas longitudes de pluma y alturas bajo gancho.

Algunas de las máquinas se cambiaron de posición y modificaron sus condiciones, pero en la mayoría de los montajes se mantuvieron con los alcances y capacidades aproximadas de cargas en punta, siguientes:

G-1. Pluma para 60 m de alcance.....	8.500 kg
G-2. Pluma para 35 m de alcance.....	5.000 kg
G-3. Pluma para 45 m de alcance.....	5.000 kg
G-4. Pluma para 40 m de alcance.....	5.000 kg
G-5. Pluma para 70 m de alcance.....	2.700 kg
G-6. Pluma para 34 m de alcance.....	5.300 kg

▼ d) Otros procedimientos.- También se utilizaron para el hormigonado de zonas que no podían ser cubiertas con los medios descritos, una grúa automóvil cuya pluma es una cinta transportadora, extensible, de alta velocidad, con



banda de 610 mm de ancho y alcance máximo de 61 m, y un camión que lleva montada una cinta transportadora, extensible, de alta velocidad, con banda de 457 mm de ancho y alcance máximo de 32 m.

▼ e) Transporte de hormigón con camión.- El hormigón fabricado en la planta auxiliar se transporta hasta los cubos de las grúas-torre y tolvas de recepción de los equipos con cintas de alta velocidad, mediante camiones hormigonera de 6 m³ y camiones con tolva especial, para transporte de hormigón, con capacidad para 9 m³.

▼ f) Medios para compactación del hormigón.- El hormigón que se descarga de los cazos de los blondines en los diferentes bloques de la presa precisa de un proceso de extendido y vibrado, que se realiza con equipos de máquinas adecuadas a las características del proyecto. Para el extendido se han utilizado tres tractores sobre orugas, con motor de 70/75 CV, y para el vibrado del hormigón tres retroexcavadoras de 90 CV a las que se sustituyó el cazo por un palonier que monta seis vibradores oleohidráulicos con agujas de Ø 150 mm.

Para las zonas a las que no se puede acceder con las máquinas se emplean vibradores de mano, de diferentes diámetros de aguja, que son de accionamiento eléctrico o neumático.

Refrigeración de los hormigones. Planta de hielo para amasado y refrigeración de los bloques por serpentines

Dadas las altas temperaturas que en verano se registran en la zona de construcción de la presa y de acuerdo con lo indicado en los P.P.T., se hizo necesario disponer de unos sistemas de enfriamiento con objeto de reducir la temperatura del hormigón antes de su colocación y después de colocado.

Los procedimientos utilizados son:

▼ a) Incorporación de escamas de hielo en la central de hormigón principal.- Uno de los sistemas para reducir la temperatura del hormigón durante su fabricación, es la sustitución de parte del agua de amasado por hielo en escamas. Para ello se montó una fábrica de escamas de hielo con capacidad para producir 100 t/día y un silo, perfectamente aislado, para almacenar 95 t de hielo.

Por medio de un tornillo sin-fin, las escamas son transportadas desde el silo hasta un depósito intermedio de regulación desde el que se pueden alimentar simultáneamente las dos básculas pesadoras.

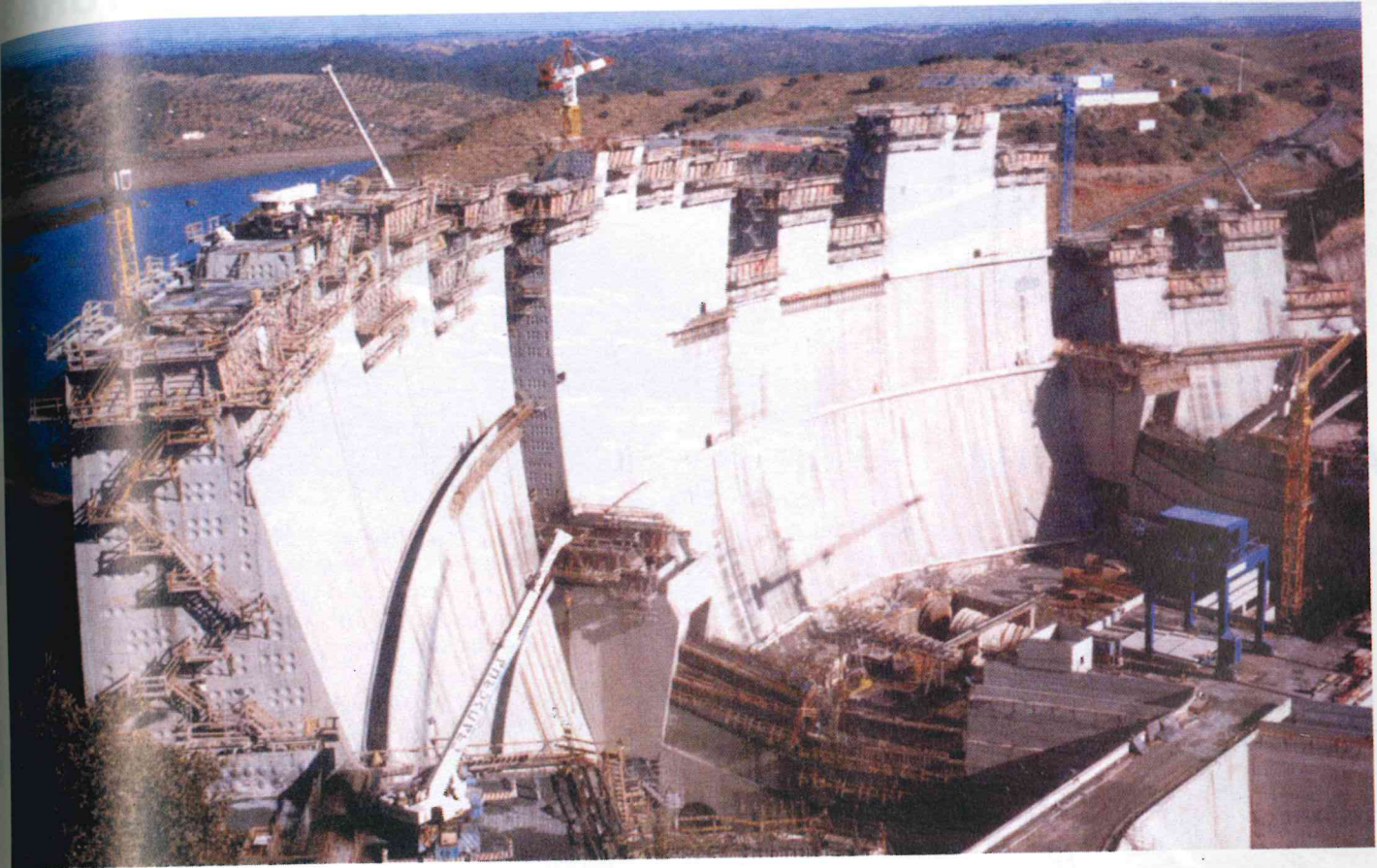
▼ b) Utilización de agua fría para amasado.- También se instaló un equipo para enfriamiento de agua hasta 4° C desde el que se puede conducir el agua fría hasta la central de hormigón principal, para utilizarla en el amasado de la mezcla y, por otra parte, alimentar con agua fría la fábrica de escamas de hielo con el fin de aumentar el rendimiento del equipo.

▼ c) Post-refrigeración del hormigón.- Para poder reducir la temperatura del hormigón durante el proceso de fraguado, se instaló una red de tuberías aisladas, de distintos diámetros, a través de las que se llega a los diferentes bloques de la presa.

Antes del hormigonado de las tongadas de los bloques se dejan montados una serie de serpentines preparados con tubería metálica de Ø 1" y 1 mm de espesor, dispuestos, en planos horizontales y separados dos metros. Se sitúan a una distancia de 0,5 m de cada uno de los cuatro paramentos.

La refrigeración artificial de la presa consiste en hacer circular agua, en principio del río y finalmente refrigerada, a través de los serpentines embebidos en el hormigón que fueron diseñados para soportar una presión interior de 16 kg/cm.

La circulación del agua por los serpentines, tanto del río como refrigerada, se realiza en secuencias prefijadas para poder conseguir la temperatura adecuada del hormigón antes de proceder a la inyección de las juntas.



Estado actual del proyecto.

Para el enfriamiento de agua a utilizar en la post-refrigeración se han montado cuatro equipos, de las mismas características, (dos en la margen derecha y los otros dos en la izquierda), con un rendimiento global de:

Capacidad.....	4.520 kW térmicos
Temperatura de salida del agua.....	5° C
Caudal de agua enfriada a 5° C	120 l/seg
Potencia eléctrica instalada.....	1.200 kW

Estado Actual del Proyecto.

Se encuentra en plena ejecución la obra civil de la presa y central, a excepción del estribo de la margen izquierda que se encuentra afectado por el tratamiento de la falla 22.

Los bloques de la margen derecha de la presa se encuentran hormigonados entre la cota 121 y la 150,50, los del lecho del río entre la 126,50 y la 152,70 y los de la margen izquierda entre la cota 103 y la 141. El estribo izquierdo se encuentra sin comenzar debido, como se ha comentado, a estar afectado por el tratamiento de la falla 22.

El aliviadero de la margen derecha está en ejecución con bloques entre la cota 89 y la 104 y el de la margen izquierda se

encuentra sin comenzar, igual que el estribo correspondiente, por la mencionada afectación de la falla 22.

Los bloques de los desagües de medio fondo se encuentran a cotas 110 y 97 respectivamente el derecho y el izquierdo.

Respecto al desagüe de fondo está hormigonada la zapata de la torre de compuertas a cota 120.

La central se encuentra próxima a su cubrición para comenzar el montaje de las cámaras espirales. El muro aguas abajo de la central está acabado a excepción de los tramos entre aliviaderos de superficie.

Las fechas previstas para la finalización de los hitos principales son :

- ▼ Fin del tratamiento de la falla 22 : 30/10/2001
- ▼ Fin del Cuerpo de presa : 31/12/2001
- ▼ Comienzo de embalse : 31/12/2001
- ▼ Apertura al tráfico de la coronación de la presa : 15/08/2002
- ▼ Conclusión de todos los trabajos de obra civil : 29/11/2002
- ▼ Inicio de la producción de energía en la central : 27/01/2003. ■