

# CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE LAS PRESAS ESPAÑOLAS DE TIPO BOVEDA

Dr. Ing. C. C. P. A. ALVAREZ

## I. INTRODUCCIÓN.

Los españoles gozan de reconocida solera en cuanto al arte y la técnica de retener las aguas que discurren por la superficie del país. Ya en época romana se construyeron diversas presas; todavía se conservan en explotación las de Cornalvo y Proserpina, próximas a Mérida; en la Edad Media se ejecutaron presas y canales para regar las huertas de Valencia y Murcia. Probablemente las primeras presas arco construidas en el mundo son las de Elche (24 m.), Almansa (22 m.) y Relléu (32 m.), que datan del siglo XVI.

Si examinamos el panorama mundial que en el año 1930 ofrecía la técnica de presas, veremos que U.S.A. contaba con 62 bóvedas, y había logrado sucesivamente los records de altura (Pathfinder, 66 m.; Lake Spaulding, 84 m.; Shoshone, 100 metros, y Pacoima, 114 m.), mientras Italia tenía ya 20 presas bóvedas, entre ellas San Domenico, 80 m. España había también construido, entre otras de menor importancia, la presa de Alloz, de 61 metros, y que está perfectamente, de acuerdo con las normas de hoy día. Ningún otro país del mundo tenía en aquella época presas de tipo bóveda que alcanzasen los 50 m. de altura.

En decenios sucesivos, y en un total de 64 presas construidas en España, únicamente fueron de tipo bóveda La Cobilla, 106 m.; Isbert, 47 m.; El Tiemblo, y la atáguia de la presa del Generalísimo.

En cambio, desde hace varios años se acusa un desarrollo cada vez más intenso del tipo de estructuras objeto de este artículo, y así se han construido Eume (103 m.), Canelles (151 m.), Aldeadávila (133 m.) y Valdecañas (92 m.), estando en construcción La Barca (74 m.), Almendra (190 m.), Susqueda y cerca de una docena en proyecto, cuya construcción empezará en breve.

En las páginas que siguen trataremos de exponer algunas de las razones que han motivado este desarrollo actual de las presas bóvedas en España, razones que proceden principalmente de los pro-

gresos realizados por la técnica en los últimos años, y que están relacionados con los temas siguientes:

1. *Topomorfismo.*
2. *Geomorfismo.*
3. *Seguridad.*
4. *Economía.*
5. *Análisis elástico.*
6. *Ubicación del aliviadero y de la central.*

## TOPOMORFISMO.

Ha sido habitual hasta fecha bien reciente considerar que las presas bóvedas sólo resultaban aconsejables en cerradas estrechas.

Permítasenos, como inciso, citar la gran satisfacción que tuvo cierto ingeniero cuando poco después de terminar sus estudios le encomendaron el proyecto de una presa de 30 metros de altura, ubicada en una angostura de sólo 6 metros de ancho. Naturalmente se creyó obligado a elegir una presa bóveda, y en su deseo por lograr la mayor "economía" posible, estudió numerosas formas diferentes, siendo así que una cuña que allí se colocase y sin necesidad de ser arqueada, podría resistir perfectamente y no cubicaría más de 1 000 m.<sup>3</sup> de hormigón.

Sin duda tuvieron gran influencia los trabajos de Resal al final del siglo pasado. Mediante un cálculo simplificado de ajuste en clave lanzó un anatema sobre todas las presas bóveda, cuya relación cuerda/altura fuese mayor que 2.5, ya que demostraba que, pasando esa relación, se producirían tracciones que conducirían a la rotura.

Fué necesario llegar a las realizaciones de Pieve de Cadore (Italia), Kariba (Rhodesia) y Les Toules y Schiffenen (Suiza), para demostrar que también pueden resultar económicas presas-bóvedas con elevada relación cuerda-altura. (Esta relación llega hasta 8 en Schiffenen.)

Naturalmente, en valles anchos habrá que cuidar mucho más la forma de la ménsula, y no será tan

fácil conseguir que su peso propio pueda anular las tracciones del pie de aguas arriba con embalse lleno, sin que tampoco se produzcan tracciones inadmisibles en el pie de aguas abajo con embalse vacío.

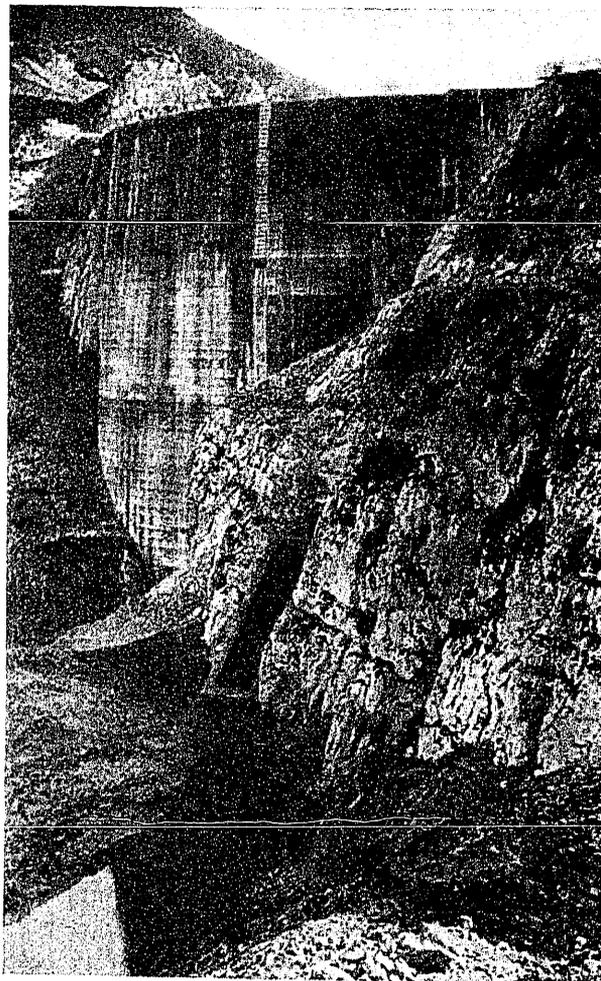


Figura 1.ª

Lo normal será que las ménsulas, en lugar de desplomarse hacia aguas abajo, queden un poco inclinadas atrás para compensar el empuje hidrostático, y la dificultad de que aparezcan tracciones en el pie de aguas abajo con embalse vacío se resuelve dotando a la presa de un apoyo por la parte de aguas arriba ("bequille" de los franceses), que puede ser discontinuo constituyendo una especie de "muletas", como se hizo en la presa española de Valdecañas para resolver la fase constructiva.

Fig. 1.ª — Presa de Alloz. Altura, 61 m. Construida en 1929. Proyectista: E. Becerril.  
Sketch No. 1. — Alloz Dam. Height 61 mts. Built in 1929. Designer: E. Becerril.

Fig. 2.ª — Presa de Valdecañas. Apoyos para resolver la fase constructiva.  
Sketch No. 2. — Valdecañas Dam. Supports to solve the constructive phase.

Que estos progresos de la técnica mundial tienen también su expresión en España, lo prueba el hecho de que hace años no se hubiesen proyectado como bóvedas Valdecañas y Belesar, por ser su relación cuerda-altura mayor de lo que entonces se consideraba límite.

#### GEOMORFISMO.

En época pasada era opinión común considerar que sólo son posibles las presas-bóvedas en cerradas cuya roca tenga características excepcionalmente buenas, y esto motivó que se hiciesen de tipo gra-

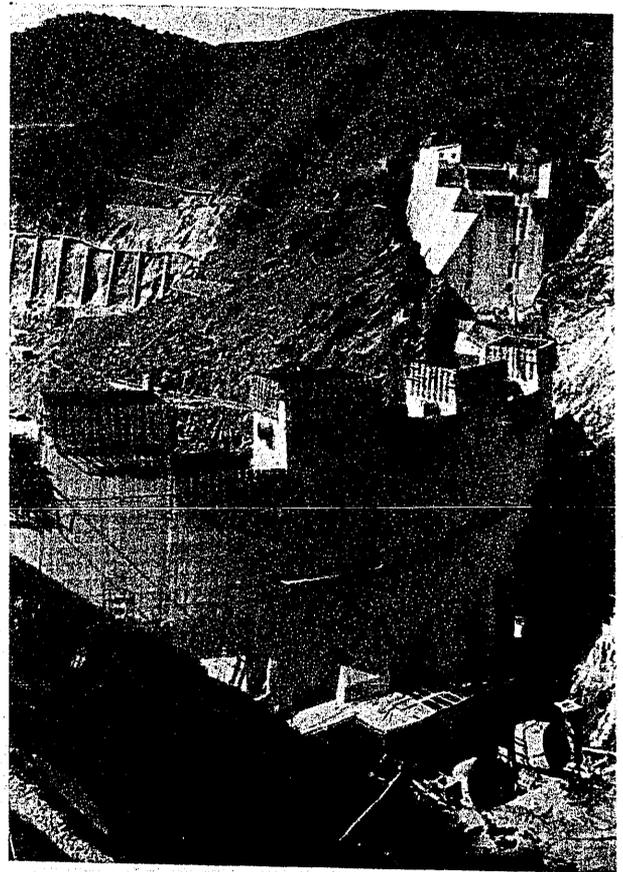


Figura 2.ª

vedad, por desconfianza de la cimentación, presas que pudiesen haber sido bóvedas.

Afortunadamente hoy ha adelantado ya bastante la mecánica de rocas, si bien es todavía mucho

el camino que se debe recorrer. Gracias a estos conocimientos podemos situarnos en una postura alejada igualmente del temor extremo, así como de la afirmación expuesta en un conocido tratado de presas relativamente moderno, que dice: "Las reacciones de los arcos transmiten su acción en un cono de 30° alrededor de su eje, y si en todo ese cono hay roca, es imposible que la bóveda perezca, pues la roca tiene mayor resistencia que el hormigón."

El viejo concepto de Vitrubio de la roca como algo indeformable no es válido para las grandes cargas, no unitarias sino totales, que una presa transmite a su cimiento.

Si lanzamos una mirada retrospectiva, recordaremos cómo en una primera época, al calcular las presas-bóvedas, se consideraba el cimiento indeformable. Posteriormente se adoptó el criterio de prolongar arcos y ménsulas de una cierta longitud teórica para introducir unos desplazamientos en la sección de apoyo real que representase las deformaciones de cimiento. Más tarde, los trabajos de Vogt marcan un gran avance, siendo todavía utilizados sus ábacos por la mayoría de los proyectistas. Pero si queremos ajustarnos más a la realidad, hemos de mirar con espíritu crítico las fórmulas de Vogt, ya que éstas se basan en la teoría de Boussinesq, la cual implica un medio isótropo y elástico. No olvidemos que si existen diaclasas orientadas en la dirección de los esfuerzos, puede ocurrir que su efecto se transmita a bastante profundidad entre dos planos de diaclasas, sin colaboración apenas de los bloques de roca adyacentes.

La postura correcta será estudiar lo más exactamente posible los esfuerzos que en cada zona transmite la presa al terreno, esfuerzos que, naturalmente, dependerán de la capacidad resistente de la cimentación, y comprobar que en cada dirección el esfuerzo es menor, con el coeficiente de seguridad que se fije, que la resistencia según esa dirección.

No bastará en ningún caso con tomar una muestra de roca, ensayarla a compresión o medir su módulo elástico, y decir que tiene cualidades iguales o mejores que las del hormigón. Casi nunca son homogéneos e isótropos los macizos rocosos, y por eso habrá que tener en cuenta la estratificación, el número y dirección de las diaclasas que en ocasiones están rellenas de material blando actuante como lubricador, y el estado de decompresión de la roca. Debería determinarse también, según expresan P. Patin y G. Degeorges en su artículo de *La Houille Blanche* (octubre 1963), el coeficiente de rozamien-

to en los diversos planos de diaclasas, el cual puede disminuir ante esfuerzos elevados.

Sería conveniente estudiar el verdadero equilibrio que se produce en la macroestructura formada por los distintos bloques de roca, limitados por diaclasas y planos de estratificación cuando están sometidos a su propio peso y a las fuerzas que les transmite la presa. Quizá pueda llegar a encontrarse fórmulas que determinen los asientos previsibles a partir de las orientaciones y frecuencias de diaclasas, el rozamiento en ellas, la densidad de la roca y los esfuerzos transmitidos. Aplicando las ideas expuestas, que aunque recientes están ya en el ánimo de todos, y utilizando los diversos medios de prospección (medidas sísmicas, gatos de columna y lenticulares, etc.), podremos juzgar con suficiente aproximación si el terreno será capaz de resistir en condiciones de seguridad.

Será un gran elemento auxiliar los ensayos en modelo reducido geomecánico, que tratan de reproducir lo más fielmente posible las características de la roca. Frente a ellos nos parece que todos los ensayos en modelo elástico que se hagan con presa y cimentación monolítica, aunque muy valiosos como una primera aproximación, dejan sin estudiar una parte importantísima de la estabilidad de la presa.

Pero no nos dejemos engañar por la creencia, extendida en tiempo pasado, de que forzosamente una presa-bóveda ha de producir cargas unitarias más elevadas que una de gravedad equivalente. Esta concentra los esfuerzos en la zona de pie que es más bien reducida, mientras que la bóveda los reparte de manera más uniforme, y mediante un "pulvino" adecuado se puede conseguir la distribución de cargas sobre una zona mayor, con una disminución de tensiones. Por otro lado, si se estudia el verdadero reparto de tensiones en el cimiento de una presa de gravedad, nos encontramos que para determinadas relaciones entre los módulos elásticos de hormigón y roca de apoyo, pueden alcanzar valores mucho más elevados que los obtenidos con el simplista método de Pigeaud.

En su report núm. 38 del VI Congreso de Grandes Presas, estudia Scalabrini lo que podríamos llamar "presa ballesta", cuyos arcos, en vez de ser monolíticos, están divididos por junta vertical longitudinal que corre a lo largo de la directriz. Con esta ingeniosa disposición se hacen más uniformes las cargas sobre el terreno y disminuye su valor máximo.

Deberán considerarse también las alteraciones

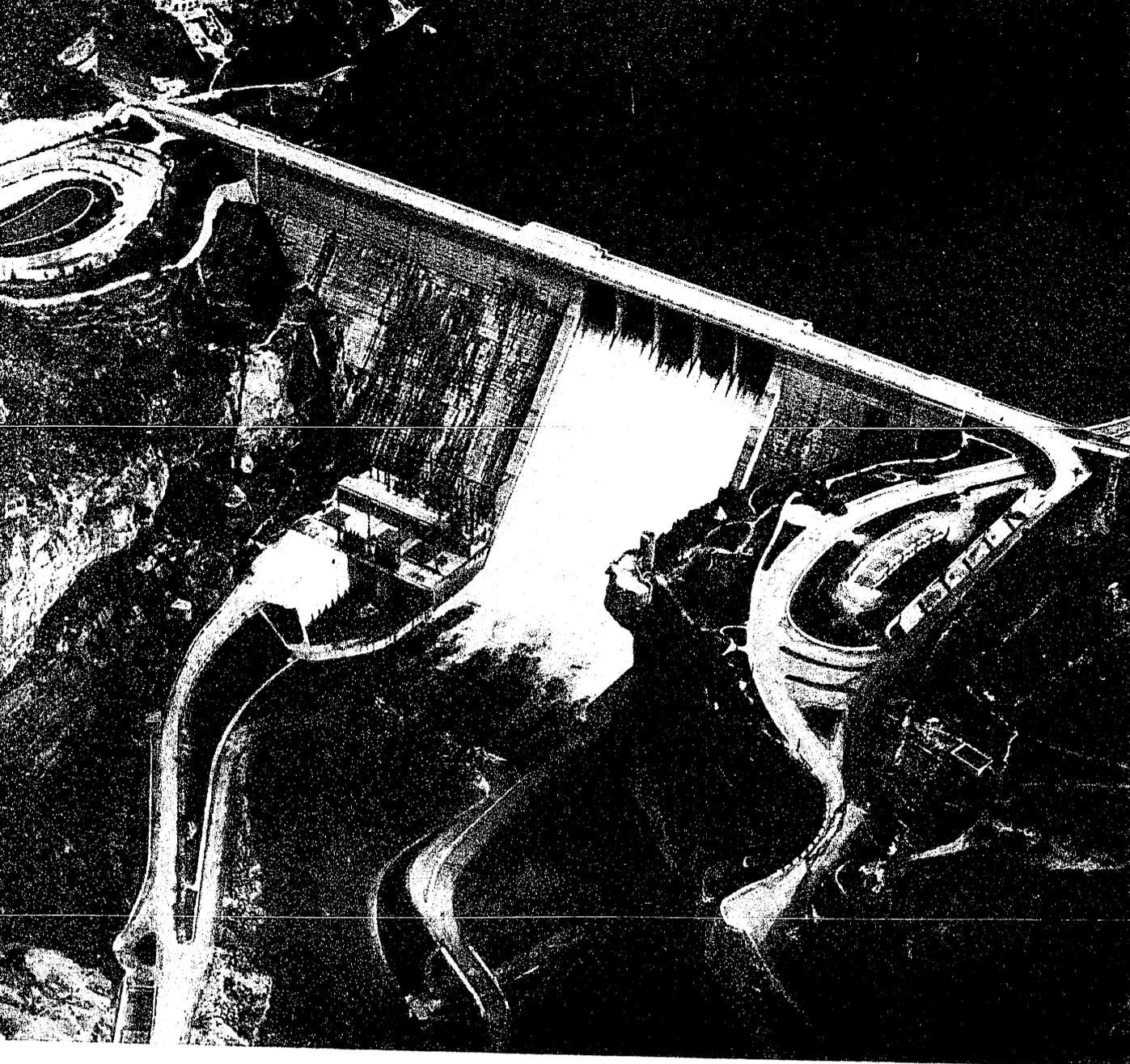


Figura 3.<sup>a</sup>

que en la roca de cimentación ocasiona la fase constructiva. Son inevitables las decompresiones que se originan al excavar la capa de roca necesaria para lograr el deseado encaje de la presa en el terreno, pero podrán disminuirse haciendo que las excavaciones estén abiertas el menor tiempo posible y retirando la última capa poco antes de ejecutar el hormigonado.

En todo caso se deberá tender a disminuir los traumatismos que en la roca produce el empleo de

explosivos; a tal efecto se limitarán las cargas, se multiplicará el número de taladros y se hará que los diversos barrenos exploten a intervalos distintos, de acuerdo con el período de vibración del suelo, determinado mediante ensayos sísmicos.

Es también importante estudiar el efecto de las inyecciones, la presión límite a que se puede llegar sin que se produzcan daños a la roca. Naturalmente sería deseable que las inyecciones originen una verdadera soldadura de las diaclasas y no un mero

Fig. 3.<sup>a</sup> — Presa de Entrepeñas. El aliviadero y la central ocupan todo el cauce.  
Sketch No. 3. — Entrepeñas Dam. Spillway and powerhouse occupy the whole riverbed.

relleno de las mismas, en lo cual influirá el orden de inyección y la dirección de los taladros, habida cuenta de las posibles salidas del agua sobrante.

Finalmente habrá que determinar si con embalaje lleno los esfuerzos tienden a abrir las diaclasas, favoreciendo la penetración del agua en el cemento, con los correspondientes perjuicios.

Habrà que tener siempre cuidado de no dejarse engañar por las "cerradas aparentes", es decir, aquellas que lo son topográficamente, pero dejan de serlo si se tiene en cuenta el geomorfismo. Así sería inútil querer aprovechar un crestón o un batolito (frecuentemente con roca muy decomprimida) si no fuese capaz de resistir las acciones a que estará sometido.

En definitiva, debe mirarse la presa no como la superestructura que el hombre añade a la Naturaleza, sino como el conjunto de parte artificial y del terreno natural, considerado éste hasta el límite donde prácticamente dejen de sentirse las sobrecargas creadas por la presión hidrostática, que antes no existía.

#### SEGURIDAD.

Para el ingeniero de hoy día está perfectamente claro que una presa-bóveda puede ser tan segura o más que una de gravedad, y en particular resiste mucho mejor un aumento imprevisto de carga hidrostática.

Pero no olvidemos que hasta época bien reciente no era éste el pensamiento extendido entre los proyectistas.

Quizá Pigeaud, con su solución para obtener el estado tensional de la presa de gravedad, determinó que las presas-bóvedas fuesen miradas con algo de recelo, pues para muchas mentes y durante largo tiempo, el hecho de que creyesen poder calcular con más exactitud y facilidad una presa de gravedad, hizo que las considerasen más seguras, sin darse cuenta de que más de una no se ha caído gracias a la coacción de las laderas, produciéndose en ella un cierto efecto bóveda.

Es digna de notar la diferente actitud que a fines del siglo pasado y principios del actual tienen los ingenieros de un lado y otro del Atlántico. Los franceses y españoles buscaban aumentar a ultranza la seguridad de las presas añadiendo la planta curva al perfil resistente por su peso, conscientes, quizá, de las lagunas de sus conocimientos sobre supresión, retracción y sensibilidad térmica del hormigón.

Por el contrario, los americanos se inclinan decididamente por la reducción de masas, y con formas arqueadas experimentan a escala natural. La presa de Bear Valley es un alarde para la época en que fué construida. No debe escapar a nuestro análisis otro factor que pudiera ser decisivo: la seguridad en la resistencia de toda presa debe ser función de la densidad de población en la zona de aguas abajo. Así es natural que, por ejemplo, los suizos se muestren ordinariamente conservadores, mientras que la experimentación de tipos nuevos, no sancionados por la práctica, sólo es aceptable en zonas semidesérticas.

A nuestro modo de ver, influye grandemente en la elección de un tipo de obra la tradición existente en el país donde vaya a ejecutarse. Una experiencia amplia sobre determinada materia puede dificultar la adopción de técnicas nuevas, mientras es mucho más fácil innovar cuando la mente colectiva se encuentra libre de prejuicios.

Tiene también importancia el concepto de seguridad ante el transcurso del tiempo, es decir, la perduración de la obra a lo largo de siglos.

Cuando se construye un puente no se piensa que haya de tener una vida perpetua, pues ignoramos cuáles hayan de ser las exigencias del tráfico de mañana. Análogamente, al levantar un edificio para viviendas se admite el envejecimiento de los materiales que lo constituyen, pues con más rapidez se quedará inútil para las necesidades y gustos del hombre futuro.

En cambio es difícil que el ingeniero español, con gran tradición hidráulica y habituado a ver cómo se utilizan hoy día presas y canales que fueron construidos hace siglos, acepte la idea de no buscar la perennidad de la presa. Se siente más tranquilo con una abundancia de masa, a semejanza de los faraones cuando construyeron las pirámides; en cambio le produce cierto escrúpulo una presa de hormigón pretensado.

#### ECONOMÍA.

Es indiscutible que nuestra época se caracteriza por la rapidez con que envejecen ideas y descubrimientos nacidos ayer mismo. No es época de quietud, sino de transición y cambios activísimos. Como consecuencia, el concepto "perdurabilidad" expuesto anteriormente, queda relegado a un segundo plano, y por el contrario, se enfoca directamente la atención sobre la faceta económica de toda realización.

Las presas construídas en siglos pasados se plantearon como medio de resolver una necesidad comunitaria. No se pretendía averiguar con exactitud cuál iba a ser su coste y si esa necesidad podría sa-

mamente la imaginación del proyectista para encontrar formas y métodos nuevos que permitan reducir el coste de ejecución; se tiene así una gran fuerza motriz que empuja hacia el progreso de la técnica.

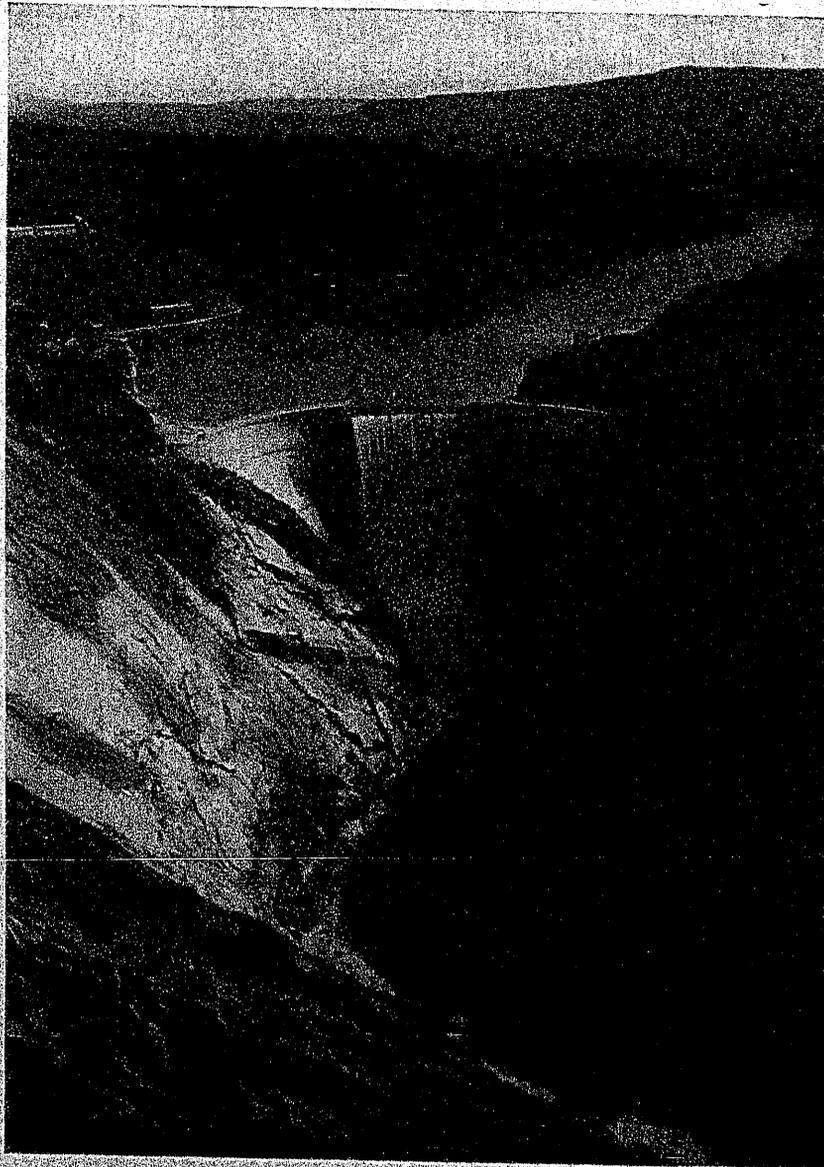


Figura 4.<sup>a</sup>

tisfacerse de otra manera radicalmente distinta que resultase más económica.

Por el contrario hoy, antes de acometer una obra importante, es preciso estudiar su "viabilidad", y así es frecuente que un salto de agua se construya, o se deje para un futuro, según cuál resulte su rentabilidad probable. Esto espolea enor-

Insistiremos en el aspecto de que las necesidades hidroeléctricas son precisamente quien más ha contribuido al desarrollo de las presas-bóvedas.

Si una presa tiene como finalidad la creación de un embalse del cual interesa el agua en sí, se ubicará en lugares que permitan obtener la máxima capacidad, y estos lugares, con gran frecuencia, no

Fig. 4.<sup>a</sup> — Presa del Eume. Primera bóveda española con aliviadero sobre coronación en lámina libre.  
Sketch No. 4. — Eume Dam. First Spanish arch type dam with spillway on crest with free nappe.

son apropiados, topográfica y geológicamente, para la realización de bóvedas. Ocurre así con gran número de presas en España, U.S.A. y la India.

Si lo que se busca es el aprovechamiento energético, tanto como la capacidad de embalse, interesará la altura; resultarán interesantes tramos de río con fuerte pendiente que normalmente coinciden con rocas resistentes y dan cerradas adecuadas para bóvedas. Exponente máximo de ello es Aldeadávila.

Por otro lado, es interesante observar que la reducción de coste de una obra se logra de modo distinto, según los países y según la coyuntura económica del momento. Los proyectistas franceses, italianos y portugueses de los últimos años, han alcanzado economías notables, reduciendo el volumen gracias al empleo de formas adecuadas, cuidadosamente estudiadas, y a los progresos del arte de construir. Quizá sean los ejemplos más destacados Le Gage y Tolla (ambas en Francia), cuyos volúmenes son sólo el 15 por 100 de lo que tendrían las de gravedad equivalentes.

La India nos ofrece el caso contrario, buscando la economía mediante un precio unitario bajo, y así, gran parte de sus presas son de gravedad y con taludes conservadores, pero construidas de mampostería.

Norteamérica adopta una postura casi parecida, pues busca ante todo el ahorro del elemento humano, importándole menos el empleo de maquinaria en forma masiva. De aquí que no intente aquilatar volúmenes.

Alpe Gera (Italia) es un ejemplo, donde el Profesor Gentile, inducido por razones climáticas y geológicas a la adopción de una presa de gravedad, buscó la economía bajando el precio unitario a base de una gran reducción en la dosificación de cemento.

En España, durante los años siguientes a 1940, y dado el intenso programa de obras a realizar, se prefirió que las fábricas de cemento produjesen el mayor número posible de toneladas, aunque fuesen de calidad inferior. Consecuencia de ello fué el tenerse que ceñir a presas de gravedad con mayor volumen pero con tensiones más bajas en el hormigón.

## ANÁLISIS ELÁSTICO.

Ha constituído siempre un problema importante el estudio tensional de las presas-bóveda, y su dificultad ha motivado que bastantes proyectistas derivasen por el camino que encontraban más fácil,

el de las formas de gravedad, creyendo además que el método de Pigeaud proporciona aproximación suficiente, y sin darse cuenta de que para ciertas condiciones de cimiento se producen tensiones mucho más elevadas que las obtenidas con la hipótesis de que las secciones horizontales se conservan planas después de producirse la deformación.

Es interesante hacer un repaso de los sucesivos pasos dados por la técnica para conocer el trabajo elástico de una presa, y que son: la fórmula de los tubos, aplicada en Bear Valley; los arcos empujados tratados por primera vez por los italianos Guidi e Ippolito; los estudios de Cain, la sistematización que del reparto de carga entre arcos y ménsulas hicieron los ingenieros del Bureau of Reclamation, el método expuesto por Tölke, los arcos "plongants" y las bóvedas activas de los franceses y la integración de la ecuación diferencial de la bóveda mediante diferencias finitas. (Este último procedimiento fué aplicado por los rumanos R. Priscu y M. Constantinescu en la presa de Negovanu.)

Un gran avance en el desarrollo de las presas-bóveda fué dado cuando se consiguió poner a punto la técnica de ensayos elásticos en modelo reducido.

Bien patentes tenemos los ejemplos de Italia y Portugal, países en los que la creación del ISMES y del Laboratorio de Enghenaria, respectivamente, ha hecho posible las numerosas y bien concebidas presas-bóveda que han sido ejecutadas en los últimos años.

Verdaderamente ha llegado a gran perfección la técnica de modelos reducidos. Se confecciona la cimentación del modelo de modo que sus constantes elásticas representen las del terreno real en la escala elegida, y se reproducen los cambios de características y las principales diaclasas y accidentes que existan en la roca. Se ejecuta la presa simulando la construcción real, es decir, con sus juntas verticales, que después se inyectan. Esto permite realizar ensayos de peso propio antes y después del cerrado de juntas, comprobando con el primero que no haya tensiones inadmisibles durante la fase constructiva.

Naturalmente, además de los ensayos en laboratorio es siempre deseable experimentar y estudiar formas nuevas a escala real, aprovechando presas de dimensiones reducidas o que, por circunstancias especiales, no ofrezcan compromiso. En este sentido creemos deberían aprovecharse las ataguías ejecutadas para desvío del río siempre que sea factible. Así hizo el eminente ingeniero español A. Peña, aplicando su idea de anillos independientes a la

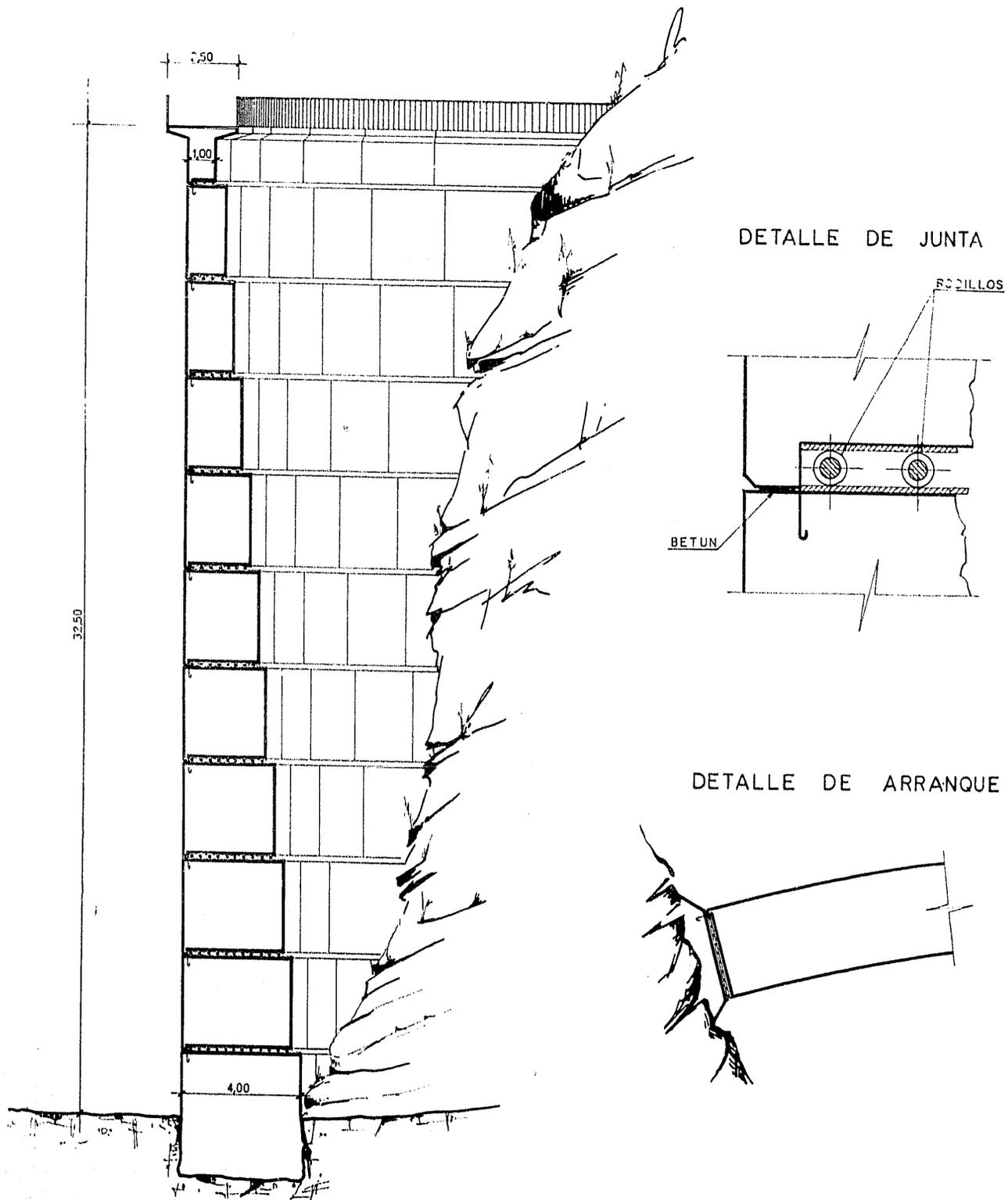


Figura 5.<sup>a</sup>

Fig. 5.<sup>a</sup> — Atagüra para la presa del Generalísimo. Construida en 1936. Proyectista: A. Peña.  
 Sketch No. 5. — Cofferdam for the Generalísimo Dam. Built in 1936. Designer: A. Peña.

ataguía de la presa del Generalísimo. Ofrecen también interés especial las ataguías de las presas de Valdecañas y de Bao.

En estos últimos años, la rápida difusión de los *computadores digitales* ha producido un cambio fundamental en el concepto de comprobación elástica de presas-bóvedas, al permitir que puedan abordarse con facilidad y en tiempo breve cálculos que antes resultaban abrumadores por lo largos. Se acabaron los tiempos en que se recurría a otro tipo de presa, desechando de antemano una solución bóveda por imposibilidad o pereza para abordar el cálculo.

Ha surgido un concepto nuevo, que es el de *modelo matemático*. Así como un modelo elástico representa las diversas magnitudes físicas que intervienen en el fenómeno real, el *modelo matemático* representa, mediante números, las medidas de las citadas magnitudes.

Es frecuente hablar de diferencias apreciables entre los resultados del modelo elástico con los del modelo matemático. Por nuestra parte creemos que si el ensayo elástico se efectúa a escala suficientemente grande y con precisión adecuada, y si en el modelo matemático se tienen en cuenta los diversos modos de trabajo (flexión, compresión, tangencial, torsión, etc.), actuando con una malla relativamente densa, las diferencias entre uno y otro han de ser siempre muy pequeñas y desde luego mucho menores que las tolerancias normalmente admitidas.

Según nuestra experiencia personal, podemos decir que trabajando con el programa para computador digital, elaborado por la Sección de Estudios Hidráulicos del Departamento de Construcción de AUXINI, el cual tiene en cuenta los ajustes radiales y tangenciales, hemos llegado, en las presas estudiadas, a resultados que concuerdan francamente bien con los ensayos elásticos.

El modelo matemático presenta una gran ventaja sobre el elástico, que es la de poder realizarse en tiempo notablemente más breve. Téngase en cuenta que lo normal será estudiar cuatro o cinco encajes para una presa antes de llegar a la solución óptima, y esto resulta muy asequible cuando cada solución puede realizarse en sólo unos pocos días. Personalmente, preferimos estudiar la fase de tanteo mediante cálculo y ensayar en modelo elástico únicamente la solución definitiva.

## UBICACIÓN DEL ALIVIADERO Y DE LA CENTRAL.

Actualmente puede decirse que el aliviadero condiciona muy poco el tipo de presa, y que una bóveda puede utilizarse para verter sobre coronación o por aberturas adecuadas, caudales de agua muy elevados. Así tenemos Kariba (10 500 m.<sup>3</sup> segundo), Cambambe (6 000 m.<sup>3</sup> seg.), las japonesas Tonoyama y Osako (3 000 m.<sup>3</sup> seg.) y en la Península Ibérica Aldeadávila (10 000 m.<sup>3</sup> seg.) y Benipesta (11 000 m.<sup>3</sup> seg.).

Sin embargo, no olvidemos que todas estas realizaciones son bien recientes. Todavía allá por el año 1930 nadie se atrevía a verter sobre una presa de gravedad cercana a los 100 metros de altura una lámina que sobrepasara los 10 m. de espesor. Esto obligó en España a desdoblarse en dos presas, Villalcampo y Castro, la primitivamente propuesta de Villardiegua, en la cual debían evacuarse 150 metros cúbicos segundo por cada metro de longitud del vertedero.

En repetidas ocasiones los ingenieros norteamericanos han expuesto que adoptaron el tipo de gravedad para muchas presas que pudieran haber sido bóvedas, debido a que el coste de la bóveda, con aliviadero independiente igualaba al de la presa gravedad con vertedero por encima.

Por análoga razón se hicieron gravedad en España las presas de Entrepeñas, Buendía y Cenajo. En particular para Entrepeñas, llegó a elaborarse un proyecto completo de solución arco, que luego se desechó.

Sobre esta cuestión del aliviadero, es interesante el ensayo que hizo el insigne Semenza, con una bóveda a la cual se había suprimido un gran boquete en la parte inferior, viendo que las tensiones que aparecían eran perfectamente admisibles. Esto induce a pensar que en caso de que un vertido sobre coronación dañase el pie de la bóveda, ésta seguiría resistiendo a pesar de ello.

Aparte del aliviadero tengamos presente que casi siempre las presas están en conexión con una central hidroeléctrica. En los ríos con fuerte pendiente, como es frecuentemente el caso de aprovechamientos italianos y suizos, la central suele situarse a distancia de la presa, para aprovechar mayor desnivel, y deja libertad de formas y disposición para presa y aliviadero.

En España, salvo las zonas de erosión joven, como por ejemplo la zona norte y el tramo del Duero frontera con Portugal, casi siempre el río tiene pendiente reducida, y lo más económico es si-

tuar la central inmediata al pie de la presa. Ello coarta grandemente las posibilidades del aliviadero, y así, en el caso de la presa de La Barca (bóveda de 74 m. de altura) no fué posible efectuar un vertido sobre la coronación, por estar la central ocupando todo el fondo del valle, y tuvimos que recurrir a un aliviadero lateral.

\* \* \*

Consecuencia de las ideas indicadas anteriormente consideramos que, resueltos por la técnica diversos problemas cuya presencia hacía desistir en muchas ocasiones de una solución bóveda, veremos en los años próximos cómo se construyen en España gran número de presas de este tipo, que contribuirán a satisfacer nuestras necesidades de riegos, abastecimiento de agua a poblaciones y energéticas de manera elegante y económica.