

# ATAGUIA DE BELESAR SOBRE EL RIO MIÑO

Por LUCIANO YORDI DE CARRICARTE  
y MARIO COLL ALAS,  
Ingenieros de Caminos,

*Presentan los autores una información muy completa e interesante, ilustrada con bellas fotografías de esta importante ataguía, tanto de su estudio como del proceso de su rápida ejecución.*

Aguas arriba del embalse de Peares se iniciaron a mediados de agosto del año 1957 las obras del más importante de los saltos de FENOSA, el salto de Belesar, emplazado en el río Miño.

Este gran salto, uno de cuyos elementos básicos es la presa, que será una de las más grandes de Europa, con una altura de 130 m. y un embalse de 650 millones de metros cúbicos, alimentará una central subterránea en la cual se instalará una potencia dividida en tres grupos de 264.000 Kw.

Estas cifras dan idea de la magnitud del aprovechamiento en cuestión.

El plazo de ejecución de esta obra se fijó en cinco años, debiendo iniciarse los trabajos de hormigonado de la presa en junio del presente año.

Para convertir en realidad este ambicioso plan de ejecución fué necesario proyectar y ejecutar con exactitud los trabajos de instalaciones y simultanear éstos con la desviación del río. Todas las posibilidades de éxito giraban alrededor de este último tra-

bajo de capital importancia. Por ello, se planeó lo que hoy, ya convertido en una realidad, permite dar por terminada esta fase de desviación.

El plan a seguir fué, a grandes rasgos, el siguiente:

## Plan de trabajo.

Aprovechar el escaso tiempo de estiaje de que se disponía en 1957 para perforar la embocadura del túnel de desviación y ataguiar esta embocadura mediante dos compuertas. Al mismo tiempo preparar una preataguía capaz de desviar por dicho túnel las aguas del próximo estiaje.

A continuación debería procederse a la perforación del túnel de desviación, trabajo que tendría que quedar terminado el 1.º de agosto del año 1958. Con ello se disponía de dos meses y medio para ejecutar la ataguía definitiva que motiva el presente trabajo, pues ésta debería soportar las primeras riadas de otoño, y las cuales, como es lógico, se supuso que

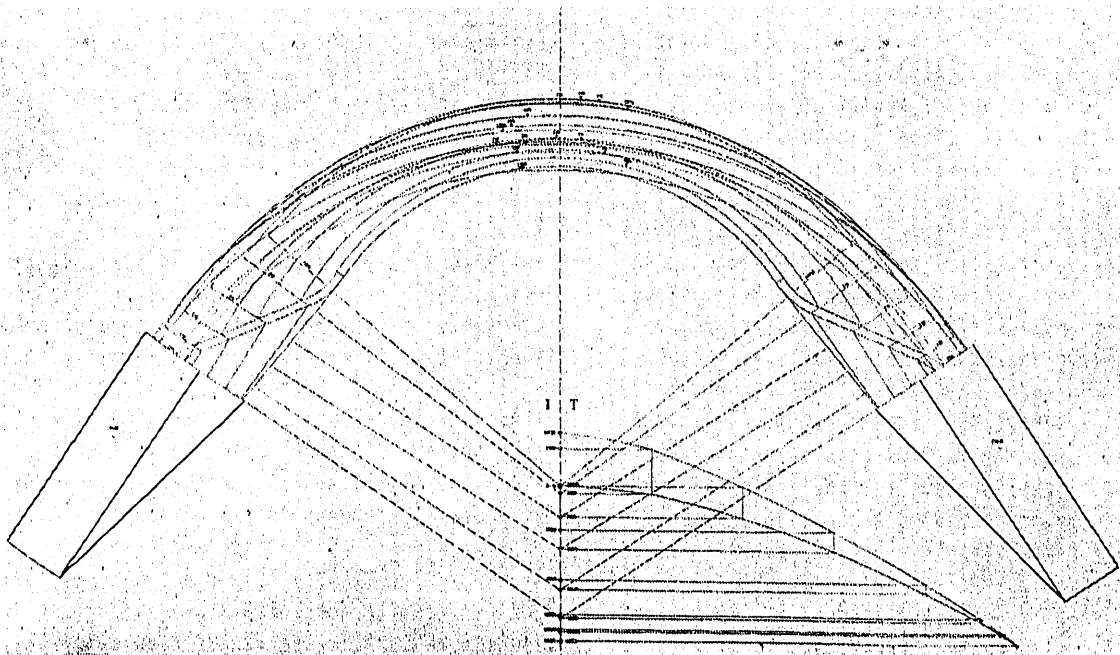


Fig. 1.ª — Planta geométrica.

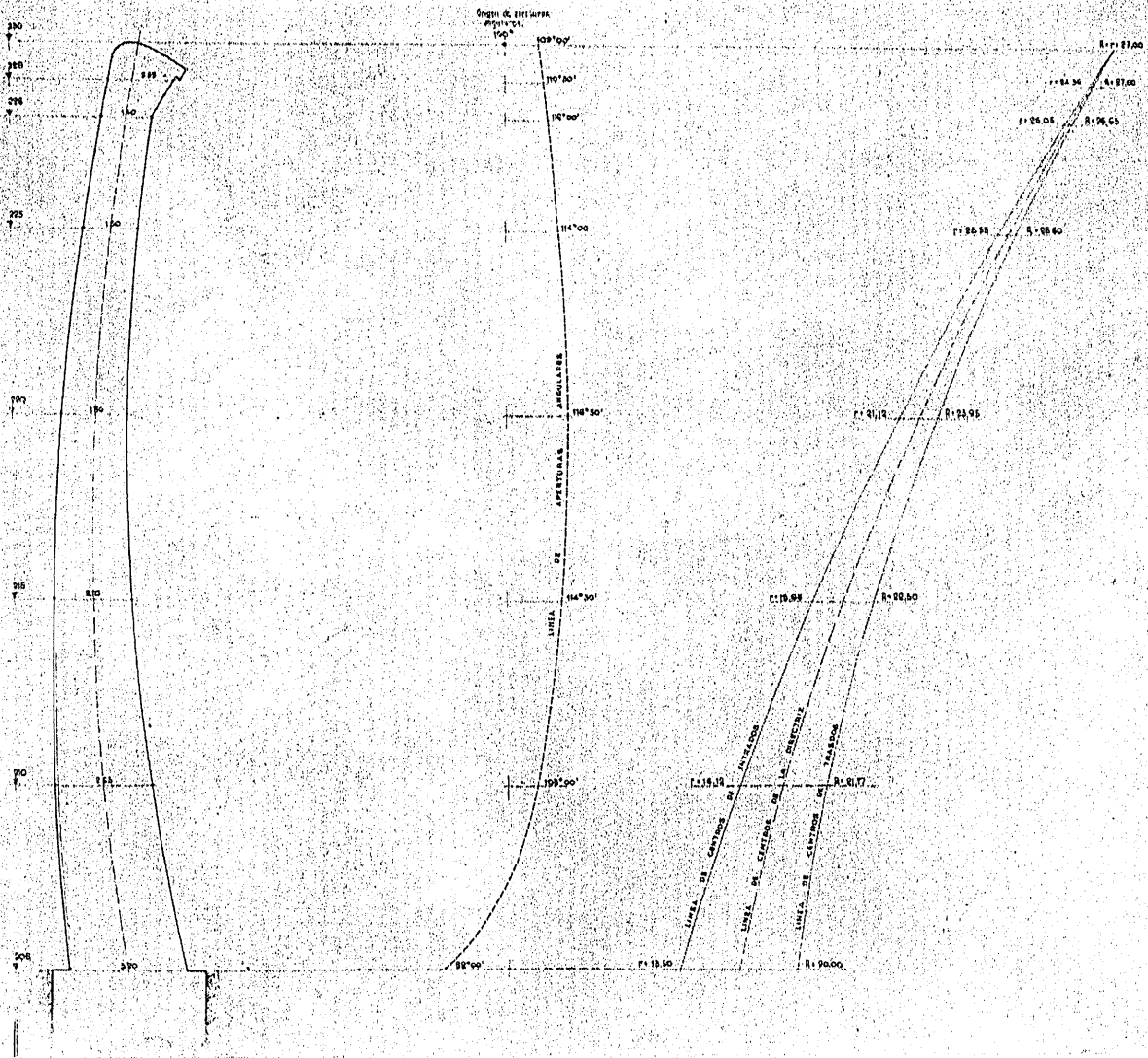


Fig. 2.ª — Características de la ménsula central.

sucedieran a primeros de noviembre, como suele ocurrir en los ríos gallegos.

La preatagüa se realizó en los meses de septiembre y octubre de 1957, mediante el sistema de inyectar mortero en gravas previamente vertidas en el cauce, y proceder después a una segunda y eficaz inyección de cosido e impermeabilización. Su ejecución puede calificarse de satisfactoria.

La perforación del túnel se realizó desde la boca de salida hasta encontrar la embocadura hecha previamente. Tal y como estaba previsto, se terminó esta perforación el pasado mes de julio y se procedió *a posteriori* a la desviación del río, levantando las anteriormente citadas compuertas el día 28 de julio, pudiendo comprobarse que la preatagüa cumplía su misión sin filtraciones de importancia, por lo que se pudo entrar seguidamente en el cauce, ya que du-

rante los meses de agosto y julio se había procedido a ejecutar, por idéntico procedimiento que la preatagüa, la contraatagüa que cierra, aguas abajo, el tramo de río en que queda emplazada la presa.

#### Definición de la atagüa.

Teniendo en cuenta el breve plazo de que se disponía, y al que ya hicimos referencia, era necesario, para llevar a cabo la ejecución de la atagüa en el plazo previsto, que ésta arrojase un mínimo volumen de hormigón en su cubicación. Uniendo a esta simple idea la configuración de las laderas del emplazamiento y la bondad de la roca que las integraba, nos hizo pensar en la posibilidad y necesidad de ir a la realización de una presa del tipo más ligero, es decir, una presa bóveda delgada.

Para ello, seguimos el siguiente camino:

I. La sección del emplazamiento se definió en principio por la observación geológica del tramo de río que ofrecía buenas condiciones topográficas, tratando de buscar una sección que reuniese bondad de laderas y arrojase el menor volumen de hormigón.

II. Fijado el emplazamiento de la obra se trazaron las dos líneas de posible apoyo de la presa sobre el terreno, viendo a las diferentes cotas los valores

aumentó hacia arranques en una relación del orden de 1,25 con el espesor en clave.

Este aumento de espesor se obtuvo variando simplemente los radios de los arcos en los paramentos de aguas arriba y aguas abajo, según se ve en las líneas de centros dibujadas en la figura 2.ª.

IV. Apoyándonos en las líneas de encuentro, en los radios y en los espesores, se trazaron los arcos de la presa, obteniéndose la sección de la ménsula

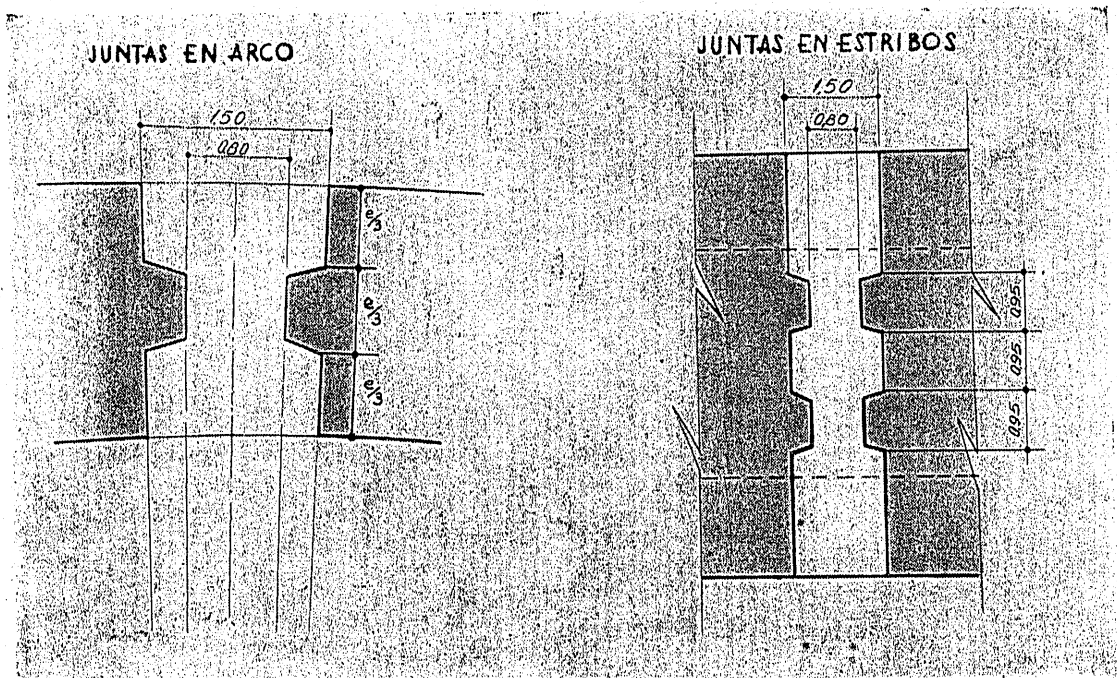


Fig. 3.ª — Secciones tipo de las juntas verticales.

de las cuerdas de los diversos arcos elementales, con el fin de poder así establecer una ley aproximada de variación de los ángulos en el centro.

Esta ley, que en teoría debe ser  $110^\circ$  en el arco de coronación,  $123^\circ$  en el arco más solicitado y no bajar de  $70^\circ$  en el arco teórico de fundación, se sustituyó en nuestro caso por la ley fijada en la figura 2.ª, en la cual se ve que dicha ley arroja prácticamente una presa de ángulo constante, salvo en el arco de fondo, que baja a  $82^\circ$ . La ley conseguida es francamente satisfactoria.

III. Una vez establecidas las cuerdas y ángulos en el centro se calcularon los radios de los arcos elementales, y los espesores de los mismos en una primera aproximación, por la conocida fórmula del cilindro  $e = \frac{P \cdot r}{\sigma}$  otorgándole a  $\sigma$  un valor de 45 Kg. por centímetro cuadrado. El espesor de los arcos se

central, la cual obligó a retoques en varios elementos con el fin de obtener una ménsula que reuniese las condiciones deseadas.

De esta forma se definieron las características geométricas de la presa, que son las que figuran a continuación:

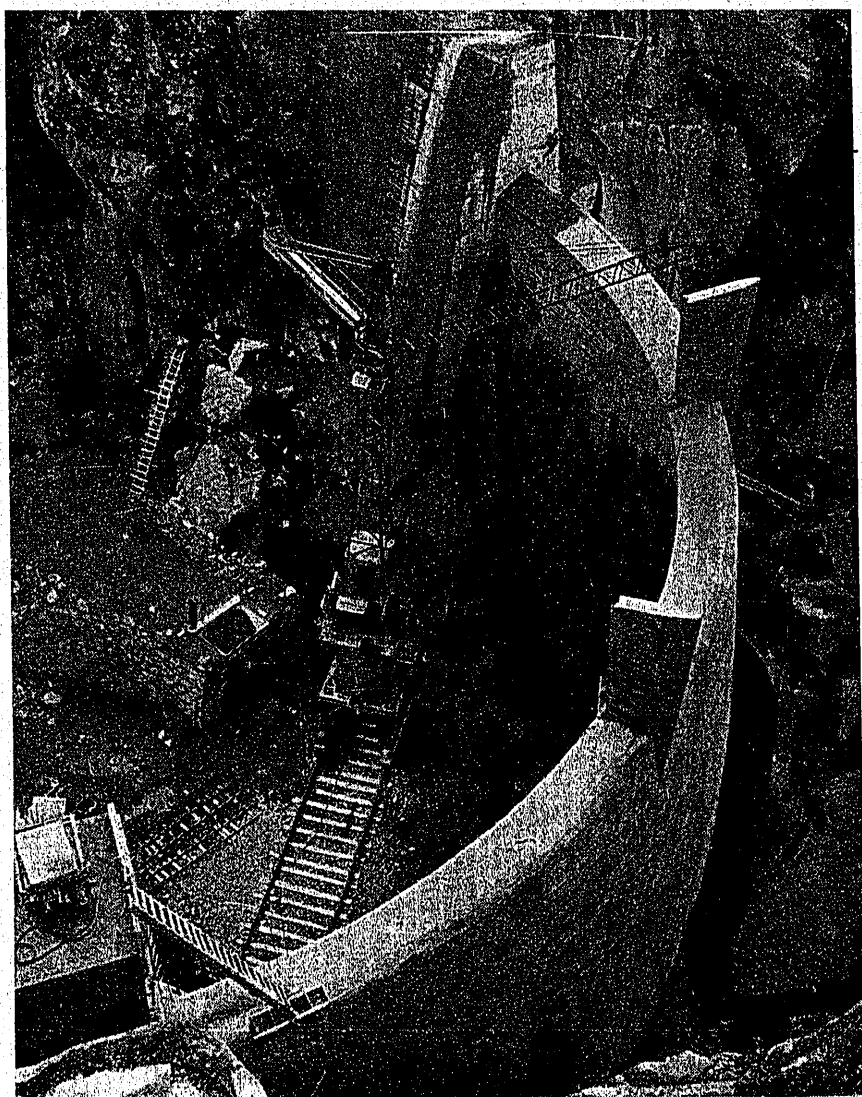
Cotas	Espesores Metros	Radios intradós Metros	Radios trasdós Metros	Aperturas angulares
230	—	27,00	27,00	$109^\circ$
228	1,40	25,05	26,65	$112^\circ$
225	1,50	23,55	25,10	$114^\circ$
220	1,80	21,12	23,95	$116^\circ 30'$
215	2,10	18,65	22,50	$114^\circ 30'$
210	2,63	16,12	21,17	$108^\circ$
205	2,90	13,50	20,00	$82^\circ$



Foto tomada el 16 de septiembre de 1958.



Foto tomada el 16 de octubre de 1958.



Ataguía terminada el 1 de noviembre de 1958. Vista lateral.

Estas características se resumen diciendo que la obra proyectada es una bóveda delgada que se apoya en dos estribos de gravedad, constituyendo la coronación de la bóveda, cota 230, el labio del aliviadero de la obra.

La altura de la bóveda propiamente dicha sobre cimientos, situados en la cota 204, son 26 m., con una

lámina vertiente de 5 m., que arroja una carga de agua total de 31 m. sobre cimientos.

La cuerda del arco de coronación entre estribos es de 42,00 m., y entre laderas, de 56,00 m.

Después de definir las características geométricas anteriores de los arcos, se procedió a la verificación estática de la presa.

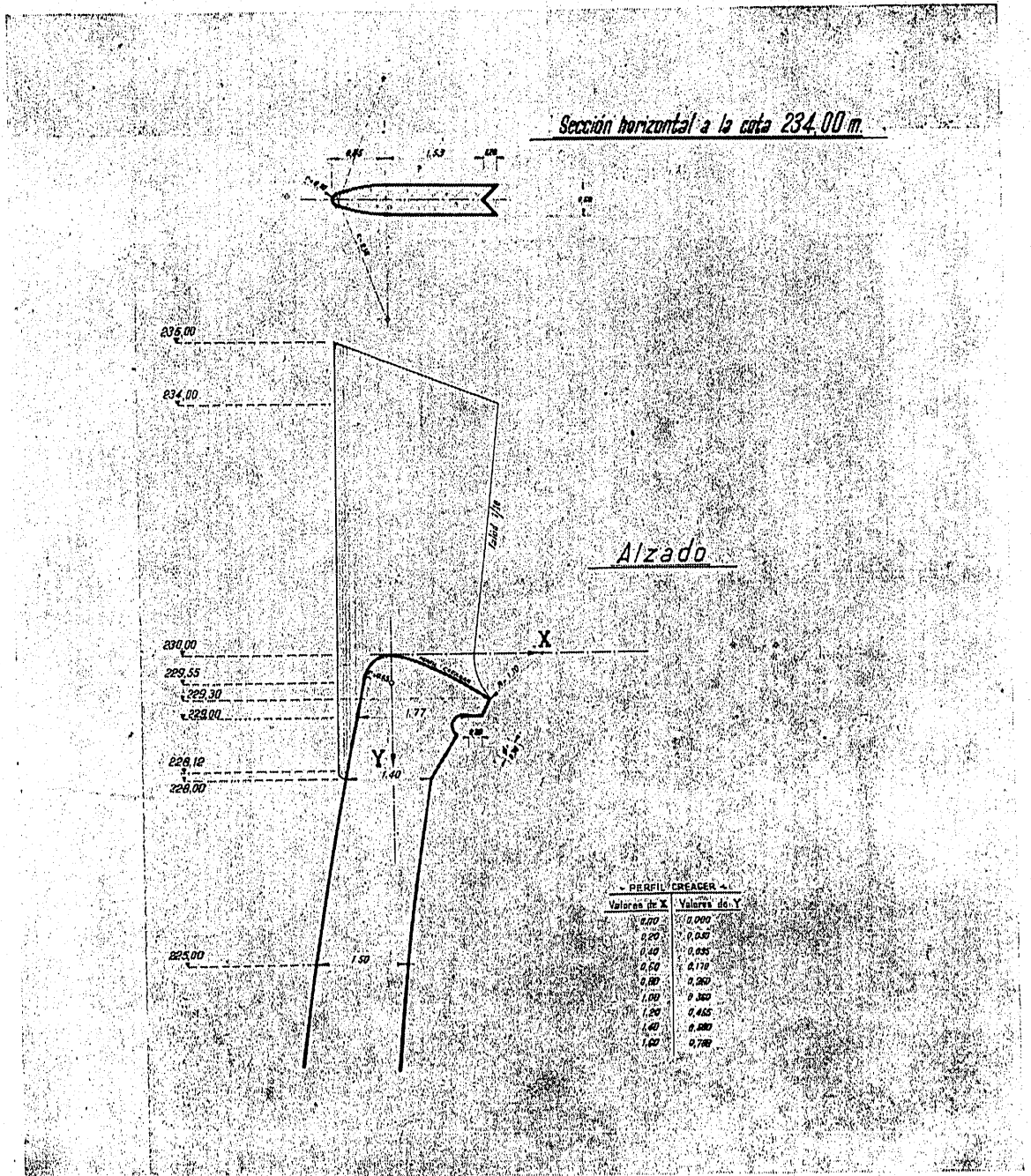


Fig. 4.<sup>a</sup> — Detalles y perfiles de aliviadero y pilas.

V. El método de cálculo empleado fué el de los arcos independientes, teniendo en cuenta en el cálculo la deformación de los apoyos según los trabajos de F. Vogt.

A pesar de no tener en cuenta en este cálculo los efectos normales y transversales y los momentos de flexión y torsión de las secciones horizontales, ni los

esfuerzos de torsión y transversales de las secciones verticales, se puede ver claramente que en el caso como el nuestro de presa formada por una bóveda delgada de gran curvatura, el método da resultados satisfactorios, todo lo contrario de lo que sucede en las presas bóveda de fuerte espesor y menor curvatura, construídas en valles muy anchos; entonces el

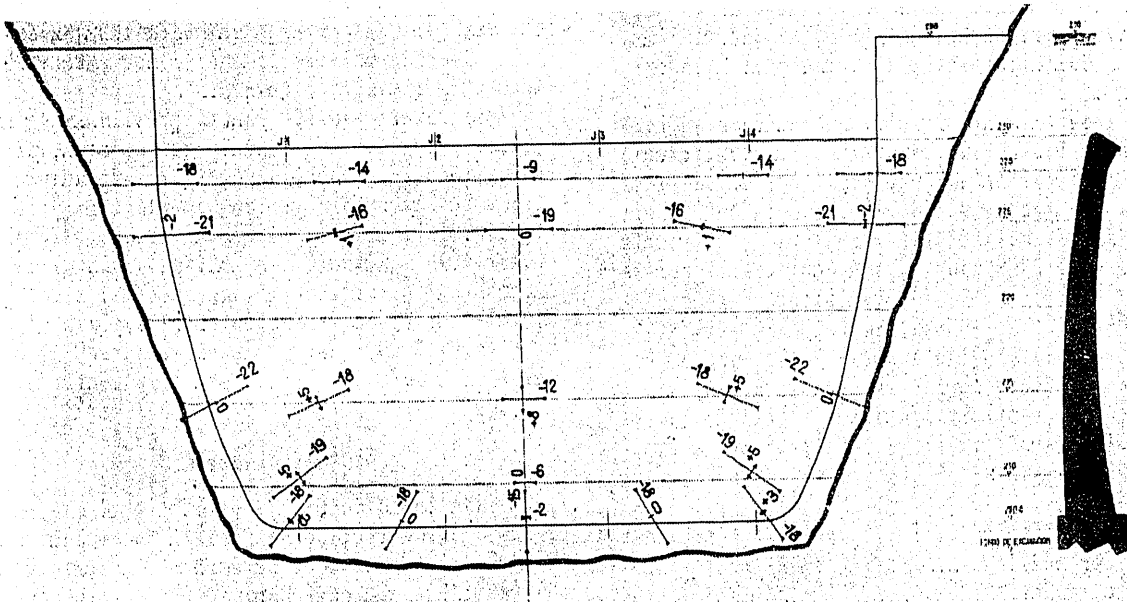


Fig. 5.<sup>a</sup> — Presión hidrostática. Tensiones en el paramento de aguas abajo.

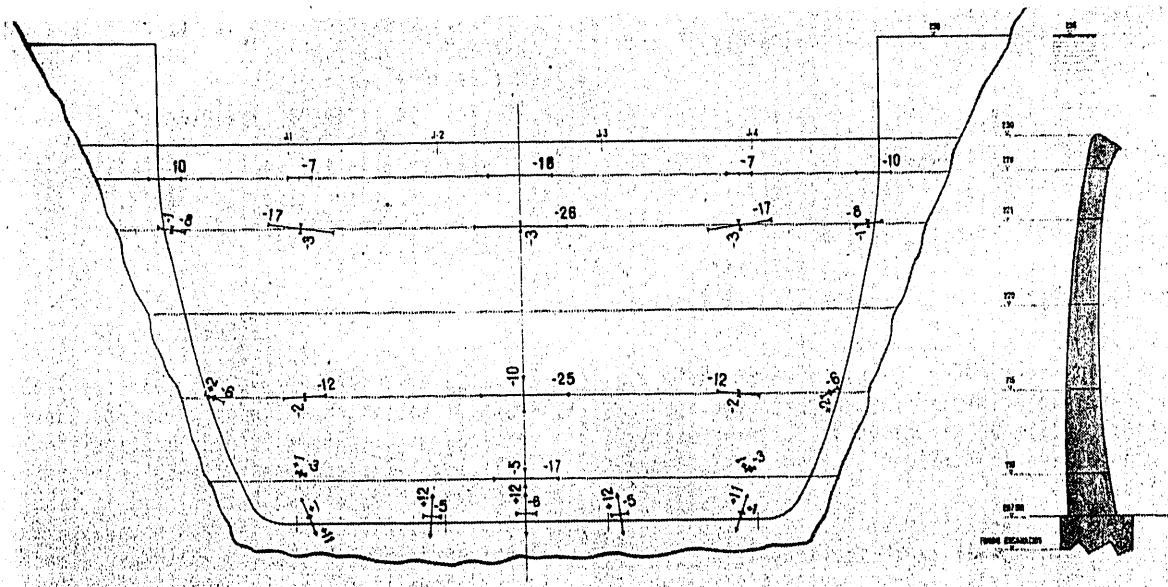


Fig. 6.<sup>a</sup> — Presión hidrostática. Tensiones en el paramento de aguas arriba.

método no es válido, sobre todo para los arcos inferiores. En estos casos la función de las ménsulas toma gran personalidad, debido principalmente a la rigidez de los bloques.

Unido a este cálculo se tuvieron en cuenta las ménsulas verticales para contar con el efecto del peso propio, de acuerdo con lo fijado por el Reglamento italiano.

VI. Las variaciones absolutas de temperatura se establecieron de acuerdo con las temperaturas reales de la zona de emplazamiento, y las variaciones térmicas en el hormigón se dedujeron según el método de Ippolito.

Como complemento a todos los cálculos se hizo un modelo reducido paralelamente a la construcción de la obra, con el fin de confirmar la bondad de la estructura, ya que aguas abajo de la misma existía el puente sobre el Miño de la carretera de Chantada a Monforte, el cual obligaba a tomar estas precauciones.

El resultado del modelo fué totalmente satisfactorio y estuvo de acuerdo sensiblemente con los resultados previamente obtenidos, por vía analítica.

Las tensiones máximas obtenidas, debidas a la presión hidrostática, fueron, según se ve en la figura 6.<sup>a</sup>, las siguientes:

*Paramento de aguas arriba:*

Compresión máxima .....	26 Kg./cm. <sup>2</sup>
Tracción máxima .....	12 Kg./cm. <sup>2</sup>

*Paramento de aguas abajo:*

Compresión máxima .....	22 Kg./cm. <sup>2</sup>
Tracción máxima .....	8 Kg./cm. <sup>2</sup>

Teniendo en cuenta el peso propio, estas cargas quedaron reducidas en la realidad a las que figuran a continuación:

*Paramento de aguas arriba:*

Compresión máxima .....	26 Kg./cm. <sup>2</sup>
Tracción máxima .....	4 Kg./cm. <sup>2</sup>

*Paramento de aguas abajo:*

Compresión máxima .....	20 Kg./cm. <sup>2</sup>
Tracción máxima .....	5 Kg./cm. <sup>2</sup>

A simple vista se ve que estas cargas de trabajos son totalmente admisibles, sobre todo, teniendo en cuenta la bondad del hormigón empleado en la obra.

Las deformaciones máximas de la obra son de 6 mm. en la clave de la ménsula central, según se ve en la figura 7.<sup>a</sup>.

**Juntas de contracción.**

Teniendo en cuenta el ritmo de hormigonado previamente fijado y señalado en la figura 8.<sup>a</sup>, fué necesario, partiendo del calor específico de 0,25 calorías

por kilogramo fijado para el hormigón y el coeficiente de difusibilidad del mismo de 0,004 m.<sup>2</sup>/h., ir a la construcción de la obra a base de juntas abiertas, con el fin de tener la mayor superficie de contacto posible con el exterior.

Se hicieron cuatro juntas en la bóveda y una en cada estribo de gravedad, siendo el tipo de las mismas análogo al empleado en Suecia en varias presas similares a la que nos ocupa. El tipo de junta empleado puede verse en la figura 3.<sup>a</sup>.

Estas juntas, por la premura de tiempo, se cerraron al cabo de un mes de estar construídas, rellenándolas con hormigón "Prepakt".

Este relleno de las juntas previamente picadas, se hizo con gravas de tamaño 30-100 mm., perfectamente lavadas, en tongadas de 5 m. de altura. Estas gravas se inyectaban posteriormente con mortero de 363 Kg. de arena y 300 Kg. de cemento por m.<sup>3</sup> con adición de los materiales Alfesil e Intrusión Aid. La arena tenía un tamaño máximo de 1,2 mm. y módulo de finura comprendido entre 1,4 y 2,1.

Esta inyección no se realizaba hasta que la temperatura interior de los bloques adyacentes no fuese inferior a 20°.

**Aliviadero.**

Teniendo en cuenta las avenidas del río Miño, la ataguía debía ir dotada de un aliviadero fuerte, por lo cual se hizo que toda su coronación fuese vertedero, creándose así una lámina vertiente de 51 m. de longitud y 5 m. de altura.

Este aliviadero es capaz de desaguar, en régimen normal, 1 100 m.<sup>3</sup>/s., que unidos a los 350 m.<sup>3</sup>/s. de desagüe del túnel de desvío, arrojan una cifra de 1 450 m.<sup>3</sup>/s.

En caso de emergencia la ataguía puede desaguar 1 450 m.<sup>3</sup>/s., que unidos a los del túnel dan un caudal total de 1 800 m.<sup>3</sup>/s.

Con el fin de airear la lámina vertiente, el vertedero va dotado de dos pilas intermedias y de un canal de aireación situado debajo del labio, según puede apreciarse en la figura 4.<sup>a</sup>.

La ejecución de las obras reseñadas se hizo de la siguiente forma:

**Ejecución de los trabajos.**

Desde la contraataguía, previamente construída, partió una excavadora abriendo camino en el cauce para llegar al emplazamiento de la ataguía, y una vez allí recoger los escombros acumulados procedentes de la excavación de los estribos, la cual se había iniciado con anterioridad vertiendo los escombros al cuenco.

La excavación de estribos y cuenco se realizó durante el mes de agosto de 1958.

La roca, donde está encajada la ataguía, es granito azul de gran dureza. El volumen total de excavaciones fué de 6 700 m.<sup>3</sup>.

Para esta excavación se empleó una pala de 1,5 metros cúbicos que cargaba los escombros en cuatro dumpers, realizándose la perforación con seis martillos ligeros.

Una vez finalizada totalmente la excavación se procedió al hormigonado, el cual se realizó en dos fases.

En la primera fase se hormigonaron las cimentaciones del cuenco, que dieron un volumen de hormigón de 548 m.<sup>3</sup>, empleando para su puesta en obra una grúa ligera móvil, montada sobre orugas. Este

trabajo se inició el día 4 de septiembre y duró cinco días.

Durante este tiempo se inició el montaje de una grúa Wölff y los elementos auxiliares necesarios para el hormigonado de arcos y estribos, que constituyó la segunda fase del hormigonado.

Esta segunda fase se inició el día 15 de septiembre y finalizó el día 20 de octubre.

Se dividió la ataguía en siete bloques, dejando juntas abiertas entre ellos.

Los encofrados empleados para los arcos eran de forma de trapecio, con una altura de 1,35 m., cons-

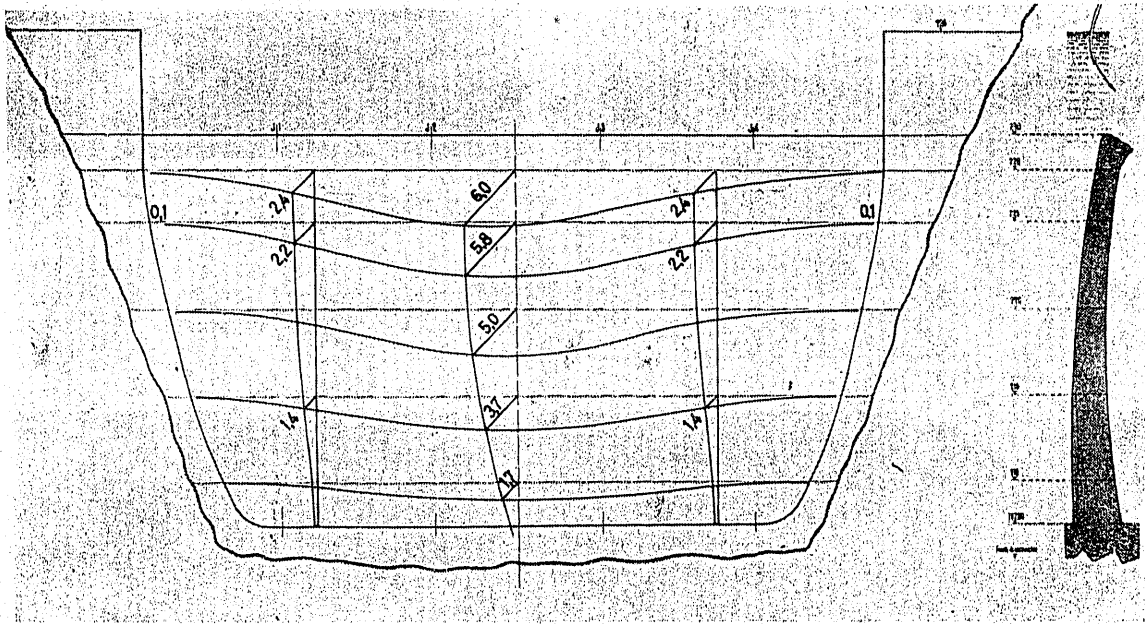


Fig. 7.ª — Deformaciones debido a la presión hidrostática.

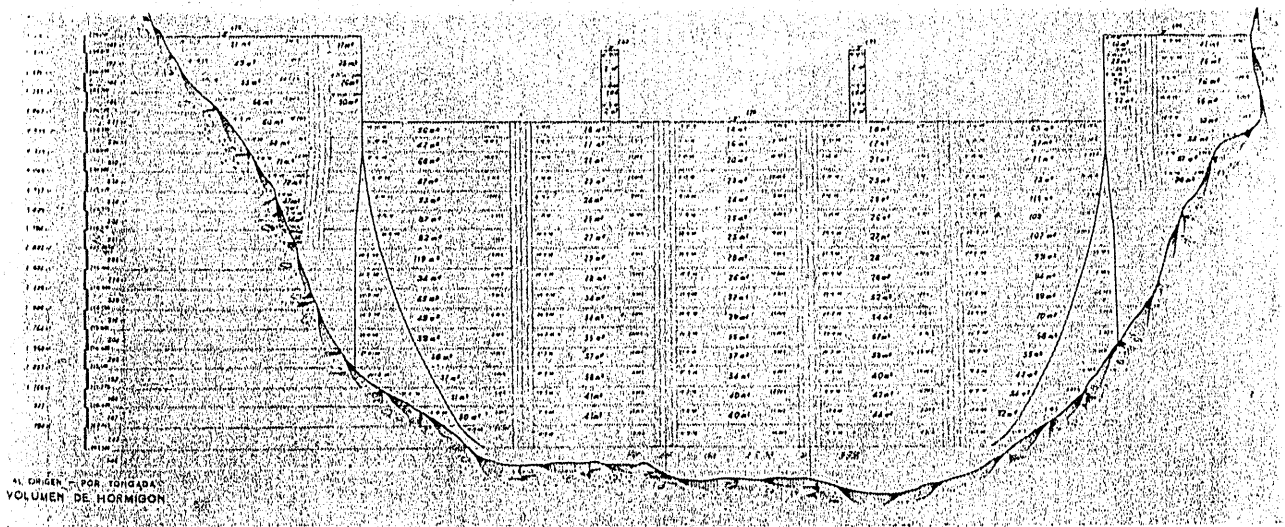


Fig. 8.ª — Hormigonado de la ataguía.



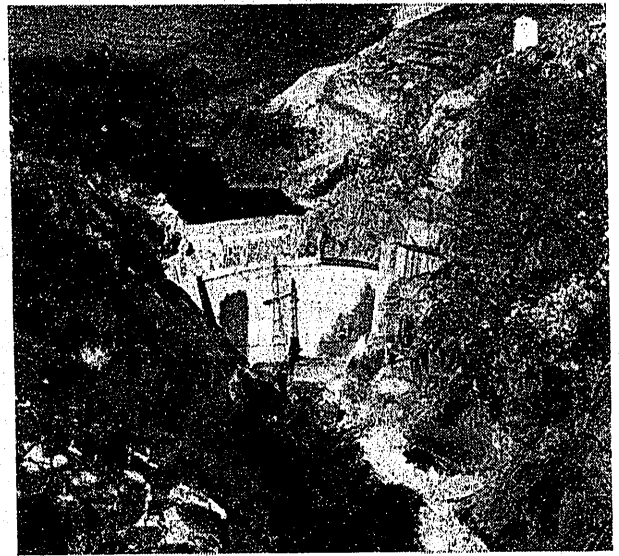
truidos de madera. Se emplearon cuatro juegos completos.

Los trabajos se realizaron ininterrumpidamente durante los treinta y cinco días que duró su ejecución, anotando en cada tongada la hora de su terminación para respetar un plazo mínimo de veinticuatro horas entre dos tongadas consecutivas. Ambos paramentos se regaron continuamente y se desencofraban los arcos a las cuarenta y ocho horas.

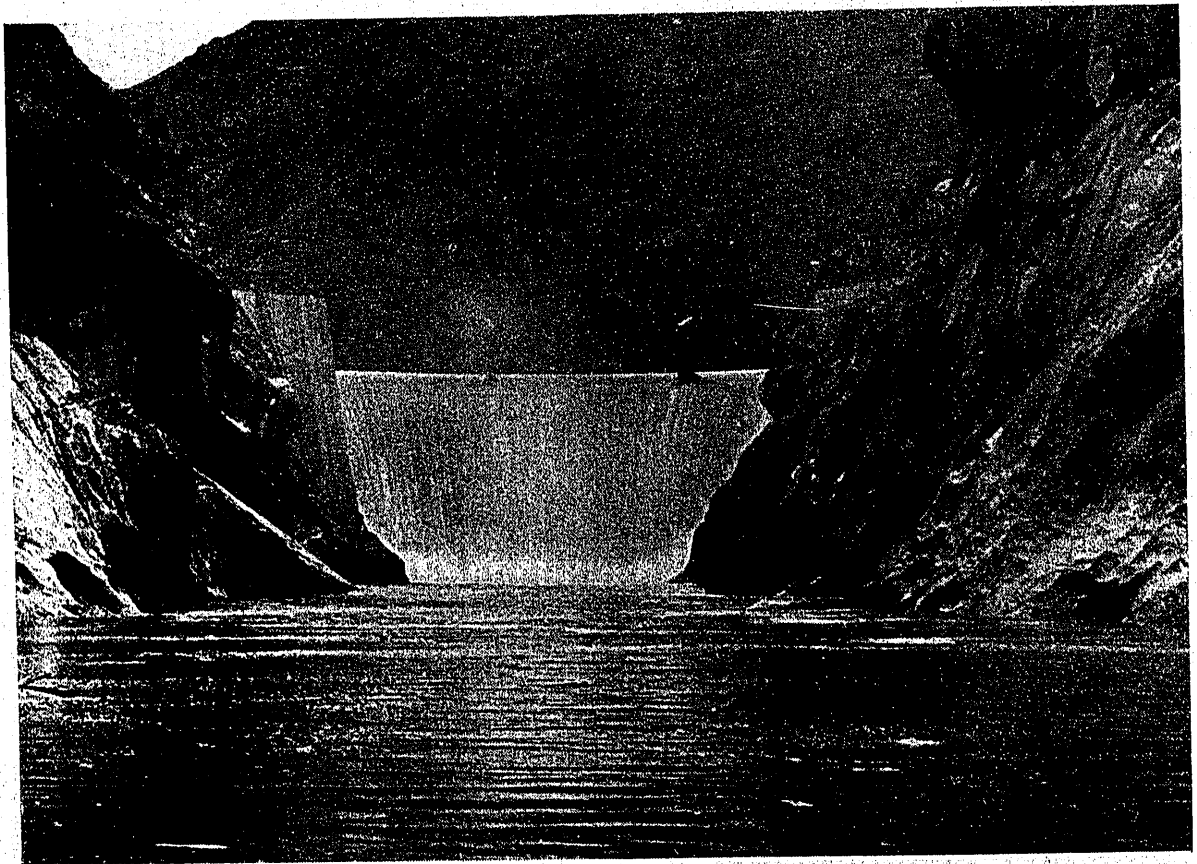
El perfecto funcionamiento de toda la instalación permitió llevar a cabo esta obra en un plazo que puede considerarse, dada la naturaleza de la misma, como imposible de disminuir.

Las cubicaciones de esta obra han sido:

Cimentaciones .....	548 m. <sup>3</sup>
Bóveda .....	2.618 "
Estribo izquierdo .....	1.050 "
Estribo derecho .....	1.289 "
Pilas .....	11 "
TOTAL .....	5.516 "



Ataguía terminada el 1 de noviembre de 1958.  
Vista de frente.



Riada del 19 de diciembre de 1958.

## Instalación de hormigonado.

La inmejorable calidad de los áridos procedentes de las excavaciones del túnel de desviación y de la propia ataguía fueron la base de partida para el montaje de las instalaciones de hormigonado proyectadas con el fin de utilizar estos productos acumulados en la explanada situada a la salida del túnel.

Comprobada la cantidad de arena que contenían estos escombros, se vió que era suficiente con instalar una machacadora de mandíbulas para obtener con ella los distintos áridos que exigía el hormigón. Se empleó una machacadora con boca de  $400 \times 250$  mm. y rendimiento de  $8 \text{ m}^3/\text{h}$ . El producto de esta machacadora era llevado por una cinta transportadora a dos *trommels* lavadores que lavaban todo el árido y lo clasificaban en tres tamaños: arenas de 0 a 5 milímetros, gravillas de 5 a 30 mm. y gravas de 30 a 100 mm. Con cintas transportadoras se separaban en tres montones distintos, de los cuales se tomaban de nuevo para dosificar el hormigón. Mediante una cinta transportadora se realizaba la carga en la hormigonera de los áridos y del cemento.

Esta instalación empezó a funcionar, acumulando áridos, quince días antes de empezar el hormigonado.

La hormigonera empleada es de tambor fijo, con una capacidad de un metro cúbico y producción de  $20 \text{ m}^3/\text{h}$ .

El hormigón producido era recogido por cuatro volquetes que por la carretera construída en el cauce lo transportaban a una tolva de recogida, cubriendo un trayecto de 380 m.

Mediante una compuerta de sector, situada en el fondo de la tolva, pasaba el hormigón a cubos de un metro cúbico con compuerta inferior, que eran recogidos por la grúa Wölff para alimentar con su contenido los tajos de hormigonado.

La grúa Wölff empleada es de 3 Tm. con pluma de 20 m. Permite elevar la carga a 32 m. de altura.

Se vibró intensamente el hormigón empleando vibradores eléctricos de 2" de diámetro y frecuencia de vibración de 8000 vibraciones/minuto.

Se empleó Plastiment para facilitar la puesta en obra y mejorar las condiciones del hormigón. La proporción en peso del plastificante empleado fué el 0,75 por 100 del cemento.

La media diaria de hormigonado ha sido de 170 metros cúbicos.

## Características del hormigón.

Como ya queda dicho, los áridos empleados procedieron de las excavaciones del túnel y de la propia ataguía, o sea granito de grano fino con una densidad de  $2,67 \text{ Tn./m}^3$ .

Granulometría y dosificación por metro cúbico de hormigón vibrado:

		Tamaño	Módulo finura
Arena. . . . .	341 l.	0 ÷ 5 mm.	3'22
Gravilla. . . . .	416 l.	5 ÷ 30 mm.	7'16
Grava. . . . .	683 l.	30 ÷ 100 mm.	9'26
Cemento . . . . .	300 Kg.		
Agua. . . . .	150 l.		
Plastificante. . . . .	2 l.		

Para estudiar las resistencias a compresión se prepararon diariamente 6 probetas de  $20 \times 20 \times 20$  compactadas a mano, tomando el hormigón de la tolva de recepción. Estas probetas se rompieron empleando una prensa de 250 Tn., de dos en dos, a los siete, veintiocho y noventa días. La resistencia media obtenida a los siete días ha sido de  $220 \text{ Kg./cm}^2$ , y a los veintiocho días, de  $300 \text{ Kg./cm}^2$ .

Para tener control de las temperaturas de fraguado se colocaron en cada uno de los bloques, a mitad de la altura de la ataguía (cota 217,50), un termómetro bimetalico con par termoelectrico. Las temperaturas medidas fueron:

Bloque	Espesor	A los 7 días	A los 28 días
Central . . . . .	1,90 m.	38° C.	16° C.
Laterales . . . . .	2,— m.	42,5° C.	20° C.
Estribos . . . . .	8,5 m.	47° C.	33° C.

## Cosido e inyección del terreno.

Para coser el hormigón a la roca se hicieron 18 sondeos desde el pie del paramento de aguas arriba entrando de 3 a 5 metros en la roca. Y con el fin de cortar las diaclasas horizontales de ambas márgenes, pese a la poca importancia de las mismas, se perforó un sondeo de 25 m. de longitud desde cada estribo.

La longitud total perforada es de 211 m., de los cuales 55 m. son de hormigón y el resto en roca.

Todos estos sondeos se inyectaron con mortero a una presión de  $5 \text{ Kg./cm}^2$ .

Todas las obras descritas fueron ejecutadas en el breve plazo señalado por "Dragados y Construcciones, S. A.", como contratista general.

La consolidación de acarreo e inyecciones se llevó a cabo por "Cimentaciones y Sondeos, S. A.", y el relleno de las juntas de contracción por "Prepakt Ibérica, S. A."

Por último, no queremos dejar de señalar la eficaz participación que tuvieron en este proyecto los Ayudantes de Obras Públicas D. Juan Amado Tenreiro y D. Luis González Martínez, con su valiosa colaboración.