

La presa del Negratín: proyecto y construcción

Por J. DELGADO GARCIA

Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Autor del proyecto y director de las obras

La presa del Negratín, actualmente en avanzado estado de construcción, es quizá de los ejemplos más claros de influencia de la geología del terreno en la tipología de la solución escogida. Se ha proyectado, después de numerosos estudios geológicos y geotécnicos en varios emplazamientos posibles, una presa mixta de hormigón y escollera con impermeabilización de pantalla asfáltica, siendo la mayor de estas características de España.

La ejecución de esta presa viene a completar de forma importante la insuficiente regulación actual de la cuenca del Guadalquivir. Su capacidad de embalse (546 Hm³) hacen de esta presa la segunda de Andalucía, después de la presa Iznájar.

Se describen en el artículo los problemas planteados para un correcto encaje en el terreno de la presa, y los dispositivos previstos en la unión de las dos zonas de la misma (escollera y hormigón), así como se exponen las características fundamentales de los distintos órganos de desagüe y elementos de auscultación y control.

Por último se describen la marcha actual de las obras, medios auxiliares empleados, materiales utilizados y control de calidad, así como las investigaciones geológicas complementarias que se siguen realizando con la colaboración del Servicio Geológico de Obras Públicas durante la construcción de la obra.

1. LA REGULACION ACTUAL DE LA CUENCA DEL GUADALQUIVIR

El río Guadalquivir, que haciendo honor a su nombres es el verdadero «río grande» del Sur (de Europa y de España), tiene en la actualidad construidos 25 embalses, con una capacidad total de almanecamiento de 4.212 Hm³, lo que representa sólo el 53,4 % de sus aportaciones medias, que se suma en 7.882 Hm³.

La mayor parte de los embalses construidos tienen por objeto atender a necesidades concretas de riego y abastecimiento en diversas zonas, y sus capacidades sólo permiten en general la regulación anual de sus cuencas respectivas.

Solamente el pantano del Tranco de Beas, de 500 Hm³ de capacidad, sobre el río Guadalquivir en su cabecera, y el de Iznájar, de 980 Hm³, sobre el río Genil, principal afluente, pueden considerarse hiperembalses con capacidad de regulación interanual. El temporal de lluvias de enero de 1969 hizo verter por sus aliviaderos a todos los embalses del Guadalquivir, y sólo los embalses del Tranco y de Iznájar fueron capaces de almacenar importantes volúmenes de agua sin llegar a verter por el aliviadero.

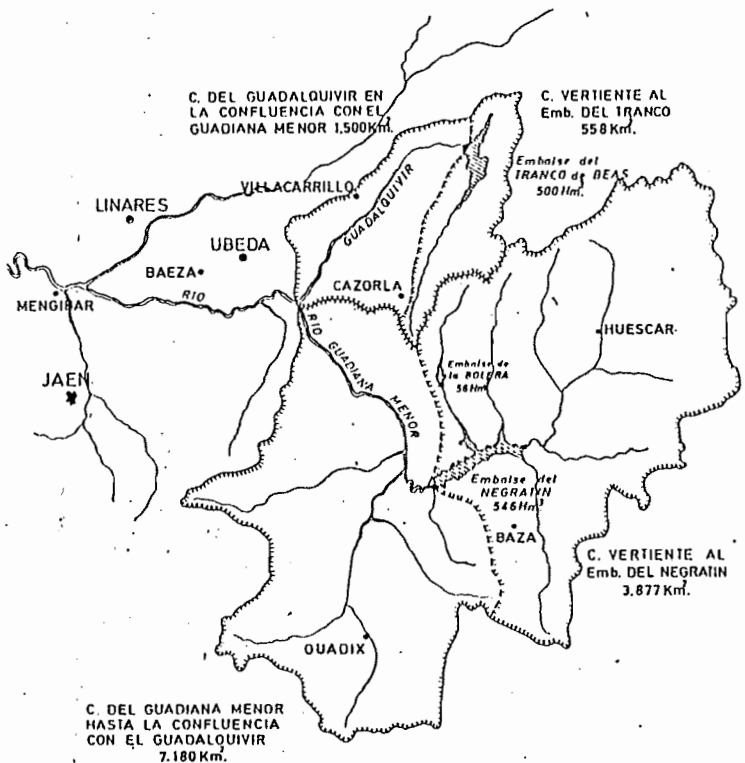


Fig. 1.—Cuenca del Alto Guadalquivir.

Es evidente que en la cuenca del Guadalquivir es necesario y urgente acometer la construcción de hiperembalses de regulación interanual para atender a las crecientes demandas de agua y hacer frente a los períodos de sequía, tan frecuentes en el Sur de España, y de la que tenemos una muestra muy reciente en el pasado año.

En la figura 1 puede verse la planta del Alto Guadalquivir, donde se aprecia que la cuenca del llamado río Guadalquivir es de 1.500 km², mientras la del Guadiana Menor es de 7.180 km². Por esta razón, además de por su longitud, pendiente y caudal, al río Guadiana Menor podría considerarse el verdadero río Guadalquivir, y en la comarca siempre ha sido conocido como el «río grande».

La Confederación Hidrográfica del Guadalquivir, desde su fundación, en 1927, se planteó como tarea más importante la construcción de embalses de regulación, y ya en su segundo plan de obras y presupuestos para el ejercicio de 1932 figura el pantano del Negratín, con una capacidad de 160 Hm³. En los planes y presupuestos para 1934 y 1935 figura el pantano de Negratín con 400 Hm³ de capacidad, y dada su característica de embalse de cabecera se considera obra preferente.

Después de la guerra, en el año 1941, se reanudaron los estudios y reconocimientos geológicos de la cerrada y vaso, que pusieron de manifiesto que el único sitio posible del río Guadiana Menor para construir una gran presa de regulación era el paraje denominado «Negratín» (junto a la confluencia con el arroyo del Baúl), donde existe un afloramiento de molasas helvenienses, no presentando el resto del cauce del río condiciones mínimas, ni topográficas ni geológicas, para el establecimiento de una presa.

El problema se planteaba (como muy acertadamente constató el ingeniero de esta Confederación don Francisco de Paula Abellán, que durante cuarenta años estudió exhaustivamente todos los ríos de la sección de Granada) en construir un embalse en el paraje del Negratín o quedar sin regulación el principal afluente del Guadalquivir en su cabecera, que debido al régimen tan irregular de precipitaciones en su cuenca, y a la gran extensión de la misma, dejaría siempre incompleta en gran medida la regulación general del Guadalquivir.

2. EL EMBALSE DEL NEGRATÍN. PROBLEMA PLANTEADO

Partiendo de la necesidad, casi evidente, de regular el río Guadiana Menor y de no existir otras posibilidades que la cerrada del Negratín para la im-

plantación de una presa de embalse, se estudió a partir del año 1941 la geología de la Cerrada, remitiendo en ese mismo año la Asesoría Geológica del Ministerio de Obras Públicas su primer informe, totalmente favorable en cuanto a la bondad de la cerrada y el vaso, prescribiendo la realización de sondeos para confirmarlo. El resultado de los sondeos realizados en los años posteriores se recoge en el informe de la Jefatura de Sondeos del año 1947.

La estructura geológica de la Cerrada está esencialmente constituida por un substratum triásico (Keuper), con arcillas rojas con yesos y afloramientos ofíticos, un relleno terciario de molasas helvecien-ses sobre el que se apoyan, en la margen izquierda, margas tortonienses, coronando el conjunto un conglomerado atribuible al mioceno superior. Se estudiaron dos soluciones: la primera (emplazamiento número 1) corresponde al lugar más estrecho del cañón, inmediatamente aguas abajo de la desembocadura del arroyo del Baúl, y la segunda (emplazamiento número 2) a una presa poligonal de gran longitud aguas arriba de dicha desembocadura, cerrando los cauces del río y del arroyo (figura 2).

La primera se desecha por el escaso espesor de las molasas sobre los yesos y arcillas de Keuper. La segunda, aunque admitiendo su posibilidad, le pone reparos por su gran longitud y complicación en planta y por la poca consistencia del estribo izquierdo. Como alternativa se propone en el informe la cerrada de Peña Platera, situada a un kilómetro aguas abajo de las dos primeras soluciones (emplazamiento número 3).

Paralelamente a estos trabajos, la Confederación realizó los estudios previos y de detalle que se concretaron en el «Proyecto del pantano de Negratín», suscrito en 1946 por el ingeniero de esta Confederación antes citado. La presa proyectada era de fábrica con planta poligonal, cuya situación correspondía a la segunda de las soluciones estudiadas en el informe de la Jefatura de Sondeos. Por los reparos geológicos contenidos en el mismo, la Dirección General de Obras Hidráulicas no llegó a emitir resolución alguna sobre este proyecto, lo que supuso una paralización de los estudios y trabajos para la realización de la presa del Negratín.

A partir del año 1961, y promovidos e impulsados por el ingeniero jefe de esta Confederación, se prosiguieron los estudios para la construcción de la presa del Negratín, decidiéndose prescindir de la cuenca del arroyo del Baúl, cuya aportación tiene muy poca importancia en relación con la del «río grande», y se propuso una cuarta solución a base de presa mixta de fábrica y materiales sueltos, situada aguas arriba de la confluencia del citado arroyo.

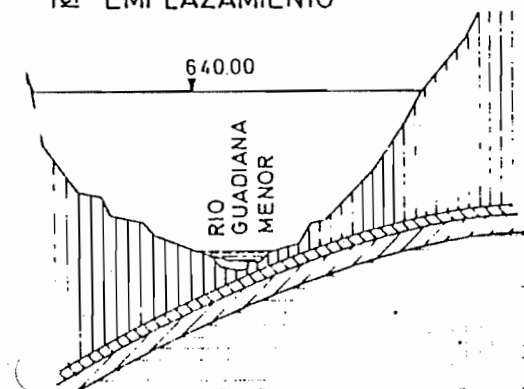
LA PRESA DEL NEGRATIN

Para el estudio geológico de este cuarto emplazamiento fue solicitado y obtenido informe de la Asesoría Geológica de Obras Públicas en el año 1961, en cuyas conclusiones se decía literalmente: «Las características geológicas del cierre en vigor son buenas tanto en cuanto a resistencia como a

impermeabilidad. Se propone un plan de sondeos y unas galerías de reconocimiento que nos permitan dar un carácter definitivo a esta manifestación».

Siguiendo lo indicado, la Confederación realizó las galerías prescritas, una en la margen derecha y dos en el estribo izquierdo.

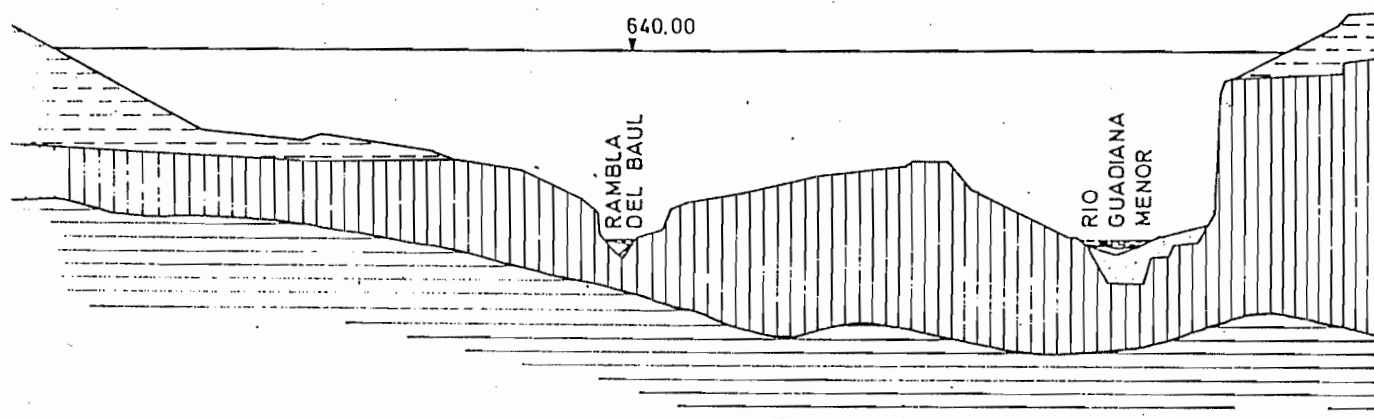
1º EMPLAZAMIENTO



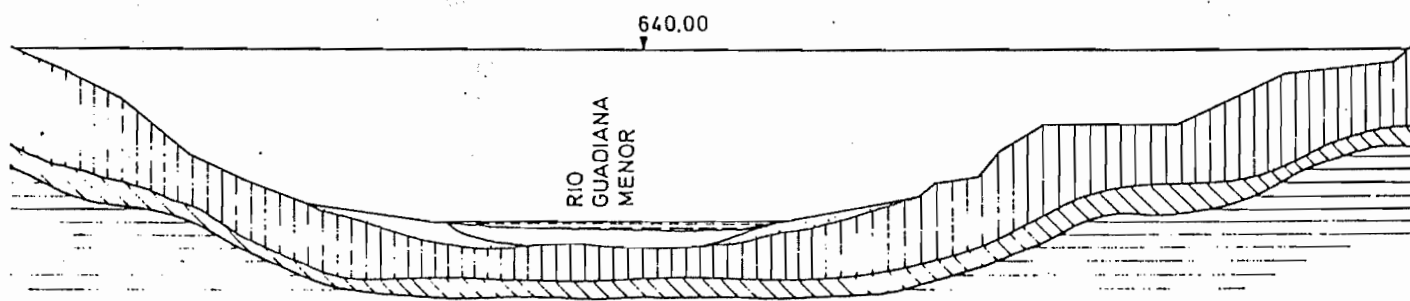
LEYENDA

- LIMOS, ARENAS Y ACARREOS.
- ARENAS Y GRAVAS (ALUVIONES).
- ARENISCA FUERTE.
- CALIZA MARGOSA.
- CALIZA CON VETAS DE YESO: RETIENSE.
- MARGAS CON YESO: KEUPER.
- MARGAS Y ARCILLAS.

2º EMPLAZAMIENTO



3º EMPLAZAMIENTO



Escala gráfica
0 25 50 75 100 m.

Fig. 2.—Cortes geológicos de las cerradas estudiadas en los años 40.

4º EMPLAZAMIENTO.- DEFINITIVO

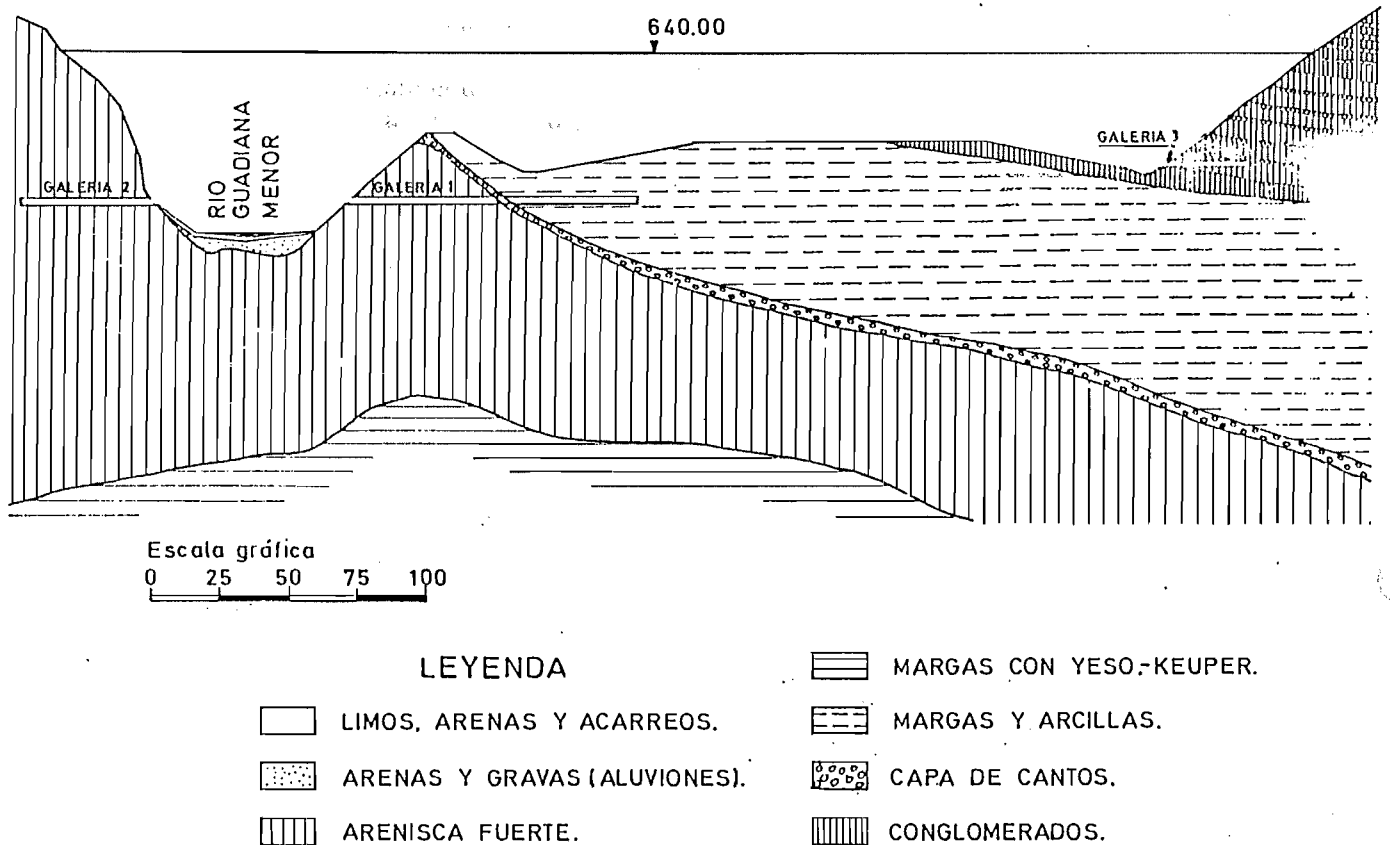


Fig. 3.—Corte geológico del emplazamiento definitivo de la presa del Negratín.

Los resultados de los sondeos llevados a cabo por el Servicio Geológico se recogen en el «Informe del reconocimiento mediante sondeos de la futura presa del Negratín, en el río Guadiana Menor», fechado en 1965. Sus conclusiones confirman la bondad del cierre y la idoneidad de la presa mixta para la cerrada estudiada (figura 3).

La Dirección General de Obras Hidráulicas estimó conveniente hacer una recopilación de todos los estudios realizados y así obtener una visión global y definitiva del asunto. A este efecto nombró una ponencia presidida por el presidente de la Asesoría Geológica, que reconocieron sobre el terreno los distintos emplazamientos considerados (figura 4), en particular el último, conociendo el anteproyecto de la presa, que estudiamos durante la realización de los sondeos y galerías y que en sus aspectos esenciales coincide con la solución que finalmente se ha adoptado. En el informe de la ponencia, de junio de 1966, se acepta el emplazamiento número 4 y el tipo de presa propuesto, mixta de gravedad y mate-

riales sueltos, desechando expresamente todos los emplazamientos anteriormente considerados.

Resueltas todas las dudas geológicas planteadas, iniciamos los estudios definitivos con la colaboración, previo el oportuno concurso, de Consultores de Presas y Aprovechamientos Hidráulicos, S. A. CONSULPRESA, que se concretaron en el «Proyecto de la presa del pantano del Negratín», fechado en 1970.

La Dirección General de Obras Hidráulicas aprobó el 28 de febrero de 1973 el citado proyecto, ordenando se redactara un proyecto de replanteo previo en el que se recogieran las observaciones formuladas por el Servicio de Vigilancia de Presas y Comisión de Normas para Grandes Presas, en las que aceptando la disposición general proyectada se daban una serie de recomendaciones para mejorar algunos aspectos constructivos.

El proyecto de replanteo previo de la presa del pantano del Negratín, que redactamos en 1974, fue,

tró su aprobación por la Dirección General de Obras Hidráulicas, sacado a concurso y adjudicado a la empresa Obras y Construcciones Industriales, S. A. (OCISA) en junio de 1978, encontrándose en la actualidad las obras en avanzado estado de construcción, que más adelante describiremos.

3. LA GEOLOGIA COMO CONDICIONANTE DEL TIPO DE PRESA

Si la geología es siempre cuestión importantísima en la elección del tipo de presa, en el caso de la presa del Negratín la naturaleza geológica del terreno de la cerrada ha determinado de manera esencial la tipología estructural de la solución elegida.

Los numerosos estudios geológicos citados en el apartado anterior han permitido escoger la ubicación más adecuada dentro de las posibles existentes (figura 3).

Para un menor conocimiento de la naturaleza del terreno en la cerrada elegida, así como para la elección de los materiales de construcción, se realizaron los siguientes reconocimientos:

- Excavación de galerías de reconocimiento en ambas márgenes por la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir.
- Sondeos y pruebas de permeabilidad por el Servicio Geológico de Obras Públicas.
- Prospección geofísica, sísmica y eléctrica por la Sociedad de Reconocimientos Geofísicos y el Centro de Estudios Hidrográficos.

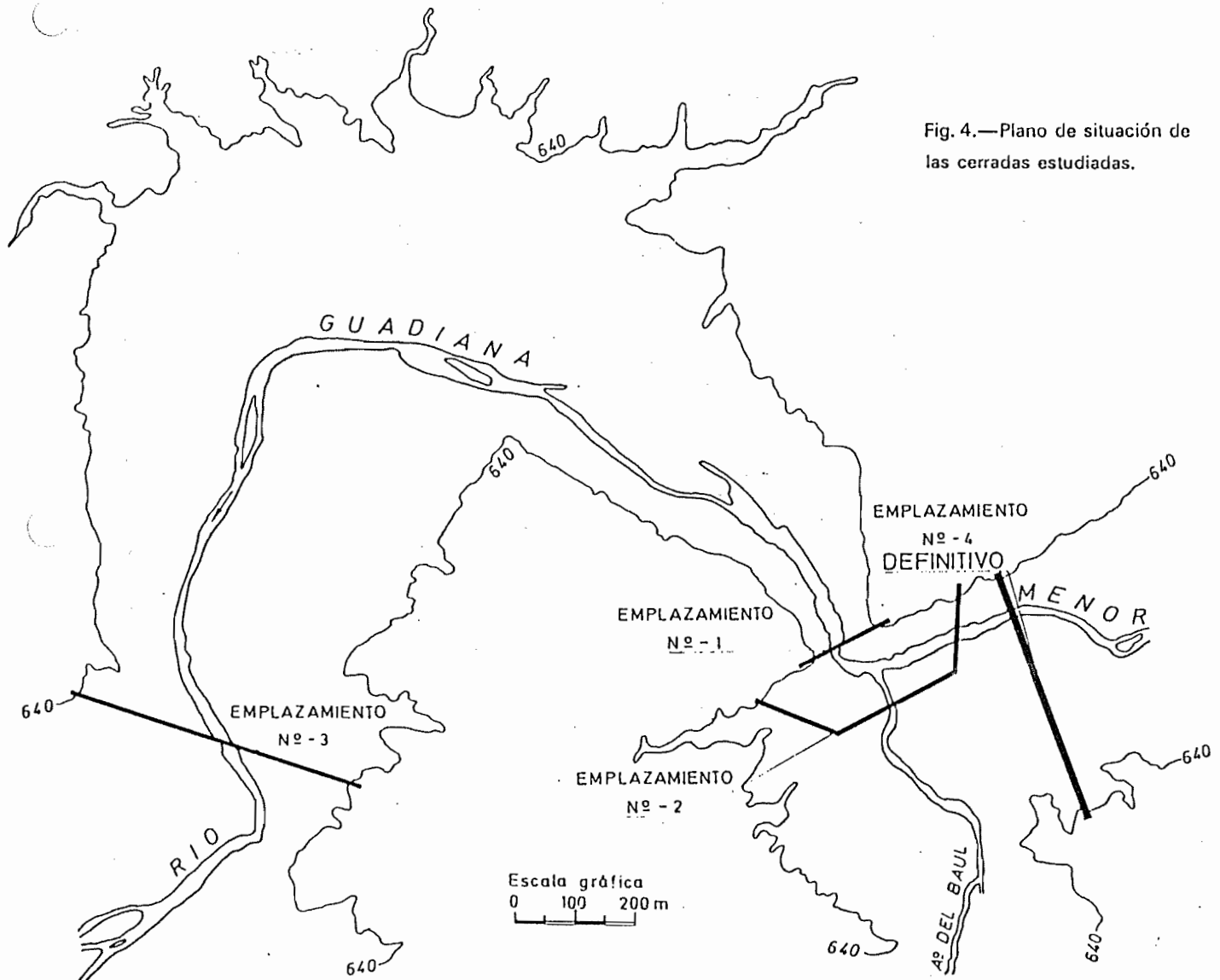


Fig. 4.—Plano de situación de las cerradas estudiadas.

- Ensayos geomecánicos de corte y deformabilidad «in situ» por CONSULPRESA.
- Ensayos de molasas, margas y conglomerados, por el Laboratorio del Transporte y Mecánica del Suelo.

Estos reconocimientos y ensayos han permitido tener un conocimiento muy completo de las características cualitativas y cuantitativas del terreno y han servido de base para el diseño definitivo de la presa y la elección de los materiales de construcción.

La disimetría geológica de la cerrada hizo pensar desde el primer momento en una presa mixta, aprovechando las molasas helvacienses para cimentar una presa de gravedad, sobre la que se situaría el aliviadero, y completar el cierre con una presa de materiales sueltos, que se apoye sobre las margas y conglomerados del estribo izquierdo.

Otra factor decisivo en la elección del tipo de presa, importante en cualquier caso, pero de mayor incidencia en la presa del Negratín, fue la construcción del aliviadero. La gran cuenca vertiente al embalse (3.877 km²) y el régimen pluviométrico de la zona obligaban a disponer un aliviadero capaz de avacuar una riada de 2.500 m³/seg.

Antes de decidir el tipo de presa se estudiaron cuatro posibles soluciones:

1. Presa de contrafuertes de gran base, con aliviadero sobre la presa.
2. Presa homogénea de escollera con aliviadero independiente.
3. Presa homogénea de tierras con aliviadero independiente.
4. Presa mixta de hormigón y escollera, con aliviadero sobre la presa.

La primera solución fue desechada por resultar excesivas las cargas transmitidas a las margas, dada la escasa resistencia de éstas y su mal comportamiento frente al agua.

Las soluciones dos y tres se eliminaron por las enormes dificultades técnicas y económicas para la construcción de los aliviaderos, tanto en túnel como a cielo abierto, la complejidad y carestía de la instalación de los desagües de fondo y tomas de la central hidroeléctrica y la falta de idoneidad de las molasas de la excavación para su utilización en cuerpo de presa.

Las características geomecánicas del terreno de cimentación y la existencia de calizas de gran

calidad próximas a la presa decidieron la elección definitiva de presa mixta de hormigón y escollera, utilizándose las calizas tanto para la fabricación del hormigón como para la ejecución de la escollera.

Con la solución elegida, presa mixta de hormigón y escollera, se consigue:

- 1.º Perfecta adaptación de la estructura de la presa a la disimetría geológica del terreno, transmitiendo cargas al mismo acordes con la capacidad portante de la cimentación.
- 2.º Instalación del aliviadero de gran capacidad en la zona de hormigón con escaso costo adicional.
- 3.º Utilización de materiales existentes en las proximidades de la presa (calizas), que son las más adecuadas para la calidad de la obra.
- 4.º Funcionalidad, sencillez y economía en los órganos de desagüe, tomas de la central hidroeléctrica, desagües de fondo y desagües auxiliares, que se sitúan en la zona de gravedad con la disposición clásica.

El tipo de presa elegido, que a nuestro juicio representa la solución técnica y económica más adecuada a las características geológicas de la cerrada, tiene, evidentemente, como problema constructivo más importante la unión entre la zona de fábrica y la de materiales sueltos.

Los dispositivos previstos para esta unión han sido estudiados con gran detenimiento, y se expondrán en el siguiente apartado, dedicado a describir las características del proyecto.

4. EL PROYECTO DE LA PRESA DEL NEGRATIN

4.1. Características generales de las obras

Situación:

Provincia de Granada.

Términos municipales de Freila, Zújar y Guadix.

Río

Nombre: Grande o Guadiana menor.

Cuenca vertiente al embalse: 3.877 km².

Aportación media anual: 292 X 10⁶ m³.

Avenida con período de retorno 100 años: 2.700 m³/seg.

LA PRESA DEL NEGRATÍN

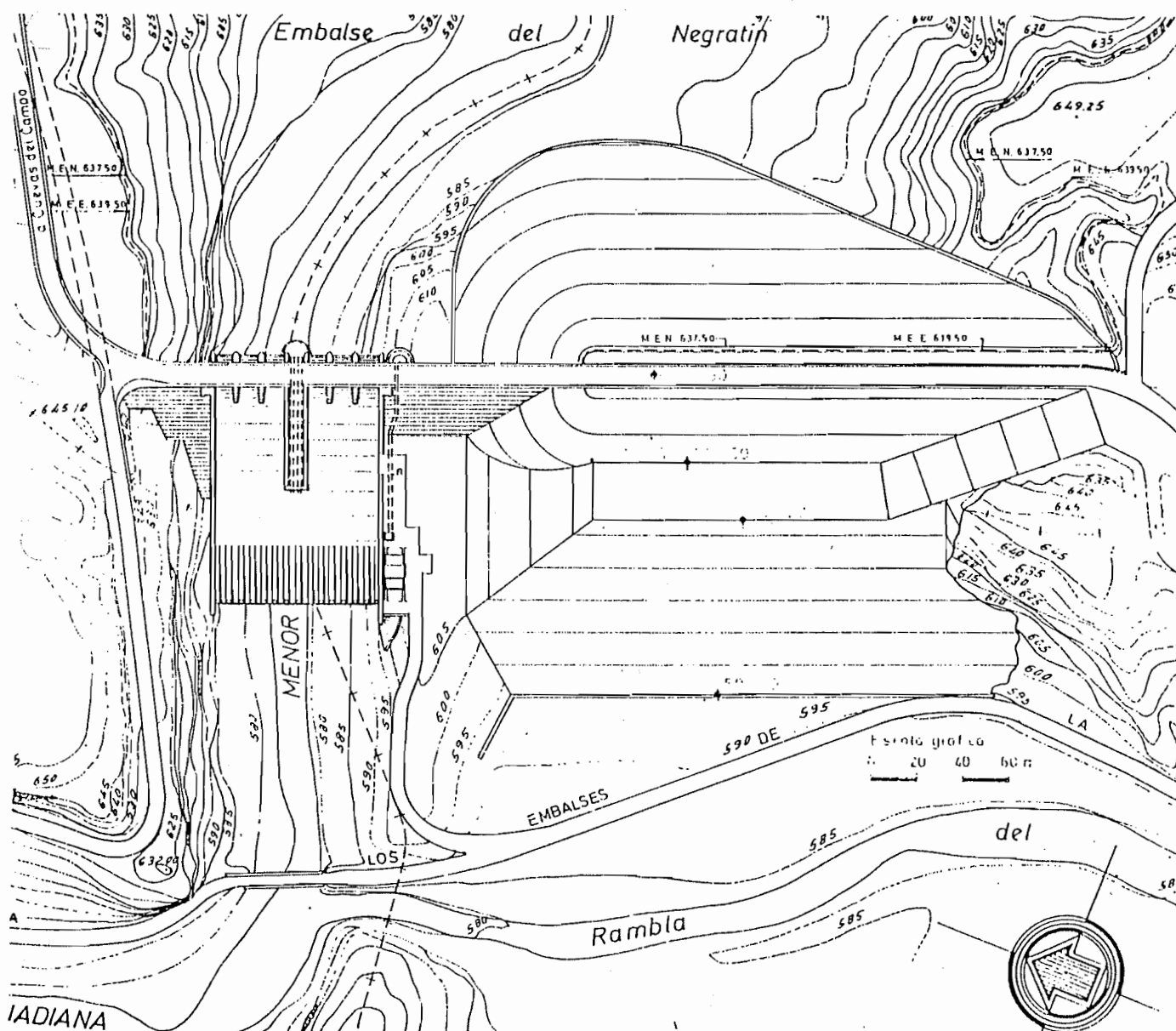


Fig. 5.—Planta general de la presa del Negratín.

Avenida con período de retorno 1.000 años:
3.440 m³/seg.

Embalse

Capacidad: 546 Hm³.

Superficie: 2.170 ha.

Presa

Tipo: Mixta, de escollera con pantalla asfáltica y gravedad con vertedero sobre coronación.

Longitud total de la coronación: 438,80 m.

Longitud de la presa de fábrica: 215 m.

Altura máxima sobre cimientos: 75 m.

Longitud de la presa de escollera: 223,80 m.

Altura máxima: 55 m.

Finalidad del embalse

Regulación general del Guadalquivir, riego de 25.000 ha. en las provincias de Jaén, Córdoba y Sevilla, riego por elevación de 3.600 ha. en la Hoya de Baza (Granada) y producción de energía eléctrica.

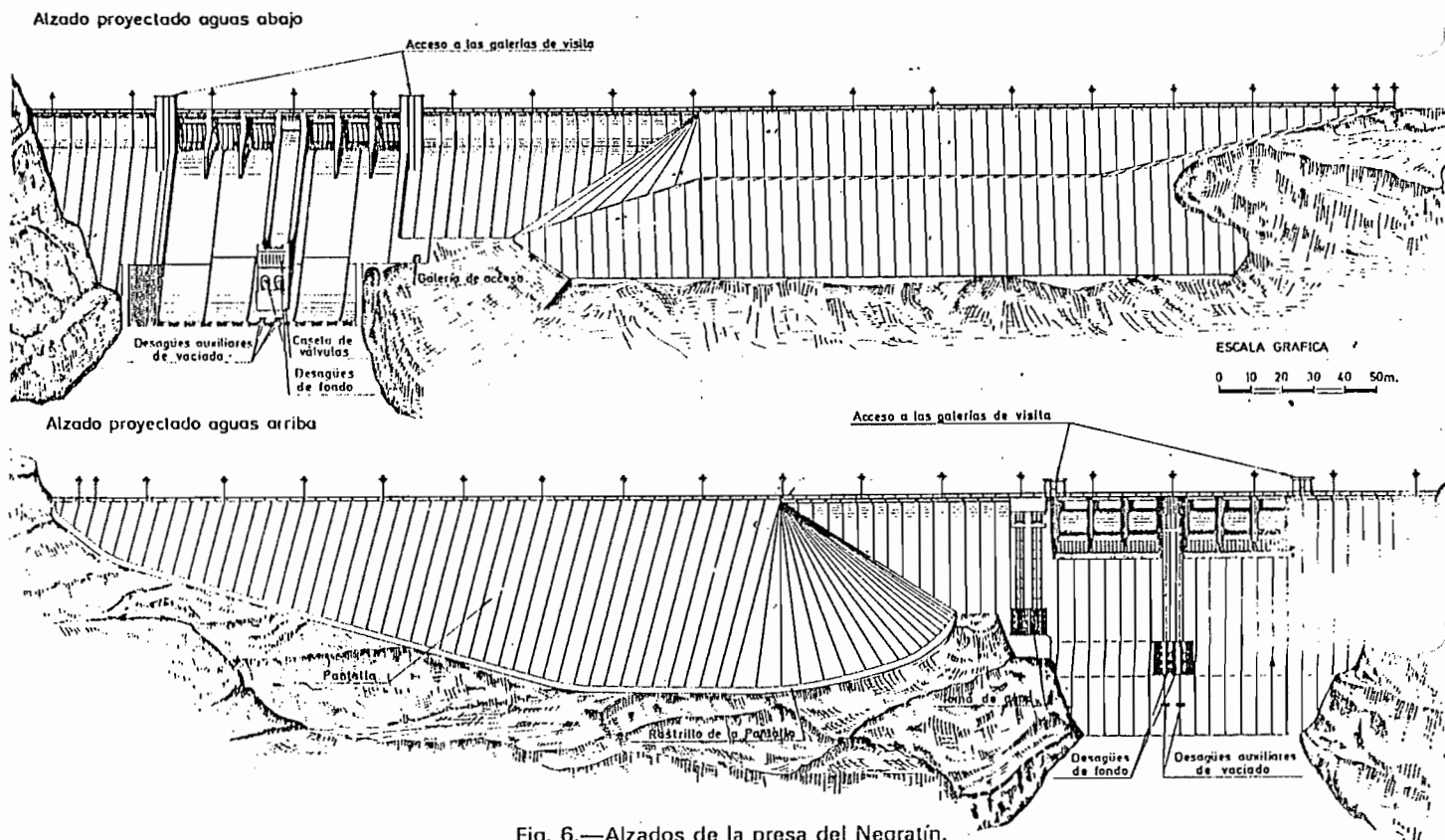


Fig. 6.—Alzados de la presa del Negratín.

4.2. La presa

En las figuras 5, 6 y 7 pueden apreciarse la disposición general en planta de la presa, el alzado y el desarrollo por el eje, distinguiéndose perfectamente las dos zonas que la forman: gravedad y escollera.

La zona de escollera constituye en realidad un estribo artificial, que completa y amplía la loma existente en la margen izquierda.

Entre los dos terrenos que fundamentalmente constituyen la cimentación (moladas y margas) existe una zona de transición, constituida por arenas y grava, que fue detectada en los estudios geológicos, pero que al realizar las excavaciones resultó ser de mayor espesor del previsto, además de presentar la molada en la zona próxima a la transición menor consistencia que la del centro del cauce (figura 7).

Los numerosos estudios geológicos y geotécnicos realizados en la fase del proyecto ya descrito anteriormente, se han completado con sondeos y pruebas de carga «in situ», además de ensayos de laboratorio, durante la ejecución de las excavaciones de la presa.

Los resultados de estos estudios, dirigidos por el

Laboratorio de Transporte y Mecánica del Suelo, han permitido conocer la situación exacta del contacto molada-marga y el espesor de la zona de transición, así como determinar los módulos de deformación de cada terreno, que han resultado ser del orden de 1.000 kg/cm² para las margas y 5.000 kg/cm² para los terrenos de tránsito, lo que ha aconsejado bajar el plano de cimentación de los bloques de la presa de gravedad en el estribo izquierdo para asentarse sobre moladas o zona de transición y aumentar sus espesores en la base, con el fin de disminuir la carga transmitida al terreno y facilitar una correcta compactación de la escollera en la zona de unión y disminuir al máximo sus asentamientos.

La presa de escollera se apoya sobre la ladera del estribo izquierdo, constituida por margas, siguiendo el perfil natural del terreno, lo que representa un aumento de la seguridad y una notable economía de material (figura 8).

Cuestión importante era decidir el tipo de impermeabilización de la presa de materiales sueltos. En principio se consideraron dos posibilidades alternativas: núcleo de arcilla o pantalla en el paramento de aguas arriba.

La primera solución se desechó porque todas las

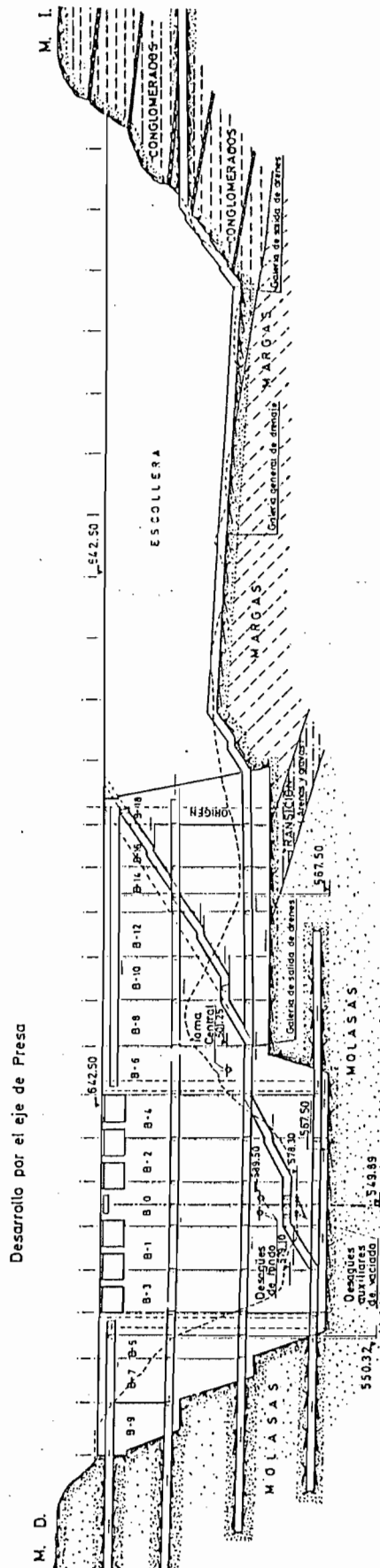


Fig. 7.—Sección longitudinal de la presa.

arcillas próximas a la presa tenían un alto contenido de yeso y porque, dada la morfología del terreno de la cerrada y su constitución geológica, era necesario que los taludes de la escollera fueran lo más empinado posibles para facilitar la unión entre ambas presas y permitir la colocación de las tomas de la central y desagües de fondo.

Dentro de las soluciones de pantalla se consideraron las posibilidades de hormigón, láminas asfálticas o plásticas, y hormigón asfáltico «in situ», decidiéndose por esta última, que presentaba las ventajas de mejor adaptación a posibles asentamientos y una mayor garantía de seguridad.

La disposición adoptada es la clásica, en tres capas, impermeables las de los extremos y porosa la intermedia para control de filtraciones.

La unión de la pantalla asfáltica con el terreno se hace mediante un rastrillo, con galería visitable, que permite el control de filtraciones de la pantalla y la ejecución de la red de drenaje y eventual inyección del terreno de cimentación.

El encaje del rastrillo en el terreno ha sido cuidadosamente estudiado, habiéndose realizado un detallado reconocimiento mediante sondeos por el Servicio Geológico de Obras públicas durante la ejecución de las obras, que ha aconsejado variar ligeramente en planta la disposición del proyecto y cimentarlo adecuadamente en profundidad, en función de la naturaleza real del terreno puesto de manifiesto en las excavaciones.

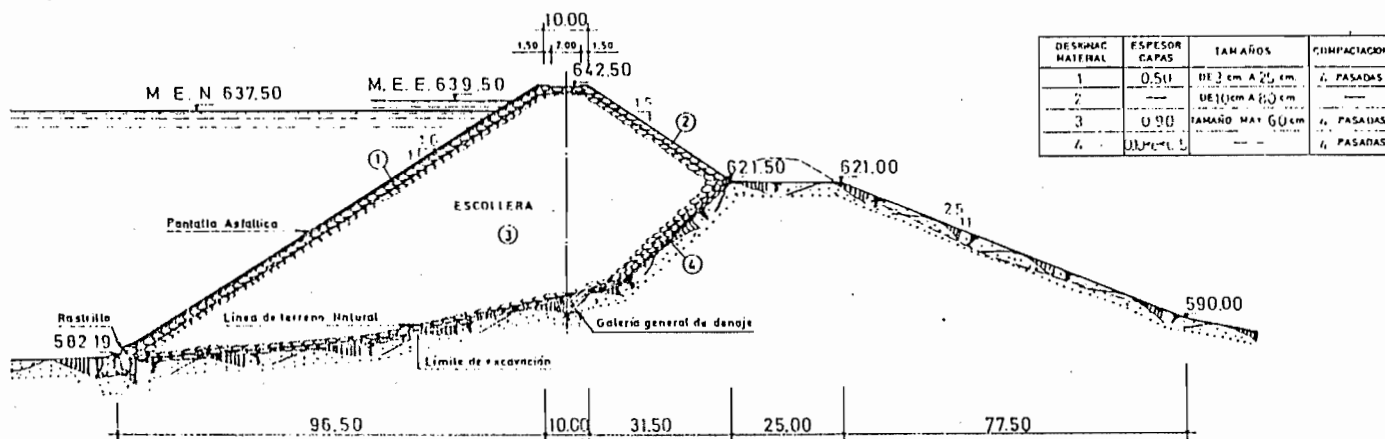
4.3. Unión de las zonas de fábrica y escollera

La cuestión más importante planteada en la presa del Negratín es la unión entre las zonas de fábrica y escollera. La solución elegida después de numerosos estudios y consideraciones geológicas y estructurales ha sido (figura 9) que la presa de escollera gira sus espaldones según conos de revolución aguas arriba y aguas abajo que abrigan los últimos bloques de la zona de gravedad, realizándose la unión de la pantalla con el hormigón según una generatriz del cono, cuya inclinación 1 : 1,6 es la misma que la pantalla asfáltica. Se desechó la solución de construir un muro de cierre perpendicular a la presa, que encarecía notablemente la obra y no mejoraba en nada la realización de la unión.

La escollera que constituirá el cono de revolución que abraza a la presa se compactará especialmente para disminuir sus asentamientos, que por otra parte en esta zona serán menores que en el resto de la presa de escollera, por asentarse sobre molasas o zona de transición.

LA PRESA DEL NEGRATIN

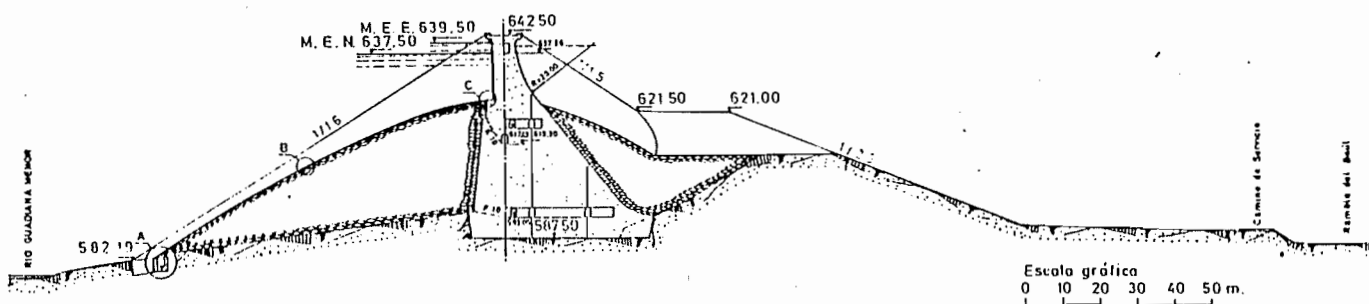
Fig. 8.—Sección tipo de la presa de escollera.



El enlace de la pantalla asfáltica con la presa de hormigón consistía en un ensanchamiento de las capas asfálticas, que se apoyaban sobre una ménsula que sobresalía del paramento de la presa, colocándose como protección adicional una lámina de neopreno-nylon.

Estos dispositivos previstos en el proyecto fueron explícitamente aceptados en el informe de la Comisión de Normas para Grandes Presas en 1972, en el que se consideraba acertada la solución adoptada, si bien se recomendaban una serie de medidas adicionales que «contribuirían a reducir los movi-

Zona de transición.— Sección tipo



Detalle-A
Rastrillo de la Presa, aguas arriba

Detalle-B
Pantalla Detalle

Detalle-C
Unión de la Pantalla con el paramento de la Presa

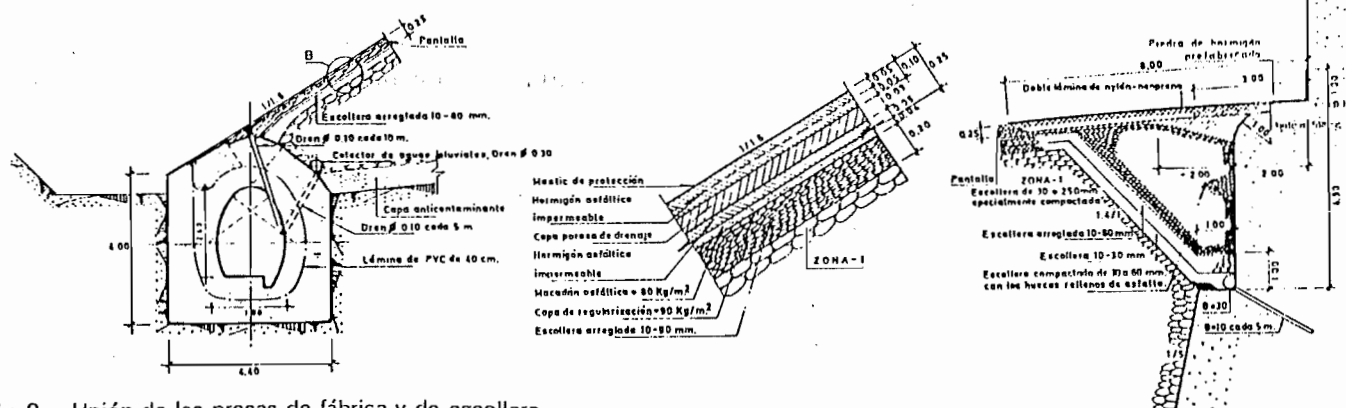


Fig. 9.—Unión de las presas de fábrica y de escollera.

mentos de la junta, o prevenir la eventualidad de rotura».

Durante la ejecución de las obras, además de los reconocimientos geológicos y geotécnicos del terreno en la zona de transición, se han estudiado detenidamente, con el asesoramiento del Laboratorio del Transporte y Mecánica del Suelo, la mejora de la disposición general de la unión de la pantalla asfáltica con la presa de gravedad, habiéndose sustituido la ménsula prevista en el proyecto por un ensanchamiento de los bloques de la zona de transición a partir de la línea de unión (figura 9), cambiando a partir de esta línea el talud vertical por otro con inclinación de 1/5, con lo que se reduce las cargas transmitidas al terreno, ya explicado en el apartado anterior, y se mejora la compactación de la escollera debajo de la unión.

Además de este cambio de diseño en el paramento de la presa de hormigón se prevé debajo de la junta una zona de escollera compactada, cuyos huecos se rellenan de asfalto, y se aumenta a 8 m. la lámina de neopreno-nylon, según recomendaba en su informe la Comisión de Normas para Grandes Presas.

Completando estos dispositivos se ha dispuesto una nueva galería en la presa, paralela a la junta, que permitirá un eficaz control de las posibles filtraciones, además de servir de enlace entre las galerías horizontales de visita e inspección (figura 7).

4.4. Organos de desagüe

Los órganos de desagüe: aliviadero, toma de la central, desagües de fondo y desagües auxiliares, se sitúan, como se indicaba anteriormente, sobre la zona de gravedad, con un diseño que podemos considerar clásico.

Para determinar la capacidad del aliviadero se ha tenido en cuenta la avenida máxima previsible (3.440 m³/seg.) y la capacidad de laminación del embalse, obteniéndose un caudal máximo a verter por el aliviadero de 2.500 m³/seg.

Para evitar que una falsa maniobra de las compuertas pueda producir artificialmente una avenida de esta magnitud se ha proyectado con seis compuertas de 9 m de ancho por 5,80 m. de alto, que abiertas totalmente sólo producirían, a embalse lleno, una avenida de 1.500 m³/seg., que no produce daños aguas abajo. Para desaguar la avenida máxima se admite una sobreelevación de 2 m. sobre el nivel máximo del embalse, con lo que se llega al vértice de la presa, y sobre este nivel se ha proyectado un resguardo de 3 m. (figura 10).

El diseño del cuenco del aliviadero se ha ensayado en modelo reducido por el Laboratorio de Hidráulica de esta Confederación, comprobándose su correcto funcionamiento.

Los desagües de fondo están constituidos por dos conductos de 2 m. de diámetro, provistos de compuertas de paramento vagón y compuertas de regulación Howel-Bunger. Su capacidad es de 120 m³/seg., cifra suficiente para controlar el llenado del embalse y permitir su vaciado en un tiempo prudencial.

Además de estos desagües de fondo se ha dispuesto la colocación de cuatro desagües auxiliares de vaciado, a la cota del río, formada por conductos de 0,40 m. de diámetro, cerrados cada conducto con dos compuertas tipo Bureau. El objeto de estos desagües, de fácil instalación y bajo costo, es mantener siempre limpios los desagües de fondo, además de posibilitar la evaluación de sedimentos, siguiendo la experiencia de la presa de IRILEMDA.

La central hidroeléctrica prevista se sitúa en la margen izquierda, entre el cajero y la roca, con una disposición muy simple. La toma de la central es una única tubería de 2,50 m. de diámetro, cerrada aguas arriba, con una compuerta de paramento tipo vagón, con disposición similar a los desgües de fondo.

4.5. Sistema de vigilancia, auscultación y drenaje

Se ha estudiado con especial cuidado los dispositivos de vigilancia, auscultación y control de la presa, tanto durante su construcción como en su posterior explotación.

Para facilitar el control del comportamiento de la presa se ha proyectado una completa red de galerías en la zona de hormigón (figura 7) a cuatro niveles,

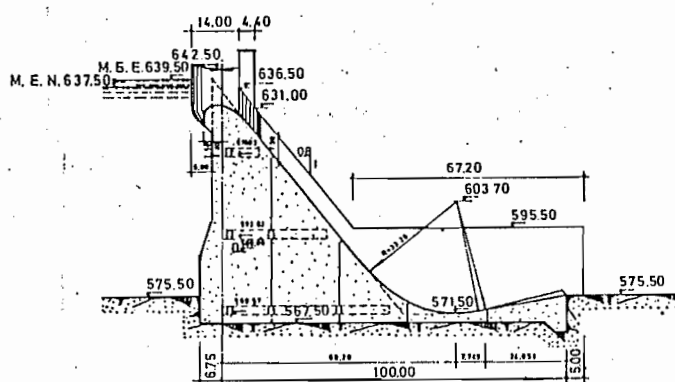


Fig. 10.—Sección tipo de la presa de gravedad-aliviadero.

enlazados por una galería inclinada, además de dos pozos de escaleras. En cada nivel de galerías existen la galería general de drenaje, próxima al paramento, y galerías de visita de juntas transversales y longitudinales. Estas galerías, de dimensiones de 1,40 m. de ancho por 2,40 m. de alto, permiten la realización de la pantalla de drenaje, la inyección de las juntas y la eventual impermeabilización del terreno de cimentación, además de permitir una fácil vigilancia y control.

En la zona de escollera se han diseñado dos galerías, unidas con las de la zona de gravedad, una en el eje de la presa que recorre todo el cimiento y penetra 175 m. en la roca, y la galería del rastrillo de la pantalla asfáltica. La primera permite la medida de los asientos del terreno, y la segunda, la ejecución de la pantalla de drenaje del cimiento, su eventual inyección y el control de filtraciones de la pantalla asfáltica.

Los objetivos perseguidos por el sistema de auscultación previsto se pueden dividir en tres aspectos:

- a) Control de movimientos absolutos y relativos del terreno de cimentación.
- b) Movimientos de la presa respecto del terreno.
- c) Medida del comportamiento de la estructura y control de filtraciones.

Para el control de movimientos absolutos y relativos del terreno, se está realizando y se continuará durante la puesta en carga y posterior explotación, una serie de colimaciones y nivelaciones desde puntos fijos situados bastante alejados del emplazamiento de la presa, para lo que se dejan las oportunas placas de referencia en las galerías de la presa de hormigón y en la de escollera.

Los movimientos de la presa respecto del terreno se medirán mediante tres pozos de péndulo, situados uno en el estribo derecho, otro en el centro del aliviadero y otro en la zona de transición. En los dos primeros se situará un péndulo invertido, anclado a 20 m. de profundidad en el terreno, y un péndulo directo desde la coronación, y en el tercero, mediante un péndulo invertido, anclado en el terreno de la misma forma.

Para la medida del comportamiento de la estructura se ha previsto la adecuada colocación de pares termoelectrónicos, medidores de junta, ternas de base de elangómetro, con los correspondientes centros y aparatos de lectura.

El proyecto del sistema de auscultación se realizó

por CONSULPRESA y ha sido puesto al día y está ejecutándose con la colaboración de OFITECO.

5. LA CONSTRUCCION DE LA PRESA DEL NEGRATIN

5.1. Estado actual de las obras

En la fotografía número 1 se aprecia una vista general de las obras. Desde su iniciación, en noviembre de 1978, se han ejecutado: la ataguía (presa de escollera de molasa con núcleo de margas), desvío del río para una capacidad de 500 m³/seg. (canal y túnel de 9 m. de diámetro), contraataguía, línea eléctrica de alta tensión, poblado, variante de la carretera comarcal C-323 y las instalaciones auxiliares para la fabricación y puesta en obra del hormigón.

En la presa de hormigón se han realizado la totalidad de las excavaciones y se han colocado 290.000 m³ de hormigón (el volumen total de la presa es de 380.000). De los elementos metálicos se han instalado los desagües auxiliares, previniéndose la colocación de la toma de la central y desagües de fondo en los próximos meses.

En la presa de escollera se ha realizado la excavación de emplazamiento del rastrillo, la casi totalidad de éste y las excavaciones de regulación de la loma del estribo izquierdo, sobre la que se asienta (foto 2).

5.2. Materiales sueltos

Las excavaciones de la presa de hormigón se han ejecutado siguiendo el procedimiento de precast, se ha efectuado un saneo y eficaz limpieza de lechos de asiento de todos los bloques.

Para la fabricación del hormigón se utilizan áridos calizos que se encuentran en unos cuantos terciarios existentes en la margen derecha próxima a la presa.

Estos áridos, formados por cantos rodados de diversos tamaños, son de una gran dureza y compactidad, pero su granulometría, aunque continua, varía mucho de unas zonas a otras dentro de la cantera y su aspecto es de gran suciedad debido a los elementos finos que contiene. En su estado natural han sido empleados por nosotros para sub-base de carreteras con excelentes resultados, pero son totalmente inaceptables para la fabricación de un hormigón de calidad.

La empresa constructora, después de un detenido



Foto 1.

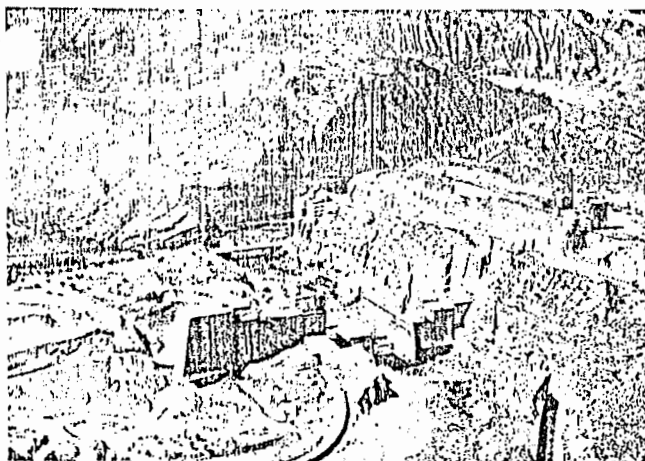


Foto 2.

Adio, ha montado unas instalaciones de lavado y clasificación, que describiremos en el apartado siguiente, con los que se obtienen cinco tamaños de áridos: 0,08-1,7, 1,7-7, 7-20, 20-50 y 50-100 mm., totalmente limpios y dada la calidad petrográfica de la roca matriz, los áridos que se están empleando en la fabricación del hormigón son excelentes.

El cemento empleado es el normal PA-350, con la adición de un plastificante. Debido a la existencia de pequeñas vetas de yeso de segunda formación en algunas zonas de la cimentación, y al contenido en sulfatos de las aguas del río, en la primera tongada de hormigón en contacto con la roca se ha empleado cemento resistente a los sulfatos PY-350.

El agua para la fabricación y curado del hormigón procede de un pozo construido en el alveo del arroyo del Baúl, y por las características geológicas

de su cuenca, sin existencia de yesos, su composición química está dentro de los límites fijados como convenientes para el agua potable.

5.3. Medios auxiliares

Los medios auxiliares para la fabricación y puesta en obra del hormigón que está empleando la empresa constructora OCISA son, a nuestro juicio, los más adecuados. En la figura 11 puede apreciarse la disposición general de estas instalaciones.

Merece especial mención los dispositivos para el lavado y clasificación de áridos, de una gran sencillez y eficacia. En esencia, el proceso seguido es el siguiente:

El material «todo uno» procede de la cantera; después de pasar por un Grizzly, que elimina los tamaños superiores a 100 mm., se introduce en dos cilindros lavadores, en donde mediante un enérgico batido y riego con gran cantidad de agua a presión se consigue quitar prácticamente toda la suciedad de los áridos de tamaño superior a 7 mm. Estos áridos gruesos se clasifican en tres tamaños mediante cribas vibrantes, con inyección de agua que completa su lavado, quedando totalmente limpios.

Los tamaños inferiores a 7 mm., que se encuentran en suspensión en el agua procedente del lavado, se someten a dos ciclonados, que eliminan todos los finos (limos y arcillas) inferiores a 0,08 mm., que se tiran a vertedero. Las arenas ya limpias se dividen con gran exactitud en dos tamaños mediante un «hidroclasificador de contracorriente», pasando la arena fina, de 0,08-1,7 mm., a un tercer ciclonado para completar su limpieza. Las dos arenas pasan posteriormente por los espesadores de bandas de goma para eliminar el exceso de humedad.

El caudal de agua empleada en el lavado es de 150 m³/hora, siendo el rendimiento medio de la instalación de lavado y clasificación de áridos de 150 tm/hora.

La fabricación de hormigón se realiza en una moderna torre, con dos hormigoneras de 2 m³ de capacidad, efectuándose la dosificación de los áridos, cemento y agua, por peso, con sistema automático y manual de control.

La puesta en obra del hormigón se lleva a cabo con baldes de una capacidad de 6 m³, que son transportados por un blondin de 530 m. de luz y carga en punta de 25 tm. Las tongadas de hormigón son de 1,50 m. de altura, compactándose en dos capas con vibradores de aguja.

La media diaria de colocación de hormigón ha

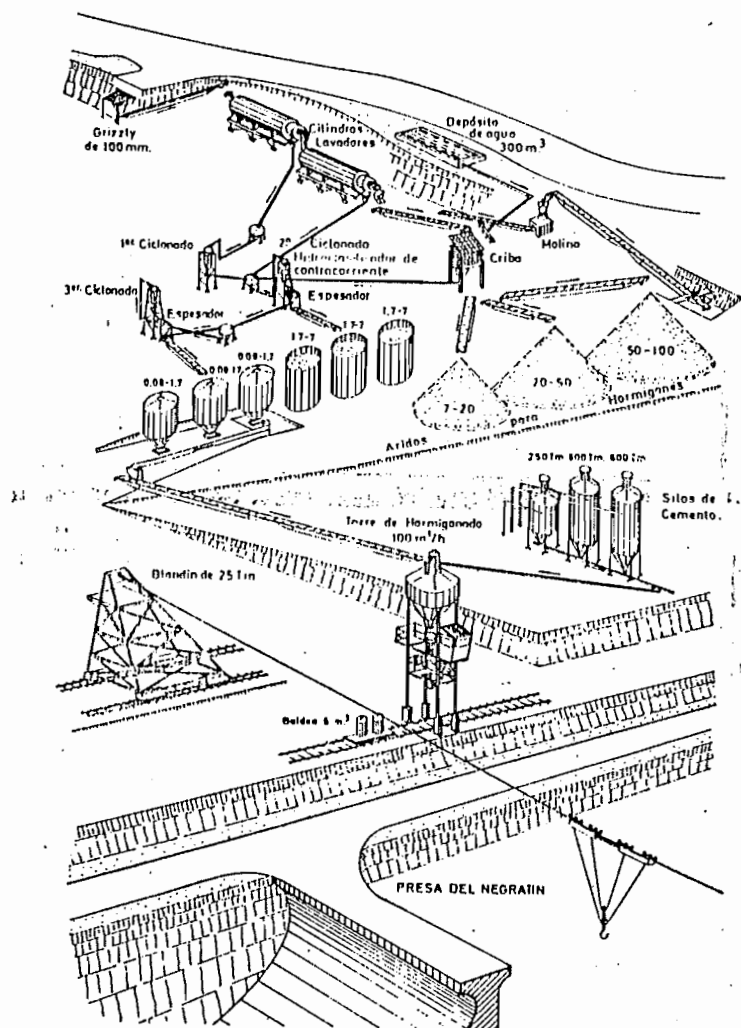


Fig. 11.—Esquema de las instalaciones auxiliares.

sido de 800 m³ en dos turnos, y la máxima alcanzada en algunas ocasiones, de 1.200 m³/día.

5.4. Control de calidad

En el cuerpo de la presa se están empleando cuatro tipos de hormigón, con dosificaciones de 155, 170, 185 y 200 kg. de cemento por metro cúbico, siendo la dosificación media de 179 kg/m³. En el rastrillo, cuenco amortiguador y cajeros, el hormigón es de 250 kg/m³.

En el laboratorio de obra se efectúan los ensayos físicos de recepción de cementos, análisis granulométricos de los áridos, equivalente de arena y ejecución, curado y rotura de probetas cilíndricas de

15 X 30 cm. Los ensayos químicos de cemento y agua se realizan en el laboratorio que la Confederación tiene en la presa de Canales, en Granada.

Dado que las tensiones máximas en la presa, obtenidas en el cálculo, son de sólo 7,8 kg/cm², en la dosificación del hormigón se emplea un 39 % de arena (fina y gruesa) que disminuye las resistencias pero mejora notablemente la compacidad e impermeabilidad del hormigón. La consistencia del hormigón es plástica, con un asiento del cono de Abrams comprendido entre 20 y 30 mm.

Las resistencias características obtenidas mediante la rotura de probetas a noventa días es de 120 a 150 kg/cm² para el hormigón de 155 kg. de cemento por metro cúbico; 130 a 160 kg/cm² para el de 170 kg/m³; 130 a 170 para el de 185 kg/m³, y 150 a 180 para el de 200 kg/m³. Los hormigones del rastrillo, cuenco y cajeros, cuya dosificación es de 250 kg/m³, dan resistencias características de 180 a 230. Cuando se emplea cemento PY-350 las resistencias obtenidas son prácticamente iguales que con cemento normal, si bien algo superiores.

En la obra se controla la impermeabilidad del hormigón mediante conductos moldeados de 70 mm. de diámetro, al menos cuatro por bloque, que se llenan de agua y se observa las posibles pérdidas. Prácticamente ningún conducto ha tenido pérdida aparente de agua.

5.5. Ritmo de los trabajos.

La marcha de los trabajos, así como la calidad de la obra, son altamente satisfactorios.

La presa de gravedad estará terminada dentro del año en curso, si bien su ritmo tiene que acomodarse al suministro y montaje de la toma de la central, los desagües de fondo y las compuertas del aliviadero, que son objeto de concurso independiente. También la ejecución del cajero izquierdo del cuenco amortiguador, que será el muro de cierre de la central hidroeléctrica, habrá de ejecutarse conjuntamente con las obras de la central, cuya concesión administrativa está prácticamente adjudicada.

El inicio de la colocación de la escollera está previsto para el mes de junio de este año, y la ejecución de la pantalla asfáltica, en junio de 1983, con lo que las obras quedarán totalmente terminadas en los primeros meses de 1984.