

nes, y qué influencia perniciosa ejercen en la Arquitectura moderna! Porque no están dichas al azar de una discusión, sino que son una confesión de la impotencia que sienten los arquitectos de hacer «sólido el cálculo», como decía, con frase lapidaria, mi exce-

celles du grand siècle pendant lequel on construisait mal. Les ingénieurs qui ont fait des locomotives n'ont pas songé à copier un attelage de diligence.»

Esto escribía Viollet-le-Duc hace más de sesenta años, y sin que se retoque un concepto, ni se tilde una línea, es aplicable a lo que ahora pasa también con el empleo del hormigón armado, nuevo material que ha venido a enriquecer los recursos del constructor.

Y si la importancia estética, Sr. Torres Balbás, no es condición que se adquiere, como dice muy bien, por la riqueza, magnitud y demás cualidades externas de las obras, sino que depende de otras más íntimas y sutiles, ¿no es un error esencial distribuirlas entre ingenieros y arquitectos, según la clase de los materiales empleados? ¿No es uno de los poderes mágicos del Arte ennoblecer con su soplo divino las obras y materiales más humildes?

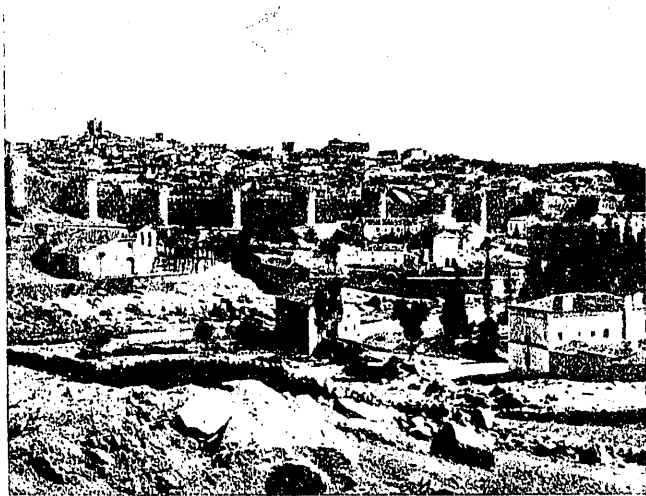
\* \* \*

La colección de esta REVISTA comprueba, que no es esta la primera discusión, ni será la última, entre arquitectos e ingenieros, tal vez por ser profesiones hermanas; pero felizmente no ha sido para sembrar rencores, sino para posibilitar una fecunda cosecha de realidades artísticas y constructivas, cualidades que no cabe separar. Por eso he dicho, y lo repito, que así como el arquitecto estudia la ciencia del constructor, el ingeniero adquiere cultura artística que le permite llevar con autoridad y competencia la dirección de un trabajo como el del proyecto y construcción del nuevo puente de Toledo, que por formar parte de una vía de comunicación del Estado y ser obra de las más características de la profesión del ingeniero de Caminos, a éste incumbe realizar, solo, o mejor con colaboraciones artísticas a él sometidas.

En cambio, son muchos y muy importantes los edificios monumentales en que corresponde la dirección a los arquitectos, y éstos requieren la intervención subalterna del ingeniero.

Y no hay desdoro para nadie en semejantes conjunciones. En poner cada cual su alma en el papel que le corresponda en la obra está el secreto de que la pura belleza surja, como armoniosa síntesis de los esfuerzos individuales. No de otra manera nacieron aquellos maravillosos templos de Grecia en que colaboraron íntimamente constructores, artistas de toda clase y obreros, sacrificando su personalidad—con ejemplar elegancia de gesto—en el ara del ideal común, y por ello crearon obras inmortales en que la piedra fué espléndida cristalización de los más nobles sentimientos de una raza.

Vicente MACHIMBARRENA  
Ingeniero de Caminos



Avila y sus murallas.

(Fot. Moreno)

lente amigo Sr. López Otero, al definir la obra constructiva actual de arte, siguiendo la lección de las buenas épocas del pasado.

Es fatal para su arte ese abandono del hierro y del hormigón armado, materiales que la realidad impone, pero que los acogen con evidente desdén, en general, nuestros arquitectos.

El conflicto no es nuevo, pues va envejeciendo el uso del hierro en la construcción. Cuando apareció este material, a mediados del siglo XIX, el célebre arquitecto y crítico francés Viollet-le-Duc, al describir las propiedades del hierro, se sentía incapaz de emplearlo de una manera original, y con fina ironía escribía—sin que haya perdido actualidad—lo siguiente:

«Je sais que les formes auxquelles conduisent l'application raisonnée des moyens de structure fournis par notre temps, ne sont pas absolument classiques, qu'elles s'écartent un peu de certaines traditions précieuses; mais si nous voulons de bonne foi inaugurer l'ère d'une structure nouvelle, en rapport avec les matériaux, les moyens d'exécution, les besoins et les tendances modernes vers l'économie raisonnable, il faut bien se résoudre à laisser quelque peu de côté les traditions grecques, romaines, ou

## Presas de gravedad y presas de bóvedas múltiples <sup>(1)</sup>

### II

Al entrar en la práctica constructiva el tipo de presas de bóvedas múltiples, tan esencialmente diferente del de gravedad, la opinión técnica se divide en dos grupos. El más nutrido es partidario del tipo ya clásico de presa de gravedad, que la práctica ha

sancionado, a pesar de aislados fracasos, imputables siempre o casi siempre a defectos de cimentación. A la vista de la gente profana, esta clase de construcción, con su amplia y maciza estructura, da más convencimiento de solidez que el tipo de bóvedas múltiples con su fábrica aligerada y espesores sutiles; opinión que no hay que despreciar en construcciones como éstas, en que entran en juego múltiples intereses, y que tantos desastres pueden ocasionar con su derrumbamiento, cuya importancia no igualan los que

(1) Véase REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS, núm. 2 451, página 2. 5.

se originan con la caída de otras obras importantes de ingeniería.

Otro grupo lo forman los partidarios de las presas de bóvedas múltiples, al que se afilian, principalmente, jóvenes llenos de espíritu progresivo y conocedores de los prodigios del hormigón armado.

En donde encuentra más aplicación este último tipo es en Italia y en Norteamérica. En aquélla, antes del desastre de Gleno, la actividad técnica se inclinó de tal modo en favor de él, que, como se dijo por alguien, poco menos que se consideraba el tipo de

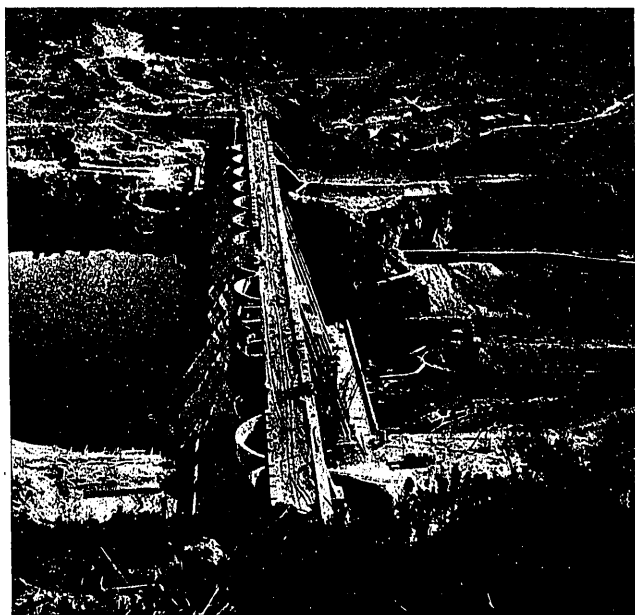


Fig. 1.ª Presa de Tirso.

gravidad como un recuerdo del pasado, relegado ya a la categoría de las construcciones históricas. Y así vemos que en 1923 hay construídas las presas de Tirso, de 65 m de altura (1) (fig. 1.ª); Combamala (fig. 2.ª)

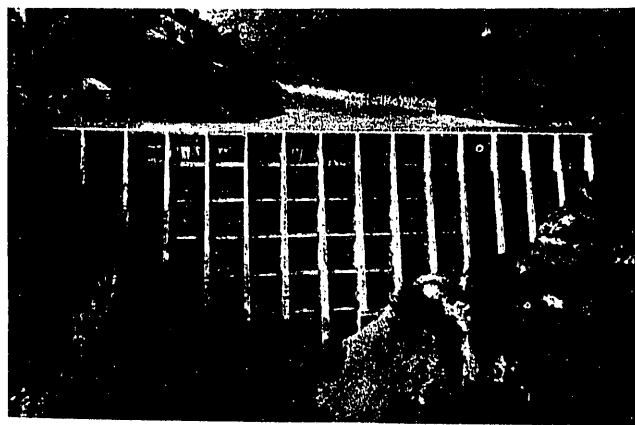


Fig. 2.ª Presa de Combamala, vista desde aguas abajo.

(de bóvedas planas), de 42 m; Scoltenna (figuras 3.ª y 4.ª), de bóvedas, de 24 m de altura; Zolezzi, de 21, y Piano Sapeio, de 20. De los embalses que estas presas originan, sólo tiene importancia el del Tirso, de 416 millones de m<sup>3</sup>. Los demás no llegan al millón.

(1) REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS, números 1 y 15 julio 1925.

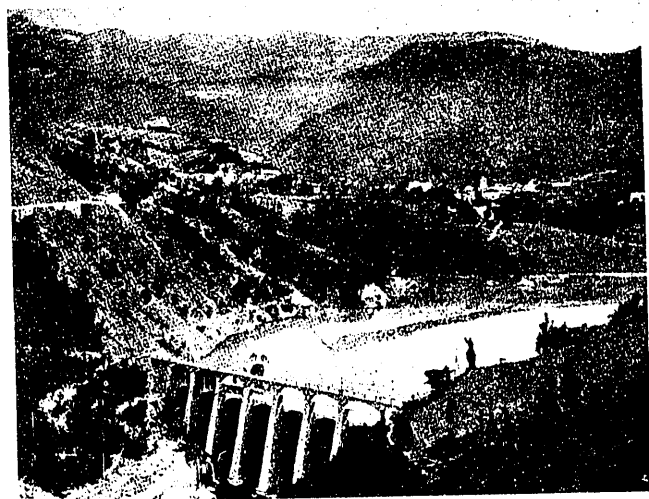


Fig. 3.ª Presa de Scoltenna.

En el mismo año hay en construcción en Italia nueve presas de bóvedas múltiples, que se indican en la siguiente relación (1):

Indicación de la presa	Altura máxima m	Volumen del embalse m <sup>3</sup>
Suviana . . . . .	87	43 000 000
Camplicciolo . . . . .	65	10 000 000
Pavana (fig. 5.ª) . . . . .	57	1 000 000
Arda . . . . .	51,6	14 000 000
Venina . . . . .	50	10 000 000
Tidone . . . . .	48	12 700 000
Lago Nero o Val Goglio . . . . .	34	3 000 000
Lago Toggia . . . . .	33	3 000 000
Sernelo . . . . .	13	300 000

Los proyectos de esta clase de presas son mucho más numerosos, y algunos para embalses y alturas que superan a las cifras anteriores.

En Norteamérica, según Noetzli (2), desde 1908 a 1921 se construyeron 33 presas de bóvedas múltiples, la mayor parte de ellas de alturas inferiores a 30 m y 100 del tipo Ambursen (de bóvedas planas), una de éstas de 45 m de altura sobre cimientos. Entre esta producción americana son dignas de mención las siguientes:

INDICACIÓN DE LA PRESA	Altura Metros
Palmdale (figuras 6.ª y 7.ª) . . . . .	44,20
Mountain Dell . . . . .	37,10
Cave Creek (fig. 8.ª) . . . . .	36,50
Weber Creek . . . . .	36,60
Guayabal (Puerto Rico) . . . . .	30,50
Salt Creek . . . . .	25,50
Cisco . . . . .	25
Gem Lake . . . . .	21,60
Bear Walley . . . . .	18
Eleanor Lake . . . . .	41
Prele . . . . .	

(Esta última del tipo Ambursen.)

La mayor parte de estas presas están situadas en comarcas semidesiertas, con una escasísima densidad de población. Ninguna domina urbe importante. Y, por tanto, el peligro de desastre, en caso de rotura, es mínimo.

(1) *Annali delle Utilizzazioni delle acque*. Anno 1924. Fasc.º 1.º  
(2) *Energia Elettrica*. Giugno 1925. Artículo de Luigi Kambo.

Llamamos la atención respecto a la atrevida presa de Cave Creek, representada en la figura 8.<sup>a</sup>. La altura máxima, desde la coronación al fondo de cimientos, es de 37,10 m (18,80 m sobre el cauce). No tienen los contrafuertes ningún arriostamiento, ni siquiera pasarela en la coronación. Los vanos, en número de 38, son de 13,40 m de luz.

No quiere suponer lo anteriormente indicado que predomine en Norteamérica este tipo de presas. An-

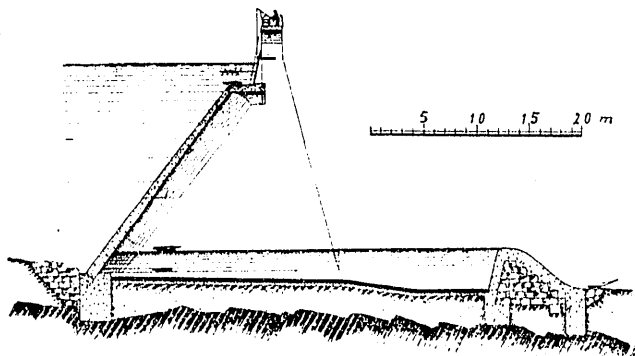


Fig. 4.ª Corte transversal de la presa Scottenna.

tes al contrario, en el enorme desarrollo de aprovechamientos hidráulicos que en dicha nación se ha realizado, y está realizándose en los últimos años, las presas de bóvedas múltiples están en insignificante minoría. Así, por ejemplo, en el proyecto de abastecimiento de Los Angeles, que comprende la ejecución de unas 10 presas de tierra y fábrica, al tipo de bó-

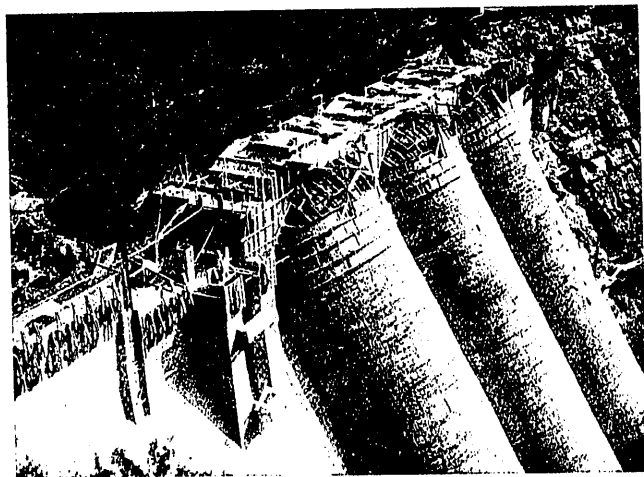


Fig. 5.ª Presa de Pavana, lado de aguas arriba.

vedas múltiples, se reserva un embalse de 1,48 millones de m<sup>3</sup>, con altura de 47 m (1). Con destino al abastecimiento de San Francisco de California se ha inaugurado recientemente la presa de O'Shaughnessy, construida por el ingeniero del mismo nombre, que tiene 105 m de altura, dispuesta para elevarse a 129 m. Está en construcción adelantadísima la presa y central de Wilson (Mushcle Soals) (fig. 9.<sup>a</sup>), con 36 m de altura, 1 400 m de longitud, que desarrollará

(1) Entre las presas de gravedad para dicho abastecimiento figura la de San Gabriel (fig. 1<sup>o</sup>), de 160 m de altura, 126 en la base, que embalsará 293 millones de metros cúbicos y costará 20 millones de dólares. Esta presa está en construcción. Para el mismo objeto se construye la presa en arco de Pacoima, de 114 m de altura, a la que nos referimos en el artículo anterior.

600 000 caballos y costará unos 1 030 millones de pesetas. Y se han construido, y están en construcción

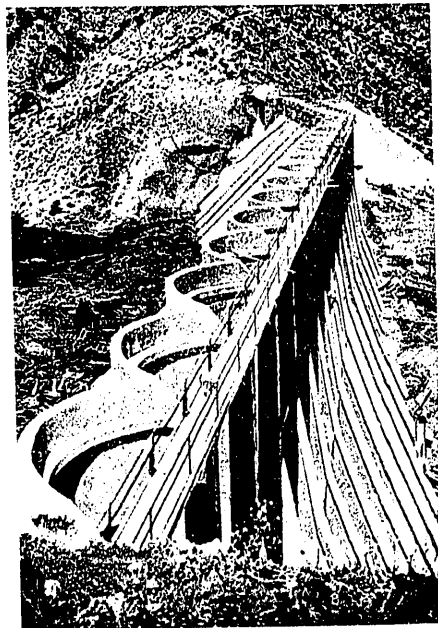


Fig. 6.ª Presa Palmdale.

otras muchas presas de gravedad de menos importancia.

En los demás países, el número de estas presas de bóvedas múltiples es insignificante. Casi, como excepción, se erigen de este tipo, aunque algunas tienen importancia relativa en altura, como la de Anyox, en Canadá, de 47,50 m. Es de notar que en Alemania, de donde parte el progreso en el conocimiento y cálculo del hormigón armado, sólo hay un ejemplo digno de



Fig. 7.ª Presa Palmdale, lado de aguas arriba.

notarse: el de la presa de Vöhrenbach (en la Selva Negra), de 26 m de altura, con capacidad de sólo 1,10 millones de m<sup>3</sup>.

En España no tenemos noticias de que se haya construido ninguna presa de este tipo. Y en caso de haberse construido, la altura y capacidad del embalse serán de tan escasa importancia que no ha merecido los honores de la divulgación, y su conocimiento quedará reducido a escaso número de técnicos.

Al sobrevenir el desastre de Gleno se ha agudizado la pugna entre los criterios de los partidarios de los dos tipos de presas. En Italia es natural que se hi-

ciase ostensible en tonos más vivos esta disparidad. Y entre otras manifestaciones de ella, son dignos de leerse con detención los artículos del ilustre ingenie-

ples. De estos artículos tomamos gran parte de las consideraciones y datos anteriores y siguientes.

La ventaja principal que se atribuye al tipo de bóvedas múltiples es el de la economía en volumen de fábrica y coste total de la construcción. Esta economía procede de que, en virtud de disponerse el paramento de aguas arriba inclinado, entra a contribuir a la estabilidad el prisma líquido que insiste sobre aquél. Para demostrar la importancia de este efecto favorable, Luigi Kambo hace el sencillo cálculo siguiente: Supongamos dos presas de igual altura; una, de gravedad, y otra, de bóvedas múltiples, de generatrices inclinadas a 45° (fig. 11).

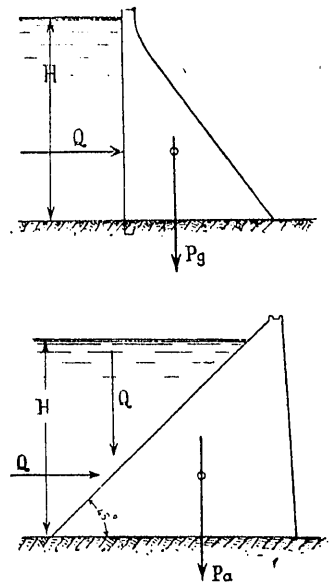


Fig. 11. Comparación de presas de gravedad y de bóvedas.

Determinemos en ambos casos el peso necesario de la construcción para resistir al deslizamiento. Llamemos  $f$ , el coeficiente de rozamiento. En el primer caso tendremos

$$P_g \cdot f = Q$$

En el segundo

$$(P_a + Q) f = Q$$

De donde

$$P_g = P_a + Q \quad \frac{P_a}{P_g} = 1 - \frac{Q}{P_g} = 1 - f$$

Si suponemos que

$$f = 0,63 = \frac{2}{3} \quad \frac{P_a}{P_g} = \frac{1}{3}$$

Es decir, que para obtener el coeficiente 1 de estabilidad en la tendencia al deslizamiento, se necesita que la presa de gravedad tenga tres veces más peso que la de bóvedas múltiples. Y añade Kambo que, aunque el precio unitario de la fábrica es mayor en la presa de bóvedas múltiples que en la de gravedad, esta diferencia no llega a compensar el mayor coste de la última. Y cita los ejemplos de la presa de Coghinas, de gravedad, y de Tirso, de bóvedas múltiples, las dos construidas por él, en las que la relación de los precios del hormigón era de 1 : 1,45. Y aplicada a la relación de pesos antes encontrada, resulta, aproximadamente, una de coste de 2 : 1.

Enzweiler, ingeniero jefe de la Sociedad Siemens-Baunion, que entre otras obras hidráulicas importantes ha construido muy recientemente la presa de gravedad de Schwarzenbach, de 65 m de altura, en Alemania (1), en la revista *Deutsche Wasserwirtschaft* tra-

(1) Esta presa forma parte de un conjunto de aprovechamientos de la cuenca del Murg, cuyo proyecto se publicó en 1910, bajo el título «Entwurf eines Wasserkraftwerkes im Gebiet der Murg», von Th. Rehbock. La descripción de esta presa puede verse en *Der Bauingenieur*, de 10 de junio de 1925, y en *Energia Elettrica*, de septiembre de 1925.

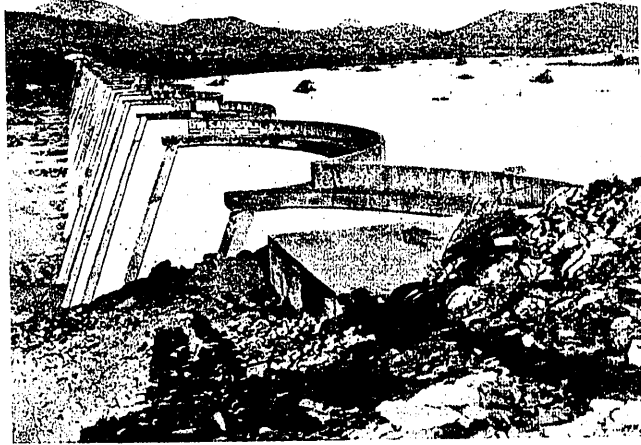


Fig. 8. Presa de Cave Creeck.

ro Gaudencio Fantoli, en la *Energia Elettrica de Milan*, octubre de 1924 y julio de 1925, defendiendo el

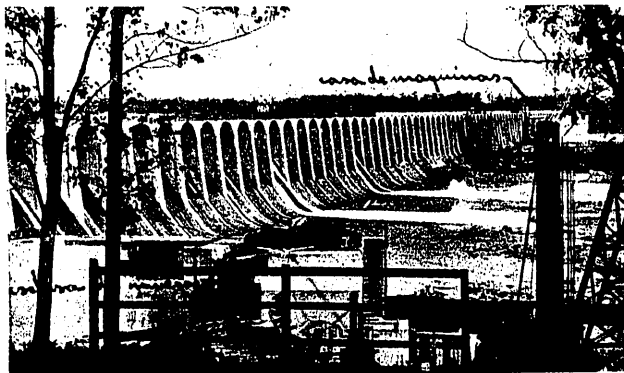


Fig. 9. Presa de Wilson.

tipo de gravedad; y el del distinguido ingeniero Luigi Kambo, autor de la presa de Tirso, en la misma

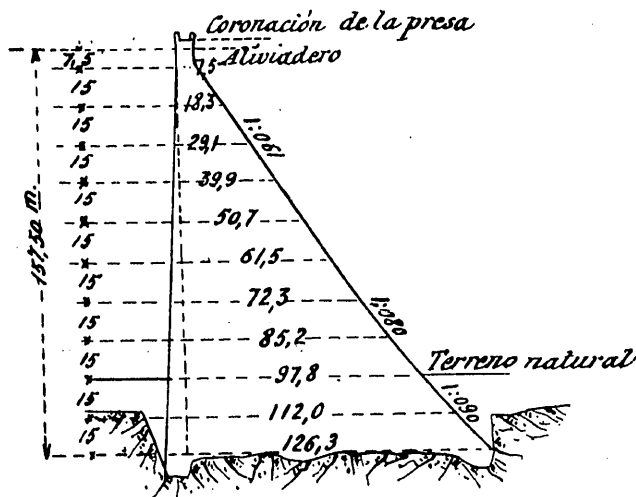


Fig. 10. Presa de San Gabriel.

revista, junio de 1925, contestando al primero de los anteriores, en defensa del tipo de bóvedas múlti-

ta de este debatido asunto. Y en este artículo, que se extracta y comenta en «Annali delle utilizzazioni delle acque», de 1924, fasc. II, dice, entre otras cosas, que si la economía que se atribuye al tipo últimamente citado fuese, como se le asigna, de un 50 por 100, no se construirían más presas de gravedad, y, por el contrario se levantan más de este tipo que del otro. Duda que sea cierta la economía de 20 millones de liras, conseguida con la presa de Tirso, teniendo en cuenta las grandes cimentaciones que fueron necesarias. Y cita el ejemplo de la presa de Schwarzenbach (fig. 12), que se adjudicó en 1922. Se estudiaron en ella soluciones de los dos tipos, y si bien en la de bóvedas múltiples el volumen resultaba la mitad que en la de gravedad, el coste total difería sólo en un 5 por 100 a favor de la primera. El mayor coste de la segunda era debido, casi exclusivamente, al del hormigón. La presa de bóvedas resultaba más costosa en cimientos (2,5 por 100), en moldes (0,6 por 100) y en armadura metálica (6,5 por 100). Requería un hormigón más rico que la presa de gravedad, en la cual la dosificación podía ser más pobre y permitía embeber en él grandes bloques; y así, mientras el volumen de fábrica era doble en ésta que en la otra solución, la cantidad de cemento sólo era un 25 por 100 mayor.

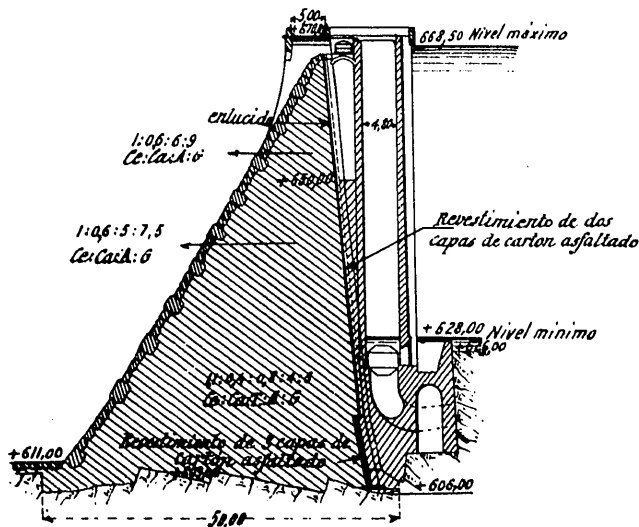


Fig. 12. Presa de Schwarzenbach.  
Ce, cemento; Ca, cal; T, trass; A, arena; G, grava.

De la comparación análoga de presas de mayor altura deduce Enzweiler que la de bóvedas múltiples resulta más cara; y cuando la altura alcanza a 80 m, este exceso llega al 30 por 100.

El ingeniero Walch, en la *Energia Elettrica*, de septiembre de 1925, dice, en un artículo titulado «Alcuni recenti impianti idroelettrici della Germania», que la

adjudicación de la última citada presa se hizo dejando en libertad a la Casa constructora de presentar ofertas de los dos tipos indicados, y que el cálculo del coste fué hecho durante la época de la inflación monetaria en Alemania, cuando el precio del hierro era relativamente alto, mientras que los salarios, calculados en oro, resultaban bajísimos, y que las cifras variarían hoy al haberse estabilizado los precios.

Otra ventaja que se adjudica a la presa de bóvedas es el ahorro de tiempo en su construcción. Respecto a esto, objeta Enzweiler que en una presa de hormigón en masa de perfil de gravedad, el tiempo requerido es mucho menor que en una presa análoga de mampostería. En América se han llegado a emplear 2 500 m<sup>3</sup> en un día, y no es excesivo basarse en un empleo medio diario de 500 a 1 000 m<sup>3</sup>; y con la presa de bóvedas múltiples el volumen que se puede utilizar es muchísimo menor, por las varias sujeciones constructivas a que está sometida.

Luigi Kambo, en el artículo antes citado, contestando a Fantoli (que pasa revista a las numerosas presas de gravedad construídas y en construcción y a las escasas de bóvedas), dice que el único inconveniente de estas últimas es de ser el tipo muy joven, visto que se quiere tener la sanción de la experiencia para decidirse a emplearlo. Y añade, con frase gráfica, que las ideas nuevas penetran lentamente, en especial en las masas cultas y a manera de un cono por la punta. Una estadística hecha en un cierto tiempo es como una sección del cono, tanto más pequeña cuanto más próxima al vértice. Veinte años van transcurridos desde el comienzo del empleo de las presas de bóvedas de hormigón armado. Pues bien: si veinte años después de la aplicación del vapor a la navegación se hubiera hecho una estadística de las naves de vela y de vapor, se hubiese encontrado una mayoría aplastante de las primeras; hubiera sido erróneo deducir que el vapor no tendría nunca un gran campo de empleo, y tanto menos que era una idea equivocada.

Los partidarios de las presas de bóvedas múltiples hacen resaltar que el cálculo de éstas, aunque laborioso, es más satisfactorio, porque deja la convicción de acercarse más a la verdad que el de la presa maciza. Además, en ésta, la máxima presión actúa, ya se considere a embalse lleno o vacío, en un solo punto del perfil, puesto que la resultante pasa por o cerca del extremo del núcleo central. La presa trabaja, pues, con gran desperdicio de su capacidad resistente, mientras que en las presas de bóvedas múltiples, la resultante en ambas hipótesis de cálculo pasa cerca del centro de la base, y la máxima presión se acerca a la media y actúa casi uniformemente en toda la base.

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