

Comentarios sobre el proyecto de la presa de Gergal

Por JOSE LUIS PRATS
ALFONSO ALVAREZ
ANTONIO DE SANTIAGO

1. ANTECEDENTES

La Confederación Hidrográfica del Guadalquivir (M.O.P.U.) y el Ayuntamiento de Sevilla prepararon un plan coordinador para abastecer de agua a Sevilla y otras 29 poblaciones limítrofes. Dentro de este plan se proyectó en 1972 la presa Gergal, adoptándose una solución de gravedad.

En 1975, EMASESA (Empresa Municipal de Abastecimiento de Aguas de Sevilla) decidió acometer la construcción de la presa de Gergal, convocando en octubre el concurso de ofertas para la obra. En el concurso se admitían variantes técnicas a la solución de gravedad proyectada, para así cubrir las variaciones relativas de precios habidas durante el tiempo transcurrido desde la elaboración del proyecto, y la posibilidad de que algún constructor dispusiese de maquinaria en mejores condiciones económicas para determinado tipo de presa.

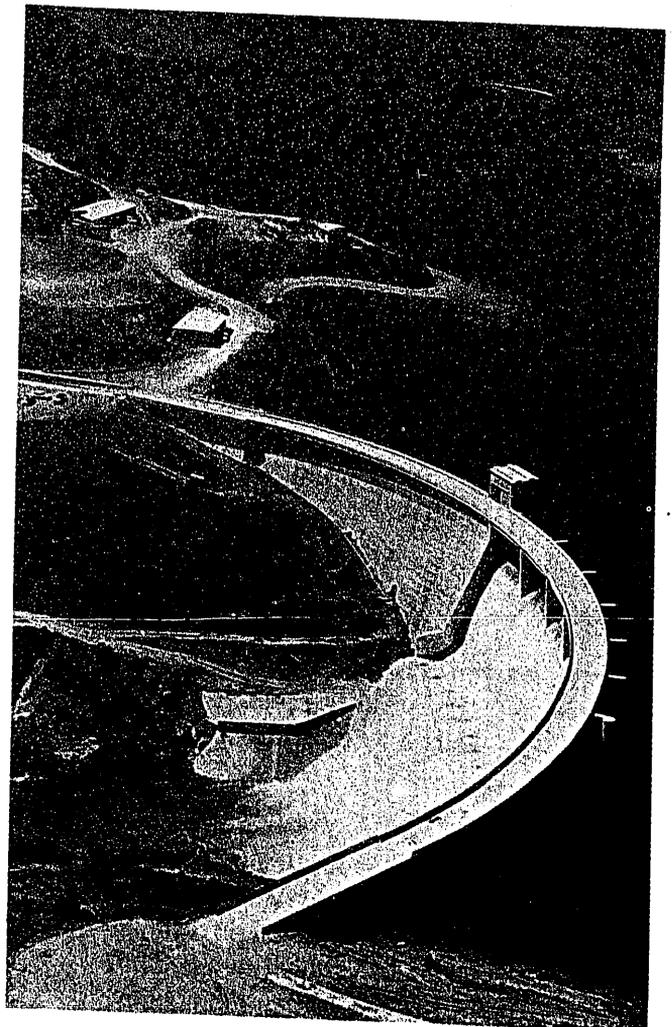
En junio de 1976 fue elegida la oferta presentada por el grupo formado por AGROMAN y otras dos empresas, de acuerdo con una variante consistente en una solución de presa arco-gravedad, proyectada por los ingenieros don Alfonso Alvarez y don Antonio de Santiago. Las obras comenzaron el 16 de agosto de 1976, y la presa ha sido inaugurada el día 6 de abril de 1979, dándose la circunstancia de que en esa fecha el embalse se había llenado, es decir, la presa había sido puesta en carga, comprobándose se comporta satisfactoriamente.

2. RAZONES QUE LLEVARON A ADOPTAR LA SOLUCION CONSTRUIDA

La presa del Gergal tiene unas dimensiones relativamente moderadas comparadas con las necesidades de aliviadero; éste ha de evacuar una avenida de $2.325 \text{ m}^3/\text{seg}$. En consecuencia, en el año 1972 fue totalmente lógico elegir una presa de gravedad, teniendo además en cuenta el coste relativo de los diferentes materiales y de la mano de obra.

En los años transcurridos desde que el proyecto fue elaborado hasta que se convocó el concurso de construcción hubo una serie de circunstancias cuya incidencia sobre la presa aconsejaban realizar estudios técnico-económicos, dejando abierta la posibilidad de adoptar otro tipo de presa.

Con esta idea se analizaron distintas soluciones (gravedad, arco-gravedad, bóveda y escollera con núcleo) llegándose a la conclusión, después de comparar los costes y plazos de construcción de cada una, que la más conveniente era una presa



COMENTARIOS SOBRE PROYECTO PRESA DE GERGAL

arco de gravedad con un aliviadero consistente en un labio fijo sin compuertas, y un trampolín de lanzamiento en lugar de cuenco amortiguador.

Los motivos principales que llevaron a adoptar esta solución fueron:

- Conocimiento más profundo, como consecuencia de los estudios geológicos y geotécnicos realizados por don Clemente Sáenz Ridruejo y don Mariano Fernández Bollo, de la capacidad resistente del terreno y aprovechamiento de la misma mediante soluciones arco, con el fin de reducir los volúmenes de hormigón a emplear.
- Incremento del coste de las compuertas, cuyo precio desde 1972 hasta 1975, llegó prácticamente a duplicarse. Ello hizo pensar en la posibilidad de su eliminación, manteniendo el máximo nivel normal de embalse y elevando sólo un metro el máximo nivel extraordinario, a costa de aumentar la longitud del labio vertiente y elevar también un metro la cota de coronación.
- Mayor experiencia del funcionamiento de los trampolines de lanzamiento y sustitución

del cuenco amortiguador de la presa de gravedad, de fuerte repercusión económica, por un trampolín de lanzamiento. De esta manera se aprovecha el colchón natural de más de tres metros de profundidad de lámina de agua, situado agua abajo de la presa, como elemento amortiguador de la energía de caída y además se alejan suficientemente del pie de agua abajo de la presa, las erosiones debidas a esta energía.

- Nula repercusión económica del incremento de un metro del máximo nivel extraordinario de avenidas, en cuanto a expropiaciones se refiere, por haberse llevado a cabo éstas muy por encima de la cota de coronación inicial.

3. CARACTERISTICAS DEL EMBALSE Y DE LA PRESA

En las figuras 1 a 3, pueden verse la disposición y características fundamentales de los distintos elementos de la presa y embalse, cuyo resumen damos a continuación:

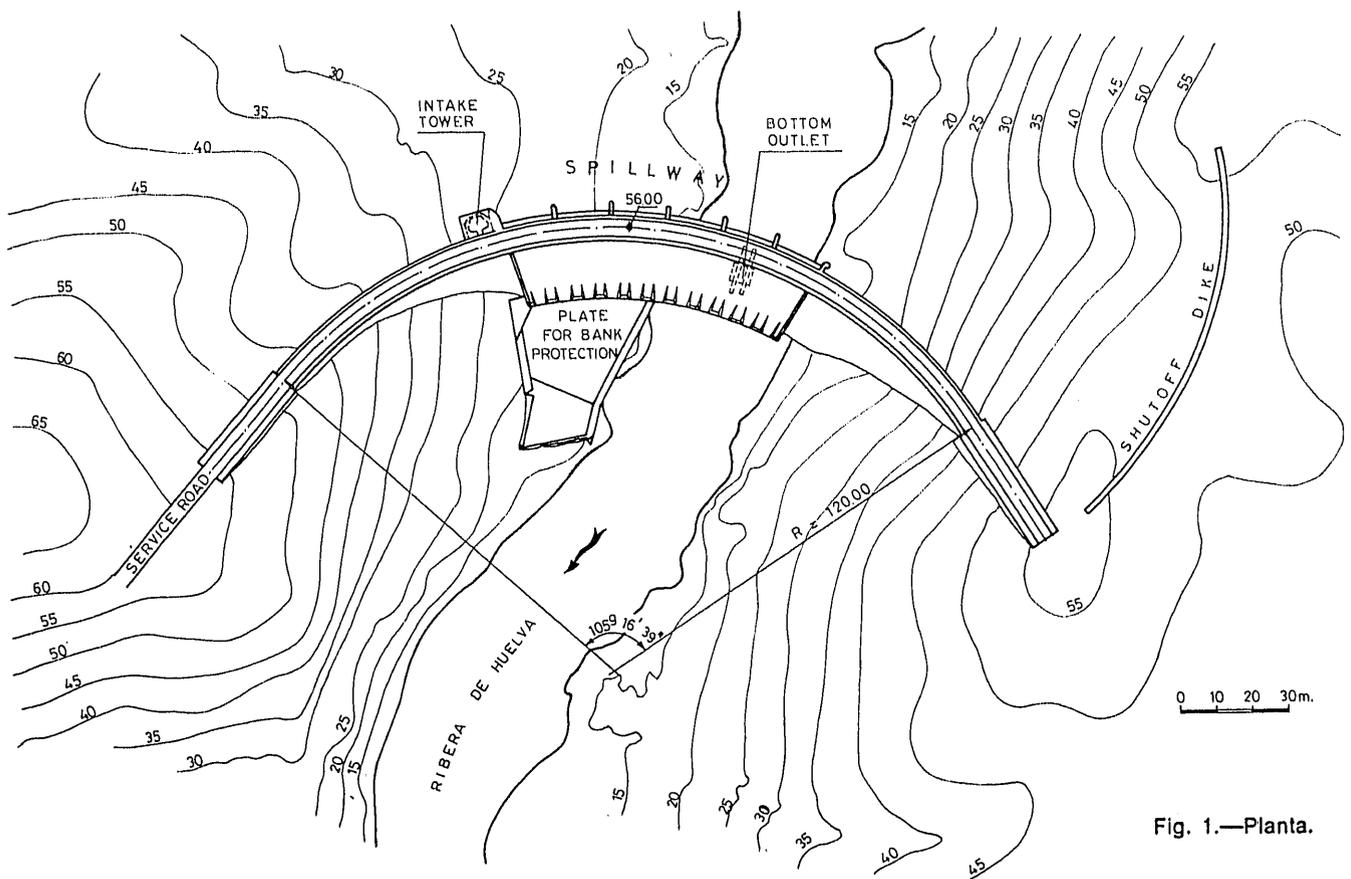


Fig. 1.—Planta.

COMENTARIOS SOBRE PROYECTO PRESA DE GERGAL

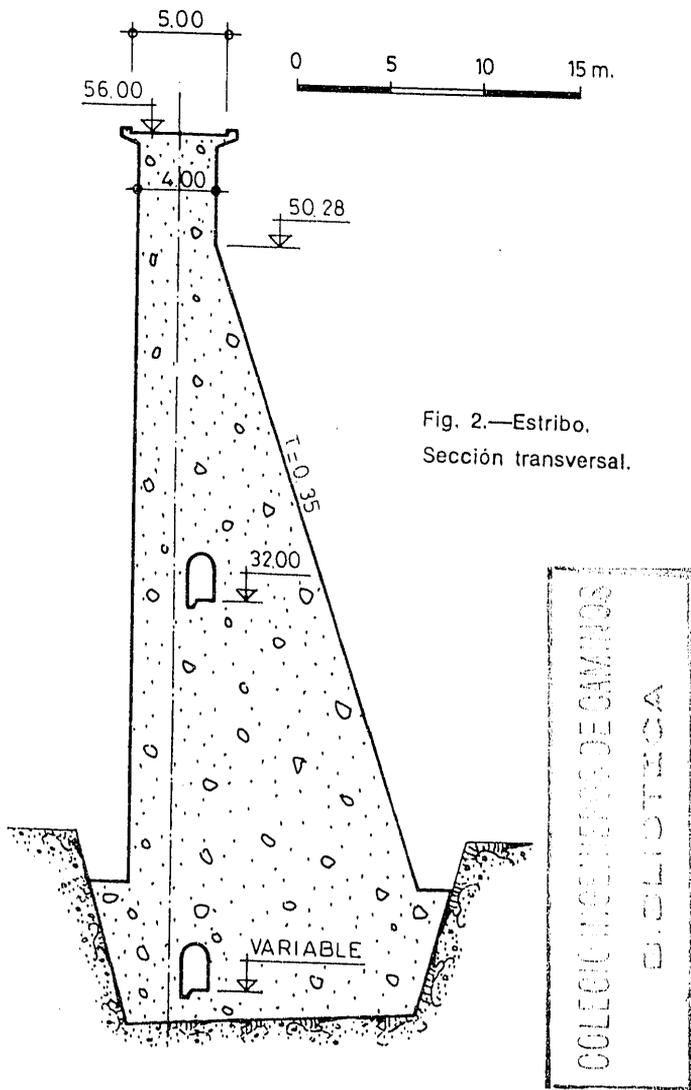


Fig. 2.—Estribo.
Sección transversal.

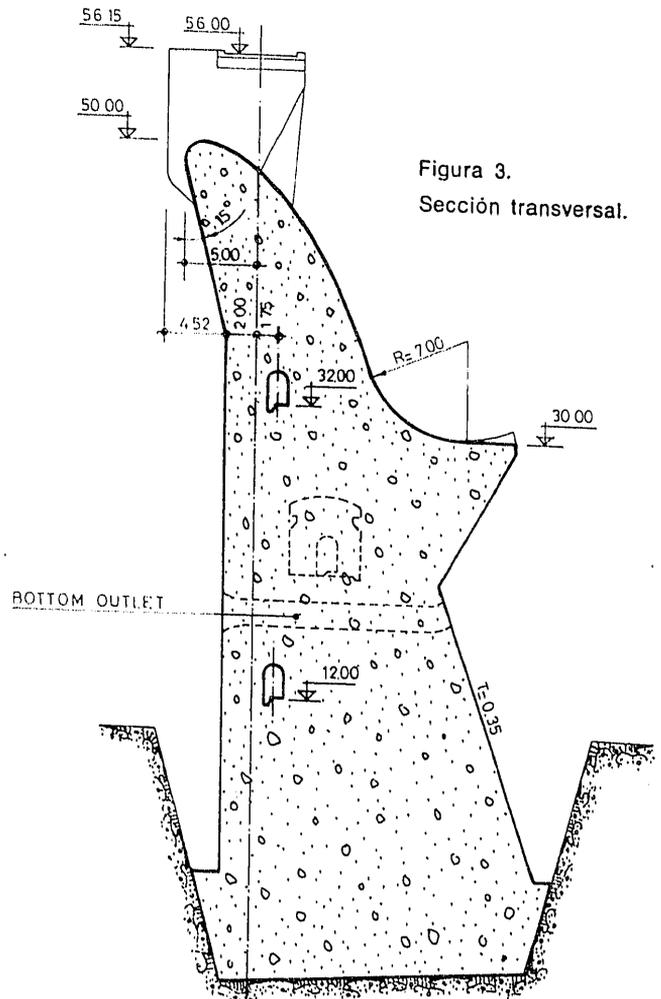


Figura 3.
Sección transversal.

Embalse:

- Superficie de la cuenca: 175.000 Ha.
- Cota máximo nivel normal: 50,00.
- Cota mínimo nivel normal: 28,00.
- Cota máxima avenidas: 55,00.
- Superficie de embalse: 250 Ha.
- Volumen de embalse: 36 millones de m³.

Presa:

- Tipo: Arco gravedad.
- Cota coronación: + 56,00.
- Cota cimentación: — 6,50.
- Altura sobre cimientos: 62,50 metros.
- Longitud coronación: 288 metros.
- Talud aguas arriba: Vertical.
- Talud aguas abajo: 0,35 : 1.
- Longitud de galerías: 456 metros.
- Volumen de hormigón: 110.000 m³.

Aliviadero de superficie:

- Tipo: Labio fijo.
- Caudal máximo: 2.325 m³/seg.
- Número de vanos: 6.
- Longitud de vanos: 13,90 metros.

Desagües de fondo:

- Número: 2.
- Dimensiones: 1,80 × 1,25 metros.
- Cota eje: 18,00.
- Tiempo de vaciado: 4,5 días.

Torre de toma:

- Tipo: Poligonal adosado a la presa.
- Caudal: 7 m³/seg.
- Número de tomas: 2.
- Dimensiones reja: 2,50 × 3,0 metros.
- Cota umbrales: 26 y 41,30 metros.

4. CALCULOS ESTRUCTURALES DE LA PRESA

Para el primer cálculo estructural de la presa se utilizó el método de los elementos finitos original de Zienkiewicz, empleando el programa Strudl, elaborado por el Massachusetts Institute of Technology. Posteriormente y a petición de EMASESA se realizó un nuevo cálculo aplicando el programa Nastran, diseñado por la National Aeronautics and Space Administration (NASA) para analizar el comportamiento de estructuras elásticas bajo una amplia gama de condiciones de carga, usando el método del desplazamiento, en un análisis de elementos finitos. Los resultados obtenidos por este segundo método confirmaban, con la aproximación alcanzable en este tipo de cálculos, los valores obtenidos por el primero.

Por último, y durante el curso de ejecución de las obras, se realizó un nuevo cálculo estructural de la presa también mediante el programa Nastran en el que se recogían las condiciones reales de la misma en cuanto a profundidades de excavación y cimentación se refiere.

El modelo matemático constaba de 160 elementos sólidos isoparamétricos de ocho nudos, de los que 53 modelizan la presa y el resto al cimiento. El número total de nudos era 368, y en cada uno de ellos se consideran tres grados de libertad, el número total de los mismos se eleva a 1.104.

Para el cálculo se ha supuesto un módulo de elasticidad del hormigón de 200.000 Kg/cm² y un módulo de Poisson igual a 0,2.

El modelo matemático empleado reproduce con elementos sólidos, también de ocho nudos, la zona de terreno sobre la que se considera alcanza el efecto de cargas transmitidas por la presa. En esta zona se ha supuesto un módulo de deformabilidad igual a 40.000 Kg/cm² que corresponde a las medidas realizadas in situ. Por debajo de dicha zona

se considera el terreno como infinitamente rígido (de hecho lo es cuando las cargas que le llegan son muy débiles) lo cual equivale a suponer que los nudos del contorno conservan su posición ante los distintos estados de carga. Esta hipótesis es la que permite establecer las condiciones de contorno necesarias para el planteamiento matemático del cálculo.

Como cargas actuantes se han considerado: peso propio, carga hidrostática normal (cota 50,00) y extraordinaria (cota 55,00), subpresión, efecto sísmico y variación térmica.

La combinación de estas cargas proporciona 15 situaciones distintas, resultando unas compresiones y tracciones inferiores a las admitidas en cada caso por la Instrucción Oficial de Presas de España. A título de ejemplo se incluyen el gráfico 4 con las tensiones principales en los casos de peso propio + carga hidrostática normal + subpresión + descenso térmico, y el gráfico 5 con las tensiones debidas a peso propio + carga hidrostática extraordinaria + efecto sísmico + subpresión + descenso térmico.

5. EJECUCION DE LAS OBRAS

Las obras, adjudicadas a AGROMAN, Empresa Constructora, S. A., en agrupación con BOETTICHER Y NAVARRO, S. A. y ABENGOA, S. A., comenzaron, como ya hemos indicado, el 15 de agosto de 1976, inaugurándose la presa el 6 de abril de 1979; es decir, la ejecución de las obras duró poco más de dos años y medio. La dirección facultativa de las mismas corrió a cargo del equipo técnico de EMASESA, bajo la dirección del ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, don José Luis Prats, figurando como director de obra, el ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, don Antonio Rodríguez; este equipo contó con la asesoría

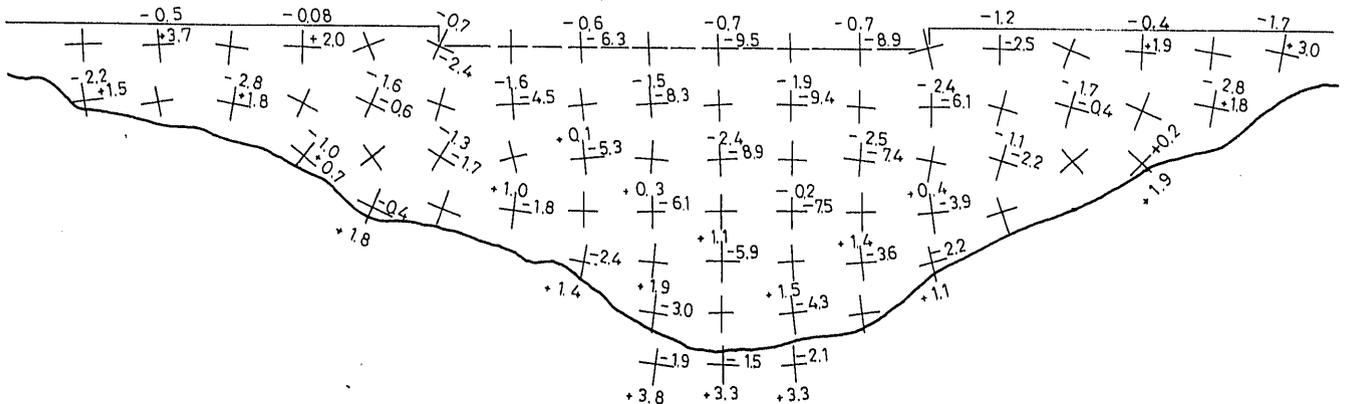


Figura 4.

COMENTARIOS SOBRE PROYECTO PRESA DE GERGAL

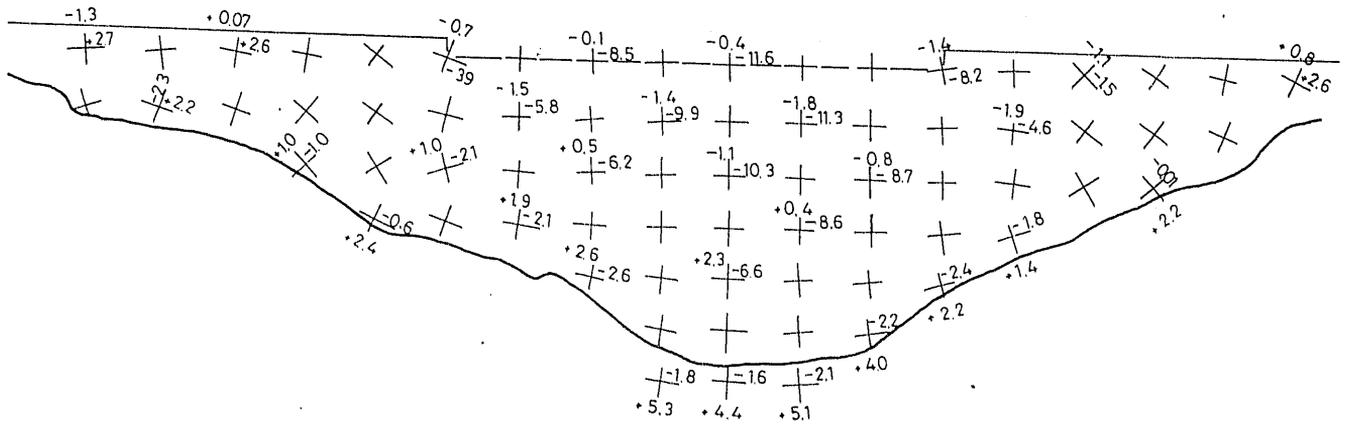


Figura 5.

técnica del servicio de presas del Ministerio de Obras Públicas, dirigido por el también ingeniero de Caminos, don Román Guerrero.

No se oculta a nadie la gran complejidad de este tipo de obras, en las que, tanto desde el punto de vista de la cimentación como de la propia estructura, suelen aparecer imprevistos que hacen se produzcan diferencias, más o menos acusadas con el proyecto de construcción. En este caso, a pesar de que dicho proyecto se realizó, por exigencias del concurso, en un lapso de tiempo muy breve, estas diferencias han sido pequeñas, debido, por una parte, a la existencia de un proyecto previo estudiado minuciosamente —aunque propusiera una solución distinta— y por otra, al com-

pleto estudio, dado el escaso plazo disponible, de la cimentación de la presa.

Como resumen, podemos indicar que las diferencias fundamentales se reducen a unas sobreexcavaciones en una zona limitada del cauce y a unas ligeras modificaciones en el vertedero, para recoger los resultados de los ensayos en modelo realizados por el Centro de Estudios Hidrográficos del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas durante la ejecución de las obras. La repercusión económica de estas diferencias ha sido inferior al 10 por 100 del presupuesto inicial, sin que haya habido necesidad de alargar el plazo previsto para la obra, lo que puede considerarse como plenamente satisfactorio.