

REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS.

MADRID, 15 DE DICIEMBRE DE 1890.

4.ª Serie.

Tomo 8.º

Número 23.

AÑO XXXVIII DE LA PUBLICACIÓN.

SUMARIO.

Estudio sobre aprovechamiento de aguas en el valle del Ebro, por D. Ramón García.—Carreteras provinciales de Barcelona, por D. Melchor de Palau.—Puente del Forth, por A. F.

ESTUDIO SOBRE APROVECHAMIENTO DE AGUAS EN EL VALLE DEL EBRO

(Continuación.)

Hallados, pues, uno ó más desfiladeros de un río, deberá elegirse aquel que mejor satisfaga al mayor número de las condiciones que siguen: 1.ª Que la extensión de la cuenca situada sobre él, sea bastante para que con las aguas de lluvia ó de manantiales pueda llenarse el vaso una ó varias veces. 2.ª Que el vaso sea próximamente impermeable. 3.ª Que sea muy capaz. 4.ª Que la roca esté á la vista en las laderas del río y sea compacta y resistente, y lo más somera posible en el cauce del río. 5.ª Que el desfiladero sea estrecho y algo regular en sus formas para que permita ser cerrado con un muro de reducida longitud. 6.ª Que el estrechamiento que reuna las anteriores condiciones no esté distante de la entrada al desfiladero, como medio de obtener el máximo de capacidad para una presa de altura determinada. 7.ª Que la forma del terreno se preste para situar debidamente los diferentes desagües de que van siempre acompañadas estas obras. Y 8.ª Que los materiales de construcción y en especial la piedra para mamposterías, sea de buena calidad, permita el empleo de grandes mampuertos y esté á corta distancia.

Ya hemos dicho que en general no será posible satisfacer á todas estas condiciones y alguna otra de las ya mencionadas, y para ello se las anuncia por su orden de importancia: las dos primeras son esenciales cuando se trata de regar zonas inferiores y extensas, siquiera pierdan parte de su interés cuando el vaso haya solo de evitar inundaciones en el valle. La 3.ª mide, digámoslo así, la utilidad de la obra en ambos casos. La 4.ª es esencial, hasta

el punto de que sin ella difícilmente podría construirse con la solidez indispensable una presa de gran altura, como son la generalidad de las que hablamos; afortunadamente, no hay desfiladero sin que el terreno que le forma no tenga gran dureza; y como estos accidentes son casi siempre producidos por denudación, la roca que no ha sido atacada se halla á la vista ó á poca profundidad, lo cual permite la única cimentación aceptable, aquella en que la obra se apoya directamente sobre la roca sólida. Si el desfiladero hubiera sido producido por una falta ó hundimiento, lo más prudente será abandonarle y buscar en el río otro emplazamiento. Las 5.^a, 6.^a y 8.^a se refieren al coste de la obra en relación con el volumen de agua que puede guardar, y la 7.^a es también importante, no solo bajo este aspecto, sino además para que los servicios de limpia de vaso y toma de aguas se hagan completos y con facilidad y para que las avenidas no puedan revasar la presa y puedan comprometer su seguridad.

Las presas, que han de moderar las avenidas, tienen precisamente que situarse en el cauce del río; mas las que tienen solo por objeto retener el agua con destino al riego, pueden también situarse fuera de él, aprovechando al efecto algún barranco lateral ó depresión próxima fácil de ser cerrada y de conveniente capacidad. Así se ha hecho en Logroño, en Ejea de los Caballeros y en algún otro punto, consiguiendo guardar el agua de invierno ó de avenida de los ríos con gran provecho para la agricultura local, sistema que convendría se generalizase, pues aun cuando no sean muy extensas las superficies regadas por este medio, son en cambio muy poco costosas las obras que ello exige siempre que sea corto y fácil el canal de conducción, las aguas invernales del río serán copiosas y constantes y la presa del vaso sea de corta extensión ó su altura permita sustituir la mampostería por un macizo de tierra de buenas condiciones y que pueda tomarse de las inmediaciones de la obra.

FORMAS DE LA PRESA DE MAMPOSTERÍA EN SU PLANTA.

La distancia que separa las dos laderas del estrecho que ha de cerrarse y su pendiente más ó menos rápida y regular, son los datos que en general deciden de la forma que en su planta debe darse á la presa. Si la separación de las dos laderas es poca, los esfuerzos del agua sobre la obra pueden ser transmitidos á las laderas, y éstas, con su resistencia verdaderamente incontrastable, dan ocasión á una reducción considerable en el volumen de las obras, adoptando la forma circular y haciendo con ello que los esfuerzos sean transmitidos al terreno del mismo modo que las bóvedas transmiten á los estribos sus empujes.

Cuando las laderas están muy próximas es fácil cerrar el pestillo que

entre ambas queda, mediante una bóveda circular de eje vertical y de corto radio, y por consiguiente tal, que sus presiones y su empuje no sean excesivos; mas cuando están distantes, la bóveda, que como luego veremos, no puede comprender sino un pequeño arco, tiene que ser de gran radio y si su empuje contra la ladera pudiera no ser objeto de preocupaciones, dada la resistencia de ésta, los esfuerzos interiores que el del agua haría desarrollar, pudieran llegar á ciertos límites que no conviene adoptar en la práctica. Además, el arco de la bóveda tiene mayor longitud que su cuerda, y por tanto, la presa tendrá también mayor longitud, lo que unido al mayor esmero que para su confección exige una obra de esta forma, pudiera hacer que el coste, que es lo que en definitiva se desea hacer como mínimo, fuese mayor con esta forma que con la rectilínea.

Convieni, por lo tanto, estudiar hasta qué anchura del desfiladero pudiera ser más económica la forma curva que la rectilínea, lo que conduce por necesidad al de la estabilidad de las presas; y para razonar debidamente las soluciones adoptadas para cada caso, examinaremos la influencia que aun sobre las presas rectilíneas tiene la anchura del desfiladero y la economía que por esta circunstancia puede obtenerse en el volumen de la obra.

La forma generalmente adoptada para la curva de las presas es la circular, que á su mayor facilidad para el trazado y aparejo, reúne la ventaja de que los empujes del agua, siendo siempre normales á la superficie que la contiene, pasan por el centro de los respectivos anillos, y además los que actúan también en el interior de la obra son simétricos alrededor de dicho centro. Esto sentado, si una obra de esta forma cierra hasta una altura determinada el portillo por donde pasa el río, tal bóveda cilíndrica de eje vertical, sólidamente sostenida en un fondo de roca y apoyada en laderas también de roca, de una resistencia que puede mirarse como indefinida, puede asimilarse á una bóveda apoyada en dos estribos incontrastables, y en la que su propio peso y el de la sobrecarga, que es lo que en las ordinarias es causa de los empujes, está aquí reemplazado por el del agua, de intensidad creciente á partir de la coronación.

El empuje del agua dará, por tanto, lugar á los esfuerzos interiores y al de la obra sobre las laderas; pero este empuje será independiente del peso de la construcción, si bien éste dará también lugar á otros esfuerzos interiores normales á los ocasionados por la presión del agua.

El cálculo de los espesores de la presa pudiera hacerse del mismo modo que el de las bóvedas ordinarias; pero los diversos esfuerzos que aquí actúan, y sobre todo su intensidad, hace que á partir de cierta altura por debajo de la coronación, el espesor de esta bóveda tiene que ser mucho mayor que el de las ordinarias; de aquí la duda, ó mejor dicho, divergencia de

opiniones, respecto al límite á que puede llegarse en la relación entre el espesor y el radio de la bóveda, dentro del cual puede racionalmente admitirse la asimilación indicada para el cálculo de los espesores, y mientras Delocre opina que no debe pasarse de $\frac{1}{3}$, Pelletran cree que puede llegarse hasta $\frac{1}{2}$.

Para aclarar más estos conceptos, imaginemos una presa de esta forma y una bóveda, divididas por planos horizontales la primera y por planos paralelos á los frentes la segunda; el peso propio de cada zona de ésta, más los accidentales y la sobrecarga, darán lugar á los esfuerzos que actúan en las juntas y á los empujes sobre los estribos, sin que los de cada una sean transmitidos á la inmediata, al paso que en la primera el peso de cada anillo no dará lugar á empujes sobre las laderas, sino que se transmitirá íntegro y con el de todas las superiores, á la inmediata inferior. Por el contrario, los esfuerzos sobre las juntas, los transmitidos á la ladera, serán debidos al empuje del agua, y por ello crecientes con la profundidad de la zona. Luego en la bóveda las presiones son debidas á pesos, son constantes y cada zona es independiente de las demás, y en la presa las presiones son debidas á la del agua, varían con la posición de la capa y el peso es transmitido de una en otra.

Desde el momento en que se trata de una zona algo profunda, en la que las presiones del agua son enormes y fuera de proporción con las que actúan en una bóveda ordinaria, los espesores resultantes tienen forzosamente que ser grandes, y á ello concurre también la necesidad de resistir al peso de las zonas superiores: de aquí que la analogía entre estas obras va desapareciendo á medida que las presas tienen mayor altura y que los cálculos basados en tal semejanza no ofrezcan las garantías que estas obras exigen, sobre todo cuando uno de sus fines haya de ser como moderador de las avenidas.

La economía que tal forma ofrece es, sin embargo, tan notable en los muy estrechos desfiladores, que en algunos casos especiales pudiera ser de gran conveniencia su adopción; y en este sentido parece conveniente exponer la teoría que puede dar á conocer las formas y dimensiones que deben adoptarse para estas presas.

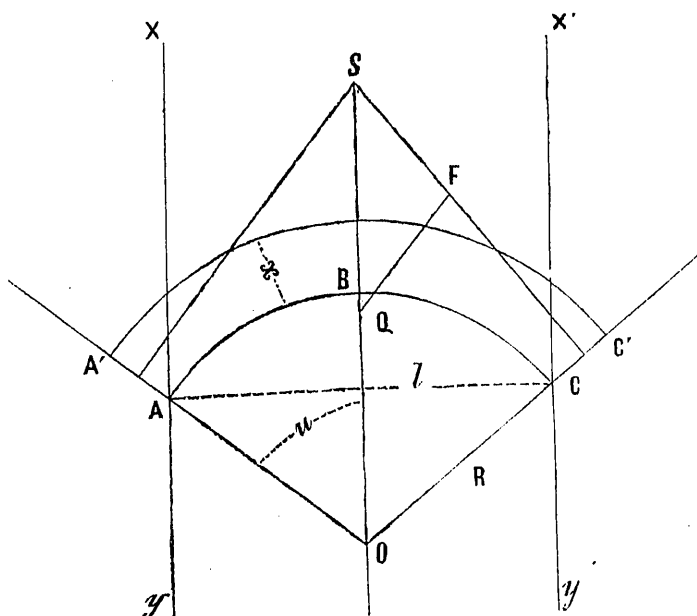
Sean xx_1 y y_1 las dos rectas, según las cuales corta al terreno un plano horizontal situado á una altura h sobre el fondo de un valle y ABC , A, B, C , la intersección de este plano con los dos paramentos de una presa situada en el río (fig. 9.) y llamemos:

l la anchura del valle á la altura h .

R el radio de la curva interior.

- ω la mitad del ángulo de los radios extremos.
 F la fuerza que actúa en toda la junta.
 Q la componente normal del empuje del agua.
 x el espesor de la presa.

(Fig. 9.º)



En esta clase de bóvedas en que todo es simétrico, así por la forma como por los esfuerzos á que se las somete, la curva de presiones tiene que ser un círculo concéntrico á los anteriores; las presiones pasarán por el centro de las juntas y serán normales á ellas, ó perpendiculares á los radios.

Las que tienen lugar en las juntas extremas, se encontrarán en el punto S, y darán una resultante que será igual á Q, y si descomponemos ésta en las dos direcciones de F y F', tendremos:

$$Q = 2F \operatorname{sen} \omega \quad \text{ó} \quad F = \frac{Q}{2 \operatorname{sen} \omega}.$$

La presión Q que el agua ejerce sobre un elemento en toda la longitud de la curva es igual á la que actuaría sobre su cuerda de longitud l y además á la profundidad del anillo y á la anchura del elemento, luego

$$Q = l y \cdot dy; \quad \text{de donde} \quad F = \frac{l y dy}{2 \operatorname{sen} \omega};$$

el segundo miembro representa la presión en toda la junta, y por tanto, la presión media por unidad será $\frac{1}{x} \frac{ly}{2\text{sen}\omega}$.

Como lo esencial en estos casos es conocer la presión máxima para no someter á los materiales sino á presiones de antemano fijadas, habrá necesidad de hallar ahora la relación que existe entre las presiones media y máxima; pero desde el momento en que se ha supuesto que su resultante pasa por el centro de la junta, ambas presiones son iguales. Así, en efecto, parece que debe ser en esta clase de bóvedas, pues si en algún punto fuese mayor la máxima que la media la curva de presiones, tendría allí que aproximarse más al intrados ó al trados; una parte de la bóveda tendría tendencia á caer hacia el interior, para lo cual, y no pudiendo ceder los estribos, el resto debería moverse hacia el exterior, y siendo todo simétrico, no hay razón alguna para que un movimiento se verifique en un trozo con preferencia á otro.

Lo racional es, pues, suponer que no hay tendencia al giro, y entonces las dos presiones son iguales: si, pues, llamamos N á la mayor á que debe someterse el material, tendremos

$$N = \frac{ly}{2 \times \text{sen}\omega}; \text{ pero } \text{sen}\omega = \frac{l}{2R};$$

luego

$$N = \frac{2Rly}{2 \times l} = \frac{Ry}{x} \quad \text{y} \quad x = \frac{Ry}{N} \quad \dots \quad (1)$$

que dará el espesor de la presa á una altura y por debajo del nivel del agua, calculado de manera que la presión máxima sobre el material sea N . En esta fórmula hay una cantidad indeterminada, que es el radio R de la bóveda, y por ello pueden obtenerse diferentes valores para x haciendo variar R , y pudiera elegirse aquel que diera el mínimo volumen para la presa.

Si el radio R es constante para todas las alturas, el espesor de ésta es proporcional á y , y como para $y = 0$, resulta $x = 0$, el perfil de la presa es un triángulo en que uno de los vértices está en la coronación de la obra; además, si el ancho del valle no variase con la altura, sería también constante y para este caso es fácil hallar el valor de ω que hace un mínimo el volumen de la obra.

El area de la sección horizontal de la presa es la anular comprendida entre los dos círculos, ó aproximadamente la longitud de uno de ellos por la diferencia de sus radios, ó sea $2\omega R \times x$; y el volumen elemental de la presa será:

$$dv = 2\omega R x dy$$

y poniendo por R y x sus anteriores valores

$$dv = \frac{\omega l^2}{2N \operatorname{sen} \omega} \times y dy$$

y

$$v = \frac{\omega l^2 y^2}{4N \operatorname{sen} \omega}.$$

Si haciendo variar á ω en esta expresión hallamos el valor que da un mínimo para V , resultará que $V = 67^\circ$ o, que puede reducirse á 60° como más cómodo para el cálculo, y puesto que entre estos límites la diferencia de los valores de $\frac{\omega}{\operatorname{sen} \omega}$ es muy pequeña.

Lo que equivale á decir que cuando el desfiladero es de paredes verticales ó muy próximo á ello, el radio de la presa es constante y dará un mínimo de volumen para la presa cuando el ángulo de sus radios extremos sea de 120° . Entonces el perfil transversal será un triángulo; los espesores vendrán dados por la fórmula (1), la presión no pasará en ningún punto de N y el volumen de la obra será el mínimo.

Para aplicar al cálculo de las presas las anteriores fórmulas; se ha dicho que la relación $\frac{x}{R}$ no debe pasar de $\frac{1}{2}$; luego si esta relación la introducimos en la ecuación (1), tendremos

$$y = \frac{N}{2},$$

lo cual quiere decir que la altura de la obra no podrá exceder de 30 metros cuando se adopte para el límite N el valor de 60 toneladas por metro cuadrado, ó de 40 metros si se toma para N el valor de 80, y esto siempre en la hipótesis de que la presión máxima fuese igual á la media.

La economía que se consigue en el volumen es enorme, cuando para calcular su espesor se emplean estas fórmulas y es muy pequeña la anchura del desfiladero; pero disminuye rápidamente cuando la anchura aumenta. Para 40 metros de reducción llega aún á la mitad; pero como por una parte la obra aumenta de longitud en la relación de 1 á 1,20 y exige mayor esmero en la construcción y demás, partimos de la hipótesis de que las presiones media y máxima son iguales, resulta que no parece prudente el empleo de estas fórmulas, sino cuando tienen corta longitud (25 á 30 metros á lo sumo en la coronación), que la anchura del desfiladero varíe

poco con la altura, las laderas sean simétricas y de formas regulares, la roca sea compacta y la altura de la obra no pase de 30 metros.

(Se continuará.)

CARRETERAS PROVINCIALES DE BARCELONA

ESTUDIO HISTÓRICO-CRÍTICO

(Continuación.)

Servicio general.—La necesidad imperiosa de explotar el empréstito, ó sea de hacer que sus cuantiosos intereses no fueran gasto superfluo, nos hizo dar la preferencia á la formación del plan, á los estudios de carreteras, y al comienzo de obras consiguientes, dejando para realizar con lentitud mayor y con la prudencia requerida la mejora del servicio general, que en verdad se hallaba muy desatendido, y que hemos procurado colocar al nivel de las oficinas del Estado en el ramo de Obras públicas introduciendo, lo que en las diversas en que hemos intervenido, era en nuestro sentir digno de copia.

Baste decir que al ponerme al frente de la dirección de carreteras provinciales no se conocían las relaciones gráficas; no se llevaban diarios de operaciones; era poco menos que ignorada la legislación del ramo; del todo las instrucciones, circulares ú órdenes del servicio, y no se formaban relaciones valoradas de las obras en ejecución, sino que se acreditaban mensualmente cantidades, sin comprobante ni responsabilidad alguna por parte del subalterno inmediatamente encargado, amén de otras omisiones y faltas, algunas de las que se desprenden del contexto de esta Memoria, y que sería largo relatar. A corregirlas dediqué desde el principio todo el tiempo de que me era lícito disponer, dando órdenes y dictando circulares al efecto, habiéndome servido de base entre otras las del Ingeniero Jefe D. Manuel de la Fuente, que ejerce cargo análogo en la Diputación provincial de Pontevedra, y que halló el servicio en condiciones parecidas en 1872, organizándolo de muy discreta manera. Al final de este trabajo se inserta una copia de la circular relativa á la forma como han de practicarse por parte de los subalternos las relaciones valoradas de las obras; lleva la fecha de 1.º de Marzo de 1882, y se transcribe no solo como muestra, si no principalmente por haberse dicho en sesión pública, sin antes preguntarlo de oficio y entre otros cargos igualmente falsos, *que no se hacían relaciones valoradas, sien-*