

REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS.

MADRID, 30 DE DICIEMBRE DE 1890.

4.ª Serie.

Tomo 8.º

Número 24.

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.)

Aparte de las presiones que se han calculado y cuya dirección es siempre horizontal, la presa está sometida á otras presiones verticales procedentes del peso mismo de la obra, y esto en los dos casos de estar lleno ó vacío el depósito; pero como á medida que las capas ó anillos de la obra están más bajas la presión del agua sobre ellas es mayor, su espesor debe serlo también, y por tanto convendrá disponer los anillos de manera que el perfil trasversal de la obra tenga la forma de un triángulo, forma que ya ha dado el cálculo, cuya base sea capaz de resistir al peso de toda la obra. Falta, por tanto, averiguar la altura que podrá alcanzar la presa bajo este nuevo aspecto, sin que la presión máxima en la base sea superior al límite N.

Rechazando las formas en trompa, el caso más desfavorable para la resistencia sería aquel en que uno de los lados del triángulo fuese vertical; entonces la presión máxima sería igual al doble de la media; pero hemos dicho que la altura de la obra no debe pasar de $\frac{N}{2}$, y el peso del triángulo sería:

$$\frac{1}{2} l \frac{N}{2} \times D = \frac{IND}{4},$$

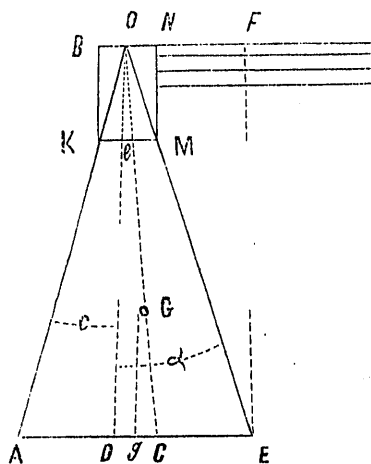
y por unidad de longitud será igual á $\frac{ND}{4}$, que es la presión media. La

máxima es $2 \times \frac{ND}{4} = \frac{ND}{2}$, y si $D = 2$, la presión máxima será igual á N .

Luego en el caso más desfavorable de que uno de los lados del triángulo sea vertical, la presión no pasará en la base del límite N para una altura de presa $\frac{N}{2}$, y adoptando para la densidad de la obra el valor $D = 2$, y puesto que por otro orden de consideraciones se ha llegado también al mismo límite para la altura de la obra, no tendría importancia real la investigación de la altura á que se podría llevar con otra posición del lado del triángulo que no fuese la vertical aquí supuesta. Ya que no bajo este aspecto, convendrá hacer esta investigación para venir en conocimiento de la manera como se reparten las presiones en la base, con el fin de conocer los taludes que convendría dar á los dos paramentos de la obra.

Sea AOE (fig. 10.^a) el perfil triangular de una presa que suponemos resiste á su propio peso, y llamemos l el espesor en la base, H su altura, y α y ϕ

(Fig. 10.)



los ángulos, que sus paramentos forman con la vertical; P el peso de la obra aplicado su centro de gravedad, G que se proyecta en C sobre la base y D la densidad de la mampostería, tendremos:

$$P = l \times \frac{H}{2} \times D = \frac{DH^2}{2} (\text{tang. } \alpha + \text{tang. } \phi).$$

Para pasar del peso total á la presión máxima en la base, se emplea una de las dos fórmulas de Bresse, que son:

$$(2) \quad N = \frac{P}{\Omega} (1 + 3n_1) \quad \text{y} \quad N = \frac{P}{\Omega} \times \frac{4}{3(1 - n_1)} \quad (3)$$

en las que N expresa la presión máxima, Ω la superficie sometida á la presión y n la relación $\frac{Cg}{CA}$; la primera deberá emplearse cuando $n_1 < \frac{1}{3}$ y la segunda cuando $n_1 > \frac{1}{3}$.

Para conocer cuál de las dos conviene al caso actual, bastará observar que si el lado de aguas arriba del triángulo fuese vertical, el valor de n_1 sería igual á $\frac{1}{3}$, y supuesto que es inclinado n_1 será menor que $\frac{1}{3}$ y por ello deberá emplearse la fórmula primera, en la que deberán sustituirse P , n_1 , Ω por sus valores especiales en el caso actual, que son:

$$n_1 = \frac{Cg}{CA} = \frac{\frac{1}{3} CD}{\frac{1}{2} AE} = \frac{1}{3} \cdot \frac{\text{tang. } \alpha - \text{tang. } \beta}{\text{tang. } \alpha + \text{tang. } \beta},$$

$$\Omega = AE = H (\text{tang. } \alpha - \text{tang. } \beta).$$

Así tendremos:

$$N = \frac{P}{\Omega} (1 + 3n_1) = \frac{DH}{2} \left(1 + \frac{\text{tang. } \alpha - \text{tang. } \beta}{\text{tang. } \alpha + \text{tang. } \beta} \right),$$

$$N = \frac{DH \text{ tang. } \alpha}{\text{tang. } \alpha + \text{tang. } \beta},$$

para la presión máxima en la base en el caso en que el depósito esté vacío.

Cuando esté lleno, al peso anterior deberá agregarse el del agua que carga sobre el paramento interior, que está representado por el triángulo OEF, equivalente á su área $\frac{1}{2} H \text{ tang. } \alpha$. Esta fuerza y el peso P , de magnitud y posición conocidas; se conoce, pues, su resultante, igual á su suma, y su punto de aplicación, con lo cual hallaremos como antes el valor de n , que tiene idéntica significación que n_1 , y como es también menor que $\frac{1}{3}$, emplearemos la fórmula (2).

La presión máxima así obtenida es:

$$N = H \frac{\text{tang.}^2 \alpha + (D + 2) \text{ tang. } \alpha \text{ tang. } \beta + D \text{ tang.}^2 \beta}{(\text{tang. } \alpha + \text{tang. } \beta)^2}.$$

Estas dos presiones máximas en la base de la obra correspondientes á los casos de vacío y lleno de agua el depósito, varían con las inclinaciones

α, ϕ ; pero como la suma de $\alpha + \phi$ es constante, si se hace disminuir α para que N sea menor cuando no hay agua, cuando la haya, la presión N_1 habrá aumentado por dicha causa; luego lo natural es fijar los ángulos α, ϕ por la condición de que $N = N_1$ y así la obra estará en iguales condiciones en ambos casos.

De esta condición se deducen:

$$\frac{DH \operatorname{tang.} \alpha}{\operatorname{tang.} \alpha + \operatorname{tang.} \phi} = H \cdot \frac{\operatorname{tang.}^2 \alpha + (D + 2) \operatorname{tang.} \alpha \operatorname{tang.} \phi + D \operatorname{tang.}^2 \phi}{\operatorname{tang.} \alpha + \operatorname{tang.} \phi},$$

y deduciendo

$$\frac{\operatorname{tang.} \alpha}{\operatorname{tang.} \alpha + \operatorname{tang.} \phi} = \frac{1 + \sqrt{1 - D + D^2}}{D + \sqrt{1 - D + D^2}}.$$

Pero $H \operatorname{tang.} \alpha + H \operatorname{tang.} \phi = AE =$ espesor de la obra en la base, que es también igual á $x = \frac{ly}{2N \operatorname{sen.} \omega} = \frac{lH}{2N \operatorname{sen.} 60^\circ}$ en el caso de mínimo volumen; luego

$$\operatorname{tang.} \alpha + \operatorname{tang.} \phi = \frac{l}{2N \operatorname{sen.} 60^\circ}.$$

Se conocen por tanto $\operatorname{tang.} \alpha$ y después $\operatorname{tang.} \phi$, ó sean las dos taludes de la obra, con la condición de que las presiones máxima N en la base sean iguales cuando esté el vaso lleno ó vacío.

La presión máxima

$$N_1 = \frac{DH \operatorname{tang.} \alpha}{\operatorname{tang.} \alpha + \operatorname{tang.} \phi},$$

pueden ponerse bajo otra forma, poniendo en vez de $\frac{\operatorname{tang.} \alpha}{\operatorname{tang.} \alpha + \operatorname{tang.} \phi}$ su valor anteriormente hallado, y así tendremos:

$$N_1 = DH \frac{1 + \sqrt{1 - D + D^2}}{D + \sqrt{1 - D + D^2}},$$

que para $D = 2$ da

$$N_1 = N \frac{1 + \sqrt{3}}{2 + \sqrt{3}} = 0,73N.$$

De consiguiente la presión máxima en la base de un muro, cuyos taludes son α, ϕ , es solamente el 73 por 100 de la que corresponde á un muro

con paramento interior vertical, esto en cuanto se refiere al peso de la obra y dada de antemano la forma que debe afectar en planta y perfil para resistir al empuje del agua.

Como lo mismo que de la base puede decirse de cualquiera de las secciones horizontales de la obra, se deduce que para un volumen del muro, las presiones máximas debidas á su peso en todas las secciones horizontales, son menores cuando tiene dos taludes que cuando el interior es vertical.

Todo cuanto se ha dicho supone que el ancho del desfiladero no varío con la altura; pero si así no fuere, que es el caso más común en la práctica, podrían con la presa circular hacerse aún nuevas reducciones. Cada zona ó capa horizontal de la presa resiste aislada á la presión del agua; y como su espesor es, no solo función de la profundidad á que se halla, sino también de la anchura del desfiladero á dicha profundidad, el espesor de una de ellas pudiera ser menor que el de la inmediata situada más arriba, como lo indica la expresión

$$x = \frac{ly}{2N \operatorname{sen.} \omega},$$

en la que l pudiera decrecer más rápidamente que y .

Ya que no pueden adoptarse espesores decrecientes á partir de la coronación de la obra, pues esto conduciría á formas en trompa, pudiera siquiera conservarse el espesor mismo de una capa para la inmediata inferior ó alguna de las siguientes, hasta tanto que la fórmula diese espesores mayores, y en tal caso se llegaría á tener un talud vertical en determinada altura; mas dadas ya las economías obtenidas con la adopción de la forma circular n , siempre que el desfiladero no pase de 40 á 50 metros de anchura y los reducidos espesores á que se llega en presas de gran altura, y teniendo además en cuenta la facilidad con que el agua con gran presión se insinúa á través de un macizo de poco espesor, aun cuando esté cuidadosamente construido, creemos que cuantas combinaciones pueden estudiarse en vista de nuevas reducciones de volumen, deben mirarse más bien como investigaciones técnicas más ó menos ingeniosas que como soluciones prácticas que respondan verdaderamente á las necesidades de una obra de este carácter.

Hasta aquí hemos supuesto que la obra tiene un espesor nulo en la coronación, pero esto no es posible, y consideraciones de otra índole aconsejan un espesor que varía entre tres y cinco metros: si, pues, e representamos este espesor y se construye un rectángulo cuyo lado horizontal sea e y el vertical $h = e \operatorname{tang.} \phi$ ó $h = e (\operatorname{tang.} \alpha + \operatorname{tang.} \phi)$, según se trate de un per-

fil con uno ó dos taludes, bastará colocar tal rectángulo en la parte superior del perfil triangular (fig. 10.^a) para obtener el perfil completo.

Resumiendo lo dicho respecto de presas circulares, tendremos: 1.º, que su altura no debe pasar de $\frac{N}{D}$; 2.º, que cuando la anchura del desfiladero es próximamente constante en todas las alturas, y tomando para el cálculo la mayor de todas, la base debe ser un arco circular de 120º, el perfil de la presa es un triángulo, y en estas condiciones la obra tiene un volumen mínimo; 3.º, que el paramento interior puede ser vertical, puesto que no pudiendo pasar la obra de una altura $\frac{N}{D}$, la presión máxima en la base, de-

bida al peso de la obra, es también en este caso $\frac{N}{D}$, igual á la compresión que sufren los anillos por el empuje del agua; 4.º, que la presa puede afectar dos taludes α , β , y entonces las presiones verticales en todas las secciones y en la base serán menores; lo cual, si no permitirá reducir los espesores de la obra porque no podría resistir á los esfuerzos del agua, colocará á la obra en mejores condiciones de resistencia y también al terreno que forma la base de sustentación: los taludes α , β podrían calcularse por la condición de que las presiones sean iguales en los casos de lleno y vacío el depósito; 5.º, que pudieran conseguirse nuevas reducciones en el volumen de la presa cuando sea creciente la anchura del desfiladero á partir del lecho del río; pero estas reducciones pudieran dar lugar á filtraciones de suma gravedad á través de la obra, y por ello no se juzgan aceptables; 6.º, que se ha partido de la hipótesis de la incomprensibilidad de la mampostería, lo cual no es exacto, y de que la presión media y la máxima son iguales, sobre lo que conviene hacer prudentes reservas.

(Se continuará.)

