

Presas con lastre de agua

Las presas de contrafuerte y de pantalla dan, sin duda, soluciones satisfactorias, pero parece que es posible obtener más economía, aun con mejora de las condiciones técnicas, lastrando la presa con agua; esto es, cerrándola del lado de aguas abajo y rellenando de agua los espacios entre pantallas y contrafuertes.

Es evidente que el peso de este lastre dará una mayor estabilidad a la presa y mejorará su resistencia al resbalamiento, quizá algo precaria en las presas de estos tipos modernos.

Claro es que si la pantalla de aguas abajo se hiciese continua, como la de aguas arriba, y el agua de lastre llenase sin interrupción en la altura y totalmente los huecos de la presa, se habría trasladado el empuje del agua de la pantalla de aguas arriba a la de aguas abajo y sería horizontal o, más aún, inclinado hacia arriba, y la resultante, aun con el peso del lastre, saldría no ya sólo del tercio central, sino de toda la base, y el lastre, así, no sólo no serviría para nada, sino que sería contraproducente.

Pero si la altura de la presa y, por tanto, la del agua del lastre se divide en varias, por los pisos de arriostrado entre contrafuertes, y son los cajones formados por éstos y la pantalla, los que cierran del lado de aguas abajo con pequeños muretes y esos cajones se llenan, no totalmente, de agua, el empuje seguirá actuando sobre la pantalla de aguas arriba y el lastre constituido por el agua que llena aquellos cajones será ya útil para la estabilidad de la presa. Si además se establece convenientemente la distribución de los contrafuertes y pisos riostras, se puede obtener una solución económica y técnicamente ventajosa en relación con los tipos de presa sin lastrar.

La separación de los contrafuertes podría ser de 2,50 a 3 metros, o sea del $\frac{1}{2}$ al $\frac{1}{3}$ de la que actualmente suele adoptarse. La altura entre los pisos de arriostrado podrá oscilar entre unos 3 y unos 6 metros.

Con la menor separación entre contrafuertes es evidente que los espesores de la pantalla podrán reducirse considerablemente, sin duda, hasta el límite mínimo admisible por razones prácticas de ejecución, con lo que se obtendrá economía importante, que alcanzaría también a la cimentación.

Los esfuerzos a que los contrafuertes quedan sometidos son proporcionales a su separación, y el volumen total de estos elementos no tendría variación, por su mayor o menor separación, si a ésta se une el mayor número de pisos de riostra, con el que se evite el aumento de secciones o armaduras para resistir al pandeo.

Las fundaciones de los contrafuertes tendrían importante aumento si todos hubiesen de tener su cimiento propio; pero esto no es necesario y pueden reunirse cada dos y aun mejor tres contrafuertes en un solo cimiento, con lo que éstos quedarán con separación mayor que la que ahora se les da y habrá, por tanto, una economía en la parte más costosa de la obra y con mejora también de la resistencia al resbalamiento.

Los pisos riostras, aun con carga de tres a seis

metros de agua, no precisarán espesores superiores a los mínimos exigidos por las necesidades prácticas de la ejecución; pero de todos modos su mayor número implicará un aumento de obra y de coste.

Los muretes de cierre de los cajones, formados por cada dos contrafuertes, un piso riostra y la pantalla, tendrán que soportar empujes de agua con alturas de menos de 3 ó 6 metros y podrán ser bovedillas verticales con espesores no mayores de los estrictamente precisos en la práctica de la construcción, que darán sobre los contrafuertes tensiones reducidísimas, de menos de un kg por cm^2 , para cuya resistencia no se precisará disponer armadura especial. Habrá, en todo caso, el aumento de fábrica correspondiente a la cubicación de estos muretes.

En definitiva, se obtendrá reducción de fábrica en la pantalla y su cimentación y en la fundación de los contrafuertes, y habrá aumento en los pisos riostras y quizá alguno también, aunque pequeño, en los contrafuertes, aparte del correspondiente a los muretes de cierre de los cajones. Según sea la altura de la presa, y sobre todo las circunstancias de la cimentación, las economías serán, o no, alcanzadas, o serán rebasadas por los aumentos de obra y podrá en general admitirse que aproximadamente se compensen unas con otras y que, económicamente, no se obtenga ventaja, aparte de la que pueda resultar de la facilidad de ejecución que dé la multiplicación de los pisos riostras y la menor luz de los cañones de la pantalla, que en andamiajes y encofrados producirán, sin duda, una baja importante.

Técnicamente, habrá un aumento en la componente vertical, que hará que se aproxime más a esta línea la resultante, con lo que se aumentará la resistencia de la presa al resbalamiento. Ahora bien, la influencia del lastre en la estabilidad al vuelco varía con el tipo de presa y es bien distinta según que se trata de una de pantalla vertical o que ésta esté inclinada a 30 ó a 45°.

La presa de pantalla vertical, que es el tipo hoy menos aceptable y aun podría decirse inadmisibile, se convierte, con el lastre de agua, en preferible a la de pantalla a 45°, que actualmente parece la mejor; en efecto, en ésta el peso del agua del lastre pasaría fuera del tercio central de la base, del lado de aguas abajo, aunque muy próxima al extremo del tercio, y su efecto sería trasladar la resultante hacia aguas abajo, aproximándola a la arista de giro, empeorando, por tanto, la estabilidad y repartición de presiones en la base de la presa.

Ahora bien, esto ocurrirá si los muretes de cierre de los cajones se colocasen en el extremo de aguas abajo de los contrafuertes y el lastre de cada cajón ocupase la máxima longitud posible para llegar a disponer de todo el lastre que en la presa cupiese; pero esto no es preciso; los muretes de cierre pueden situarse donde convenga y disponer las longitudes de los cajones y la cantidad de lastre dónde y cómo sea necesario para lograr que la resultante de todos los lastres entre dos contrafuertes pase por el punto de la base que se quiera. De la situación de ese pun-

to dependerá la cantidad de agua y el peso del lastre de que pueda disponerse, y cabrá en cada caso, en vista de uno y otro, estudiar la solución más satisfactoria, pero siempre resultará que el lastre se podrá situar de manera tal que mejore las condiciones de estabilidad y resistencia de la presa y que será a éstas favorable, si está debidamente colocado, aun en las presas con pantalla inclinada a 45°, no llegando a utilizar todo el que la presa permitiese y si sólo una cierta parte de él.

En la presa de pantalla vertical con la totalidad del lastre posible, el peso de éste pasará por el extremo de aguas arriba del tercio central o por fuera de él, pero siempre del lado de aguas arriba, y su efecto será correr la resultante hacia ese mismo lado, llevándola al centro de la base y haciéndola más vertical y mejorando así la estabilidad al vuelco, la repartición de presiones y la resistencia al resbalamiento.

En la presa de pantalla inclinada a 30° con contrafuertes en triángulo isósceles, el peso del lastre pasará casi exactamente por el centro de la base, al que aproximará la resultante, que además será más vertical y se mejorarán, como en el caso anterior, la estabilidad al vuelco, la resistencia al resbalamiento y la repartición de las presiones en la base.

Si en todo caso el lastrado total o parcial de la presa mejora las condiciones técnicas de su estabilidad y resistencia, evidente es que, a expensas de esas mejoras o de sólo parte de ellas, se puede reducir la sección transversal, obteniendo una economía importante en la obra.

Si se trata de una presa de pantalla vertical, y la resultante con el lastre se ha llevado hacia aguas arriba del centro de la base, es evidente que se podrá disminuir la longitud de esa base, o sea acortar los contrafuertes, sin alterar y aun con mejora de los coeficientes de estabilidad y de la repartición de presiones que se tenían en la presa no lastrada.

La longitud de los contrafuertes en su base puede reducirse hasta en cerca del 40 por 100 en las presas de pantalla vertical; la baja que en la ubicación de los contrafuertes se obtenga será también de ese mismo 40 por 100 y puede estimarse que la economía a ello debida no será en el total de la presa inferior al 20 por 100 del coste de la no lastrada equivalente, economía que llegaría a ser mucho mayor en el caso de que las cimentaciones fuesen difíciles y absorbiesen la mayor parte del presupuesto de la obra.

En la presa con pantalla inclinada a 30° y contrafuertes en triángulo isósceles, que sin lastre tendrían taludes de 0,60 de base por metro de altura en sus paramentos de agua arriba y abajo, con el lastre se podrán reducir esos taludes al 0,40 de base por metro de altura, con lo que la longitud de los cañones de la pantalla disminuirá en un 8 por 100 y la superficie y volumen de los contrafuertes y sus cimientos en un 33 por 100, de modo que sobre el total de la obra la economía será de cerca del 20 por 100 si no se excediese esta cifra por la importancia y coste de las fundaciones.

Se ha visto que en la presa de pantalla a 45° el lastre parcial y su colocación conveniente permitía mejorar la posición de la resultante, con lo que se podría disponer la pantalla con menor inclinación con la vertical, disminuyendo la longitud de sus cañones y siendo también más cortos los contrafuertes; la presa pasará o se aproximará al tipo de pantalla a 30°, y la economía con relación a la inicial no lastrada con pantalla a 45° será superior al 20 por 100 del coste de ésta.

En realidad, no se deberán construir presas lastradas con la pantalla inclinada a 45°. En definitiva, el utilizar total o parcialmente los espacios entre contrafuertes y pantallas y los pisos de arriostrado para obtener depósitos de agua que sirva de lastre a la presa, permite, en todo caso, con mejora de las condiciones técnicas de estabilidad y resistencia, lograr en la ejecución economías que pueden en general estimarse del orden del 20 por 100 sobre el coste de la presa no lastrada equivalente, y que en casos de cimentaciones difíciles y costosas pueden alcanzar importes mucho mayores.

No se ve que haya peligro ni inconveniente alguno con la disposición del lastre de agua que, sobre las ventajas ya dichas, dará también la de mantener mojadas las superficies de los elementos principales de la presa y evitar en el hormigón los efectos de los cambios de temperatura, con la consiguiente mejora del fraguado y resistencia.

El lastre no será necesario con el embalse vacío, esto es, cuando no hubiese agua para él; pero a medida que el embalse se vaya llenando, se irá teniendo agua para el lastre, y en cualquier situación de aquí se estará en las mejores condiciones de resistencia y estabilidad, superiores a las de las presas de los tipos actuales sin lastre.

G. Rebollo
Ingeniero de Caminos.

Teoría del arco¹

V

Lo experimental

EXPERIENCIAS EN PRESAS ARCO

Las experiencias más interesantes en presas arco son las llevadas a cabo por los ingenieros norteamericanos, que comprenden: medición de deformaciones

en presas existentes, ensayo de estructura construída especialmente para experiencias y ensayos en modelo reducido. Los suizos han estudiado de un modo sistemático las deformaciones en sus presas arco, y a los italianos se debe la experimentación de una pantalla semicilíndrica construída especialmente para ensayos.

También son dignas de tener en cuenta las experiencias de los ingenieros franceses y las de Vogt (noruego) sobre modelos a escala reducida.

¹ Véase el número de 1.º de noviembre, página 497.