

REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS

FUNDADA Y SOSTENIDA POR EL CUERPO NACIONAL DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

Redactor-Presidente... Excmo. é Ilmo. Sr. D. Leonardo de Tejada, Inspector general del Cuerpo
Redactores..... Los Sres. Presidentes de las Comisiones regionales de Ingenieros.
 D. Antonio Sonier, Profesor de la Escuela de Caminos.
 D. Manuel Maluquer, Ingeniero del mismo Cuerpo, *Secretario*.
Colaboradores..... Todos los Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

SE PUBLICA LOS JUEVES

Redacción y Administración: Puerta del Sol, 9, pral.

EL PERFIL DE LAS PRESAS DE FÁBRICA ⁽¹⁾

POR DON JOSÉ NICOLAU,

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

(Continuación.)

XVII

Perfil rectangular.

Tan sólo para establecer la comparación con el perfil triangular aplicaré el método al rectangular, por más que *a priori* puede ya saberse que, salvo casos verdaderamente excepcionales, su adopción no se hallará justificada porque ha de presentar notable desventaja desde el punto de vista de la economía.

Adoptando iguales notaciones que en el caso anterior, se tendrá

$$N = K a y \quad ; \quad M = \frac{y^2}{6}$$

$$N_0 = K a y \quad ; \quad M_0 = 0$$

representando a el ancho uniforme del perfil. Se tendrá igualmente

$$R = \left(K + \frac{y^2}{a^2} \right) y$$

$$R_0 = K y$$

$$r = \left(K - \frac{y^2}{a^2} \right) y$$

$$r_0 = K y$$

La condición de que la presión en el paramento interno sea, por lo menos, igual á la del agua, conduce á la siguiente:

$$\left(K - \frac{y^2}{a^2} \right) y = y \quad ;$$

de donde

$$a = \frac{y}{\sqrt{K-1}} \quad ;$$

esta condición deberá ser satisfecha en la base, y, por lo tanto, siendo H la altura de la presa

$$a = \frac{H}{\sqrt{K-1}}$$

Sustituyendo este valor de a en el de R se obtiene

$$R = \left(K + \frac{K-1}{H^2} y^2 \right) y \quad ,$$

siendo el máximo de esta expresión

$$R = (2K - 1) H \quad ,$$

el cual, para valores de K , comprendidos entre 2 y 3, varía entre $3H$ y $5H$.

El máximo de r será

$$\frac{2}{3} K H \sqrt{\frac{K}{3(K-1)}}$$

que corresponde á la profundidad

$$y = H \sqrt{\frac{K}{3(K-1)}}$$

El valor de este máximo está comprendido entre $1,09H$ y $0,45H$ para los mismos valores de K antes indicados.

Se ve, por lo tanto, que las presiones máximas en este perfil son muy superiores á las del perfil triangular, y como su área es doble de la del último, según es fácil comprobar, se comprende, como ya anuncié antes, que su adopción no ha de ser ventajosa sino en casos en que circunstancias especialísimas puedan aconsejarla.

XVIII

Espesor en la coronación.

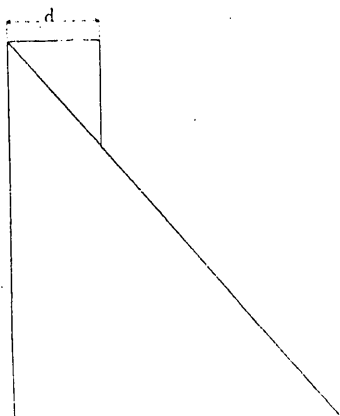
El perfil triangular ofrece el inconveniente de que el espesor en la coronación es nulo. Para resistir el empuje de las olas y el choque de los cuerpos flotantes que pueda arrastrar la corriente, para permitir cómodamente el paso de una á otra ladera, y aun para que la coronación no termine en ángulo agudo, que diferiría poco de 45 grados, es indispensable arrancar con algún espesor en la parte superior de la presa. Este podría, en rigor, ser muy reducido, un metro ó dos á lo sumo, si no fuera por la necesidad que existe muchas veces de establecer sobre la misma presa un camino que ponga en comunicación las dos márgenes, restableciendo servidumbres que quedarían interrumpidas cuando el embalse se hallase lleno y que no será fácil que puedan desviarse por las laderas próximas, aguas abajo de la presa, ya que en general aquéllas serán muy abruptas. No es posible dar una regla general, como han pretendido hacerlo algunos autores, que determine el ancho en la coronación, ni es lógico admitir que este ancho haya de depender de la altura de la presa; cabe, sin embargo, aconsejar que esta magnitud sea lo indispensable tan sólo para satisfacer las necesidades y llenar el objeto á que se destina la coronación en cada caso, pues se comprende desde luego que todo exceso ha de resultar contrario á la economía.

Veamos, por lo tanto, qué modificaciones sufrirán las fórmulas que dan la presión en el perfil triangular de paramento vertical cuando para constituir lo más sencillamente posible una coronación con un espesor determinado, se adosa á la parte supe-

(1) Véase el núm. 1236.

rior un triángulo rectángulo que tenga la base horizontal á la altura del vértice de la presa, tal como aparece en la figura 19.

Fig. 19.



Para simplificar esta investigación, en virtud del principio de la superposición de los efectos de las fuerzas, bastará considerar los esfuerzos á que da origen el peso de dicho triángulo (entiéndase el prisma triangular correspondiente) y agregarlos luego á las fórmulas que tienen en cuenta los que producen los elementos ya estudiados que intervienen en el problema.

Consideremos primero la parte del perfil situado por debajo de la ordenada $y = d\sqrt{K-1}$, que da la altura del triángulo adosado.

La presión en el paramento de aguas abajo producida por el peso $\frac{K}{2} d^2 \sqrt{K-1}$ del triángulo, es

$$R_1 = \frac{K^2 d^2}{y^2} (2 d \sqrt{K-1} - y);$$

esta función que para $y = d\sqrt{K-1}$ es igual á $\frac{K^2 d}{\sqrt{K-1}}$, decrece luego á medida que y aumenta hasta $y = 2 d \sqrt{K-1}$ en que pasa por cero, siendo negativa á partir de esta profundidad, pasando después por un mínimo, que corresponde á $y = 4 d \sqrt{K-1}$,

el cual tiene por valor absoluto $\frac{K^2 d}{8 \sqrt{K-1}}$. Más allá del mínimo vuelve á decrecer indefinidamente, siendo igual á cero para $y = \infty$.

De aquí se deduce que en el caso del embalse lleno las presiones serán superiores á $K y$ hasta la profundidad $y = 2 d \sqrt{K-1}$, siendo su valor en todo caso inferior al que alcanzarán en la base de la presa, siempre que su altura sea superior á $d \sqrt{K-1}$, que será lo ordinario. A partir de aquella profundidad las presiones serán inferiores á las que corresponderían al perfil triangular, sin que la diferencia sea de consideración; en la base de la presa, cuando la altura sea grande, esta diferencia no será sensible.

Estando el embalse vacío, en vez de presiones nulas en el paramento de aguas abajo, existirán compresiones, de muy poca importancia hasta la ordenada $y = 2 d \sqrt{K-1}$; á partir de este punto, en el cual varía de signo la presión, se producirán tensiones que alcanzan su valor máximo á la profundidad $y = 4 d \sqrt{K-1}$, valor de las cuales será el que expresa el siguiente estado:

d	K						
	2,20	2,25	2,30	2,35	2,40	2,45	2,50
1	0,55	0,57	0,58	0,59	0,61	0,62	0,64
2	1,10	1,13	1,16	1,19	1,22	1,25	1,28
3	1,66	1,70	1,74	1,78	1,83	1,87	1,91
4	2,21	2,26	2,32	2,38	2,44	2,49	2,55
5	2,76	2,83	2,90	2,97	3,05	3,12	3,19
6	3,31	3,40	3,48	3,56	3,65	3,74	3,83
7	3,86	3,96	4,06	4,16	4,26	4,36	4,47
8	4,42	4,53	4,64	4,75	4,87	4,98	5,10

Las cifras del cuadro representan toneladas por metro cuadrado; las mismas, corriendo la coma un lugar á la izquierda, representan las tensiones en kilogramos por centímetro cuadrado. Se ve por ellas que en el caso extremo considerado, en que el ancho de la coronación es igual á 8 metros y el peso específico de la fábrica igual á 2,50, la tensión es de medio kilogramo por centímetro cuadrado; para $d = 5$ metros y $K = 2,30$, caso que se aproxima más que el anterior á los ordinarios, la tensión es tan sólo de 0,29 kilogramos por centímetro cuadrado.

La fórmula que da estas tensiones máximas, es

$$R_1 = - \frac{K^2 d}{8 \sqrt{K-1}},$$

de la cual se deduce que aumentan proporcionalmente al ancho de la coronación y que si bien crecen con la densidad de las mamposterías, este elemento que no está en general en nuestra mano modificar, tiene una importancia muy inferior á la del primero. De aquí, pues, la conveniencia, si se desea conservar en la parte baja de la presa el perfil triangular, de reducir el ancho en la coronación para reducir también en igual proporción la tensión á que en el paramento de aguas abajo quedarán sometidas las fábricas.

El efecto de la adición del triángulo al perfil triangular se traduce en un aumento de presión en el paramento de aguas arriba dado por la expresión

$$R_2 = \frac{2 K (K-1) d^2}{y^2} (y - d \sqrt{K-1}),$$

aumento que crece con la profundidad y á partir del valor $y = d \sqrt{K-1}$, en que es igual á cero y desde el cual es aplicable. A la profundidad $y = 2 d \sqrt{K-1}$, R_2 adquiere su valor máximo, que es

$$\frac{K (\sqrt{K-1}) d}{2},$$

decreciendo luego hasta que se reduce á cero para $y = \infty$.

Resulta de aquí que á embalse lleno las presiones en el paramento de aguas arriba serán superiores á y , alcanzando en la base de la presa de altura H su valor máximo é igual á

$$H + \frac{2 K (K-1) d^2}{H^2} (H - d \sqrt{K-1})$$

que cualquiera que sea el valor de H , para los que pueden tener en la práctica K y d , será inferior á la presión $K H$ que en el propio punto obra cuando el embalse está vacío. Obsérvese que este aumento de presión favorece las condiciones en que se hallará la presa, para oponerse á la introducción del agua, si acaso existieran grietas.

Cuando la presa esté desaguada, las presiones en el paramento de aguas arriba aumentarán de la misma suerte que en el caso anterior, y la presión máxima de las fábricas que tendrá lugar en la base, será

$$K H + \frac{2 K (K-1) d^2}{H^2} (H - d \sqrt{K-1}),$$

en vez de KH . Esto representa para una presa de 70 metros de altura, en que $K=2,5$ y $d=8$, un aumento de medio kilogramo por centimetro cuadrado.

Para $H=50$, $K=2,3$ y $a=8$, caso menos exageradamente desfavorable que el anterior, el aumento sería tan sólo de un cuarto de kilo gramo por centimetro cuadrado, cantidad verdaderamente sin importancia.

Consideremos ahora la parte superior de la presa que con la adición del triángulo afecta una sección rectangular.

En el paramento de aguas abajo, la presión á embalse lleno será igual á

$$y \left(K + \frac{y^2}{d^2} \right)$$

en vez de la presión Ky que tenía lugar en el paramento primitivo; el aumento $\frac{y^3}{d^2}$ tiene escasa importancia, puesto que, como máximo, para $d=8$ y $K=2,50$, caso muy desfavorable, no llega á un kilogramo y medio por centimetro cuadrado, y la presión total en la base del prisma rectangular no alcanza á cuatro kilogramos por la misma unidad.

A embalse vacío, la presión se reparte uniformemente y su máximo valor $K\sqrt{K-1} \times d$ en la base es muy reducido aun en los casos más desfavorables.

La presión en el paramento de aguas arriba del rectángulo, á embalse lleno, es

$$y \left(K - \frac{y^2}{d^2} \right)$$

que será superior á la presión y á que por lo menos debe estar sujeto este paramento; en efecto, la relación

$$\frac{y}{y \left(K - \frac{y^2}{d^2} \right)} = \frac{1}{K - \frac{y^2}{d^2}}$$

es siempre menor que la unidad para los valores entre los cuales deben estar comprendidos la variable y y el coeficiente K .

En resumen, la adición de un triángulo rectángulo, adosado á la parte superior del perfil triangular estudiado, mejora las buenas condiciones en que se halla la presa, sin que las presiones, que aumentan en algunos casos, alcancen ni con mucho, en los que se pueden presentar en la práctica, valores superiores á los que puede soportar con entera seguridad cualquier clase de mampostería, salvo tan sólo en el paramento de aguas abajo cuando no actúa la presión del agua, pues en tal caso se desarrollan tensiones que tienen por valor máximo

$$\frac{K^2 d}{8\sqrt{K-1}}$$

y que para valores elevados de K y de d pueden llegar á medio kilogramo por centimetro cuadrado.

Probablemente en la mayoría de los casos podrán las fábricas resistir estas tensiones; pero será prudente comprobar experimentalmente si en efecto sucederá así. Por otra parte, sujeta una cierta extensión del paramento alternativamente á tensión y á compresión, es de temer que con el transcurso de los años puedan llegar á presentarse grietas horizontales, normales al paramento; mas estas grietas serán poco profundas puesto que las tensiones decrecen rápidamente: así en una sección horizontal de ordenada $y = 4d\sqrt{K-1}$, que corresponde al punto de tensión máxima del paramento de aguas abajo, esta tensión

cambia de signo á la distancia $\frac{4Kd}{36K-35}$ del paramento.

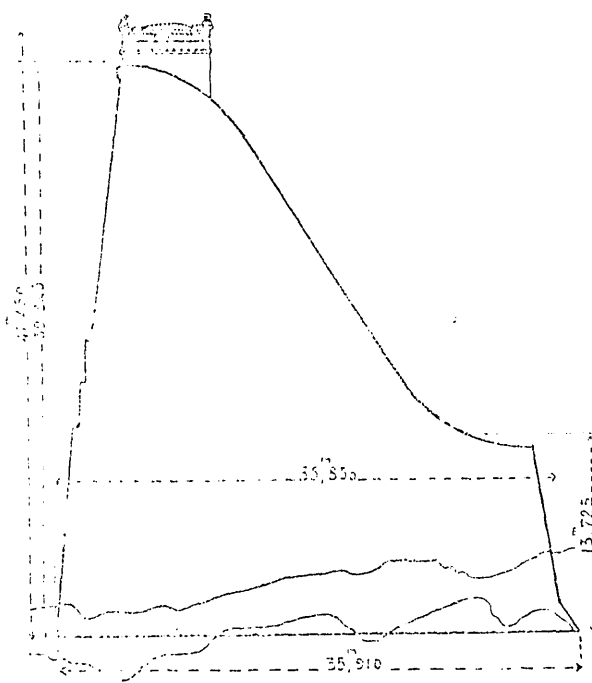
Para $\left\{ \begin{matrix} K=2,50 \\ d=8,00 \end{matrix} \right.$ y $\left\{ \begin{matrix} K=2,30 \\ d=5,00 \end{matrix} \right.$, la ordenada es igual á 39

metros en el primer caso y á 22,8 metros en el segundo, siendo la distancia referida igual á 1,52 metros y 0,96 metros respectivamente.

Los esfuerzos de tracción y aun las grietas no tienen en el paramento de aguas abajo la importancia y gravedad que tendrían en el de aguas arriba, donde en absoluto son inadmisibles; reducen lo á lo estrictamente preciso el ancho de la coronación podrá conseguir reducirse en proporción su valor y la extensión de la zona en que se desarrollaran en profundidad y altura. Cuando sea completamente imprescindible que aquel ancho sea bastante grande para que pueda dar origen á tensiones relativamente elevadas, podrá recurrirse al empleo de materiales escogidos, sobre todo el mortero, que en muchos casos se podrá elegir de suerte que su resistencia á la tracción y su adherencia á la piedra sean bastante grandes en la zona donde se puede prever que se han de producir las tensiones, y que pueda soportar á éstas con toda seguridad.

Cuando este medio no baste, podrán disminuirse notablemente los esfuerzos de tracción y la extensión de la zona en que obran, haciendo que la coronación esté constituida por una serie de arcos, de espesor y flecha reducidos, que descansen sobre pilas apoyadas en el paramento de aguas abajo, disposición análoga á la adoptada en la presa de la Mouche (1), y á la que con objeto distinto se ha seguido primero en la de Virnwy (figura 20), y

Fig. 20.



luego en la de Burrator (2) y otras construidas recientemente en Alemania (3).

Esta disposición puede aún modificarse ventajosamente para el objeto con que aquí se aconseja, dando mayor vuelo á las ménsulas del paramento de aguas arriba, consiguiéndose así reducir el peso de la coronación, y que este peso obre más cerca de dicho paramento. Todavía cabe disminuir el peso sustituyendo á las pilas y arcos de fábrica, pilas y tableros metálicos, ó aún mejor de hormigón armado. Por último, como medio menos práctico que los anteriores, aplicable al caso en que el paramento de aguas abajo se hiciera con sillería, podría emplearse un despiece igual ó análogo al indicado en la figura 21.

Tales son los medios de que podrá disponer el Ingeniero para oponerse con eficacia á los esfuerzos de tracción á que dará ori-

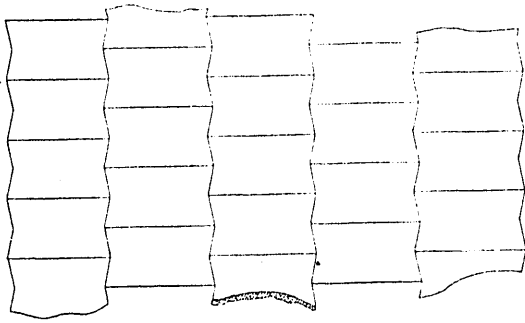
(1) Véase *Etude des barrages-reservoirs*, por A. Dumas.

(2) *Engineering*, 7 de Octubre de 1898.

(3) *Zeitschrift für Architektur und Ingenieurwesen*, Enero 1899.

gen la adición del prisma triangular al vértice superior de las presas de perfil triangular; si tales medios no bastasen, lo cual puede admitirse que sólo ocurrirá en casos verdaderamente ex-

Fig. 21.



cepcionales, sería preciso recurrir á perfiles de forma distinta del aquí estudiado.

En las presas deben evitarse los ángulos entrantes en sus paramentos, pues la variación brusca de esfuerzos que en ellos se verifica, puede ser causa de grietas; por esta razón, será preciso unir por medio de una curva las partes vertical é inclinada del perfil triangular al que se ha agregado un triángulo rectángulo en su parte superior. Como quiera que el aumento de área que de esta suerte sufre el perfil, será casi siempre de escasísima importancia, puesto que la economía exige que la longitud de las tangentes que limitan la curva de unión sea muy reducida, no me detendré á estudiar el efecto que el peso correspondiente pueda producir en el valor de los esfuerzos que obrarán sobre la presa, porque tal aumento será, por punto general, despreciable.

(Se continuará.)

PROVINCIAS ESPAÑOLAS

OBRAS DE RIEGO

(De El Imparcial.)

Extracto de los estudios hechos por los Ingenieros de Caminos.

SEVILLA

Podrían construirse en esta provincia varios pantanos con una capacidad total de más de 30 millones de metros cúbicos, que servirían para regar unas 24 hectáreas y su coste no excedería de 4 millones de pesetas. Los términos municipales beneficiados con las nuevas obras de riego serían los de Lora del Río, Villanueva del Río, El Pedroso, Almadén de la Plata, Castilblanco, Cantillana, Guillena, Alcalá del Río, La Algaba, Santiponce, Sevilla, Aznalcázar y Morón.

A continuación consignamos los datos concernientes á dichos pantanos que pueden establecerse en cada uno de los ríos que se citan.

* *

Churre.—Tiene su origen en término de Constantina y desemboca en el Guadalquivir, en las inmediaciones de Lora del Río, con un recorrido de 15 kilómetros.

Puede establecerse un pantano en el sitio llamado Molino segundo, agua abajo de la confluencia del Ladeo, donde el cauce tiene 4.000 metros de ancho, con márgenes escarpadas que ofrecen materiales de buena calidad para la construcción del pantano.

En años abundantes de lluvias discurre todo el año el agua por este arroyo; pero en los años escasos llega á secarse en el verano. Sólo se puede contar para el embalse con las aguas de invierno y primavera.

Las condiciones de aprovechamiento y el coste aproximado de este pantano serían las siguientes:

Capacidad del pantano, 2.908.160 metros cúbicos.

Coste aproximado del mismo, 525.000 pesetas.

Número de hectáreas regables, 2.100.

Longitud de los canales, 3.500 metros.

Términos municipales beneficiados por los riegos, Lora del Río.

* *

Algarín.—Tiene su origen en término de Constantina y desemboca en el Guadalquivir, con un recorrido de 18 kilómetros.

Puede establecerse un pantano en terrenos del «Cortijo de los Majadales», donde el cauce tiene 30 metros, con márgenes escarpadas que ofrecen materiales de buena calidad para la construcción del pantano.

En años abundantes de lluvias discurre todo el año el agua por este arroyo, pero en los años escasos llega á secarse en el verano. Sólo puede contarse para el embalse con las aguas de invierno y primavera.

Las condiciones de aprovechamiento y el coste aproximado de este pantano serían las siguientes:

Capacidad del pantano, 1.632.000 metros.

Coste aproximado del mismo, 287.750 pesetas.

Número de hectáreas regables, 1.600.

Longitud de los canales, dos kilómetros.

Términos municipales beneficiados por los riegos, Lora del Río.

* *

Galapagar.—Tiene su origen en término de Constantina, desemboca en el Guadalquivir, en el límite de las jurisdicciones de Constantina y Villanueva del Río, con un recorrido de 25 kilómetros.

Puede establecerse un pantano agua arriba de la obra de fábrica construida en la carretera de tercer orden de Lora del Río á Santiponce, para salvar este curso de agua.

En el sitio elegido, tiene el cauce 23 metros de anchura con márgenes escarpadas; no hay materiales para la construcción de la presa.

En años abundantes de lluvias, discurren todo el año las aguas por ese arroyo; pero en los años escasos, llega á secarse en el verano. Sólo puede contarse para el embalse con aguas de invierno y primavera.

Las condiciones de aprovechamiento y coste aproximado de este pantano, serían las siguientes:

Capacidad del pantano, 1.908.000 metros cúbicos.

Coste aproximado del mismo, 277.900 pesetas.

Número de hectáreas regables, 1.680.

Longitud de los canales, dos kilómetros.

Términos municipales beneficiados por los riegos, Villanueva del Río.

* *

San Pedro.—Tiene su origen en término de Cazalla de la Sierra y desemboca en la ribera del Hueznar, término de Pedroso, con un recorrido de 15 kilómetros.

Puede establecerse un pantano en el sitio nombrado «Humbrias de Cardales» y del «Cañuelo», donde el cauce tiene 10 metros de ancho con fondo de roca y acantiladas las márgenes, con excelentes materiales para la construcción de la presa.

En este arroyo discurren las aguas todo el año, aun en los escasos de lluvias de invierno y primavera.

Las condiciones de aprovechamiento y coste aproximado del pantano serían las siguientes:

Capacidad del pantano, 612.000 metros cúbicos.

Coste aproximado del mismo, 100.458 pesetas.

Número de hectáreas regables, 300.

Longitud de los canales, 400 metros.

Términos municipales beneficiados por los riegos, El Pedroso.

* *

Hueznar.—Tiene su origen en término de San Nicolás del Puerto y desemboca en el Guadalquivir, cruzando los términos municipales de San Nicolás del Puerto, Constantina, Cazalla de la Sierra, El Pedroso y Villanueva del Río con un recorrido de 50 kilómetros.

Puede establecerse un pantano en el sitio conocido por «Majar Alto», agua arriba de Villanueva de las Minas, población aneja á Villanueva del Río.

En el sitio elegido tiene el cauce 40 metros de anchura, con las márgenes escarpadas que ofrecen materiales de buena calidad para la