

RECRECIMIENTO DE LA PRESA DE GUADARRANQUE PARA LA INTERCONEXIÓN DE LOS EMBALSES DE GUADARRANQUE Y CHARCO REDONDO

Agustín Merchán López.
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Confederación Hidrográfica del Sur.

Fernando del Campo Ruiz.
Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

INTECSA.

Blanca Héctor González.
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

INTECSA.

RESUMEN

La presa de Guadarranque, puesta en servicio en 1966, se destina junto con la de Charco Redondo, terminada en 1983, a atender las demandas hídricas del Campo de Gibraltar. La interconexión de sus correspondientes embalses mediante un túnel haría posible la existencia de un gran volumen conjunto que permitiría un mejor aprovechamiento de los recursos y una mayor flexibilidad y economía en su explotación. Dado que el nivel de explotación del embalse de Charco Redondo es superior al de Guadarranque, sería necesario recrecer en 10 m. esta última presa, que tiene actualmente 71 m. de altura y es de materiales sueltos con núcleo de arcilla. Se describe el estudio de viabilidad realizado para dicho recrecimiento, en el que se han considerado tres posibles alternativas. Se dan detalles de la solución finalmente adoptada, que deberá ser desarrollada a nivel de proyecto.

ABSTRACT

Water supplied to the Gibraltar area from the Guadarranque dam, which was commissioned in 1966, together with the Charco Redondo dam completed in 1982. The connection of the two reservoirs by means of a tunnel would result in a larger overall water body and provide better use of resources and greater operating flexibility and economy. Since the operating level of Charco Redondo is higher than at Guadarranque, the level of the latter would have to be raised by 10 meters from its present height of 71 meters, the dam being constructed of soil materials and a clay nucleus. This paper presents the feasibility study carried out for the project, considering three options. Details are given of the solution finally adopted, at present in the project development phase.

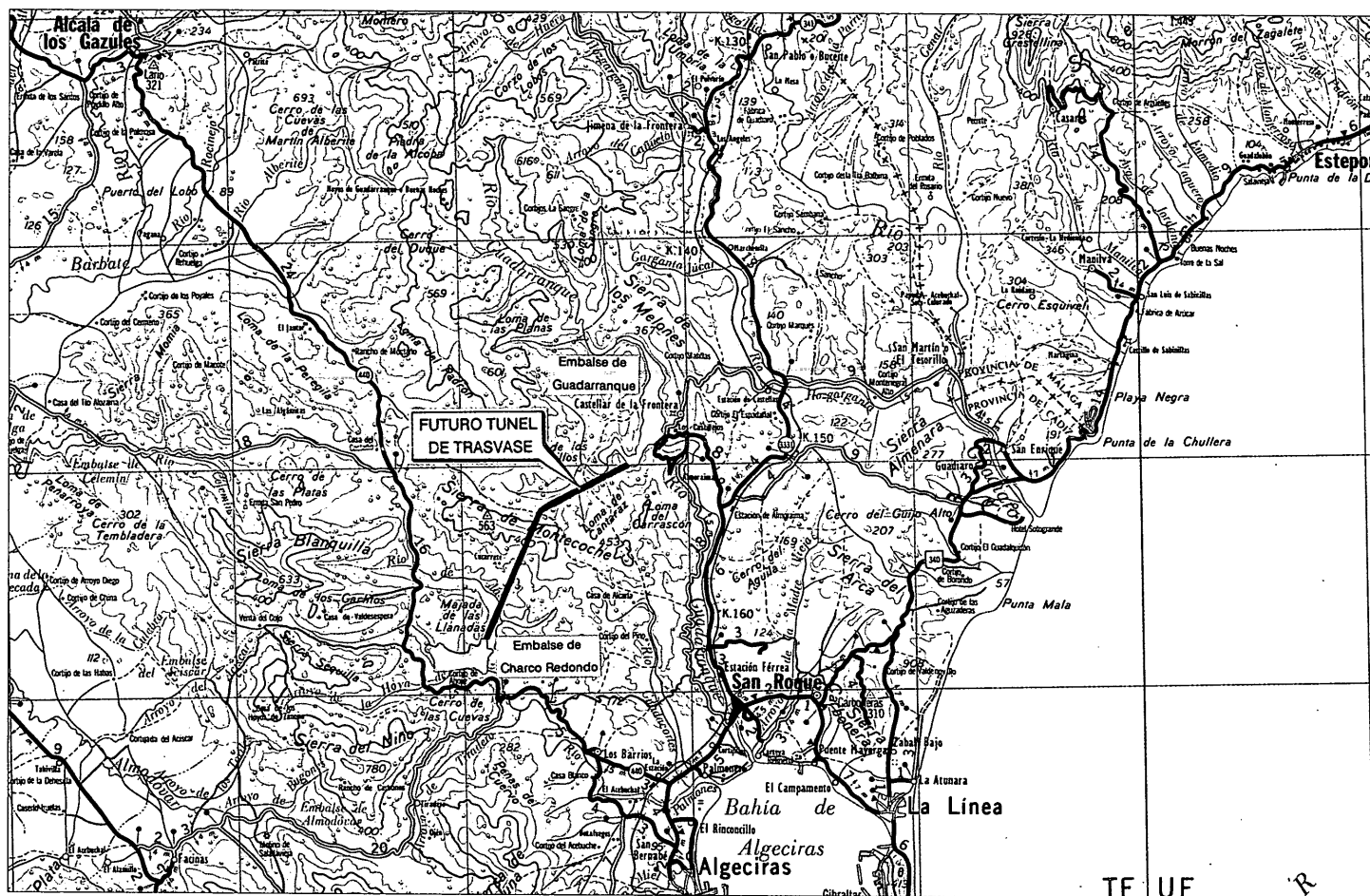


Figura 1.

1. INTRODUCCIÓN

La presa de Guadarranque, puesta en servicio en 1966, está ubicada en el río del mismo nombre a unos 19 km de su desembocadura en la bahía de Algeciras (Cádiz) y se destina junto con la presa de Charco Redondo, en el río Palmones, al abastecimiento de poblaciones, riegos e industrias del Campo de Gibraltar (Fig. nº 1).

La presa de Charco Redondo se terminó en 1983; desde su puesta en explotación, el tratamiento del agua bruta con destino a abastecimientos se realiza fundamentalmente a través de la nueva Planta de Tratamiento del Campo de Gibraltar, ligada principalmente a este embalse, del que se nutre por gravedad. Desde el embalse de Guadarranque, en cambio, sólo es posible el suministro a la planta mediante bombeo; la estrategia de explotación, para mantener en todo momento un adecuado volumen de reserva en ambos embalses, obliga a unos gastos anuales de energía elevados que sería posible evitar si estuvieran interconectados.

La conexión entre los dos embalses haría posible la existencia de un gran volumen conjunto suministrable por gravedad que proporcionaría un amplio margen de maniobra antes de tener que utilizar -en situaciones de emergencia- los escalones de bombeo de que cada embalse dispone. La explotación, en suma, ganaría en flexibilidad, adecuada utilización de recursos y economía.

Con estos antecedentes, la Confederación Hidrográfica del Sur decidió estudiar la viabilidad de dicha interconexión, lo cual planteaba básicamente la realización de dos estudios de este tipo:

- ▼ El del recrecimiento en unos 10 m de la presa de Guadarranque, para que su cota de máximo embalse normal sea la misma que la de la presa de Charco Redondo y puedan conectarse ambos embalses de forma que funcionen como uno solo.

- ▼ El de la interconexión propiamente dicha, mediante un túnel de unos 8 km de longitud.

Los dos estudios citados han sido realizados recientemente por INTECSA bajo la dirección de la

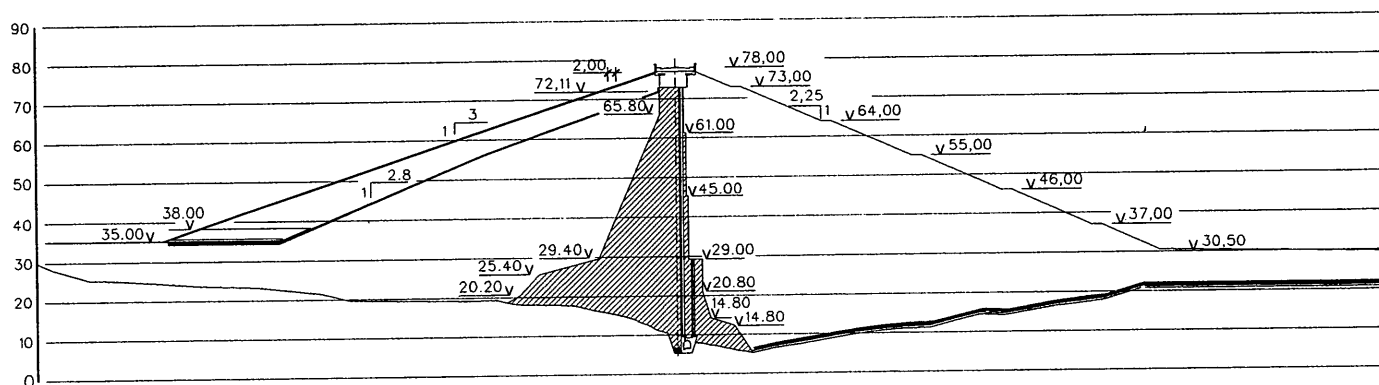


Figura 2.

Confederación Hidrográfica del Sur. En el presente artículo se describe el estudio relativo al recrecimiento de la presa de Guadarranque.

2. CARACTERÍSTICAS DE LAS INSTALACIONES EXISTENTES

La actual presa de Guadarranque (Figs. nº 2 y 3) es de materiales sueltos, heterogénea, con núcleo central impermeable y espaldones. Su altura sobre cimientos es de 71 m, siendo su cota de coronación la 78,00. El núcleo está formado por materiales arcillosos con taludes 0,30/1 aguas arriba y vertical aguas abajo. Los espaldones, constituidos por arenas limosas, están limitados exteriormente por taludes 2,25/1 en el de aguas abajo y 2,8/1 en el de aguas arriba. Este último está protegido por una escollera y filtro graduado cuyo paramento tiene un talud 3/1. Superficialmente dispone de una mampostería en seco de 0,45 m de espesor para protección contra el oleaje. El espaldón de aguas abajo está recubierto por una capa de arcilla de 0,70 m de espesor y otra de tierra vegetal de 0,20 m. En el paramento existen bermas a las cotas 37, 46, 55, 64 y 73.

El embalse tiene una capacidad útil de 82 hm³, de los que 55 hm³ pueden suministrarse por gravedad a la conducción existente, mientras que los 27 hm³ restantes -situados bajo la cota 56,00- deben bombearse desde el desagüe de fondo a la mencionada conducción, mediante una estación elevadora situada al pie de la presa.

La toma de agua se sitúa en la margen derecha y tiene tres niveles selectivos de captación, a las cotas 68, 62 y 56. La capacidad nominal de la conducción es de 10,56 m³/s.

El aliviadero, ubicado en la margen izquierda, es de labio fijo, con umbral a la cota 73,00. Consta de vertedero -cuya planta es un arco de círculo de 62 m de cuerda-, obra de transición, canal de descarga de 20 m de ancho, caída y cuenco amortiguador. Su capacidad de descarga con el máximo nivel extraordinario del embalse (cota 76,43) es de 1.000 m³/s.

El desagüe de fondo aprovecha el antiguo túnel de desvío y tiene el umbral de su embocadura a la cota 33,15. La parte de aguas abajo de su trazado discurre bajo el aliviadero, en cuyo cuenco amortiguador descarga. Su capacidad con el nivel de embalse normal (cota 73,00) es de 75 m³/s.

3. ESTUDIOS PREVIOS

Se procedió en primer lugar a la recopilación y análisis de toda la documentación existente relativa al proyecto, construcción y explotación de la presa, labor que permitió definir una serie de trabajos básicos que era preciso realizar para poder acometer la fase de desarrollo del estudio.

No fué necesario realizar nuevos trabajos cartográficos, ya que tanto el plano topográfico del embalse -a escala 1/2.000- como el de la cerrada -a escala 1/500- fueron realizados en su día con gran amplitud, cubriendo con creces la zona afectada por el recrecimiento.

Las características hidrológicas del emplazamiento en lo que se refiere a avenidas requerían una revisión con los datos incorporados desde 1966 y el empleo de técnicas actuales. Se efectuó, por consiguiente, un nuevo análisis del régimen de crecidas, en el que se utilizaron dos métodos: estadístico e hidrometeorológico. Considerando los resultados obtenidos y buscando las condiciones

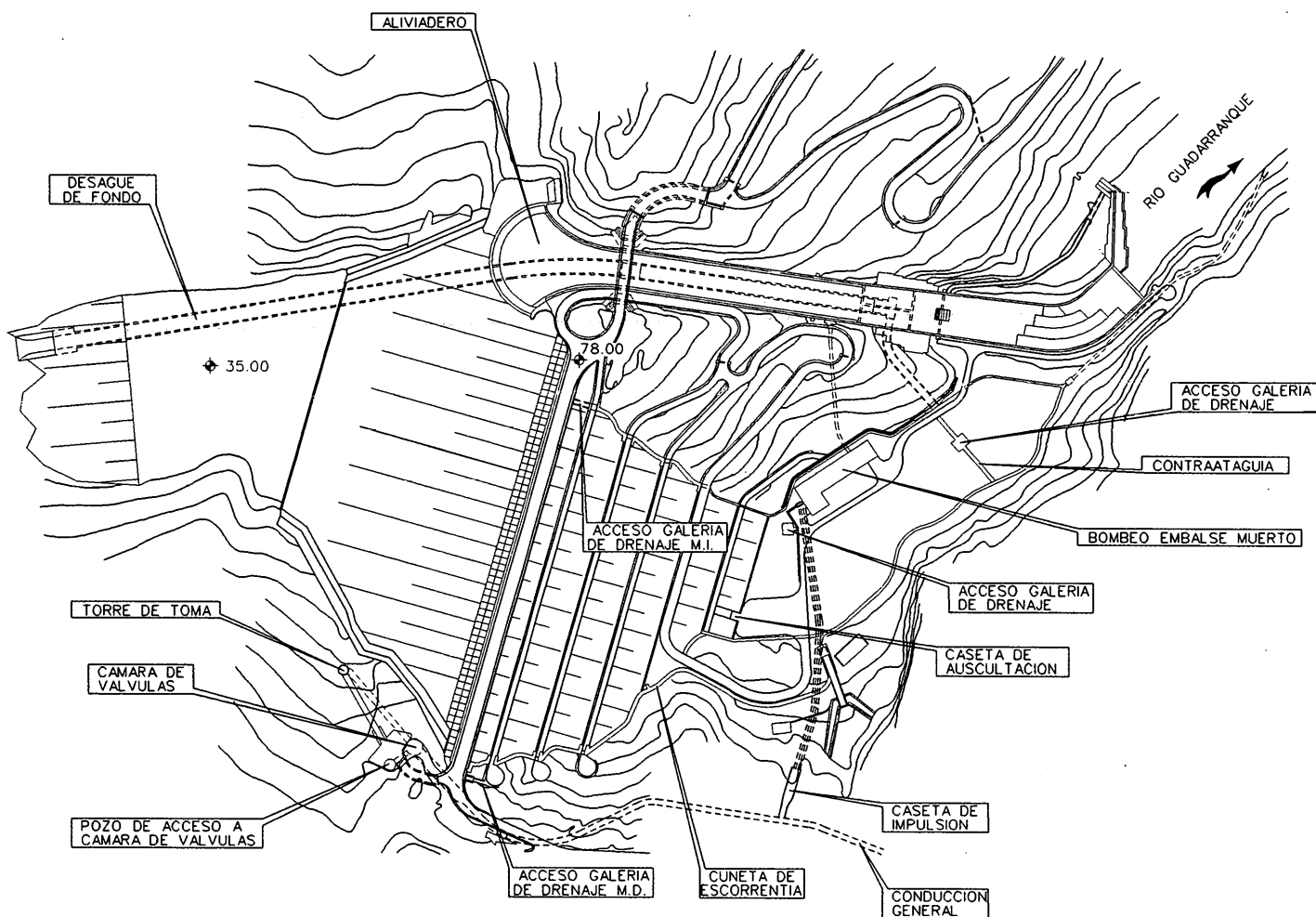


Figura 3.

menos favorables, se seleccionaron finalmente los caudales máximos instantáneos reflejados en el Cuadro 1.

Por lo que se refiere a geología, la documentación antecedente fué completada mediante datos procedentes de otros estudios realizados en la zona y, sobre todo, mediante un nuevo reconocimiento superficial consistente en una fotointerpretación geológica previa, seguida de una cartogra-

fía de campo en la zona de la presa, vaso y cante-
 ras. Tanto la cerrada como el embalse se ubican
 en la denominada Unidad del Aljibe, constituida
 por una alternancia de areniscas y arcillas. La
 cerrada está formada principalmente por estratos
 masivos de areniscas de rumbo paralelo al eje de
 presa, que buzcan unos 60° a 70° hacia aguas arri-
 ba; el vaso coincide con un conjunto constituido
 por una serie areniscosa, con una parte central
 más arcillosa. La conclusión principal obtenida a
 partir de los estudios citados es que el recreci-
 miento de la presa no dará lugar a problemas de
 estabilidad ni de permeabilidad, tanto en la cerra-
 da como en el vaso.

Desde el punto de vista geotécnico, se consi-
 deró necesario llevar a cabo los estudios neces-
 arios para definir las características resistentes de
 la presa actual -ya que servirá de "cimiento" al fu-
 turo recrecimiento- y para determinar la idoneidad

Cuadro 1.

	PERIODO DE RETORNO (AÑOS)					
	25	50	100	500	1.000	PMF
Q máx. instantáneo (m ³ /s)	547	587	733	927	1.199	2.239

y localización de materiales susceptibles de ser empleados en dicho recrecimiento. En consecuencia, se realizó una campaña de reconocimientos in situ, consistentes en: tres sondeos a rotación en el cuerpo de presa, dos de ellos desde la coronación, a través del núcleo, y el tercero en el espaldón de aguas abajo; dos sondeos mediante piezocono (CPT) en el núcleo de la presa; finalmente, una investigación en las posibles zonas de préstamos, mediante la realización de nueve calicatas. Además de los ensayos SPT y CPT realizados en los sondeos, las muestras extraídas en los mismos se enviaron a laboratorio para realizar ensayos de densidad seca, humedad natural, índice de poros, peso específico, granulometría por tamizado, límites de Atterberg, edométricos, triaxiales y de resistencia a compresión simple; en las calicatas se realizaron ensayos de identificación y ensayos Proctor Normal.

De los estudios realizados sobre los materiales que constituyen la presa actual, se obtuvieron las propiedades de resistencia al corte que se indican en el cuadro 2.

En cuanto a materiales de construcción, las fuentes investigadas lo han sido para cubrir los requerimientos de arcillas para su empleo en el núcleo impermeable y arenas limosas para el relleno de los espaldones.

Para las arcillas se ha identificado un yacimiento situado a 1 km del estribo derecho de la presa, cuyas reservas se han estimado en 350.000 m³. Este yacimiento es prolongación del que en su día se utilizó para la construcción de la presa actual, el cual se encuentra hoy bajo la lámina de agua del embalse.

El material para espaldones, finalmente, puede proceder del mismo préstamo de arenas limosas también utilizado en su día. Dicho préstamo está a unos 3 km aguas abajo del sitio de presa y su volumen de reservas es más que suficiente para el recrecimiento.

Como último paso dentro de la fase de estudios previos, se procedió a evaluar las condiciones de estabilidad y el estado tensional del cuerpo de presa en su situación actual, es decir, a largo plazo y con nivel de embalse alto. En estos análisis, y de acuerdo a las medidas de auscultación en el cuerpo de presa, se ha considerado que ha habido suficiente tiempo para la disipación de los excesos de presión intersticial en el núcleo, y que se ha establecido una condición estable de filtraciones.

Cuadro 2.

MATERIAL	Densidad aparente (t/m ³)	Cohesión C' (t/m ²)	Angulo de rozamiento Ø'	Cohesión no drenada Cu (t/m ²)
NUCLEO	1,90	1,0	24	10
ESPALDONES	1,95	0	32	—
MANTO DRENANTE	2,10	0	37 *	—
CIMENTACION	2,30	50 *	45 *	400

* estimada

Las condiciones de estabilidad se calcularon mediante el programa de ordenador UTEXAS 3, utilizando el método de Spencer. El estado tensional se estimó con un análisis de elementos finitos, utilizando el modelo hiperbólico para simular el comportamiento de los materiales de la presa, mediante el programa de ordenador SOILS-TRUCT-AUTOMESH; este análisis se realizó en varias etapas y subetapas para simular las condiciones iniciales del cimiento, la construcción de la presa y el ascenso del nivel freático hasta alcanzar su condición estable a largo plazo, a la cota 73.

De los análisis efectuados se extrajeron las siguientes conclusiones:

▼ En su situación actual la presa de Guadarranque presenta factores de seguridad al deslizamiento, en condiciones estáticas, de 1,96 en el talud de aguas arriba y de 1,59 en el talud de aguas abajo. Ambos factores son superiores a los exigidos por el Comité Internacional de grandes Presas, de 1,5 para ambos taludes.

▼ Los parámetros geotécnicos y el modelo hiperbólico utilizados en el análisis de elementos finitos simulan con suficiente precisión el comportamiento de la presa, el cual resulta ser semejante al observado en otras presas de materiales sueltos.

▼ Los índices de tensiones obtenidos, para la condición de embalse lleno, indican claramente que la zona por encima de la cota 70 constituye la zona más crítica a considerar durante los análisis de las distintas alternativas de recrecimiento.



4. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS PARA EL RECRECIMIENTO DE LA PRESA

Las soluciones de recrecimiento planteadas vienen condicionadas por la existencia a pié de presa de una central de bombeo que sería deseable no tener que desplazar, y por la necesidad de interferir lo menos posible en la explotación del embalse durante la construcción de las obras. Con estos condicionantes se plantearon inicialmente dos soluciones basadas en la demolición de los 5 m superiores de la presa actual, es decir hasta la cota 73, recreciendo a partir de ahí la presa hasta la cota 88:

▼ Solución 1 o tradicional (Fig. nº 4) consistente en prolongar el paramento de aguas arriba con un talud más rígido (1,75/1) a partir de una berma a la cota 73, inclinar el núcleo, mantener un ancho

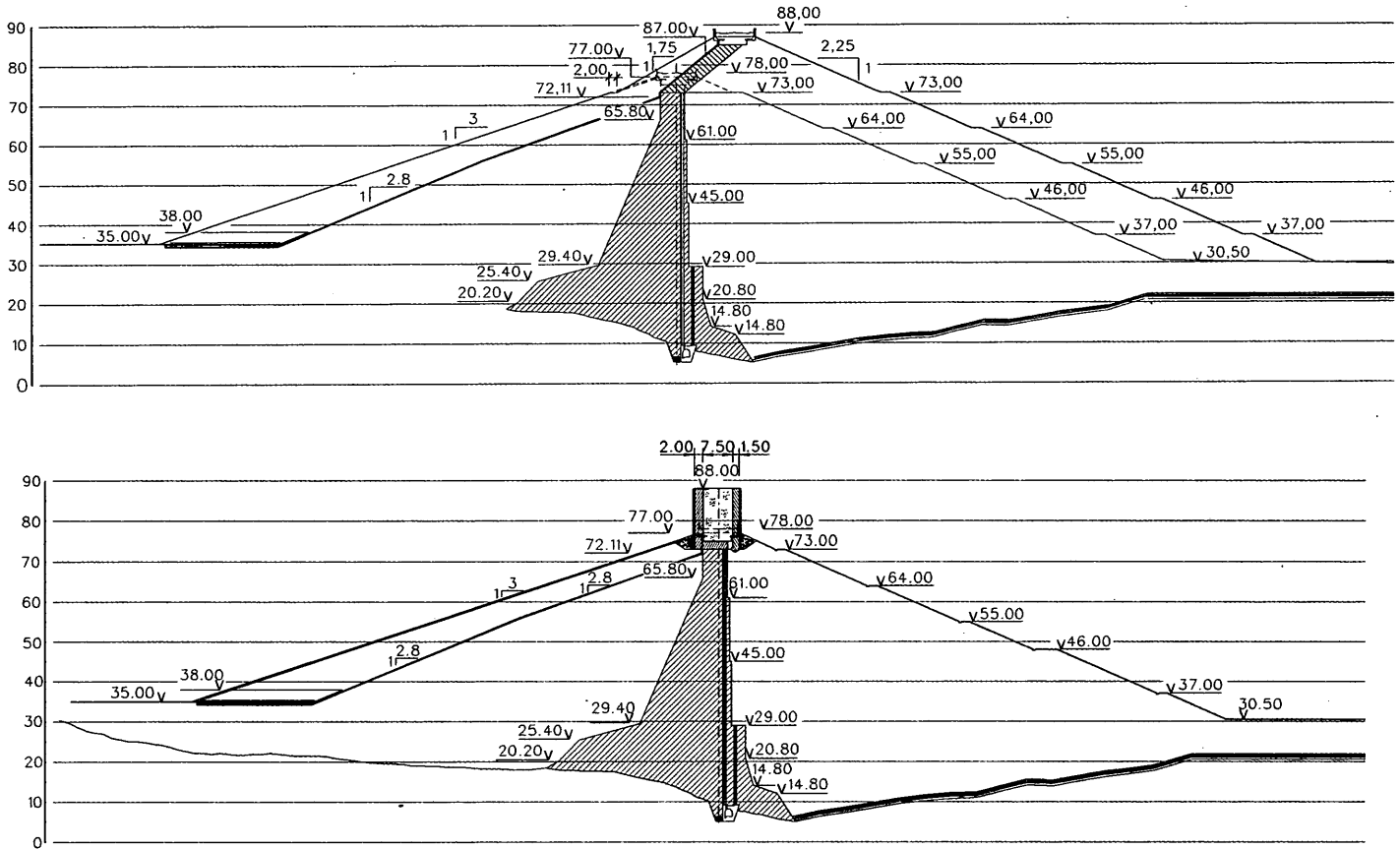
de 10 m en coronación y recrecer el paramento de aguas abajo hasta una línea paralela a la del paramento actual.

▼ Solución 2 (Fig nº 5), basada en el empleo de la técnica de tierra armada, que consistiría en la creación de un "cabezón" de 11 m de anchura y 15 m de altura limitado por dos muros verticales. El relleno entre ambos muros es zonificado, constando -de aguas arriba hacia aguas abajo- de las siguientes tres capas: material arcilloso de 2,0 m de espesor que enlaza con el núcleo de la presa actual; 7,5 m de arena y grava compactada; 1,5 m de gravas y bolos que ejercerán la función de dren.

La estabilidad de la Solución 1 fué analizada mediante el programa de ordenador STABGM, que emplea el método Bishop modificado para superficies de rotura circulares. El factor de seguridad mínimo se obtiene para el talud de aguas arri-

Cuadro 3.

SITUACIÓN	FACTOR DE SEGURIDAD	
	Superficie circular	Superficie no circular
Análisis a corto plazo con embalse a la cota 73 (M.N.N. de la presa actual)	1,54	1,43
Análisis a corto plazo con embalse a la cota 86,1 (M.N.E.)	1,30	1,24
Análisis a largo plazo con embalse a la cota 86,1 (M.N.E.)	1,32	1,24



Figuras 4 y 5.

ba al final de construcción, siendo su valor (1,78) superior al establecido por la Instrucción. A pesar de ser viable técnicamente, esta solución no se consideró satisfactoria por obligar a la reubicación de la estación de bombeo o a la protección de la misma mediante una bóveda que permitiera dejarle enterrada bajo el terraplén de aguas abajo de la presa recrecida.

La Solución 2, en cambio, no afectaba en absoluto a la estación de bombeo y presentaba notables ventajas en cuanto a rapidez de ejecución y economía. En consecuencia, se decidió estudiar de forma prioritaria su viabilidad técnica. Dado lo novedoso de esta solución, era preciso profundizar con detalle en el problema de la estabilidad y comportamiento del sistema muro de tierra armada-presa. Para éello, INTECSA recabó la asesoría del profesor James Michael Duncan de la Virginia Polytecnic Institute and State University, con cuya colaboración se realizaron los estudios que a continuación se describen:

▼ Un cálculo de la estabilidad global del sistema, efectuado con el programa UTEXAS 3, utili-

zando el método de Spencer. Las situaciones analizadas y los factores de seguridad mínimos obtenidos se resumen en el cuadro 3.

Estos resultados indican que la presa tiene suficiente resistencia para soportar el peso del "cabezón" de tierra armada, pero que, con las dimensiones dadas a éste, los coeficientes de seguridad a embalse lleno no son aceptables.

▼ Un análisis tenso-deformacional por elementos finitos, utilizando las propiedades hiperbólicas de los materiales, realizado con el programa SOILSTRUCT-AUTOMESH. El modelo representó la parte de la presa situada por encima de la cota 64 para poder utilizar un menor número de elementos y mejor definidos en la zona de interés; si la malla hubiera incluido la totalidad del cuerpo de presa, los desplazamientos serían mayores, pero las tensiones -que es lo que más interesaba conocer- hubiesen sido similares. El análisis comenzó con la simulación de la construcción de la presa desde la cota 64 hasta la 73, con el fin de establecer las condiciones iniciales de tensión en la presa existente en la actualidad. Después se analizaron las mismas situaciones que en el análisis de esta-

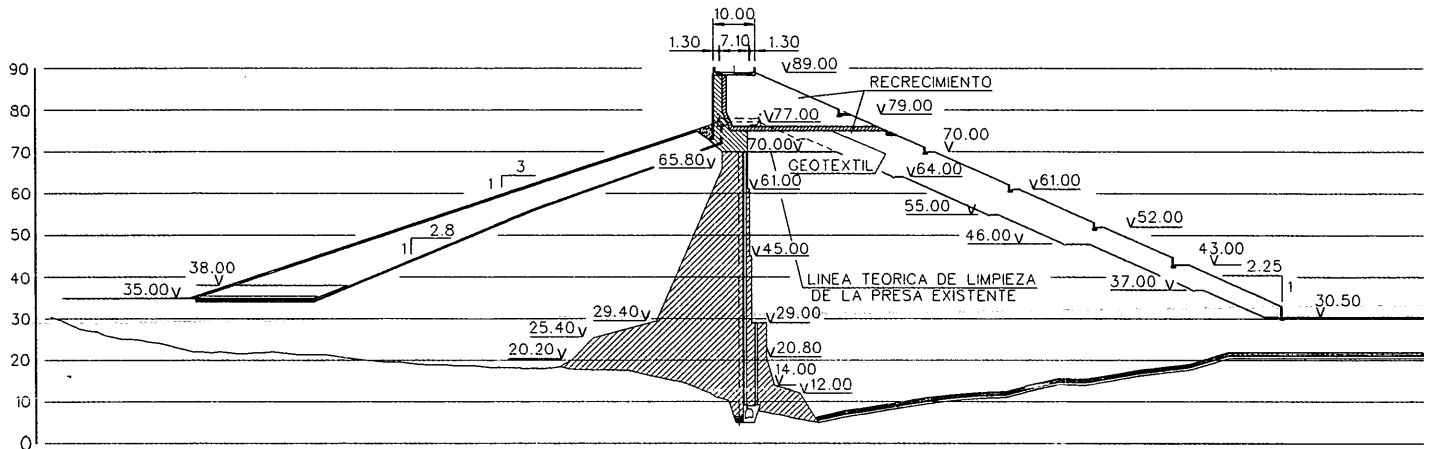


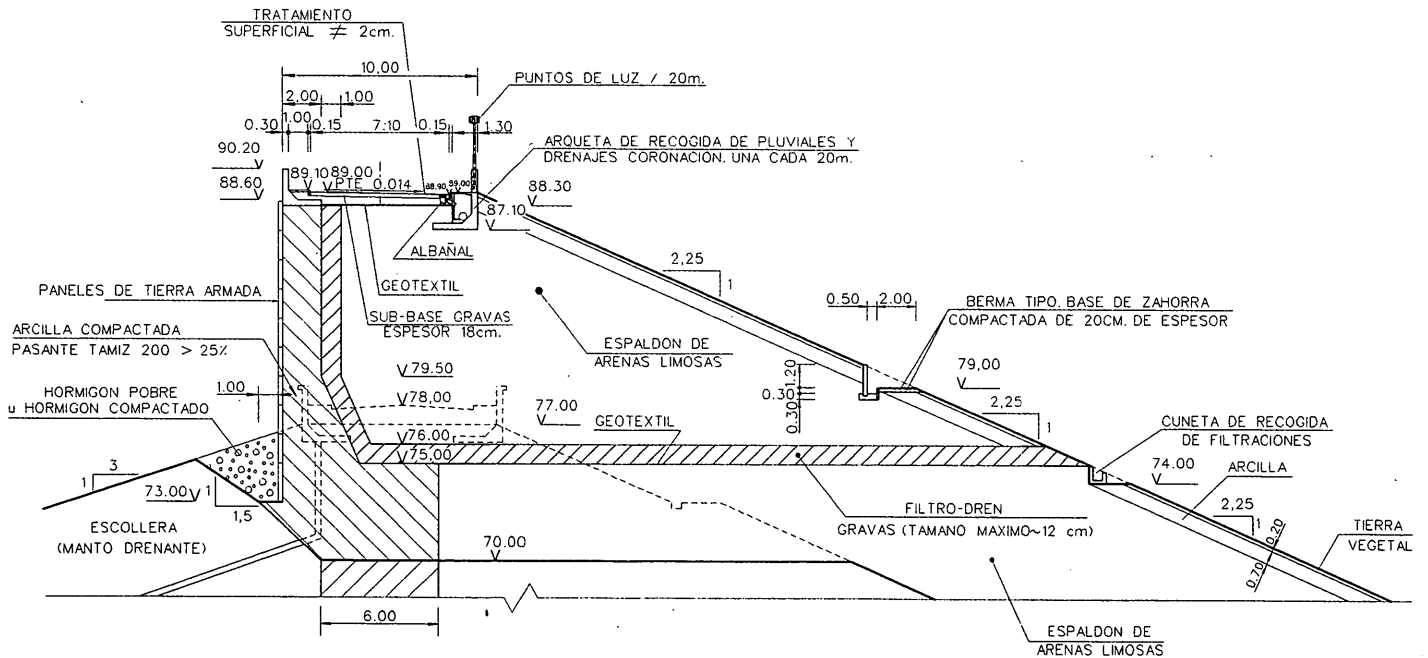
Figura 6.

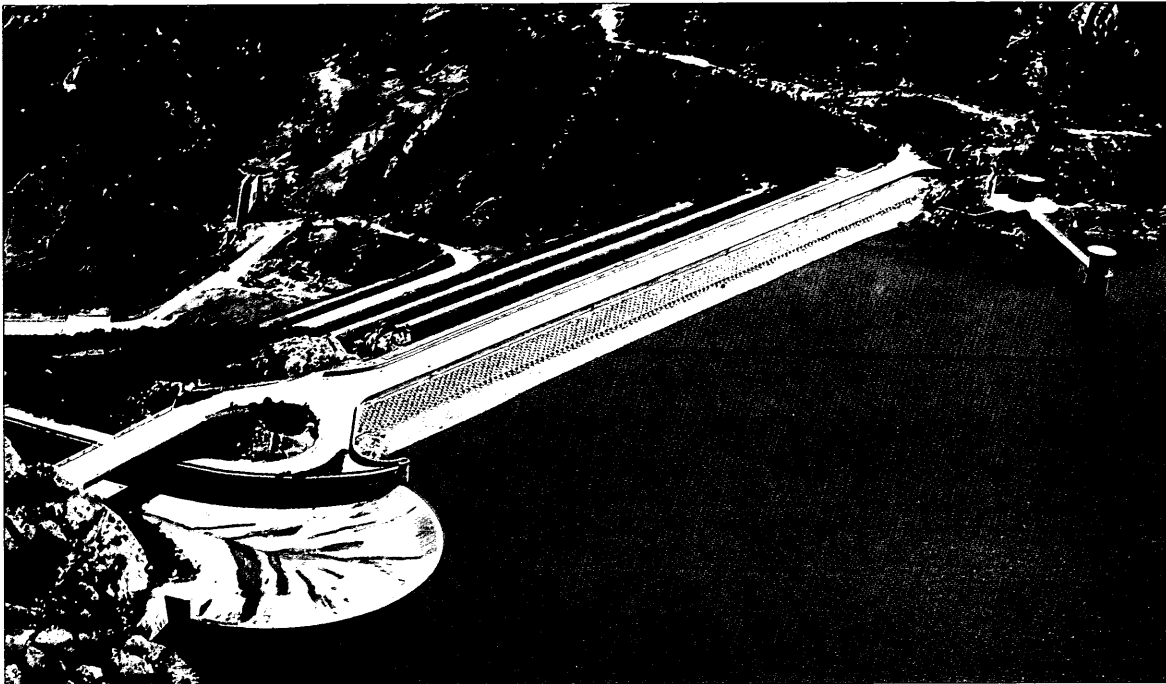
bilidad. Los resultados obtenidos indicaron que las dimensiones del "cabezón" de tierra armada diseñado inicialmente no eran adecuados: los asientos durante la construcción serían del orden de 0,3 m y los desplazamientos durante el llenado del embalse del orden de 1,0 m, valores muy elevados; además, existía riesgo de fractura hidráulica en el núcleo.

▼ Un estudio paramétrico de estabilidad en el que se consideraron distintas configuraciones de

la estructura de tierra armada, ya que la inicialmente definida presentaba los problemas ya indicados, debido a su esbeltez. Conservando como cota de coronación la 88, se definieron siete configuraciones, haciendo variar la anchura de la estructura entre 20 y 32 m y la cota de empotramiento del muro entre la 68 y la 73. Los resultados obtenidos indicaron que sólo un cabezón de 32 m de ancho cimentado a la cota 68 tendría un factor de seguridad suficientemente elevado para considerar el diseño seguro y fiable.

Figura 7.





La Solución 2 modificada tal como se ha descrito no se consideró satisfactoria, a pesar de ser técnicamente viable. No obstante, la experiencia adquirida con los estudios ya descritos permitió plantear una tercera solución (Solución 3) que combina ventajosamente elementos de las dos anteriores y que fué la finalmente seleccionada.

5. SOLUCIÓN ADOPTADA

La solución finalmente desarrollada para recrear la presa (Fig. nº 6) consiste en la colocación aguas arriba de un muro vertical de tierra armada cimentado a la cota 73 y coronado a la 88,60, y en la ejecución sobre el talud de aguas abajo de la presa actual de un relleno de iguales características a las del espaldón actual, con una pendiente de 1 V / 2,25 H, es decir, paralela a la de la presa actual.

La coronación de la presa se sitúa a la cota 89,00, con un ancho de 10,0 m.

La impermeabilización se consigue mediante una capa de arcilla de 2 m de espesor colocada inmediatamente aguas abajo del muro de tierra armada, coronada a la cota 88,60 y que enlaza con el núcleo de la presa actual. Los detalles pueden verse en la Figura nº 7. La geometría del núcleo se ha diseñado de manera que la carga hidráulica debida al embalse sea siempre igual o inferior a tres veces el ancho del mismo, en cualquier dirección.

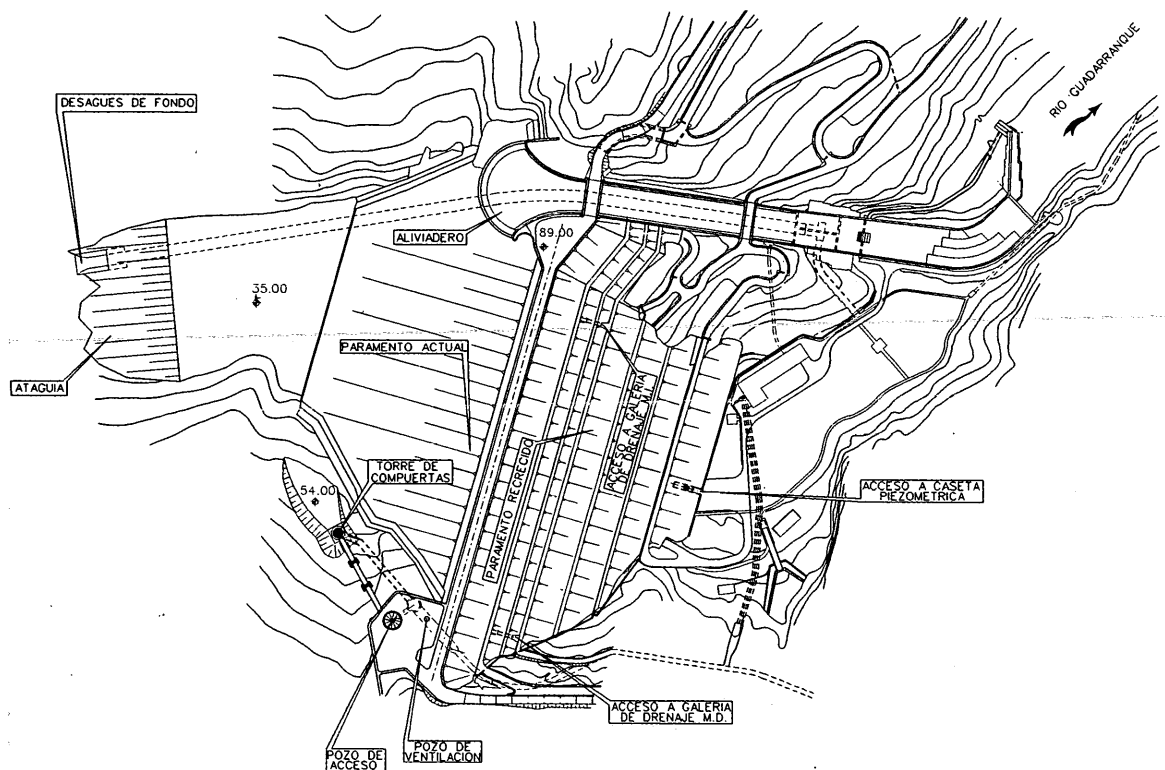
De esta forma los gradientes se mantienen lo suficientemente bajos como para evitar los problemas de sifonamiento y erosión. Además, el núcleo presenta un mejor comportamiento frente a la fractura hidráulica.

Aguas abajo de la prolongación del núcleo se dispone un filtro-dren para proteger frente a la erosión y sifonamiento. Esta capa tiene 1 m de espesor y se continúa horizontalmente a la cota 75 hasta llegar al paramento de aguas abajo. La filtración a través de este dren podrá ser recogida en una cuneta sobre el talud de aguas abajo, lo cual permitirá controlar la filtración a través del muro de tierra armada. Para mejorar el comportamiento hidráulico del dren horizontal, en su contacto con el espaldón se coloca un geotextil que deberá cumplir las condiciones de filtro y dren.

Sobre el espaldón de aguas abajo se han dispuesto 5 bermas a las cotas 79, 70, 61, 52 y 43. Todas ellas tienen un ancho de 2,5 m excepto la última (cota 43) que tiene un ancho de 4,0 m para permitir el acceso de vehículos al pie de la presa ya recrecida. Estas bermas están formadas por un muro de tierra armada de 1,50 m de altura, una cuneta de recogida de escorrentías y un camino de 2,0 m de ancho (3,50 m en el caso de la berna de la cota 43,00).

Para no afectar a la estación de bombeo existente y a la caseta de acceso al drenaje inferior, se dispone en el pie de presa un muro de protección de 1,8 m de altura.

Figura 8.



La solución descrita ha sido objeto de un análisis de estabilidad para determinar su seguridad y la influencia de sus dimensiones sobre los factores de seguridad. El análisis se ha desarrollado a corto y largo plazo, con cotas de embalse 73 (cimentación del muro de tierra armada) y 86,1 (máximo embalse extraordinario), y en desembalse rápido, habiéndose tanteado diferentes anchos de coronación, taludes aguas abajo e hipótesis de distribución de fuerzas a lo largo de las bandas de refuerzo de la tierra armada.

Por último, el recrecimiento supone la adaptación del aliviadero actual, cuya embocadura ha de ser modificada, la creación de una nueva torre de toma, la adaptación del desagüe de fondo, la construcción de nuevos caminos de acceso y el rediseño del sistema de auscultación y de la instalación eléctrica. En la Fig. nº 8 se presenta la planta general de la presa recrecida.

6. CONCLUSIÓN

El recrecimiento en 10 m de la presa de Guadarranque ha sido estudiado por la Confederación

Hidrográfica del Sur e INTECSA, a nivel de viabilidad.

Se han planteado tres posibles soluciones para este recrecimiento, teniendo en cuenta los condicionantes planteados por la existencia a pié de presa de una central de bombeo, que sería deseable no tener que desplazar, y por la necesidad de interferir lo menos posible en la explotación del embalse durante la construcción de las obras.

La alternativa finalmente seleccionada consiste en la demolición de los 8 m superiores de la presa actual, en la colocación aguas arriba de un muro vertical de tierra armada -al que se adosa la prolongación de los elementos de impermeabilización, filtro y drenaje existentes- y en la ejecución sobre el talud de aguas abajo de un relleno de iguales características y pendiente superficial que el espaldón actual.

La solución propuesta, que incluye además la adaptación del aliviadero y el desagüe de fondo, la creación de una nueva torre de toma, la construcción de nuevos caminos de acceso y el rediseño del sistema de auscultación y de la instalación eléctrica, deberá ser desarrollada a nivel de proyecto. ●