

# La bóveda delgada de la presa del Gage,

por M. J. P. Frey y M. Chauvet.

(De la Revista *Annales de l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics*, junio 1957, págs. 537 a 560.)

## PRIMERA PARTE

### El proyecto, la construcción y las mediciones realizadas en la obra.

El valle del Gage, afluente del Loire, presentaba en un cierto lugar de su recorrido una garganta en V, con base sobre granito sano, que se prestaba excelentemente para la realización de una presa-bóveda, podríamos decir que casi en perfectas condiciones de laboratorio. Y se pensó utilizarla precisamente así, como banco para un ensayo a escala natural de una presa de este tipo.

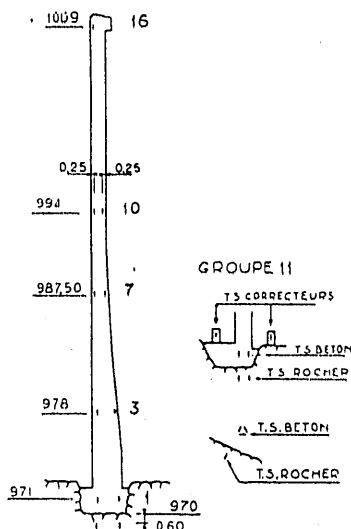


Fig. 1.ª — Situación de los testigos.

Las condiciones de caudal, al estar éste perfectamente regulado por tres embalses superiores, eran ideales para este propósito.

Naturalmente, era de interés primario el saber cómo se comportaría la presa después de construída, y esa es la parte más interesante del artículo que resumimos.

Los datos geométricos de la presa son:

- Altura máxima, 38 m.
- Longitud de la coronación, 143 m.
- Espesor en clave, en base, 2,4 m.
- Espesor máximo en arranques, 3,60 m.

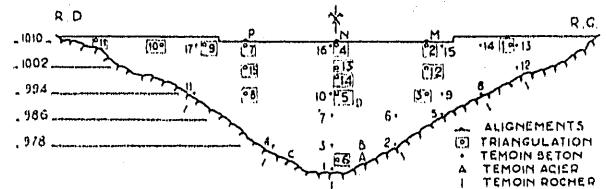


Fig. 2.ª — Situación de los testigos.

Utilizáronse los métodos de cálculo habituales en presas-bóvedas, no con el fin de afinar el proyecto, sino más bien para tener una idea del orden de magnitud de las tensiones reales.

Los cálculos realizados daban como posibles dos tipos de solución: uno, con sólo compresiones de unos 180 kilogramos/cm.<sup>2</sup>, y otro, con compresiones de 110 kilogramos/cm.<sup>2</sup> y tracciones máximas de 80 Kg./cm.<sup>2</sup>.

Naturalmente, se armaron estas zonas en que las tracciones sobrepasaban los límites de fisuración.

Aunque los cálculos se realizaron sobre la hipótesis de embalse lleno, hasta la cota 1011,60, y las auscultaciones sólo pudieron hacerse estando el plano de agua a los 1010, en la parte inferior de la presa los resultados teóricos (sin contar el peso propio) se aproximan bastante a los obtenidos de las medidas realizadas.

En cuanto a los dispositivos de observación, en las figuras 1.ª y 2.ª se representa su situación en la obra y los describiremos a continuación.

En primer lugar se fijaron "testigos de visión" en la cresta de la bóveda. Mediante unas alineaciones preestablecidas, con referencias fijas, pueden observarse los desplazamientos normales a estas alineaciones y calcularse los radiales mediante sencillas transformaciones trigonométricas (fig. 3.ª).

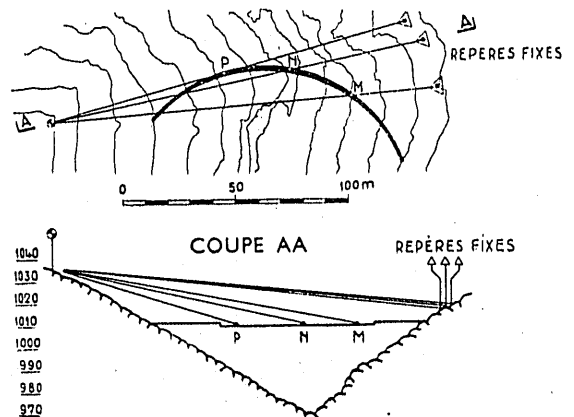


Fig. 3.ª — Alineaciones en la cresta.

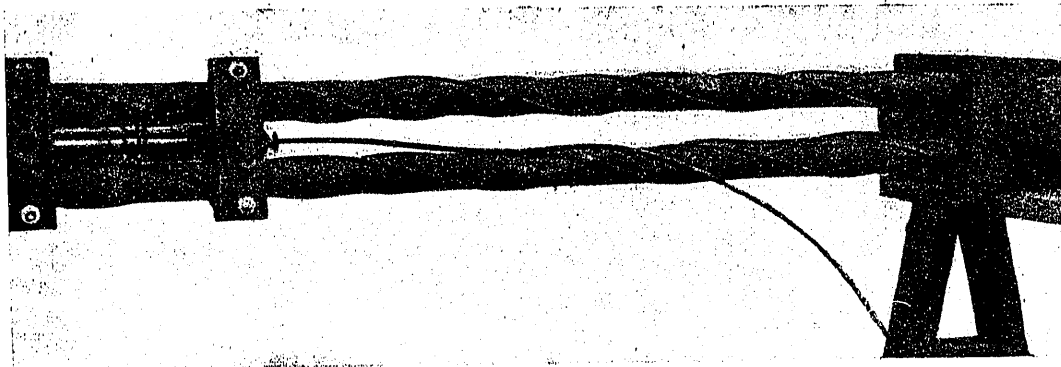


Fig. 4.ª — "Testigos sonoros" y su colocación en las barras.

En el paramento de aguas abajo, 11 testigos primero y aumentados con la adición de 4 a la cota 1002 al número total de 15, permitieron, mediante una cuidadosa y constante triangulación basada en dos puntos fijos y en otras dos referencias más lejanas, estudiar las deformaciones de la bóveda.

Además se instaló una red de 106 extensómetros de sonido, "testigos de cuerda sonora", embebidos en el hormigón.

Con estos extensómetros se ha investigado fundamentalmente:

- Buscar el factor de corrección térmica.
- "Auscultar" las barras de acero corrugado que se utilizaron en la bóveda.

Precisamente en esta segunda función se tropezó con la dificultad de colocación de los extensómetros, puesto que la soldadura, procedimiento habitualmente seguido para ello, no era de aplicación cómoda en aquel apartado valle del Gage.

Se resolvió uniendo el testigo sonoro a unas plaquetas en cruz, que se colocaban luego entre cuatro barras de armadura, sujetándose el conjunto con bridas simplemente. Las figuras 4.ª, 5.ª y 6.ª describen esta disposición:

- Tener una idea de las deformaciones de los cimientos.

Se colocaron doce testigos especiales a 60 cm. de profundidad en la zona y cerca de los correspondientes en el hormigón.

Casi todos los demás a 25 cm. de los paramentos, admitiéndose para la interpretación que las tensiones siguen una ley lineal.

Las experiencias realizadas han sido tres sucesivas.

En primer lugar un llenado lento, pues no se disponía de más aguas que las del estiaje del Gage, bastante someras.

Se realizaron medidas y comprobaciones cada día, al amanecer, para tener aproximadamente las mismas condiciones exteriores. Al final del período de llenado se retrasaron las medidas, acomodándolas al ritmo de subida del plano de agua.

La segunda experiencia se llevó a cabo mediante un vaciado rápido, en tres días, del embalse total. Las medidas se efectuaron a cada metro de descenso de nivel del embalse en la parte superior, entre las cotas 1010 y 1005; cada dos metros, entre 1005 y 995, y cada cinco metros, en el resto, hasta cimientos.

Y la tercera experiencia consistió en un llenado rápido (solamente dos días) mediante la puesta en servicio de la conducción desde La Palisse, que coincidió, afortunadamente, con un período de fuertes lluvias en toda la cuenca alimentadora.

Relevándose sin descanso los equipos de medida, día y noche, se hicieron las mismas comprobaciones, más o menos, que durante el vaciado del embalse.

Así, pues, se dispuso de dos experiencias de llenado a velocidades muy diferentes, cosa muy interesante para estudiar el "sistema de vida" de la bóveda.

Pasamos ahora por alto el detalle de los resultados

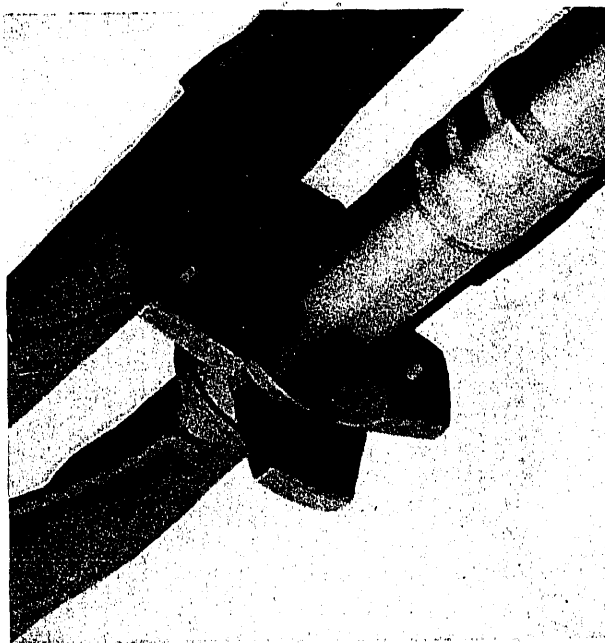


Fig. 5.ª — "Testigos sonoros" y su colocación en las barras

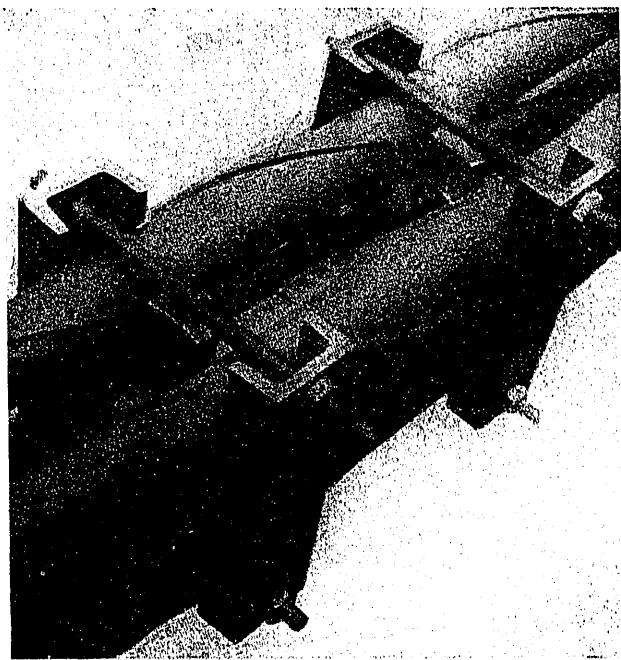


Fig. 6.ª — "Testigos sonoros" y su colocación en las barras.

de estas mediciones, pues haría excesivamente pesado éste, que pretende tan sólo ser un resumen del artículo completo, para llegar a las conclusiones finales.

Por lo pronto, el comportamiento de la obra es discontinuo, presentándose en el primer llenado un acci-

dente de adaptación, que se acusó en discontinuidad de las tensiones y en una deformación residual.

Esta adaptación ha sido definitiva —segunda anotación interesante—, puesto que las mediciones repitieron aceptablemente bien en el vaciado y en el segundo llenado.

Otra fase muy instructiva de este proceso de mediciones ha sido la que permitió el estudio de la roca.

Resultó ésta muy heterogénea, y además se deformó y adaptó bruscamente, sobrepasando las tensiones de rotura de material y produciendo una fisura en la base de las ménsulas centrales, que a pesar de aumentar sospechosamente no pasó a mayores.

Definitivamente la presa, después de estas adaptaciones, parece poseer el mismo grado de seguridad que antes de deformarse, trabajando elásticamente en su nueva situación.

En cuanto a las cargas debidas a variaciones térmicas, la presa trabaja poco en este sentido, debido claramente a su extrema delgadez.

Las medidas realizadas, que empezaban a las ocho de la mañana, eran las siguientes:

- cota del plano de agua;
- alimentación de las tres referencias en la triangulación de las 15 referencias visibles de paramento y resultado de la triangulación;
- temperaturas del aire y del agua a diversas profundidades;
- reproducción de estos datos en tablas y curvas;
- redacción de un parte diario.

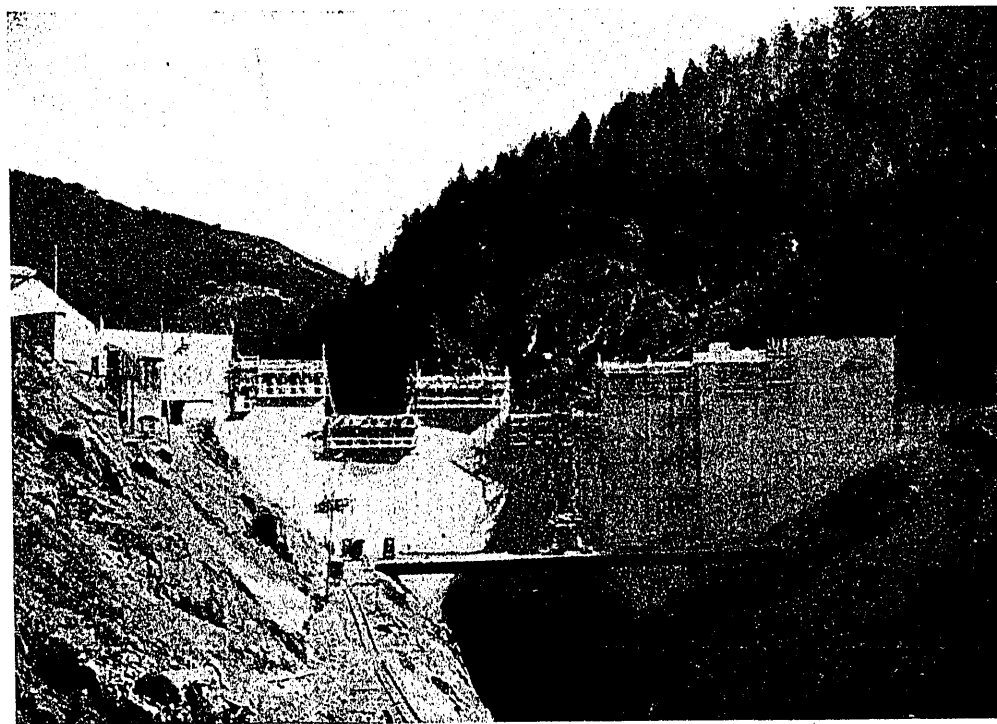


Fig. 7.ª — Vista de instalación de hormigonado.

Y en cuanto a la organización y ejecución del trabajo, M. P. Chauvet, de la Empresa constructora, habla de la delicadeza que fué necesaria en el replanteo; principalmente de las excavaciones de ambos estribos.

La delgadez de la bóveda no permitía porcentajes de desviación elevados en dichas excavaciones.

Se desvió el cauce del Gage, cosa que no encerraba problemas. Se trataba exclusivamente de llevarse del río su caudal del estiaje.

Después se dejó en la presa una abertura que bastaba para el paso de ese caudal.

La colocación de hormigón se hizo mediante una grúa-torre de 30 m. de altura, que pasaba sobre una pasarela, como puede verse en la figura 7.<sup>a</sup>.

El hormigón a colocar era poco y, por tanto, no pudo hacerse una instalación complicada y cara.

Se tomaban probetas de  $30 \times 30 \times 30$  cada día, obteniéndose a los noventa días una resistencia media general de unos 354 Kg./cm.<sup>2</sup>.

Las mayores dificultades que se presentaron se debían a la estrechez del lugar en que había de ponerse el hormigón, que hacía peligroso el movimiento durante su colocación.

Se colocaron unos sistemas de seguridad en los encofrados metálicos y todo marchó bien.

El artículo que resumimos corresponde a una sesión del Centro de Estudios Superiores de Obras Públicas, en la que los dos ingenieros, J. P. Frey y P. Chauvet, expusieron sus respectivas experiencias en el tema.

R. L. P.