

que diría D. Pedro Antonio de Alarcón. Ni una hormigonera, ni una grúa o, por lo menos, un par de ellas, cuyas plumas pasaran el día deshaciéndose a reverencias y acatamientos. Estos números, sobre todo en manos de un especialista, indudablemente hubieran multiplicado el número de curiosos visitantes.

Tiene el contratista una hormigonera; pero es tan modesta que nada hace, quizá por temor a exhibiciones. La hormigonera ya se ve en el cauce del Andarax, ya en el terraplén de avenidas de la margen izquierda del río; pero siempre sin hacer nada.

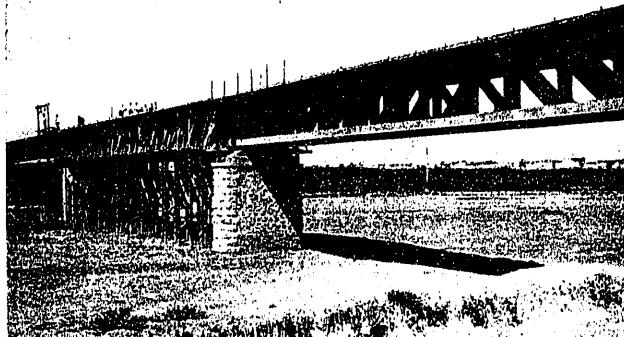


Fig. 6.<sup>a</sup>

A veces en traje de diario; otras, luciendo sus mejores galas, acabada de pintar. Para mí, la hormigonera ociosa de esta obra pasa por un curioso más.

Pero no vaya a creerse por esto que todo es igual en las obras. Han tenido cosas verdaderamente buenas, entre las que descubierta el molde usado, que no está cabalmente representado en las fotografías adjuntas. El contratista, en su buen deseo de hacer, dió el encargo de proyectarlo a mi compañero D. Vicente Ucelay, actual subdirector del puerto de Almería, que proyectó uno, discretamente concebido y dispuesto, que dudo pueda imaginarse mejor.

Otra cosa muy buena ha sido el hallazgo de Pepe. Procede este Pepe, cuyos apellidos ignoro, y no creo que importen gran cosa al lector, de la clase de mozos de almacén. Fué a las obras a poco de comenzadas y dió en las copias de los planos del modelo oficial de 32 m, imponiéndose de su contenido con asombrosa claridad, admirable en quien carecía, no sólo de preparación, sino del más ligero indicio de semejantes cosas. Pepe ha actuado y actúa como la cabeza y el brazo de la Dirección de la contrata, que no tiene otra ni otro, y las operaciones más delicadas del moldeo y hormigonado de los tramos siempre han estado a cargo de este incógnito Pepe, competente, activo, modesto, respetuoso y servicial.

Y dejando de mencionar otras cosas buenas del puente, aunque no tanto como las anotadas, citaré, para acabar, que ya es hora de ello, una mala, que es la peor de todas. Cuando se me encargó, por el señor ingeniero jefe de Almería, del estudio del puente sobre el Andarax, entré en ganas de hacer algún pequeño extraordinario, metiéndome en ciertas honduras respectivas al problema de la averiguación de luces económicas. De aquel intento surgió mi primer artículo para la REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS, aquéllos «Observaciones elementales que pueden ser norma para proyectar puentes económicos». Un bosquejo sencillo, que llegó a agradarme hasta el extremo de que, Dios mediante, pienso en alguna ocasión volverlo a tratar como es debido y el asunto merece.

Pero contraje, a consecuencia de aquel articulito, el hábito perverso de emborrinar cuartillas, el mal vicio de hacer parrafadas insoportables y soporíferas prosas, que la amabilidad excesiva de la Dirección de nuestra REVISTA deja que lleguen a la luz de la publicidad.

Eso es lo peor del puente. Que por él me he metido a hacer artículos, abusando de la paciencia del lector, cuando no acabando con ella. Y, cosa todavía peor y muchísimo más grave, que no tengo propósitos de enmienda.

José LÓPEZ RODRÍGUEZ  
Ingeniero de Caminos

## PRESAS RECTAS Y PRESAS EN ARCO

Bien conocido es el principio fundamental que establece estrecha relación entre la forma de una estructura y el modo de resistir sus elementos. Esta ley informa en Arquitectura el estilo, y es particularmente rigurosa en Ingeniería, donde tiene poder casi absoluto y exclusivo, dentro de los límites establecidos por la posibilidad constructiva.

De aquí la necesidad de que el estudio elástico preceda en todo caso a la fijación de modelos, y que la evolución de aquél se refleje en éstos, reservándose a la experiencia (y es bien alta misión, ya que equivale a un visto bueno que autoriza a seguir la vía emprendida) la comprobación de las hipótesis que sirvieron de fundamento al cálculo. El desarrollo de la construcción en hormigón armado, posible gracias al conocimiento elástico de las estructuras, nos proporciona el más elocuente ejemplo.

Es preciso tener también en cuenta que, de ordinario, los métodos de cálculo no conducen a resul-

tados de exactitud numérica rigurosa, sino que suministran más bien informes acerca del modo de repartirse las cargas en el interior del cuerpo en cuestión, y que no debe pretenderse llegar, en la deducción de consecuencias, más lejos que permita la exactitud de las hipótesis.

Viene todo esto a propósito de cuestión tan de actualidad y tan apasionante como la de métodos de cálculo y forma de las presas, acerca de la cual he tenido ocasión recientemente de recoger algunas interesantes palpitaciones en Alemania, Suiza e Italia, de que, aun a riesgo grave de repetir lo expuesto en la REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS (1) por el maestro de toda la generación de jóvenes ingenieros aficionados a la Construcción hidráulica, D. José Luis

Gómez Navarro, y por D. Carlos Botín, uno de los más distinguidos entre aquéllos, he de dar cuenta a los lectores.

Como es sabido, hasta hace pocos años todos los proyectistas se colocaban en una de estas dos hipótesis:

- Perfil de gravedad (presa-muro).
- Presa en bóveda.

Cuyo cálculo se funda, respectivamente, en apreciar como único elemento resistente el peso de la fábrica, o en prescindir de éste por completo; hipótesis ambas cuyo carácter extremista es evidente.

En Europa se aceptaba exclusivamente el método primero, cuyas normas fueron establecidas por Lévy, mientras en América se alternaban ambos y se hicieron intentos para combinarlos, tales como los de Gibraltar, Shoshone y Pathfinder.

El cálculo de estas últimas presas se hizo consider-

y el intradós de la clave, que falsearían por completo la estabilidad de la presa.

La única ventaja de la presa en arco es la hasta ahora poco conocida que se deriva de la *rigidez de forma*, puesta de manifiesto en dos accidentes semejantes ocurridos recientemente en los Estados Unidos: habiendo el agua arrastrado uno de los estribos en ambas presas, éstas, a pesar de su perfil muy ligero, han resistido gracias a la forma en arco (1). Según Gruner, se desarrollarían esfuerzos en planos inclinados a  $45^\circ$ , cuya determinación parece muy difícil.

Aunque la argumentación no sea absolutamente rigurosa, creemos interesante la comparación de la estabilidad de dos presas, recta la una, y curva, con radio 450 m, la otra, hecha siguiendo casi exactamente el método del ingeniero B. F. Jakobsen (2).

Suponemos una vaguada de 400 m de ancho en la

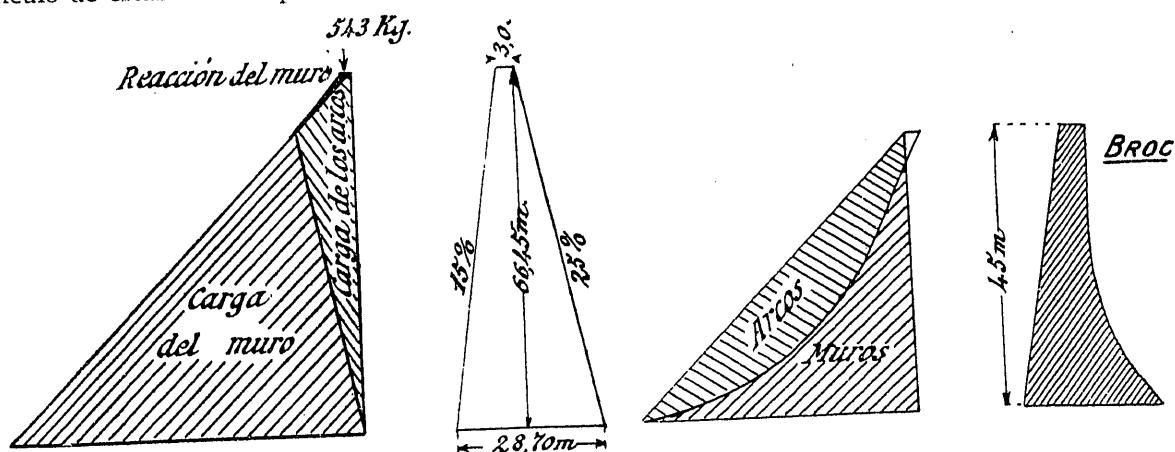


Fig. 1. Distribución de cargas en las secciones centrales de las presas de Pathfinder y Broc.

rando la sección central, correspondiente a las claves de los arcos, y suponiendo que, a cada nivel, la presión hidrostática se reparte entre el arco y el muro en partes proporcionales a su rigidez relativa, o sea inversamente a los desplazamientos sufridos bajo la acción de una fuerza unitaria horizontal aplicada en ese punto del arco o del muro; tal distribución se admite para toda la presa. Esta hipótesis simplista da ya una idea de la repartición de esfuerzos, y puede considerarse como el germen de los métodos más modernos, siendo perfectamente admisible en todo caso para los tanteos preliminares.

Las presas de perfil de gravedad se han construido de ordinario con forma curva en planta, a la que se atribuían dos ventajas principales: la de disminuir, por la referencia de cargas a las laderas, el trabajo del muro, y la de convertir la presión del agua en auxiliar en lo que a la impermeabilidad se refiere.

Cierta siempre esta segunda condición, no lo es igualmente la primera, y la aplicación de métodos de cálculo más de acuerdo con la realidad, ha demostrado que las presas de débil curvatura relativa no presentan tales excelencias sobre las de planta recta, pues de una parte, y como repetidamente han enunciado los ingenieros americanos, «en ninguna presa curva de perfil de gravedad puede admitirse que una fracción apreciable de la carga hidrostática sea soportada por los arcos horizontales mientras no haya fallado la resistencia del muro», y de otra, si la acción de los arcos adquiriera un valor importante, aparecerían, dada la forma muy rebajada de ellos, esfuerzos de tracción en el trasdós de los arranques

parte superior con sección trapecial. Las dos presas tienen 100 m de altura y perfil triangular con talud 0,65 aguas abajo. Densidad de la fábrica, 2,4. Hipótesis de subpresión triangular equivalente en el paramento aguas arriba a 0,5 de la presión hidrostática.

He aquí los resultados:

#### Presa recta:

Volumen.....	650 000 m <sup>3</sup>
Peso.....	1 560 000 t
Subpresión.....	325 000 t
Distancia horizontal del centro de gravedad al borde del paramento de aguas abajo.....	46,05 m
Momento resistente (peso propio)....	$71,7 \times 10^6$ m/t
Momento de vuelco (empuje del agua).....	$41,0 \times 10^6$ m/t
Momento de vuelco (subpresión).....	$14,9 \times 10^6$ m/t

La estabilidad en exceso de la presa vendrá medida por:

$$(71,7 - 14,9 - 41,0) \times 10^6 = 15,8 \times 10^6 \text{ m/t}$$

#### Presa curva:

Volumen.....	663 800 m <sup>3</sup>
Peso.....	1 593 120 t
Subpresión.....	331 900 t
Brazo aproximado del giro del centro de gravedad.....	42,11 m
Momento resistente (peso propio)....	$66,9 \times 10^6$ m/t
Momento de vuelco (empuje del agua).....	$41,0 \times 10^6$ m/t
Momento de vuelco (subpresión).....	$14,0 \times 10^6$ m/t

(1) Véase *Engineering News Record*, 14 de octubre de 1926.

(2) *Engineering News Record*, 12 de junio de 1924.

La estabilidad en exceso será:

$$(66,9 - 14,0 - 41,0) \times 10^6 = 11,9 \times 10^6 \text{ m/t}$$

Como brazo de giro tomamos la media aritmética de las distancias  $G_m$  y  $G_n$ , lo cual aun es favorable a la presa en arco, pues en realidad sería imprudente contar con la porción situada aguas abajo de  $XX$ , que, al iniciarse el vuelco, sería inmediatamente cortada o aplastada.

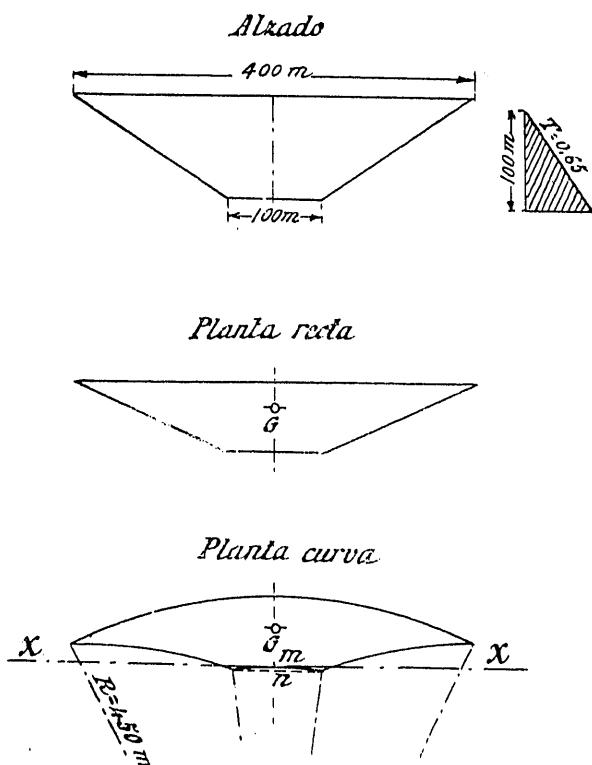


Fig. 2. Comparación de una presa recta y otra curva.

Analizando los resultados anteriores se observa:

1.º Que el volumen de la presa curva es, próximamente, un 2 por 100 mayor que el de la presa recta.

2.º Que, sin embargo, la disminución del radio de giro, debida al desplazamiento hacia aguas abajo del centro de gravedad, reduce en un

$$\frac{15,8 - 11,9}{12,1} = 0,322$$

(un tercio) el valor de lo que hemos llamado estabilidad en exceso de la presa.

Si la subpresión aumentara, hasta tomar aguas arriba un valor igual a la presión hidrostática, se tendría en la presa recta:

Momento de vuelco debido a la subpresión:

$$29,8 \times 10^6 \text{ m/t}$$

|Estabilidad en exceso:

$$(71,7 - 29,8 - 41,0) \times 10^6 = 0,8 \times 10^6 \text{ m/t}$$

Y en la presa curva:

Momento de vuelco debido a la subpresión:

$$28,0 \times 10^6 \text{ m/t}$$

|Estabilidad en exceso:

$$(66,9 - 28,0 - 41,0) \times 10^6 = - 2,1 \times 10^6 \text{ m/t}$$

Es decir, que se produciría el vuelco.

Veamos ligeramente cuál sería la acción de los arcos, y tomemos como ejemplo el correspondiente a una profundidad de 30 m, zona en que dicha acción alcanzará próximamente su valor máximo.

Aplicando la fórmula del mismo Jakobsen, se obtiene, para la deformación del muro, supuesto único elemento resistente, teniendo en cuenta la flexión y el esfuerzo cortante:

$$y = 0,0106 \text{ m}$$

La flecha del arco situado a la misma profundidad, igualmente para carga total, es:

$$\begin{aligned} y &= 0,266 \text{ (empotrado)} \\ y &= 0,209 \text{ (apoyado)} \end{aligned}$$

Es decir, que el arco es unas veinticinco veces menos rígido que el muro, y en un primer tanteo se podrá admitir que las cargas de uno y otro están en esa proporción, o sea que el arco estará cargado con  $\frac{30\,000}{25} = 1\,200 \text{ kg/m}^2$ ; por tanto, como máximo, el alivio producido por la forma en arco será de  $\frac{1}{25}$  de la carga unitaria; mas para soportar el  $\frac{1}{25}$  de la presión de agua tiene el arco que desarrollar, debido a su forma muy rebajada y al empotramiento en las laderas, esfuerzos mucho mayores, que alcanzarían, según indica el citado ingeniero americano, a  $5 \text{ kg/cm}^2$  a compresión, apareciendo tracciones en el trasdós de los apoyos y en el intradós de la clave, y si roto el muro se iniciara el vuelco, los arcos llegarían a soportar esfuerzos de  $200 \text{ kg/cm}^2$ , y seían inmediatamente aplastados.

Va, pues, extinguiéndose la creencia en las ventajas de la presa curva, más cara que la recta, por su mayor volumen y por el aumento de coste unitario, y obras de la importancia de la de Wäggital han sido construidas con planta rectilínea, colocando además a la presa, gracias a sus juntas de dilatación, en condiciones análogas a las de cálculo, lo que permite considerar como efectivas las garantías que éste ofrece (1).

La dificultad constructiva de las juntas de dilatación fué salvada en Wäggital de un modo ingeniosísimo, que permite la súpresión de las planchas de cobre empleadas en otras presas.

Consiste, como expresa la figura 3.<sup>a</sup>, en colocar, albergado en una cavidad de sección pentagonal, que sirve para el moldeo sin más que recubrir las paredes de alquitrán, un prisma de hormigón armado que la presión hidrostática aplica contra la grieta. Para garantía se pueden llenar de arcilla los pozos *a*.

Semejantes son las juntas de la presa de Barberine, cuya cubrejunta es una sencilla losa de hormigón armado, tipo a que también pertenecen las de la presa española de Cala, de planta recta, en construcción actualmente, en la provincia de Sevilla.

La presa de gravedad, cuya resistencia se fía al peso de la fábrica y al rozamiento entre los elemen-

(1) Sin embargo, el Reglamento italiano de 1925 establece taxativamente la curvatura de las presas, autorizando sólo la planta rectilínea para las de cortísima longitud. No puede verse en esto más que una muestra de cómo arraigan ideas de muy discutible fundamento y resisten a todas las argumentaciones.

tos componentes, a pesar de su enorme volumen, tiene coeficientes de seguridad que, al vuelco, no suelen pasar de 1,5, llegando a 2 sólo en raros casos.

Parece lógico hacer intervenir la resistencia intrínseca del material, lo cual supone la adopción de formas adecuadas, y en el estado actual de la cons-

fiesto en los estudios hechos en la presa de Broc, tiene tal importancia que en la mayor parte de los casos es preferible eludirla, bien construyendo la presa por grandes dovelas alternadas, bien dejando juntas de dilatación, por más que éstas estén en contradicción con el principio de la presa-bóveda.

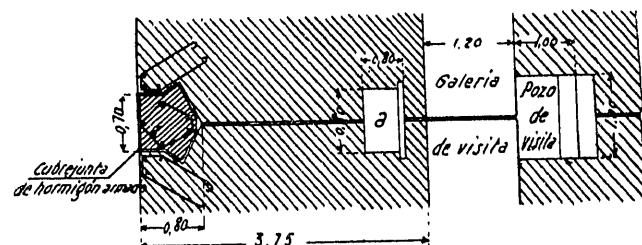
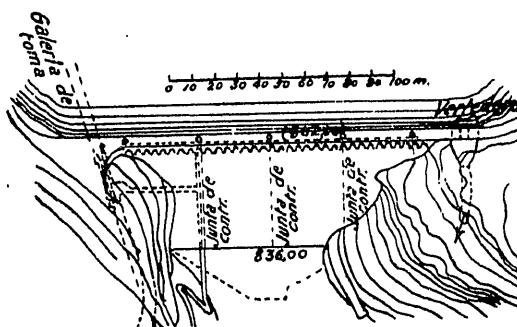


Fig. 3.a Planta de la presa de Wäggital y detalle de una junta de contracción

trucción (prescindiendo de las presas de bóvedas múltiples que, hoy por hoy, pueden considerarse como grupo de obras aparte) sólo se obtiene por la presa en bóveda propiamente dicha.

Cuando la anchura de la garganta no sea excesiva para contar con la acción de los elementos horizontales (y el cálculo y la experiencia, ésta principalmente, por la medición de las deformaciones, fijarán la frontera, quizás muy lejana, del  $a < 3h$ , que hasta ahora ha expresado la zona de las presas bóvedas) (1), procederá la construcción de una obra en arco que resista tanto por su peso como por la acción de sus elementos horizontales, aprovechando la ventaja que de esta disposición puede derivarse, y el cálculo habrá de hacerse necesariamente teniendo en cuenta la influencia de dichos elementos, y muy particularmente del empotramiento en las laderas, la cual, poco conocida hasta ahora, debido a los enormes coeficientes de seguridad de las presas de perfil Lévy, que ya hemos visto que no son, ni mucho menos, piezas de igual resistencia, es extraordinaria y puede falsear por completo la estabilidad de la obra (2).

Hasta hoy, el que más prestigio ha alcanzado, el de fundamento más convincente, es el método de cálculo del Dr. Stucky, adoptado por la Casa H. E. Gruner, de Basilea, y ya sancionado en la presa de Broc (Suiza) y en la de Montejaque, en España, que, separando la carga de agua en dos zonas, sostenida una por los arcos y otra por el muro (más bien por la ménsula, puesto que tiene en cuenta el empotramiento en la base), iguala las deformaciones de unos y otros elementos (3).

Permite este método el análisis de los esfuerzos debidos a los cambios de temperatura, capítulo interesantísimo en el estudio de las presas. Esta influencia puede considerarse dividida en dos partes: la elevación de temperatura debida al fraguado y enfriamiento subsiguiente, y la que produce la oscilación atmosférica anual. Aquella, puesta de manifiesto

Así se hizo en Broc, donde permanecieron abiertas de seis a diez semanas, a pesar de lo cual apareció posteriormente una fisura. La consideración de la curva de temperatura del macizo permite apreciar que hubiera sido necesario prolongar ese período hasta seis meses, al menos. La grieta quedó perfectamente cerrada al poner en carga la presa, de acuerdo con lo que se había previsto. Si la presa tuviera suficiente elasticidad, podría contarse, sin embargo, con que absorbería las dilataciones de este origen, y para ello habría de preverse.

En lo que se refiere a la oscilación anual, la determinación de esfuerzos se hace sin dificultad por el método de Stucky, determinando la carga de agua equivalente.

A tal método, de una extraordinaria perfección lógica, sólo se puede hacer una observación teórica.

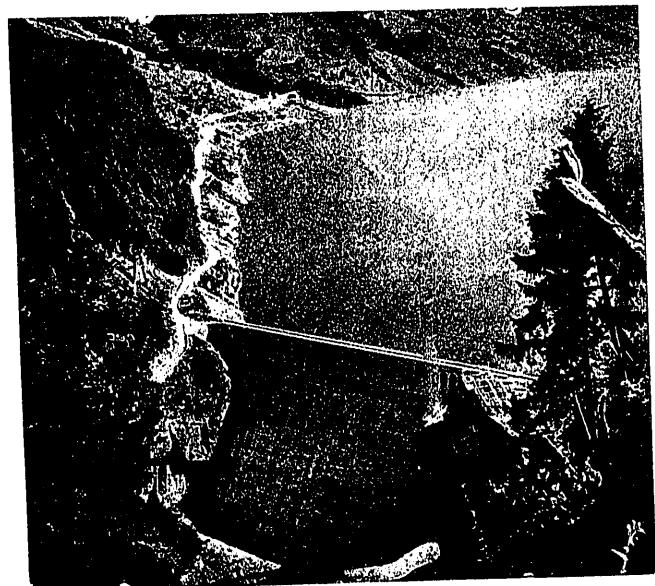


Fig. 4. Presa de Wäggital.

Las variaciones de pendientes en las laderas producen cambios muy bruscos en la repartición de cargas sobre muro y bóveda, cuando, tratándose de tan grandes masas, parece que esta distribución debiera ser más uniforme, con un verdadero *difuminado*.

La figura 6.a lo pone de manifiesto.

Esta imperfección aparente brota de que se limita

(1) Esta relación ha descendido hasta 1/5 en varias presas americanas.

(2) Claro que verdadero riesgo no habrá nunca. En último término, la grieta reemplaza a la junta de dilatación y libera la presa, haciendo lo que faltó al proyectista.

(3) Véase el artículo del ingeniero Sr. Botín, REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS, 15 de julio de 1926, y el *Bulletin Technique de la Suisse Romande*, año 1922.

el estudio en una superficie sin verdadera realidad, como es la de apoyo de la presa, cuando una buena parte de la roca trabaja formando un todo con aquélla, lo que debe tenerse en cuenta al interpretar los resultados.

También se achaca al mismo método la falta de garantía práctica. La presa de Broc, primera construida de acuerdo con aquél, ha sido sometida a minuciosas observaciones para determinar los movimientos de la fábrica que se han representado en la curva (fig. 5.<sup>a</sup>). Desgraciadamente, uno de los puntos

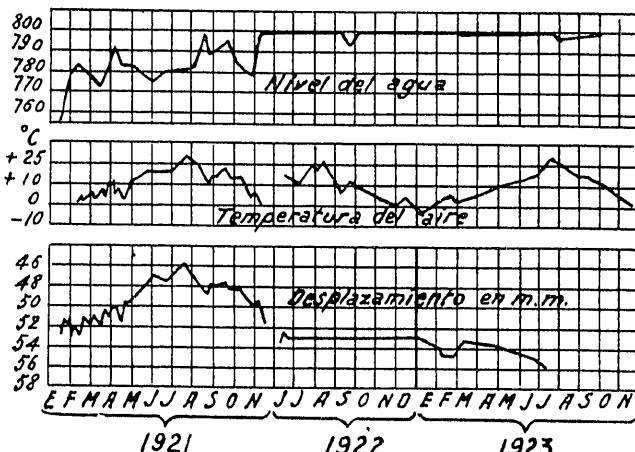


Fig. 5.<sup>a</sup> Deformaciones en la sección central de la presa de Broc.

establecidos para la observación sufrió algún movimiento al hacer explotar unos barrenos en su proximidad, lo que, naturalmente, disminuye la confianza que puedan inspirar los resultados. Esperemos que la de Montejaque suministre alguna conclusión más definitiva; pero es evidente que no se tendrán datos abundantes mientras los Estados no establezcan como condición en las concesiones la obligación, por parte de los constructores, de hacer observaciones y realizar experiencias, tanto en este respecto como en los de temperatura y subpresión, pues el concesionario, lógicamente, se resiste a hacer tal desembolso, por más que su importancia sea pequeña comparada

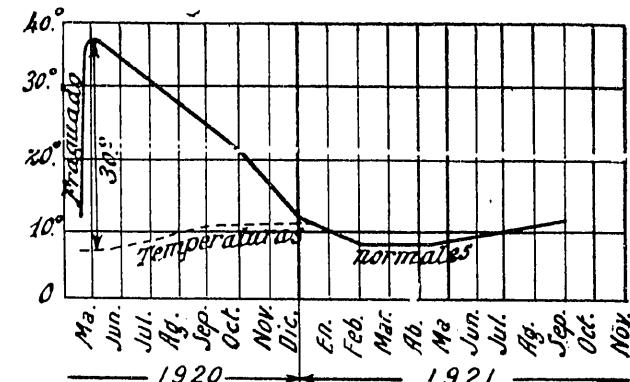


Fig. 6.<sup>a</sup> Temperaturas en el interior del macizo de la presa de Broc.

vando de ellas un verdadero registro, que quizás sirviera para prevenir y evitar alguna catástrofe

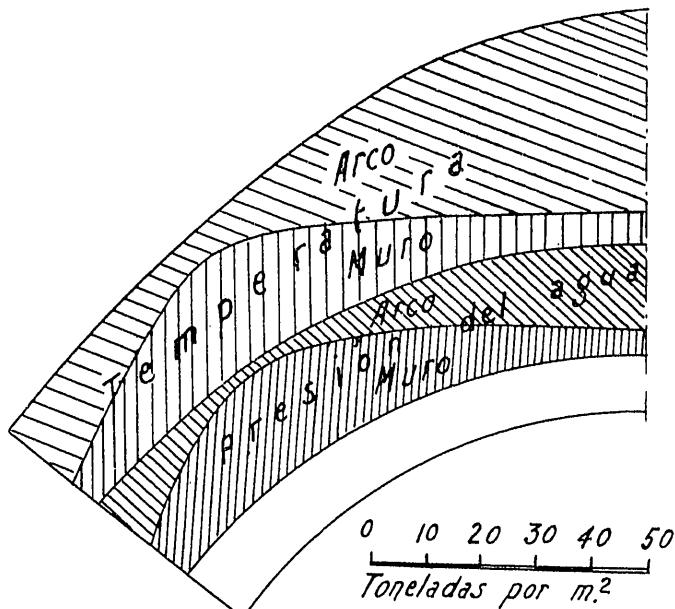


Fig. 7.<sup>a</sup> Presa de Broc.—Repartición de presiones entre el arco y el muro, 20 m. bajo el nivel del embalse.

De todos modos, la resistencia e impermeabilidad de las presas calculadas por el método Stucky, es excelente.

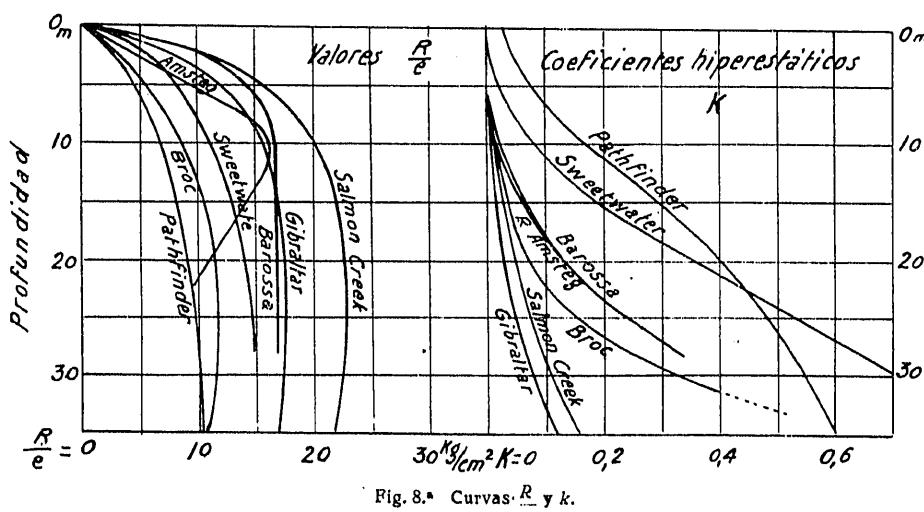


Fig. 8.<sup>a</sup> Curvas  $\frac{R}{e}$  y  $k$ .

con el coste de la presa. Así también se podría vigilar más de cerca el estado de las construidas, lle-

Una vez determinada la curva de presiones en un arco, las cargas en los estribos vendrán dadas por

$$\eta = \frac{R}{e} \pm \frac{\Delta X \cdot v}{W}$$

siendo

$R$  = presión de agua.  
 $e$  = espesor.  
 $v$  = excentricidad.  
 $k$  = coeficiente hiperestático.  
 $\Delta X = k \cdot R$ .  
 $W$  = módulo de inercia.

Y, por tanto, la comparación de las curvas representativas de los valores  $\frac{R}{e}$  y  $k$ , en función de la altura, dará una idea de las cargas a que la presa está sometida si prescindimos de las debidas a las variaciones de temperatura.

Ahora bien, el sumando  $\frac{R}{e}$  disminuye al crecer los espesores, mientras que  $k$  aumenta con la rigidez de la presa; de aquí que no sea la más estable aquella cuyo volumen sea mayor, sino que será necesario un detenido estudio y cuidadosos y repetidos tanteos que lleven a la elección del tipo óptimo.

La presa de Broc, cuyas curvas características

(creemos que puede darse tal nombre a las anteriores citadas) se representan en la figura 8.a, juntamente con las de Amsteg y varias presas americanas, es una muestra de cómo puede llegarse, manejando hábilmente los volúmenes, a proyectar una obra en que se una la economía de material con la resistencia. Se observa que las cargas  $\frac{R}{e}$  son en Broc menores que en Sweetwater, Barossa, Gibraltar y Salmon Creek, lo cual se debe a la gran abertura y pequeño espesor de estas presas, mientras que la de Pathfinder, más maciza, queda por debajo. Al contrario ocurre con los coeficientes  $k$ . El análisis de las curvas no es favorable a la presa de Sweetwater.

El sumando  $\frac{R}{e}$  alcanza pronto 20 kg/cm, y la carga total será próxima a los 35 kg, cifra que se consideraría excesiva en el cálculo hecho por los sistemas empleados para las presas de gravedad, pero que no hay inconveniente en admitir en este caso, dado el mejor conocimiento del régimen elástico, y que, de otra parte, no es fácil reducir en mucho, por el aumento de rigidez que lleva consigo el de los espesores.

E. BECERRIL  
Ingeniero de Caminos

## Revista de revistas

### Transformadores para dos millones de voltios.

La Casa General Electric, de los Estados Unidos, acaba de suministrar a la Universidad "Leland Stanford" un equipo de transformadores para 2 millones de voltios. La tensión es doble de la de cualquier otra instalación análoga hasta ahora realizada, y, en cuanto a potencia, sobrepasa en un tercio la del famoso equipo de la Casa citada, para producir rayos artificiales.

Con esa instalación la Universidad podrá resolver de antemano los problemas de la transmisión de energía a centenares de kilómetros y a altas tensiones, a lo que necesariamente dará lugar la creciente demanda de energía de la región de San Francisco.

El ingeniero Allan B. Hendricks, que proyectó los transformadores, dirigió su construcción, que duró dos años. Se emplearon más de 160 kilómetros de alambre en los devanados, siendo el peso total del equipo 125 toneladas. El transporte duró un mes, y se necesitaron dos más para la instalación.

California posee una potencia hidráulica aprovechable de 7 800 000 caballos, sólo superada por la del Estado de Washington; pero la mayor parte se encuentra tan lejos del mercado, que no resulta económico su transporte con los medios de conducción actuales.

La potencia hidráulica total comprendida en 320 kilómetros a la redonda de San Francisco (1 600 000 caballos) estará probablemente en explotación antes de diez años. Al crecer la demanda más allá de ese límite, como consecuencia del aumento de población, la energía habrá de ser llevada desde los ríos Klamath y Rogue, a 640 kilómetros, y aun del río Columbia, a 1 127 kilómetros al Norte. En total, unos 2 700 000 caballos disponibles.

El transporte de energía a una distancia tan considerable no es económico con los actuales medios electrotécnicos, salvo empleando tensiones elevadísimas.

En la Universidad antes mencionada se ha edificado un laboratorio de estructura metálica con bastante te-

rreno adyacente para construir una línea de transmisión de varios kilómetros y poder hacer los ensayos en condiciones parecidas a las de utilización.

El director de ese laboratorio es el profesor Harris J. Ryan, autoridad en fenómenos de alta tensión y ex presidente de la Asociación de Ingenieros Electricistas de los Estados Unidos, quien se dedicará exclusivamente a la investigación.

El laboratorio está dotado con seis transformadores para 60 períodos y 350 000 voltios, conectados en cadena (especie de conexión en serie indirecta) y montados en dos grupos de a tres. La distancia de cada aparato al suelo va creciendo y es de unos 6 metros desde la punta del aislador del tercer transformador.

Con sólo tres transformadores conectados en cadena se obtienen 1 050 000 voltios entre el terminal de alta del tercero y tierra. Con las seis unidades se pueden obtener 2 100 000 voltios entre terminales extremos. Con esta última tensión se obtuvo en la fábrica de la General Electric, en Pittsfield (Mass.), durante los ensayos, una distancia disruptiva, o sea un arco de 6 metros.

Refiriéndose a la importancia del laboratorio de "Leland Stanford", el profesor Ryan dice:

"El 60 por 100 de la energía hidráulica de los Estados Unidos está en la costa del Pacífico y territorio inmediato. Las fuentes de esa energía están, generalmente, en las mayores altitudes, a menudo a 161 y 322 kilómetros del centro de consumo.

"El aumento de la población en el litoral del Pacífico, sus centros de consumo y la distancia a las fuentes de energía guardan estrecha relación. Es muy razonable esperar que para 1935 estarán en explotación los saltos de agua aprovechables a distancia económica de la región de la bahía de San Francisco y que se empleará tensión de 220 000 voltios en el transporte de la energía. Los centros de consumo de los Angeles, Portland y Seattle están a distancia económica de las grandes fuentes de energía de los ríos Colorado y Colum-