

Presas de gravedad y presas de bóvedas múltiples

I

La forma planimétrica en arco de las presas era adoptada ya en la época remotísima del origen de este género de construcciones. Esta forma tienen las presas que sirven para el abastecimiento de agua de Aden, anteriores a la Era cristiana; y a dicha disposición, muy pronunciada por cierto, y a estar abrigadas por terraplén contra las variaciones de temperatura, se atribuye el que hayan alcanzado nuestro tiempo, mientras que otras muy posteriores no han podido sufrir los rigores de la edad y se han derruido o ha sido preciso derribarlas.

Las clásicas presas de embalse españolas (Almansa, Tibi, Elche, etc.), construídas en la segunda mitad del siglo XVI, también tienen dicha forma planimétrica.

Conocidas son las ventajas de ésta: refieren, en parte, la presión a los estribos, de manera que, aun calculadas como presas de gravedad, dicha disposición da un margen de garantía, y además cierta flexibilidad de adaptación con las variaciones de flecha a las de longitud, como consecuencia de las de temperatura. Y, en caso de que éstas originen grietas, los macizos de presa que quedan entre ellas funcionan como dovelas de una gran bóveda, comprimiéndose mutuamente, en virtud de la presión hidrostática, y tendiendo a cerrar dichas grietas.

El ingeniero Jorgensen, en un artículo publicado en *Journal of Electricity*, de abril de 1920, y titulado «The Record of 100 Dams Failures», cataloga 100 desastres de presas ocurridos desde 1799 a 1920; y entre éstas, 65 son de tierra; 23, de gravedad; 4, de hormigón armado, y 8, de otros tipos. Entre las de

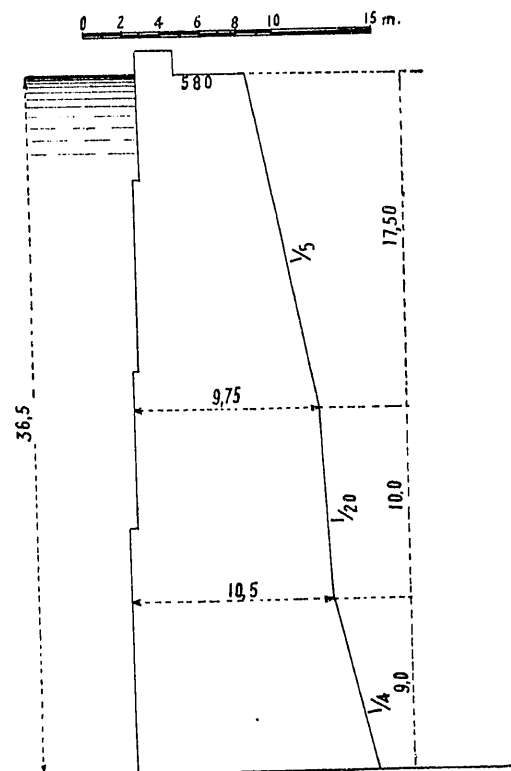


Fig. 1.ª Perfil de la presa de Zola.

gravedad sólo figuran 2 de planta curvilínea, y ninguna de bóveda.

No hay norma segura para determinar, en las pre-

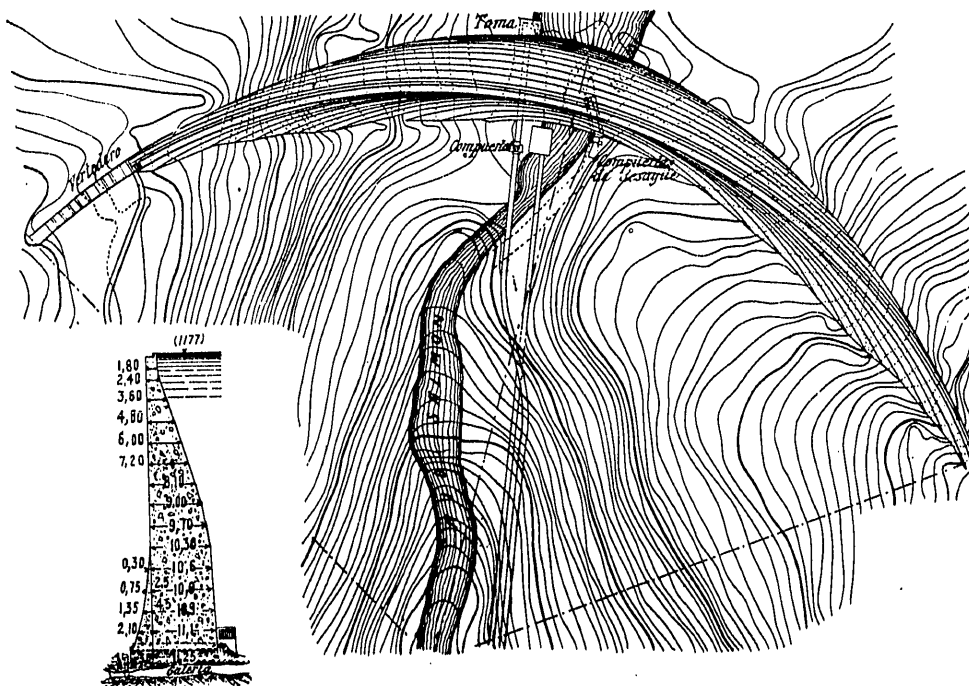


Fig. 2.ª Planta y perfil de la presa de Salmon Creek.

sas de planta curva, en qué proporción se refieren las presiones a los estribos o a la cimentación. Aquella ha de depender del radio de la curva, de la cuerda

que abarque el arco y de la altura de la presa. Es evidente que ha de variar en razón inversa de dicha cuerda, y, por tanto, en gargantas muy estrechas con estribos de roca es natural pensar que las presas trabajen principalmente como bóvedas y que se calculen como tales, consiguiendo así una gran disminución de fábrica.

La primera presa de que tenemos noticia que se proyectó obedeciendo a esta idea es la de Zola, en la Provenza, construída por el ingeniero Tholonet en 1830 (fig 1.^a).

Después se han construído muchas de este tipo.

el efecto de la bóveda es insignificante; tomará importancia a partir de 1,80, y será preponderante desde 1,50 hacia abajo. Sin embargo, en algunos casos se ha sobrepasado esta última cifra. Sirva de ejemplo la presa de Salmon Creek (E. U.) de 157 m de cuerda y 51 m altura, con 14,10 m de espesor en la base (fig. 2.^a).

Al tipo de presa bóveda pertenece la esbeltísima de Montejaque, sobre el río Gadaures (provincia de Málaga), que tiene 73 m de altura (85,90 hasta el punto más bajo de cimientos) y 66 m de cuerda (figuras 3.^a y 4.^a).

Actualmente, y para abastecimiento de los Ange-



Fig. 3.^a Presa de Montejaque sobre el río Gadaures (Málaga).

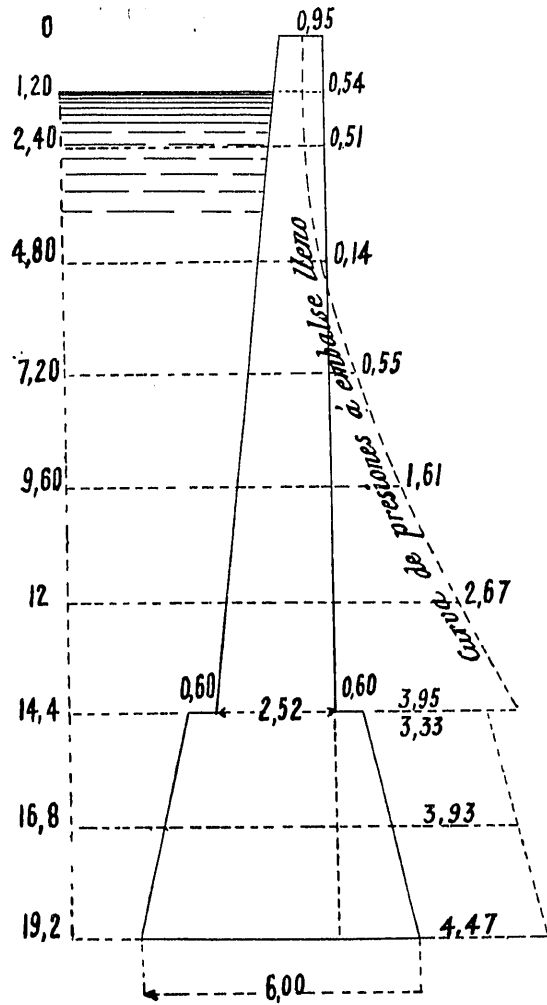


Fig. 5.^a Sección de la presa antigua de Bear Valley.

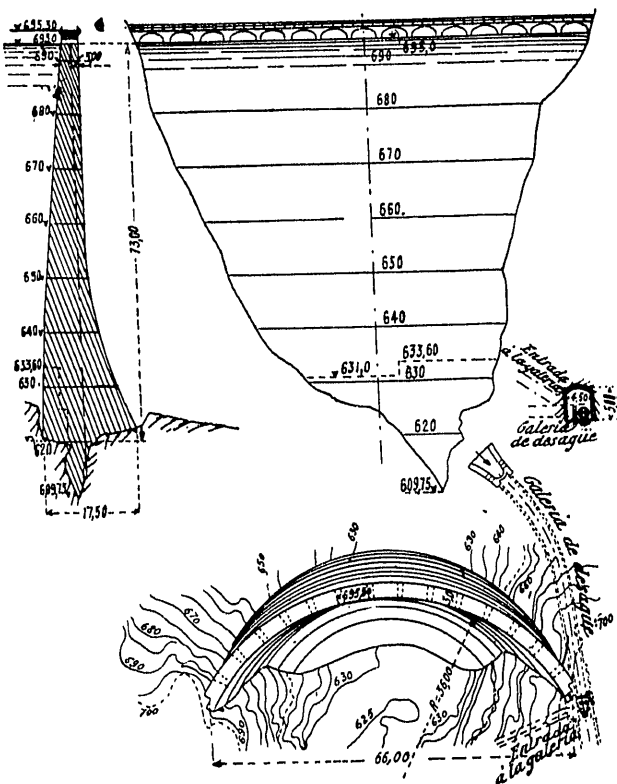


Fig. 4.^a Planta, alzado y corte de la presa de Montejaque.

les (California), se está construyendo una, la de Pa-coima, en bóveda, que alcanzará 114 m de altura y 150 m de longitud, con espesor máximo en la base de 30 m y radio decreciente desde 96 a 36 m de la coronación a la base.

Hasta ahora no se ha derrumbado ninguna presa en bóveda, a pesar de las atrevidísimas construcciones que en este tipo se han ejecutado. Como ejemplo, pongamos la de Bear Valley (E. U.) (figuras 5.^a y 6.^a), de altura escasa, 14,64 m, ancho en la coronación 0,97 y en la base 2,57. La fábrica resultaba trabajando a 60 kg por cm². Y aunque resistió bien, sin duda se temió por su seguridad y se determinó construir aguas abajo (fig. 7.^a) otra presa de bóvedas múltiples, que anegó a la primera.

A fin de obtener datos experimentales que sirvan

Resal (*Annales des Ponts et Chaussées*, 1919) dice que cuando la relación entre la luz y la altura es 3,

de norma para el proyecto de las presas bóvedas, se ha formado en Norteamérica una Asociación de ingenieros (Engineering Fundation), que está construyen-

grama. (*Engineering News Record*, 14 mayo 1925; *Energia Elettrica*, julio 1925; *Le Genie Civil*, 2 enero 1926.) (Fig. 8.^a)

Pero la elección del tipo de presa bóveda requiere condiciones morfológicas especiales de ubicación: gola estrecha y gran solidez en los estribos. ¿Y no cabría corregir en esto a la Naturaleza, dividiendo, por medio de pilas o contrafuertes, un perfil abierto de cauce que proporcione buena cimentación a la presa, y volteando bóvedas entre ellos? Esta idea sugirió, sin

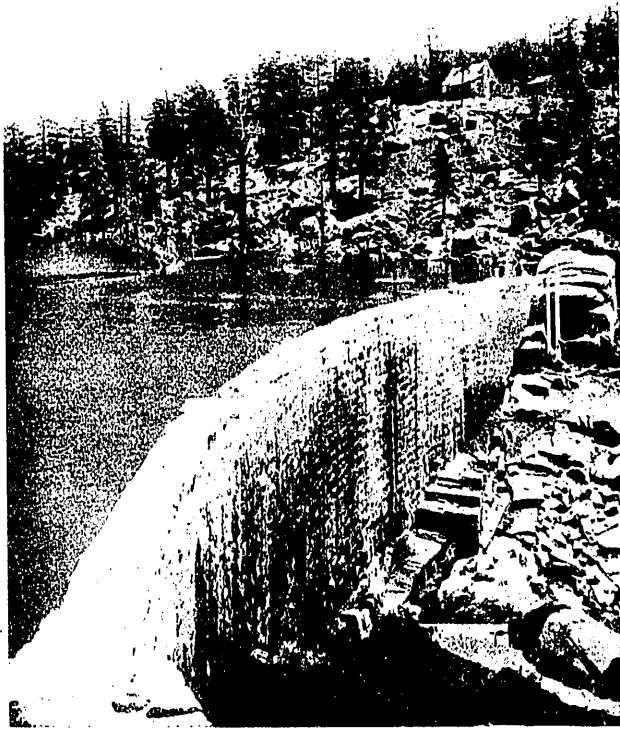


Fig. 6.ª Presa antigua de Bear Valley.



Fig. 7.ª Presas nueva y antigua de Bear Valley.

do una presa de este tipo sobre el arroyo Stevenson, que alcanzará, primero, una altura de 18 m y se elevará luego a 30 m. En uno de los estribos se construye un macizo de gravedad, en el que se proyectan disposiciones con el fin de estudiar las reacciones que la bóveda transmita. Esa presa se someterá a cargas hidrostáticas crecientes, hasta determinar su rotura, verificándose, a la vez, las observaciones y comprobaciones necesarias con arreglo a un amplio pro-

duda, el tipo de bóvedas múltiples, que aparece por primera vez hacia 1800 en la de Meer Allum, para abastecimiento de la ciudad de Hyderabad (India). Se trata de un ejemplo de reducida altura, 15 m. con longitud total de 800 m, y está formada de 21 arcos de luces, que varían entre 21 y 44 m. La figura 9.^a representa el arco de mayor luz. Las generatrices son verticales. El espesor es en casi toda la altura de 2,55 m, reduciéndose a 0,90 en la coronación.

Este ejemplo parece aislado en un gran lapso de tiempo. En 1898 surge otro en Nueva Gales del Sur (Australia), en la presa de Belubula, situada en una garganta estrecha y dividida en varios cauces profundos por restingas centrales de roca. Y el ingeniero Schulze proyecta y contruye una presa de bóvedas múltiples de ladrillo, que es el material más barato de la localidad. La presa tiene una altura máxima de 18 m y 130 de longitud.

El tipo actual de presa de bóvedas múltiples fué ideado por Dickson, en 1892. En 1897 el ingeniero

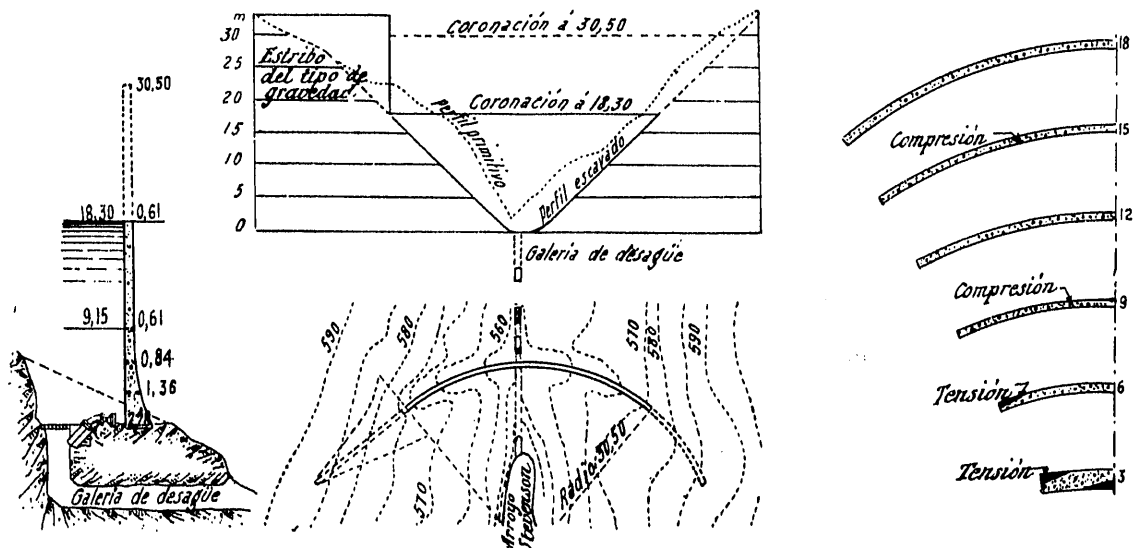


Fig. 8.ª Planta, alzado y cortes de la presa de experimentación sobre el arroyo Stevenson.

Goldmarck propone construir una presa de este tipo en Ogden (Utah, E. U.), que debía tener 110 m de longitud y 31,50 de altura por encima de cimientos, con pilas de 4,8 m de ancho y separadas 9,60. Las bóvedas con generatrices verticales e impermeabiliza-

(Ambursen) y el de bóvedas; en ambos casos formando un paramento inclinado sobre la horizontal. Indudablemente, el segundo tipo es más perfecto, porque aprovecha mejor las condiciones de resistencia de las bóvedas y contrafuertes.

A este respecto puede verse la comparación que hacía de estos dos tipos el ilustre y llorado maestro Zafra, apóstol de esta clase de material, en la conferencia que dió en 1.º de marzo de 1912, en el Instituto de Ingenieros Civiles, con el título «El hormigón armado y los grandes embalses», publicada después por la citada entidad.

En el comienzo del empleo del hormigón armado en las construcciones hidráulicas, las alturas de las presas eran moderadas: inferiores a 30 m. Pero después, fiados en el éxito conseguido, los ingenieros salvan con ellas alturas mayores y se utilizan los espesores.

Y una vez más, en el dinamismo consiguiente de las ideas humanas, se origina el movimiento pendu-

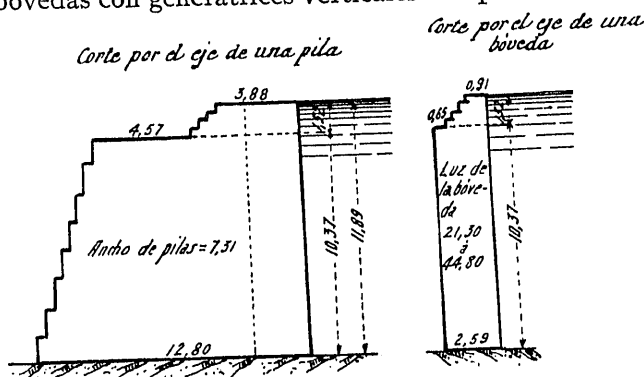


Fig. 9.ª Presa de bóvedas múltiples de Meer Allum.

das con revestimiento de láminas de acero. No tenemos noticia de que se construyera esta presa.

Wegmann proyectó en 1900 una presa de este tipo, de 48 m de altura, con un ahorro del 15 por 100 sobre el tipo de gravedad. Pero no se construyó ante las dificultades que esto hubiera llevado consigo en una época en que sólo se había aplicado este tipo a dos presas bajas.

Por entonces empieza a tener aplicaciones prácticas el hormigón armado, esa gran conquista de la ingeniería moderna, y se inicia el empleo del prodigioso material en las construcciones hidráulicas. Y empleando éste, Eastwood, en 1908, construyó la presa del lago Hume, en Sierra Nevada (California). La longitud de ella es de 203 m y su altura 18 m. El mismo ingeniero construyó, en 1910, la presa de Bear Valley, de bóvedas múltiples a que antes nos referimos. La altura es de 27,40 m, y su longitud 105. También es autor Eastwood de otras trece presas de este tipo, entre ellas las del lago Hodge (figuras 10 y 11),

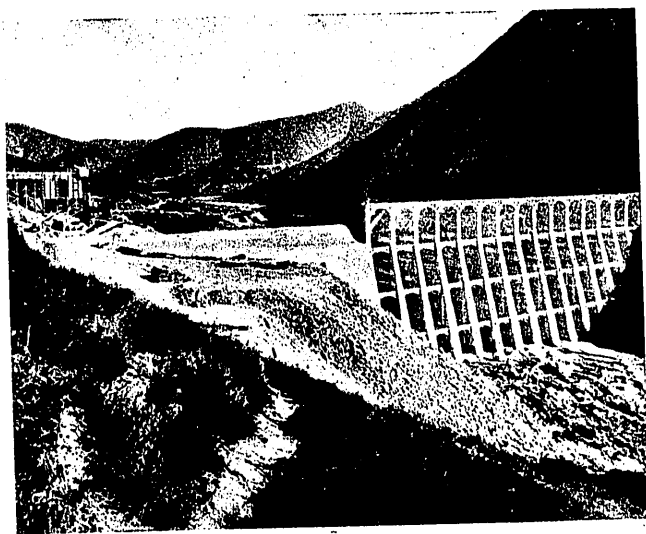


Fig. 11. Presa Lake Hodges, vista desde aguas abajo.

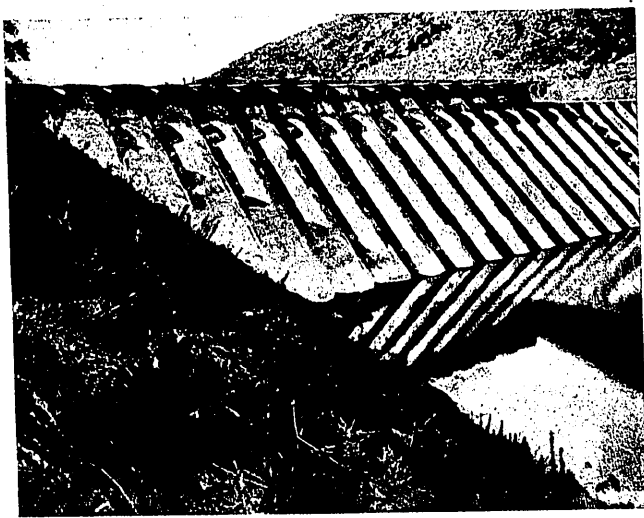


Fig. 10. Presa de Lake Hodges, vista desde aguas arriba.

Mountain Dell (figuras 12 y 13) y Murray; y en Norteamérica e Italia, especialmente, se difunde bastante este género de construcciones.

Se distinguen en las aplicaciones del hormigón armado a las presas dos tipos: el de pantallas planas

lar. En estas construcciones se llega a sobrepasar el límite de prudencia, que debe tener por base los resultados de la teoría avalados por la experiencia. Y un fracaso originado por atrevimiento excesivo u osadía de los neófitos o incompetentes, o efecto de causas extrínsecas a las condiciones del material, de su empleo, o de su disposición en el proyecto, determina un límite de este movimiento pendular. El clamoreo del público por los desastres que la ruina de toda obra hidráulica de embalse lleva consigo influye en el espíritu de los encargados de aprobar los proyectos e inspeccionar este género de construcciones, y, como consecuencia, dictan normas restrictivas para dichos proyectos y para el funcionamiento de las presas, ya anteriormente construídas con más libertad de acción.

Así pasó en las presas de gravedad. Obedeciendo a la teoría de Delocre, a la que se ajustaron la de Furens, Villar y otras, que marcaron el principio del método racional de cálculo para las presas de igual resistencia, se construyeron, a partir de 1860, multitud de ellas. Pero ocurrieron algunos desastres, y entre ellos, el de Bouzey, en Francia, que aparte de los daños materiales ocasionó la pérdida de ochenta

y seis personas. Y esto determinó la adopción de limitaciones extraordinarias en el proyecto de las presas, obedeciendo a las comunicaciones de Maurice

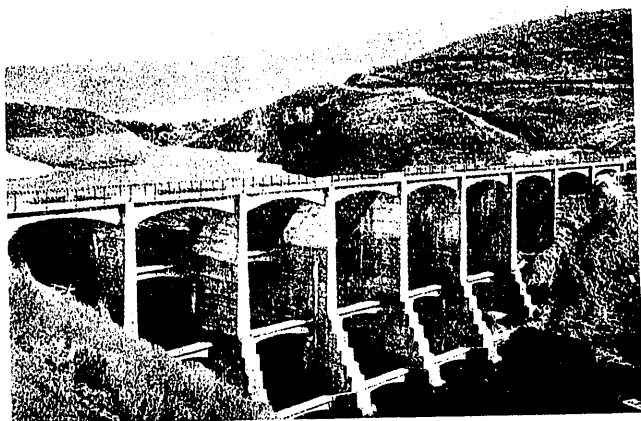


Fig. 12. Presa Mountain Dell.

Levy (1), en virtud de las cuales la presión para cualquier punto del paramento de aguas arriba tenía que superar a la carga hidrostática; lo que equivale a suponer en la junta horizontal correspondiente una subpresión, con repartición rectangular de igual altura de carga que la hidrostática. Además, aconsejó drenajes junto al paramento de aguas arriba; y en las presas construídas, la aplicación de una pantalla impermeabilizadora, con drenaje detrás de ella.

Y obedeciendo a la primera prescripción, han venido ejecutándose en Francia, y en la mayor parte de las demás naciones, entre ellas España, presas de perfil muy robusto. Pero los americanos comenzaron a reducir éste, partiendo de una hipótesis de subpresión nula o de repartición triangular restringida. Y en vista del buen resultado de estas presas, y teniendo en cuenta la gran economía que con respecto al perfil de Levy se obtiene, los franceses rectificaron las normas anteriores en unas nuevas recientes (circular del 19 octubre 1923, *Annales des Ponts et Chaussées*, noviembre-diciembre 1923), y en ellas no se tiene en cuenta la subpresión. En las normas vigentes italianas, que están en vías de modificarse, la subpresión entraba en el cálculo en relación con la calidad del terreno de cimientos, suponiendo un prisma hidráulico de sección triangular, siendo un cateto el ancho de la junta, y el otro la carga hidrostática afectada de un coeficiente, que varía entre 1 cuando el terreno de cimientos puede originar filtraciones y 0 cuando es muy compacto.

En las presas de bóvedas múltiples el límite de dicho movimiento pendular lo marcó el desastre de Gleno, ocurrido en 1.º de diciembre de 1923, que ocasionó seiscientas víctimas. (Véase el notable artículo del ingeniero Sr. Fungairiño, en la REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS, 15 de abril de 1924). Las causas de esta

catástrofe no se han podido puntualizar exactamente. Tanto los informes particulares como el de la Comisión oficial que se nombró para esta investigación en Italia, adolece de falta de datos precisos para sacar las debidas consecuencias. El agua arrasó la parte que falló por deficiencias de estabilidad, y no se pudo examinar si éstas eran ocasionadas por defectos de ejecución o del terreno de apoyo, y si las hipótesis del proyecto respondían a las condiciones del sitio. No obstante, según se deduce del informe oficial (*Annali dei Lavori Pubblici*, fac. V, 1924), parece que la causa original fué debida a insuficiencia estática de la mampostería de apoyo de la parte central de la presa, siendo esta deficiencia intrínseca y de posición. Intrínseca, porque la mampostería no era suficiente a resistir la presión hidráulica, y de posición, por las superficies de apoyo inciertas sobre la roca y la solución de continuidad creada por la galería de descarga (de 10 m de altura por 4 m de ancho). Añade, además, que no consideran causa de la catástrofe ni movimientos sísmicos, no apreciados en los Observatorios en aquel luctuoso día, ni causas exteriores a la presa; y que, a pesar de los defectos de la superestructura (composición y mano de obra), creen que ésta hubiera podido resistir al no haber fallado la base. Hay que recordar que en el informe que die-

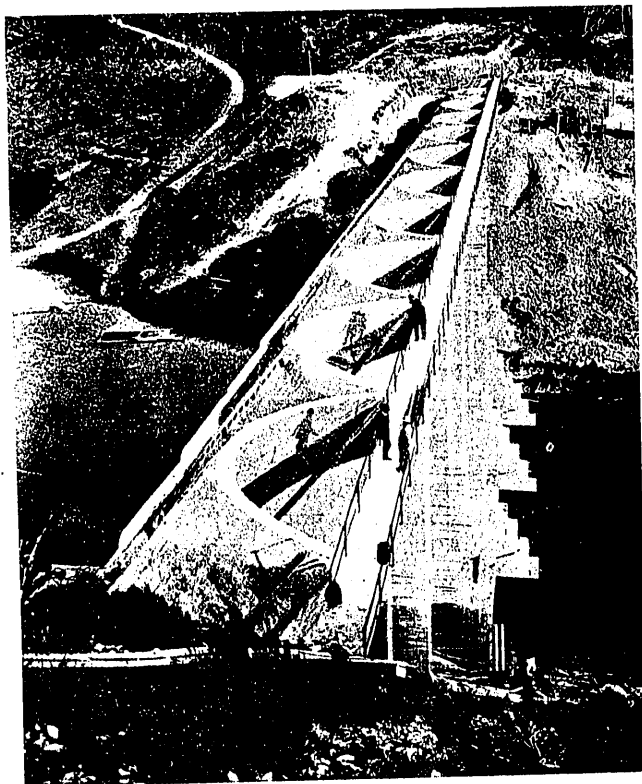


Fig. 13. Presa Mountain Dell.

ron los ingenieros que nombró la Empresa constructora, se achacaba a un atentado el derrumbamiento de la presa.

José Luis GÓMEZ NAVARRO
Profesor de la Escuela de C., C. y P.

(1) Academie des Sciences, 5 agosto 1895, 2 mayo 1896, 4 julio 1898.