

Las presas bóvedas de anillos

La idea fundamental en estas presas consiste en disponer la construcción por una sucesión de anillos horizontales que trabajen como arco comprimido. La construcción está supeditada al cálculo, de modo contrario a como ocurre en la mayor parte de las estructuras, y no oculto la satisfacción que me produjo este concepto de las presas bóvedas que permite calcularlas con una simple fórmula monomía — la de los tubos gruesos — aplicada a los sucesivos anillos y hasta empleada una sola vez, si se da una ley analítica de gruesos y radios!

Pero esto, que parece tan agradable por la simplificación del estudio, satisface poco a varios de nuestros compañeros, que consideran dar muy poca importancia a una presa, que se calcula en una cuartilla de papel. Y en cambio sienten orgullo cuando enseñan la Memoria de un proyecto de presa bóveda continua, estudiada por el método de las fibras, que contiene millares de cifras y multitud de ecuaciones, que para calcularlas ha sido preciso emplear ese plazo de tiempo de siete semanas, tasado ya por los americanos.

Nadie podrá decir que yo siento horror por el cálculo, muy al contrario; pues dentro de mis modestos medios nunca he tenido mayor alegría que al lograr resolver un problema puramente especulativo. Pero hay que distinguir entre el amor al cálculo y la afición al algoritmo. Y confundir estas dos cosas es tan morboso como sentir satisfacción al construir un edificio, no por mirar la belleza de la construcción hecha, sino al considerar el andamio que sirvió para elevarla.

En una discusión sostenida hace algunos años con un colega americano, que tiene en su país un elevado cargo en la Administración del Estado, cuando este señor contestaba a las objeciones por mí puestas en el estudio de las presas bóvedas, decía, como conclusión: "El criterio del profesor Peña Boeuf es desconsolador, pues su sistema de presa de anillos se funda principalmente en la ignorancia del cálculo, que con la construcción trata de subsanarse."

Ciertamente, yo hube de declarar, como sigo diciendo ahora, *que no sé calcular una presa bóveda continua*.

Pero dentro de la ignorancia hay varios grados: uno es el mío, que confieso clara y terminantemente mi desconocimiento, y otro es el del ilustre colega americano ¡que desconoce que él tampoco lo sabe!

Y ésta es, por decirlo así, una *ignorancia de segundo orden*, que le descalifica para una posible discusión.

Si por aplicar la complicada teoría del arco-muro, con arreglo a los estudios de Ritter, Stucky, etc., se obtuviera una imagen elástica agradable al buen sentido y mucho más económica en espesores que la obtenida con mi descomposición de orden práctico, por lo menos podría decirse que los resultados eran naturales.

Pero ocurre justamente todo lo contrario: las complicaciones de cálculo no encuentran la debida

compensación y, al destruir con mi sistema la continuidad de la materia por medio de juntas horizontales y verticales, lejos de necesitar más masa para compensar la ayuda mutua que los anillos soldados debían prestarse, se encuentra un gran alivio en la materia, o una mayor economía en ella, al prescindir de esta cooperación.

Tan absurda conclusión, además de otras varias singularidades, hace ver que los cálculos de las presas continuas suscitan muchas dudas, pues la aplicación restringida de las ecuaciones de condición que se ponen en juego escamotean la resolución del problema general del cilindro de espesor variable con límites anormales, que es totalmente irresoluble en el estado actual de la ciencia.

Pero no hemos de insistir más sobre esta cuestión fundamental, por haberla ya expuesto en otras publicaciones anteriores y últimamente en la Memoria que presento al Congreso de grandes presas que se celebrará este año en Washington.

Al presente, es mi objeto solamente ver la manera de realizar de un modo práctico y seguro la única hipótesis que se hace en este sistema: la de que los anillos sean isostáticos, o sea, independientes, desde el punto de vista elástico.

* * *

En los primeros proyectos de presa de anillos dispuse las juntas con una capa de asfalto, en condiciones análogas a las que se emplean para pavimentos, y con un espesor de tres centímetros. La crítica atacó duramente este sistema de junta, a pesar del buen resultado que dió en la presa experimental de Denia y en la de El Tiemblo, pero el argumento que ponían los detractores es que el asfalto podía perder su plasticidad con el tiempo, haciéndose rígido y quebradizo. Y aunque esta apreciación podía ser muy discutible, por las condiciones de conservación del asfalto en las juntas, de todos modos, con objeto de evitar dificultades, opté por sustituir el asfalto por hojas de plomo, en otros proyectos redactados posteriormente, y, entre ellos, en los de las presas de Blasco Ibáñez y Oliana.

También fué motivo de algunos ataques, en informes técnicos de carácter oficial, esta disposición de juntas de plomo, y es muy curioso hacer observar que todos esos colegas que tienen gran credulidad para aceptar, sin reparo, todas las falacias que se esconden en los métodos de estudio de las presas bóvedas continuas... y en las de gravedad, sin atreverse a discutir el fondo de la cuestión, muerden implacablemente en mi sistema de juntas, presagiando peligros fantásticos.

No es que pretenda quitar importancia a esta cuestión; pero a mi modo de ver, si con juntas que de momento vamos a suponer ideales, se llega a una concepción del problema que simplifica y economiza notablemente la solución, será cuestión — muy interesante si se quiere, pero no fundamental — la de encontrar después juntas que satisfagan las condicio-

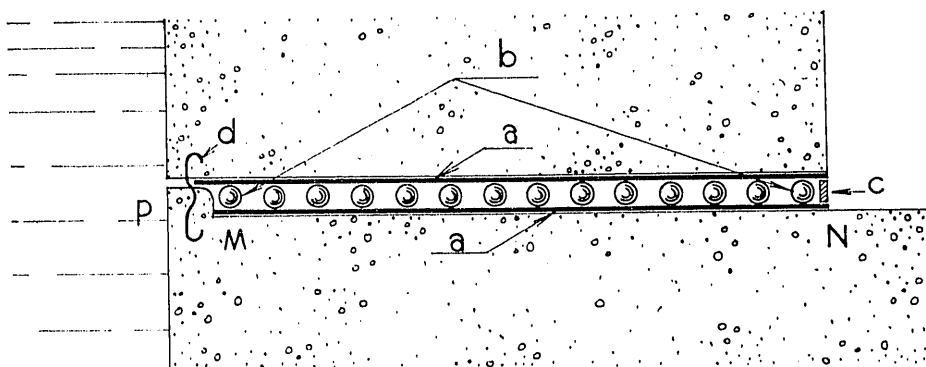


Figura 1.ª

nes supuestas, pero nunca será motivo para negar las grandes ventajas del sistema.

En realidad, las juntas pueden ser de materiales muy diversos y actuando sólo el rozamiento en ellas es posible demostrar que en general esta fuerza pasiva se vence en la deformación de los anillos (véase el artículo del autor en *Ingeniería y Construcción*, de abril de 1935), pero, hasta llegar a vencerse, no cabe duda que hay una cierta coacción que altera el régimen de compresión absoluta. La medida exacta de esta coacción no se puede hacer por el cálculo, como ocurre en todos los casos de resistencias pasivas, en los que cabe únicamente apreciar sus estados finales, y por consecuencia, es la experimentación a la que, a este respecto, procede acudir.

Desde luego, en la presa de Denia las medidas hechas sobre los anillos, exteriormente, acusan la forma circular de origen y ausencia absoluta de fisuras, a pesar de las riadas resistidas, desaguando por su coronación.

Hubiera sido muy interesante haber hecho, en un Laboratorio, ensayos en modelo reducido del conjunto de una presa, y no poca satisfacción tuve al ver la iniciativa del Ministerio de Obras públicas, que encargó al Laboratorio de Karlsruhe la realización de estos experimentos. Pero a pesar de que previamente se hizo un programa de ensayos, en el que se indicaba que las medidas de cargas internas y deformaciones habían de hacerse sobre dos modelos, en escala reducida, uno del perfil de la presa de Blasco Ibáñez y otro de su ataguía, lo cierto es que en el Laboratorio alemán sólo han hecho ensayo de un sólo anillo, aislado de los demás, en un marco de hormigón armado, para sustituir a las laderas y con prensas hidráulicas apretando en varios puntos, en lugar del empuje uniforme del líquido.

Estos ensayos son conocidos ya por los interesantes artículos publicados en esta *REVISTA* (noviembre y diciembre de 1935), por nuestro querido compañero Muñoz Pomer, y, por la forma en que fueron efectuados, ninguna consecuencia permiten establecer en el conjunto de la presa.

Con objeto de tener una idea

del rozamiento producido en las juntas, hicimos en el Laboratorio de la Escuela de Caminos unos pequeños ensayos con bloques de hormigón separados por tres clases de juntas: de plomo, en espesor de tres milímetros; de arena, con granos de dos milímetros y grueso de junta de tres centímetros, y de asfalto, con la composición normal para pavimentos, en grueso de tres centímetros también.

Para una fuerza P , normal a la junta, los valores de la fuerza horizontal capaz de producir mo-

vinimiento sensible, fueron, respectivamente:

Con plomo	0,85 P
Con arena	0,46 P
Con asfalto	0,15 P

Indudablemente será mejor solución el asfalto; pero aun dado el caso de que se hiciera agrio y llegara a perder parte de sus facultades de plasticidad, llegaría, como límite, a tener las condiciones de la arena, que no presenta gran coacción.

* * *

Influenciado quizá por la crítica, no sentía gran satisfacción por la disposición de las juntas, en ninguno de los materiales probados al efecto. Desde luego, nadie puede sostener que con las juntas así dispuestas se obtuviera un régimen comparable con la continuidad de la materia; pero era enojoso no poder contestar de un modo concluyente a las objeciones hechas sobre este particular, si bien muchas de ellas no eran inspiradas en la buena fe.

Pensando nuevamente sobre tan interesante cuestión, se me ocurrió que únicamente haciendo funcionar las juntas *por rodadura* era la manera de evitar discusiones, pues, ya entonces, no admite duda que los elementos se pueden considerar como isostáticos.

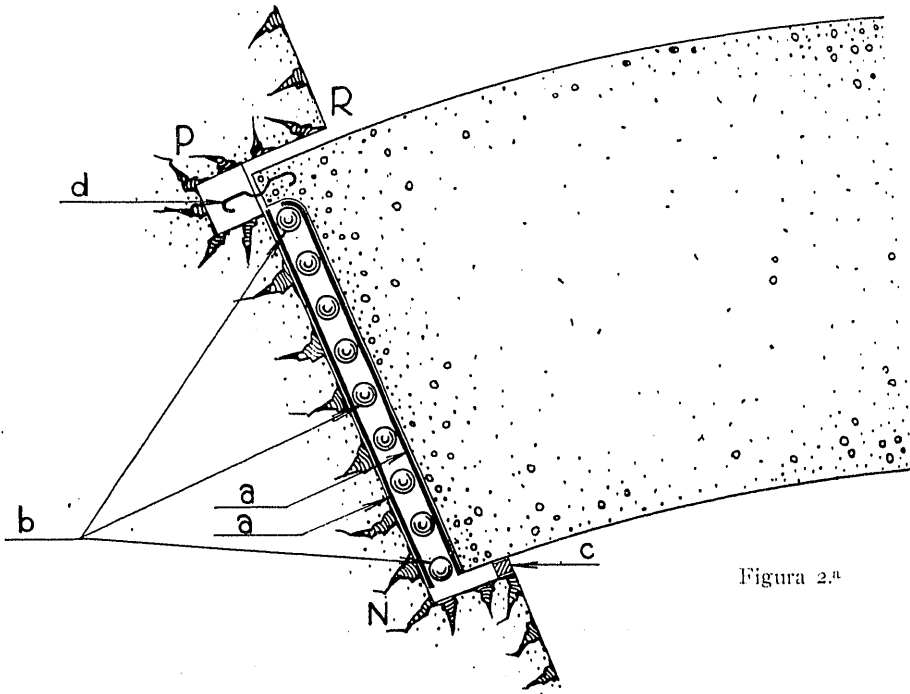


Figura 2.ª

Era necesario disponer prácticamente esta rodadura en condiciones tan económicas como con las juntas de plomo, pues no se olvide que yo persigo hacer estas presas por la mitad de precio que las de gravedad ¡y que sean perfectamente calculables!

Una disposición probada al efecto fué la siguiente: las juntas horizontales se hacen colocando sobre cada anillo una chapa de palastro *a* (fig. 1.^a) y unas bolas de fundición o acero de 20 ó 25 milímetros de diámetro, a distancias de 4 cm. de eje a eje, en los dos sentidos. Otra chapa reparte la presión sobre el anillo superior y le sirve además de molde; y para cubrejunta se coloca, lo mismo que siempre, una hoja, *d* anclada en los dos anillos. Para evitar que entren detritus por la parte de aguas abajo, se puede colocar después un cordón *c* de asfalto o betún.

Para las juntas verticales, de unión de los anillos con los estribos o laderas, se adoptará la misma disposición indicada en la figura 2.^a, pero con una sola diferencia respecto a la anterior, diferencia que consiste en disponer las bolas para hacer la construcción de un modo muy sencillo, en la forma siguiente: En la cara de apoyo se coloca la chapa metálica y en los espacios verticales que van a quedar entre bolas se ponen unos largueros de madera o de otro material, de sección cuadrada, cuyo lado es igual al diámetro de las bolas. Se puede colocar entonces la otra chapa que forma el molde del arranque del anillo y las bolas se echan por la parte superior en los huecos que quedan entre las dos chapas y los largueros. Quedan, de este modo, las bolas formando unas filas verticales y cada una recibe la presión únicamente de 8 cm.².

Hecho el ensayo con esta disposición de juntas, se ha comprobado que cada bola de 20 mm. resiste una presión de 7 000 kilogramos, siendo así que la presión máxima que va a sufrir en los apoyos de los anillos inferiores es $8 \times 50 = 400$ kilogramos. Y en los horizontales, como abarca cada bola 16 cm.² y la presión máxima (para una presa de 100 m. de altura) es de 18 kg./cm.², resistirá solamente a 288 kg.

Con esas distancias entre bolas y con chapa de 2 a 3 mm. de grueso, la distribución de presiones es

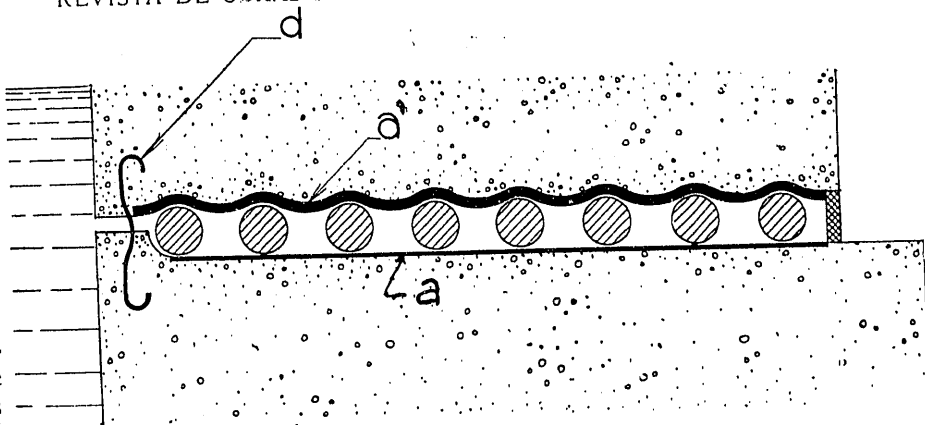


Figura 3.ª

tan regular en el hormigón que, según los ensayos hechos, presenta éste la misma carga de rotura que con presión uniforme.

El precio total de esta junta es de 40 pesetas por m.², y en las verticales, por mayor número de bolas, alcanza a 55 pesetas, cifras casi idénticas a las que resultan con chapa de plomo.

Pero no es ésta la única, ni la mejor solución de rodadura, para realizar estas juntas.

Nuestro querido compañero Sánchez del Río, que tan conocidas muestras ha dado de su agudo ingenio, cooperando con entusiasmo a este sistema de presas, ha pensado con este motivo, para realizar las juntas, el empleo de cilindros de fibro-cemento en lugar de las bolas, de un modo análogo al empleado por él en un acueducto recientemente construido.

Excelente es la aplicación en este caso, y en la figura 3.^a se indica la disposición de la junta, tanto en el sentido horizontal como en el vertical. Los cilindros pueden tener un diámetro de 10 cm., y en el anillo inferior, o en la cara de apoyo lateral, pueden llevar una chapa plana *a*, de fibro-cemento, pero en el anillo superior — o en el arranque — para fijar la situación de esos cilindros y repartir mejor la presión, se dispondrá la chapa *a'*, ondulada, del mismo material.

Dispuestos estos rodillos con longitud de 2 m., en las juntas horizontales, en el sentido de la tangente de los arcos y verticalmente en los arranques, con toda la altura del anillo, se produce la rodadura, con un coeficiente que, medido experimentalmente, alcanza un valor inferior a 0,03, al que ya no puede atribuirse, en modo alguno, coacción perceptible.

A. PESA BOEUF.

Los riegos del Alto Aragón

Rectificación.

I

Si al contestar al Sr. Nicoláu me hubiera guiado el deseo pueril de "obtener una victoria más que añadir a las que me ha proporcionado mi ágil y ejercitada pluma", como supone, estaría plenamente complacido, no sólo por esta galantería, que siendo suya es doblemente estimable, sino por el reconocimiento final de unos méritos que sin duda me atribuía en la intimidad de su conciencia, porque es lo cierto que en público y aun en privado, no ha perdido ocasión de

salir al paso de todos los míos, para evitar o dificultar su aprovechamiento. Alguna comunicación inédita a esta misma REVISTA, y sus varios artículos sobre el mismo y sobre diversos temas — algunos escasamente relacionados con él — están ahí para demostrarlo.

Si además, y por añadidura, hubiera pretendido arrancarle una declaración de conformidad esencial con algunos estudios, organizaciones y servicios, que antes fueron objeto de sus severas críticas y aun de algunas de sus más aceradas frases, también lo estaría, porque el correspondiente reconocimiento es tanto o más explícito.