

FILOSOFIA DEL EMPLAZAMIENTO DE LAS PRESAS DE EMBALSE

Dr. Ing. C. C. P. L. YORDI VOCAL

Todos sabemos el gran número de tipos diversos de presas de embalse que se han construido en todos los continentes desde el siglo XVI hasta nuestros días, presas de gravedad, presas de arco, presas de arcos múltiples, presas de contrafuertes, presas de tierra, presas de escollera y presas móviles.

Pero dentro de esta clasificación general tenemos, además, dentro de cada grupo una gran variedad de formas, como sucede en las presas de arco, en donde existen la forma de cúpula; presas inclinadas hacia agua abajo, como las francesas de Enchanet y Cousque; presas bóvedas; presas cilíndricas; presas con refuerzos locales, como tomas de agua, desagües de fondo o centrales, en forma de estructuras adicionales; presas de arco con una gran asimetría; presas arco-gravedad; presas articuladas o con junta perimetral, etc.

Viendo y estudiando todos estos tipos de presas se observa qué grandes diferencias existen entre unas y otras, las cuales a su vez implican proyectos diferentes, análisis y ajustes diversos, experimentaciones varias y observaciones múltiples.

Ante tal diversidad de criterios, cabe preguntarse ¿cuál es la razón fundamental que influye de tal manera sobre tantos diseños de presas construidas hasta la fecha?

Parece en principio difícil que cada uno de los emplazamientos en los cuales están ubicadas estas presas tengan características tan diferentes que obliguen a soluciones tan dispares, aunque es cierto que el ingeniero proyectista se encuentra siempre con una serie de factores que condicionan su proyecto y entre los cuales algunos de los más importantes son:

1. Forma de la cerrada o del cañón en el lugar del emplazamiento de la presa.
2. Altura de la estructura.
3. Calidad de las cimentaciones.
4. Magnitud de la máxima avenida a desaguar.
5. Emplazamiento de la central o de estructuras accesorias, como tomas o desagües.
6. Métodos de diseños, de cálculo, y de experimentación a utilizar en la redacción del proyecto.

Todos estos factores, que tienen gran influencia en el estudio de la obra, no justifican, sin embargo, de manera total la variedad de formas y de estructuras que debían poder, aunque fuese entre amplios límites, clasificarse y definirse con una cierta metodología.

A continuación vamos a comentar los seis conceptos enumerados anteriormente, tratando no de acumular conocimientos ni de exponer un tema con erudición que no poseemos, sino tratar de hacer algo difícil ciertamente, pero simplicísimo al mismo tiempo, saber "entender", o sea, lograr captar y dominar por la experiencia y el conocimiento ingenieril el carácter fundamental de la construcción de una presa de embalse.

Este fundamento lo encuadramos en una cierta disciplina del buen hacer y en buscar una cierta semejanza de formas, aunque los límites de las mismas sean amplios, como antes decíamos.

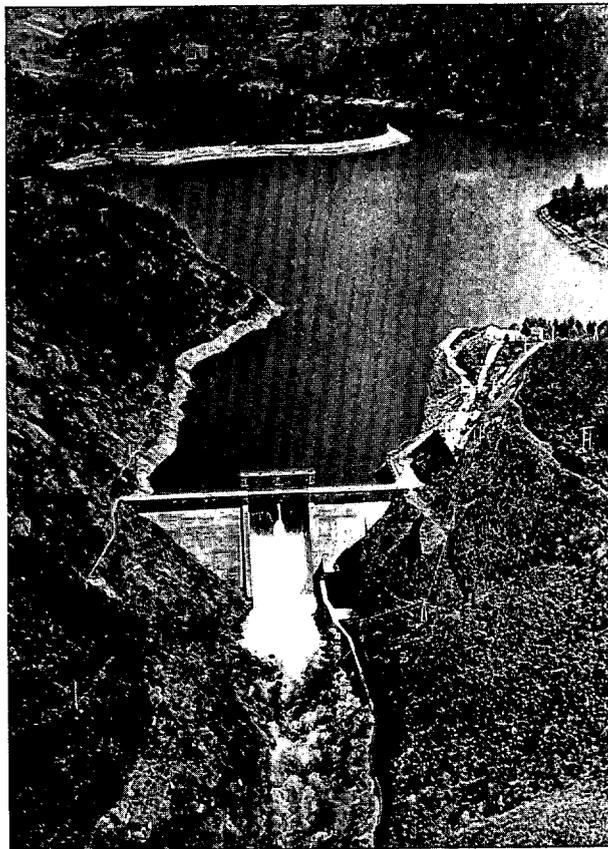


Fig. 1. — PRESA DE TAMBRE. Tipo gravedad de planta recta, perteneciente a Fenosa. Altura de la presa: 45 m. Desarrollo de coronación: 160 m. Número de compuertas: dos de 14 x 7 m.

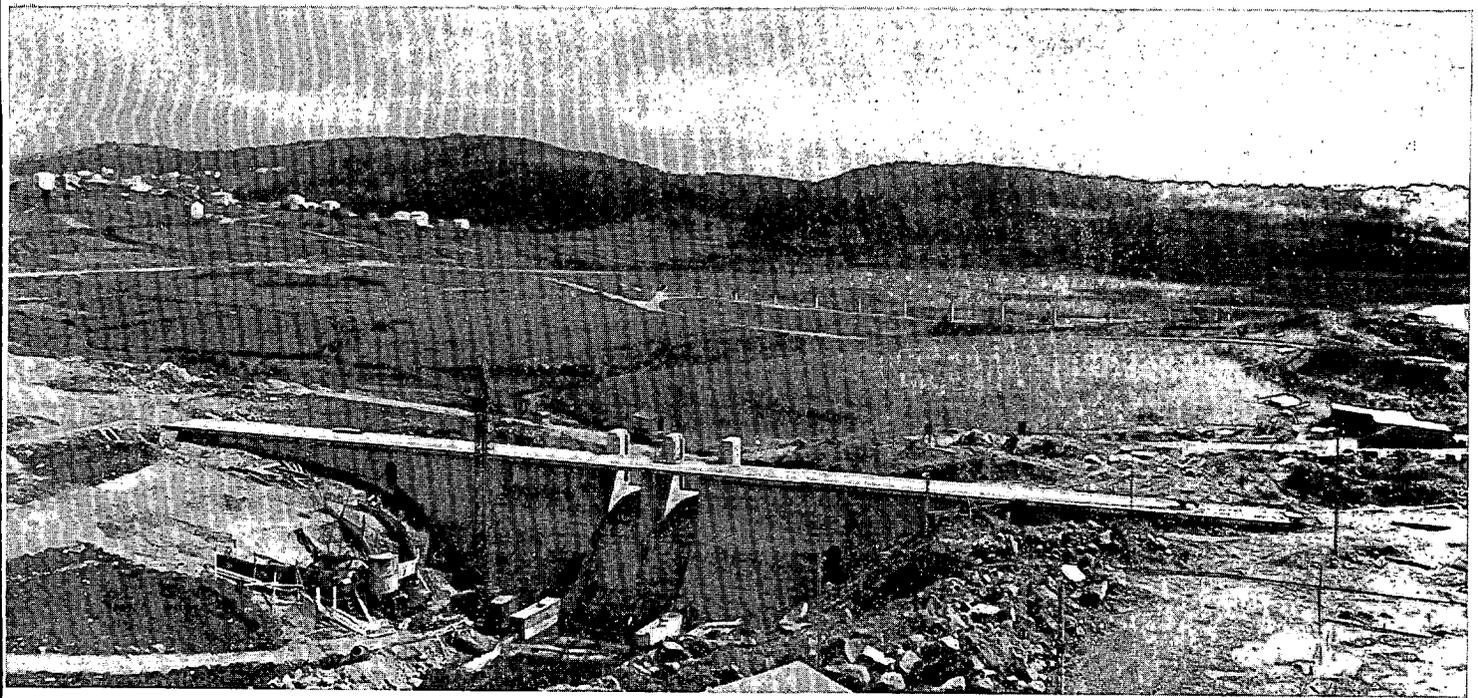


Fig. 2. — PRESA DE ROSADOIRO. Tipo gravedad de planta recta, perteneciente al polígono industrial de Sabón (La Coruña). Altura de la presa: 16 m. Longitud de coronación: 127 m.

1. FORMA DEL CAÑÓN

Este intento de clasificación ya fue esbozado en un simposio sobre presas de arco, celebrado bajo los auspicios de la American Society of Civil Engineers hace unos años. En él, G. S. Sarkaria definía lo que llamaba "factor de la forma del cañón", negando la confusión producida por cerradas anchas, cerradas estrechas, cerradas en forma de V, en forma de U, etc., para ello establecía la fórmula:

$$k = \frac{b + H(\sec \psi_1 + \sec \psi_2)}{H},$$

siendo:

b = ancho del cauce del río,

H = altura del valle,

ψ_1 y ψ_2 = ángulos de las laderas con la vertical,

señalando que, para factores inferiores a 5, no debían, en principio, construirse presas de gravedad y sí de arco, obteniendo como factor de forma medio para este tipo de presas el valor 3,4.

Esto no negaba que hayan podido construirse presas como la de Kariba con un factor de forma 6, cerrando un ancho valle y sin miedo por parte de su autor, A. Coyne, a flexiones excesivas en las ménsulas centrales. Sin embargo, esta presa, quizá por esta circunstancia, es una

de las que más nos ha impresionado en su contemplación, ya que, al salirse de unos límites, abría con su construcción nuevas posibilidades a las presas de arco.

La forma de la cerrada del emplazamiento es el primer condicionante del proyecto, aunque ni mucho menos el único, por lo cual debe meditarse sobre sus circunstancias topográficas y geológicas, ya que el acierto en la elección del tipo de obra a ejecutar va unido a este concepto de la forma del valle.

Por ejemplo, en un valle en forma de V, con relación pequeña entre la longitud de coronación y la altura, los arcos son los elementos fundamentales en el problema de la resistencia, ya que las ménsulas absorben una parte pequeña de la presión del agua. Esto determina a la curva funicular de presiones sobre los arcos una forma aproximada al círculo. Por ello los arcos circulares en una presa que cierra un valle de este tipo pueden ser válidos.

En cambio, en un emplazamiento abierto en que la relación de longitud de coronación altura sea superior, las ménsulas, por el contrario, soportan una gran parte de la presión del agua en los arranques de los arcos superiores, por lo cual la carga sobre los arcos decrece desde la clave hasta los arranques, lo que hace que el funicular de esta carga se parezca más a una parábola o a una curva formada por círculos policéntricos que al arco circular. Por ello la conclusión es análoga a la anterior, los arcos parabólicos o policéntricos son los más

adecuados para constituir la presa que va a cerrar este tipo de valle.

Igualmente sucede en un emplazamiento asimétrico en que, gracias a curvas parabólicas, se puede efectuar la transición de la bóveda al arco-gravedad de una forma continua mediante una variación regular de los radios de curvatura, lo cual crea soluciones mucho más bellas que creando estribos de gravedad para negar la asimetría del valle.

También por consideraciones geológicas tenemos que pensar, en el momento de diseñar la presa, que las excavaciones siempre suelen dar sorpresas parciales, a pesar de un reconocimiento importante y previo del terreno, por lo que es necesario dejar previsto la posible prolongación de los arcos sin cambiar en exceso la dirección de la reacción de apoyo, y sí, en cambio, aumentando la superficie de contacto de los mismos con el terreno.

Tratar, por el contrario, de forzar la forma de la cerrada con grandes excavaciones o estribos de gravedad para ubicar en ella un determinado tipo de presa, la central o el aliviadero, que se ha hecho con frecuencia por una idea previa de solución que no estaba de acuerdo con la realidad del emplazamiento, es siempre una solución que no se puede calificar de correcta, ya que la traducción inmediata de este hecho es la elevación real del coste de la obra.

2. ALTURA DE LA PRESA

En cuanto a la altura del cañón, tenemos hoy que reconocer que cuando ésta llega a cotas altas es común denominador para su cierre el tipo de presa de arco; que quizá resultaría inadecuado para alturas de presas pequeñas, sobre todo las inferiores a 40 m.

Con alturas grandes, de hecho, y siempre que no existan circunstancias geológicas especiales, tenemos que preferir la presa de arco a la de gravedad.

Porque, aun cayendo en la vulgaridad por las veces que se han repetido estas ideas, tenemos que decir que las presas de arco no solamente son más económicas al necesitar menos volumen de hormigón, sino que también son más resistentes, al mismo tiempo que la presa de gravedad, salvo casos especiales, es, para nosotros, una estructura en general inadecuada, de estabilidad limitada, con un sobrante de potencia inútil, y sobre todo en su contraste con la presa de arco, que por su hiperestatismo crea la mejor y más eficiente combinación del material, la fuerza y la belleza.

Estos casos especiales se nos presentaron a nosotros con la presa del Tambre (fig. 1), proyectada en 1946, con 45 m de altura y 160 m de longitud de coronación, en la que nos inclinamos por la solución de gravedad por las dificultades de todo orden que existían entonces en España en cuanto a materiales y medios constructivos, lo cual obligaba a buscar soluciones simples.

Igualmente, y como caso especial, se nos presentó el emplazamiento de la presa de Rosadoiro (fig. 2), que



Fig. 3.—PRESA DE SALAS, de contrafuertes, perteneciente a Fenosa. Altura de la presa: 50 m. Longitud de coronación: 1.005 m.

debido a su pequeña altura (16 m) y su longitud de coronación (127 m) nos decidió por la misma solución de presa de gravedad de planta recta con aliviadero en coronación, ya que otra solución no hubiese reportado ninguna ventaja sustancial.

Ambas presas están distanciadas en su construcción, a pesar de su misma forma, veinticinco años.

Cuando nos encontramos alturas medias y anchos valles, son adecuadas las presas de bóvedas múltiples y las presas de contrafuertes.

Nosotros tenemos la experiencia favorable de la presa de contrafuertes del Salas (fig. 3), que cierra un valle de 1.005 m de longitud y 50 m de altura, y la presa de bóvedas múltiples de Meicende (fig. 4), que cierra otro valle de 314 m de longitud de coronación con 20 m de altura. Ambas están situadas en los ríos del mismo nombre y su construcción y coste fueron normales. El comportamiento de la segunda fue correcto y el de la primera está en observación por no haber estado aún sometida a plena carga.

Además, el avance obtenido en el proyecto y construcción de estas presas de bóvedas múltiples, que comparten las ventajas de los arcos puros, es hoy grande y son muy adecuadas cuando nos enfrentamos con el problema de ahorro de materiales, originado por dificultades de transporte o a escasez de los mismos, debido a situaciones especiales.

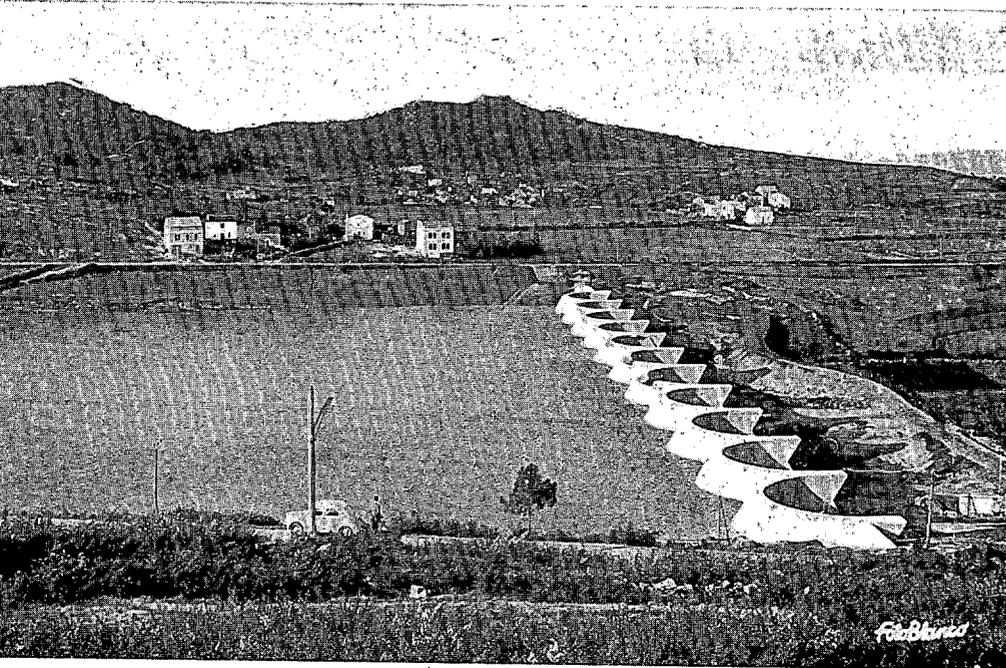


Fig. 4. — PRESA DE MEICENDE. Tipo bóvedas múltiples, perteneciente a Aluminio de Galicia, S. A. Once bóvedas de 22 m de luz. Altura de la presa: 20 m. Longitud de coronación: 314 m.

Para anchos cauces y ríos caudalosos las presas de compuertas con la central en prolongación de las mismas es, tal vez, la solución más conveniente para resolver el problema planteado.

No obstante, el factor altura debe considerarse siempre, ya que puede tener importancia primordial, conjugado con la forma del valle y las características del río, en la elección del tipo de presa.

Y no digamos cuando, como ha pasado en estos últimos años en España, las presas se han orientado a crear potenciales energéticos originando discontinuidades que se aprovecharon como saltos hidroeléctricos.

El contraste entre el tipo de presa para crear capacidad de embalse para riego y la presa para crear salto para obtención de energía, surge con la contemplación de las alturas de las presas construidas en el sur y levante español y las construidas en el NO. de nuestro país, y es precisamente por esto que es en esta zona atlántica donde brotan en mayor número las grandes estructuras de alturas importantes realizadas con la mayor técnica, como las presas de Alcántara y Almendra, no pudiendo olvidar tampoco otras presas de este tipo de gran altura, como El Atazar, destinada en cambio al abastecimiento del área metropolitana de Madrid.

3. CALIDAD DE LAS CIMENTACIONES

Respecto a la calidad de las cimentaciones, hay que tener en cuenta que, a pesar de los desastres de Malpasset, en 1959, y de Vaiont, en 1963, que señalaron

a los constructores del mundo entero la necesidad ineludible de prever el comportamiento de los macizos rocosos que constituyen la cimentación de una presa, los éxitos alcanzados en otras muchas realizaciones, con soluciones que se justificaron por sí mismas, invitaron a realizaciones de presas de arco en emplazamientos que hace unos años se considerarían totalmente inadecuados.

Cimientos en algunas zonas débiles, como la transición del gneis al granito en la margen derecha de la presa del Eume (fig. 5), fueron admitidos por nosotros tomando, como es lógico, las debidas precauciones y estudiándose la concentración de tensiones, que nunca, aunque fallase parcialmente el cimiento, podían amenazar con la ruina de la obra.

Las rigideces bajas en algunas zonas de las fundaciones de la presa de Belesar (fig. 6), así como la amplitud del valle, nos obligó a ampliaciones de las bases reforzando las ménsulas laterales, con lo que se conseguía al mismo tiempo aliviar los efectos de carga sobre los arcos, a base de una estructura formada por arcos policéntricos que permitieron la transición de la sección de la bóveda en la clave a bóveda gruesa en arranques.

Laderas con estabilidad límite se han reforzado con cables, como en nuestro caso de Albarellos (figs. 7 y 8), en cuyo emplazamiento fue necesario, independientemente de este tratamiento, ir a fuertes trabajos de consolidación, drenaje y refuerzo.

Amplios estudios y dilatadas operaciones de reconocimiento de laderas se han llevado a cabo recientemente en la presa de El Atazar, para definir y clasificar los accidentes del terreno, primero, y realizar el adecuado tra-

Fig. 5. — PRESA DE EUME. Tipo cúpula, perteneciente a Fenosa. Altura de la presa: 103 m. Desarrollo de la coronación: 260 m.



tamiento, después, con lo que se ha podido vencer una naturaleza verdaderamente hostil.

Hoy es ineludible el estudio de la estabilidad y deformación de los cimientos, empleando algún método de análisis a las condiciones de equilibrio de grandes volúmenes rocosos limitados por los accidentes geológicos del emplazamiento.

Generalmente se admite que las superficies de cizallamiento sobre las que se puede producir un deslizamiento tienen solamente como parámetro de resistencia el rozamiento, ya que, si la cohesión existe, aumenta la seguridad, pero nunca se suele tener en cuenta.

Los cálculos de deformación en medio heterogéneo

han sido ya abordados en algunos casos por el método de "elementos finitos" con programas de gran complejidad resueltos por ordenadores.

Nosotros en la margen izquierda de la presa de Albarrellos fuimos a métodos más sencillos, repitiéndolos a medida que teníamos un mejor conocimiento de las condiciones reales, a base de series de reconocimientos sucesivos y de los elementos de juicio basados en la propia construcción de la obra.

Estos análisis fueron complementados con la construcción de modelos en los que se recogieron los valores de las rigideces de las laderas y los principales accidentes geológicos de las mismas.

Previamente, toda la información inicial se obtuvo mediante sondeos de reconocimiento, pruebas de agua, galerías y la utilización de la geofísica mediante medidas de resistividad y sísmicas que dieron informaciones dignas de confianza.

Lo expuesto anteriormente permite decir que, conjugando la forma del cañón con una altura determinada de presa y con unas circunstancias geológicas que no sean inadmisibles, se puede diseñar una presa arco si se estima inicialmente conveniente.

Esta es una primera idea, complementada por otra que es la de una cierta disciplina dentro de la definición de la forma de las presas en general y de las presas de arco en particular.

Con ello no queremos fijar rígidamente reglamentaciones que nieguen la intuición individual a los proyectistas, ante la variedad de los emplazamientos, para poder jugar de la mejor manera posible con la forma de la presa en su adaptación al terreno, con los métodos de cálculo y con las tensiones admisibles en el hormigón que constituyen la estructura.

Sabemos que definir una estructura correctamente es una noble actividad en el campo del diseño de las presas de embalse, porque si la presa se comporta conforme lo definido en el proyecto, la satisfacción de sus autores es grande; si su comportamiento es incorrecto, las preo-

cupaciones de los mismos son enormes y los gastos de corrección de defectos, cuantiosos, y, por último, la rotura de la presa representa un verdadero desastre, desgraciadamente comprobado en algunas ocasiones.

Esto es uno de los motivos de la grandeza de la profesión de los ingenieros hidráulicos.

También tenemos que reconocer que la técnica dejó de ser, por un lado, el resultado práctico de los conocimientos individuales adquiridos a través de la larga experiencia, para depender directamente de la investigación aplicada y al mismo tiempo pensar que el análisis no creará a la técnica un camino deductivo, ya que siempre habrá que imaginarse al ingeniero constructor concibiendo la belleza y la función de una obra, valorando los elementos estructurales de la misma, para crear así una síntesis que después confirmará el método y el análisis.

Experiencia, intuición, análisis y método experimental, he aquí un compendio de actuación.

Esta actuación conjunta de la técnica y del ingeniero tiene que aprovecharse también de las reglas obtenidas por la larga experiencia, de las mejores presas construidas de las que hay que sacar ideas y conclusiones sobre las formas, los métodos y el comportamiento.

Ello nos permitirá ir más adelante, según la frase de A. Coyne: "En el campo de la conquista técnica, conseguir el progreso significa ser capaz o tener el coraje

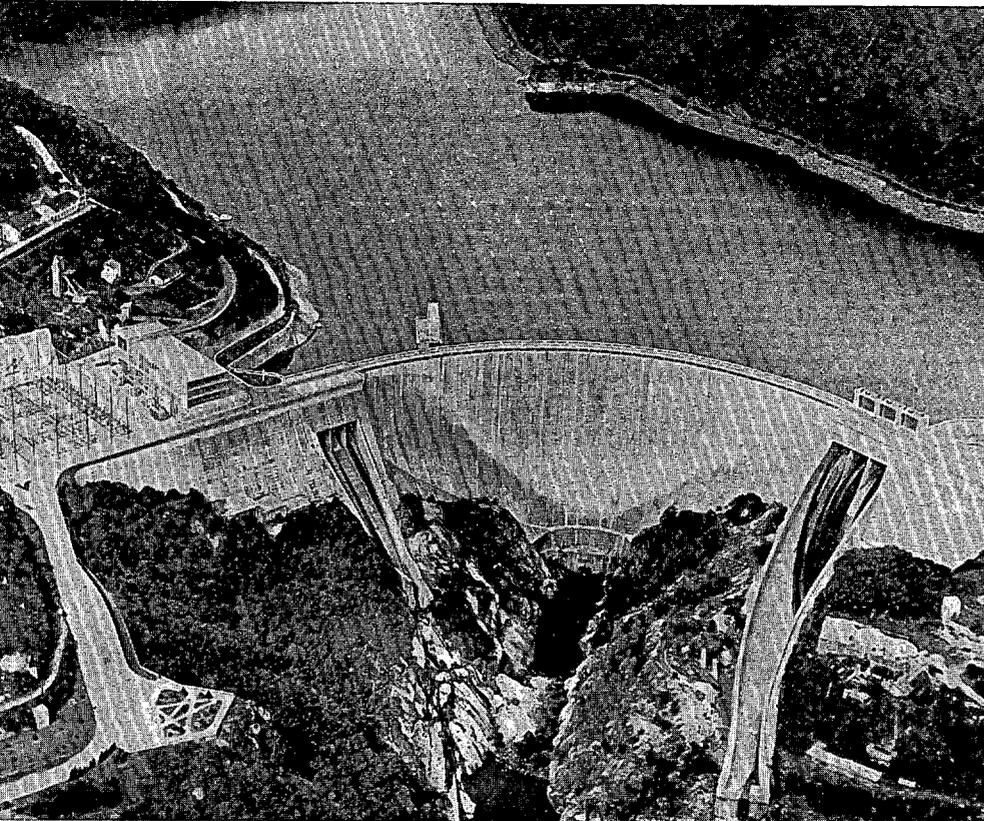


Fig. 6. — PRESA DE BELESAR. Tipo bóveda, perteneciente a Fenosa. Altura de la presa: 127 m. Longitud de coronación: 410 m. Dos aliviaderos en salto de sky con capacidad para 4.000 m³/seg.

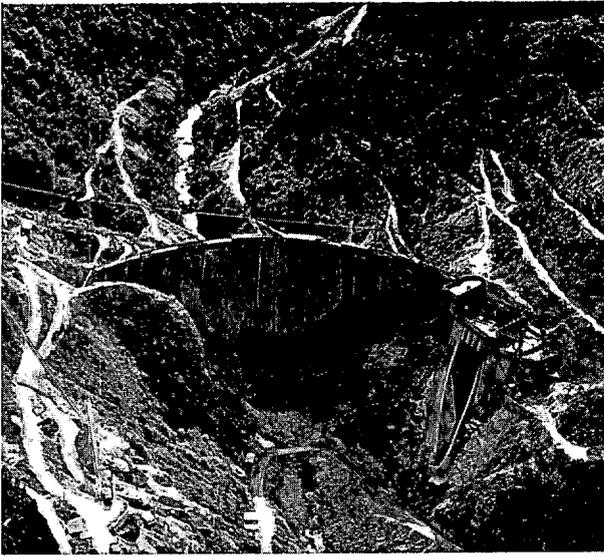


Fig. 7. — Vista desde agua abajo de la presa cúpula de Albarelos, perteneciente a Fenosa. Altura de la presa: 90 m. Desarrollo de la coronación: 285 m.

Fig. 8. — Otra vista desde la margen izquierda de la presa de Albarelos.

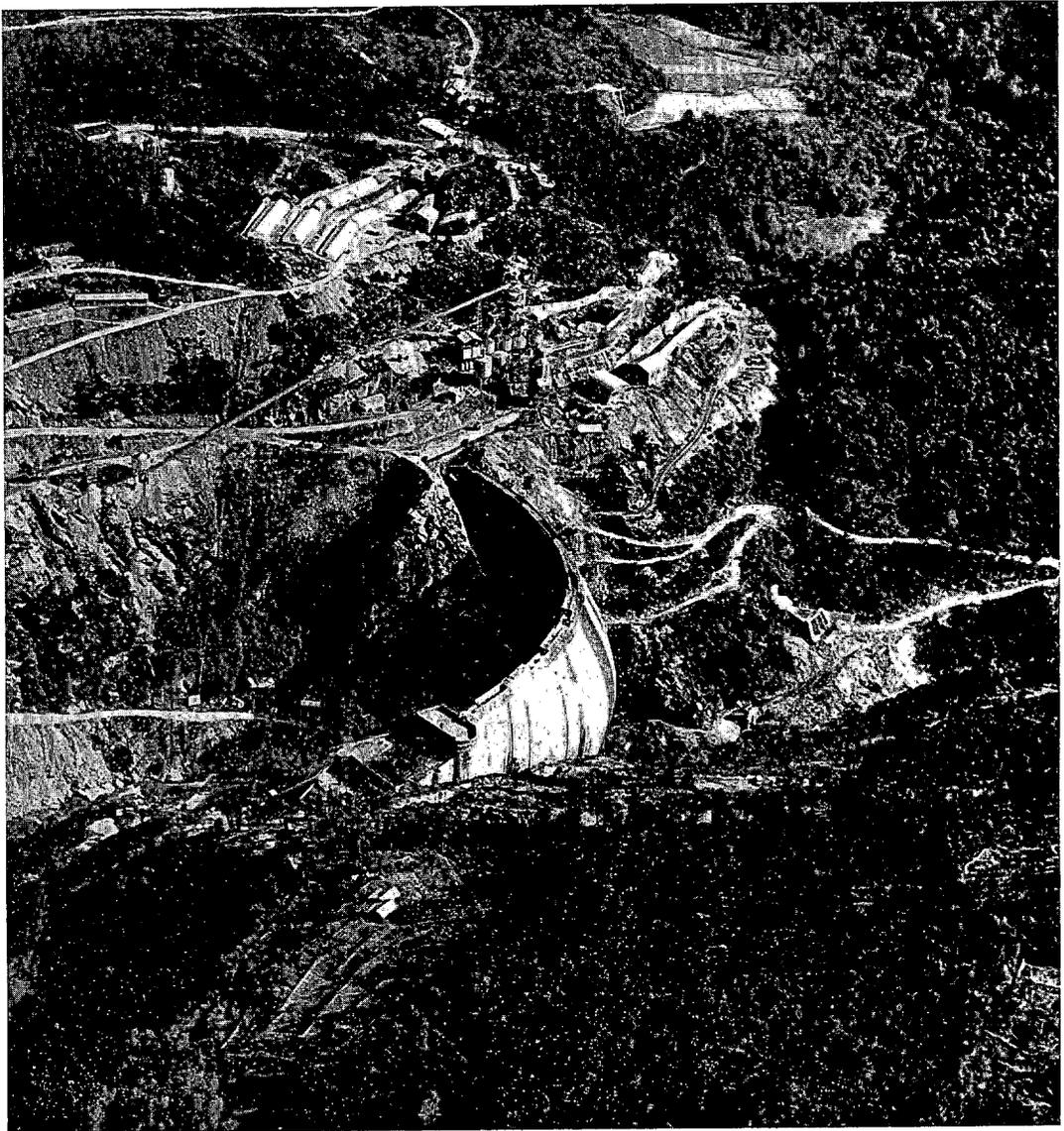




Fig. 9.—PRESA Y CENTRAL DE VELLE, perteneciente a Fenosa. Altura de la presa: 26 m. Longitud de coronación: 195 m. Número de compuertas: cinco de 25 × 10 m.

de hacer aquello que no haya sido hecho todavía”, o sea, ampliar el marco de lo convencional, que es la misión de la Ingeniería actual.

4. ALIVIADEROS DE LAS PRESAS

Otro factor condicionante, que citábamos al principio de este comentario, el de la magnitud de la máxima avenida a desaguar y forma de hacerlo, obligan al proyectista a buscar soluciones diversas para lograr su fin.

Unas veces éstas se sistematizan, como en las presas de l'Aigle, Saint-Etienne Cantales, Chastang, Castelo do Bode, Roucarie, etc., proyectadas todas por Coyne y provistas todas de aliviaderos en salto de sky.

Otras veces se encuentran soluciones diferentes para la misma máxima avenida, como en la presa de Kariba, sobre el río Zambeze, y la presa de Aldeadávila, sobre el río Duero, que pueden desaguar en forma diferente 12.000 m³/seg.

La sistematización de soluciones se puede mantener a veces como hemos hecho en el aprovechamiento del bajo Miño con las obras de Velle, Castrelo y Frieira (figuras 9, 10 y 11).

En ellas se ve un denominador común en el tipo de presa, aliviaderos, tipo de compuertas de los mismos, forma de soporte de los brazos de estas compuertas, disposición de la central, forma del zampeado, etc.

Esta normativa parece lógica cuando, a grandes rasgos, se mantienen análogas circunstancias en los emplazamientos, anchura de cauce, alturas, geología y máximas avenidas.

No obstante, en dos presas análogas por sus dimensiones y por las avenidas a evacuar, como la del Eume y Albarelos, tuvimos que ir a dos soluciones totalmente dispares. En la primera vertiendo libremente sobre coronación y en la segunda evacuando la avenida a través de un aliviadero situado en el estribo de la margen izquierda, formado por canal y trampolín.

La razón de este último fue la necesidad de crear un contrafuerte al propio estribo de gravedad a base del canal del aliviadero, debido a las circunstancias geológicas del emplazamiento de dicho estribo que obligaban a reforzar su estabilidad mediante este contrafuerte-aliviadero.

Sin embargo, esta solución tiene, en cambio, cierta analogía con los vertederos de Be'esar, los cuales, además de cumplir la propia misión, tienen también la fina-

lidad de complementar con sus propias masas la estabilidad de los dos estribos de gravedad de que va dotada la presa, que absorben todas las sollicitaciones de los arcos superiores de la obra.

Con estos ejemplos de las presas de compuertas de Velle, Castelo y Frieira, en el río Miño, y las presas cúpulas del Eume sobre el río Eume, Belesar sobre el río Miño y Albarelos sobre el río Avia, queremos seguir defendiendo el concepto de una cierta clasificación o norma general de obras con ciertas características similares, sin que ello niegue que por razones intrínsecas se deje total libertad a la intuición o imaginación del proyectista para buscar la solución más adecuada, desde el punto de

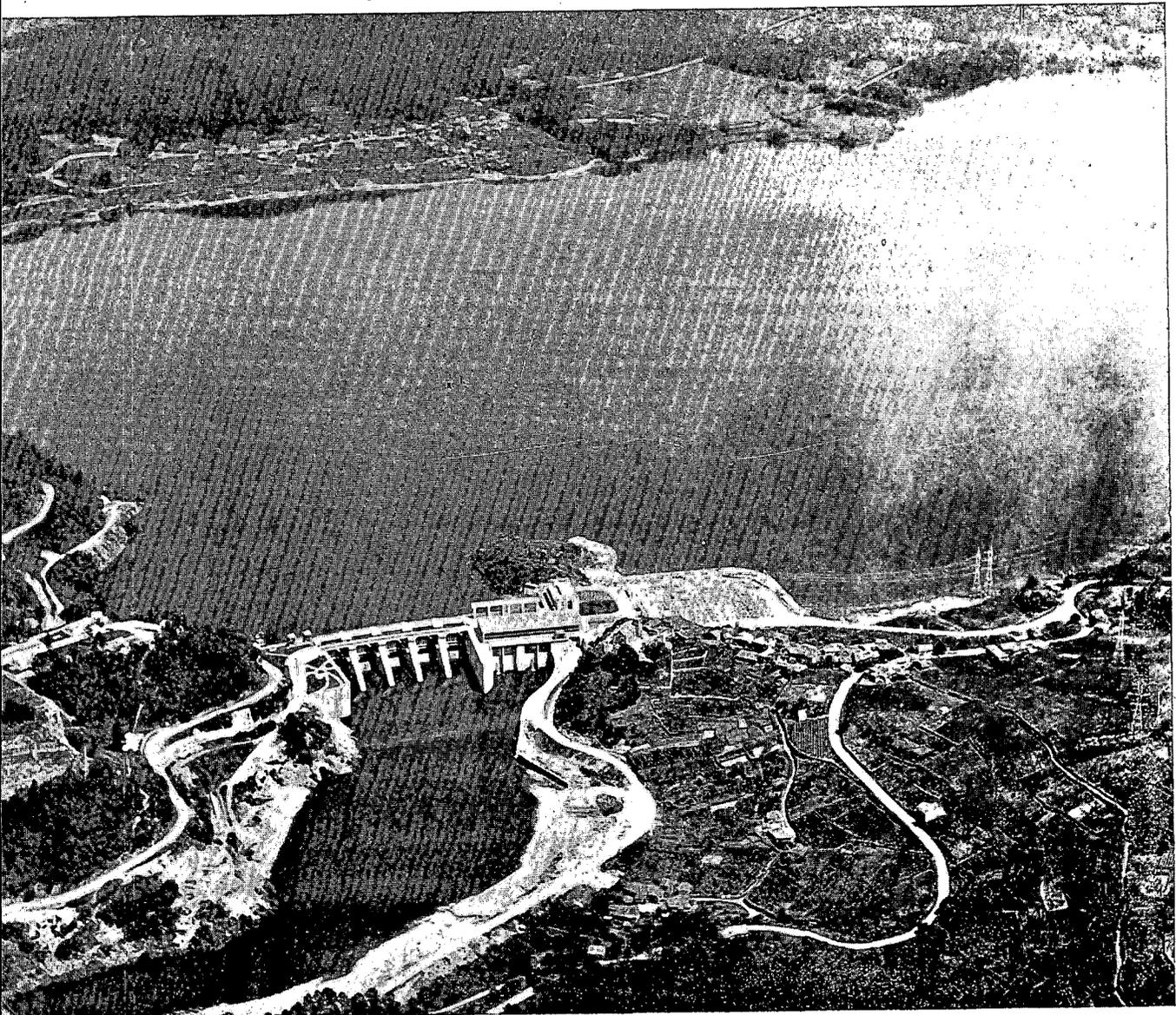
vista funcional y económico, sin romper, como es lógico, la regla de oro de la construcción de presas de que todo lo que se defina tiene que ser compatible con la seguridad de la obra.

Ejemplos de aliviaderos que han creado problemas conocemos algunos, por lo cual creemos que a ellos hay que darles la máxima importancia a la hora de definir el proyecto de la presa.

5. ESTRUCTURAS COMPLEMENTARIAS A LA PRESA

Teniendo en cuenta que el factor económico resulta de la conjugación de todos los elementos básicos que

Fig. 10. — Vista aérea del aprovechamiento hidroeléctrico de Castelo de Miño, perteneciente a Fenosa. Altura de la presa: 30 m. Longitud de coronación: 173 m. Número de compuertas: cinco de $17,50 \times 13,40$ m.



integran el aprovechamiento, rara vez este factor se basa exclusivamente en el tipo de la presa y es, en cambio, la correcta combinación de todas las estructuras, presa, toma de agua, desagües de fondo, aliviadero y central, la que da el justo valor a este factor económico.

Cuántas veces la necesidad y dificultad de encontrar espacio disponible para el aliviadero y para la central han condicionado la solución del tipo de presa a escoger, cambiando el arco por el arco-gravedad o gravedad pura, para poder verter la máxima avenida por la coronación de la presa.

Tampoco podemos olvidar, al considerar la economía, la forma de efectuar el desvío del río. Nosotros en la obra de Velle fuimos a la realización de ataguías circulares análogas a las realizadas en la construcción de la presa de Kariba, que desechamos por su coste en la siguiente obra de Castrelo de Miño, sustituyendo las ataguías circulares por un túnel de desvío y ataguías rectas.

Estas ideas, muy conocidas, van dirigidas hacia los ingenieros que tengan que seguir la tradición secular de la Humanidad de construir presas de embalse en forma continuada.

Como dijo J. Laginha Serafim: "Estamos llegando a la conclusión de que la mayor riqueza a disposición de la Humanidad es la mente del propio hombre, y la segunda, tal vez, el agua".

Por ello, estas dos riquezas se utilizarán integralmente en un futuro próximo, ya que el hombre se afanó siempre por crear primero que nada fuentes de vida a base del agua.

Recordemos que en Egipto surgió el lago Moeris antes que las pirámides, y en Babilonia se construyó la presa de Mareb, en el río Tigris, antes que los palacios de Nínive.

Esto confirma que siempre es inevitable la necesidad del agua y, como consecuencia, a construcción en el futuro de nuevas presas de embalse inevitables para su atesoramiento.

6. METODOS DE CALCULO Y DIMENSIONAMIENTO

Al hablar ahora del cálculo de presas nos referimos a las presas bóvedas, que son las de más difícil solución debido a su propio hiperestatismo.

De todos es conocido que las cargas a que está sometida una bóveda son el peso propio, el empuje hidrostático, las variaciones de temperatura, la influencia de la deformación del cemento y, en algunos casos, los efectos de terremotos.

También se sabe que el método de cálculo más usado es el considerar la presa dividida en elementos horizontales arcos y en elementos verticales ménsulas.

La presión del agua se reparte entre estos elementos de forma de obtener una coincidencia de las deformaciones en los puntos de cruce de este sistema de elementos.

Este método, antes muy laborioso, ha quedado simplificado hoy en día con el empleo de los ordenadores,

sustituyendo procedimientos de cálculo por aproximaciones sucesivas que permiten realizar no sólo el ajuste radial, que antes era prácticamente el único que se realizaba, sino también los ajustes tangenciales y angulares.

Existen también en la actualidad otros métodos, como el denominado de "elementos finitos". Este método se usa frecuentemente por ser muy favorable para el uso de programas a resolver por el ordenador.

Otro tercer método es el basado en la "teoría de las cáscaras", en el cual se supone despreciable el espesor de la bóveda y se adapta en una primera aproximación la cáscara a una superficie de revolución.

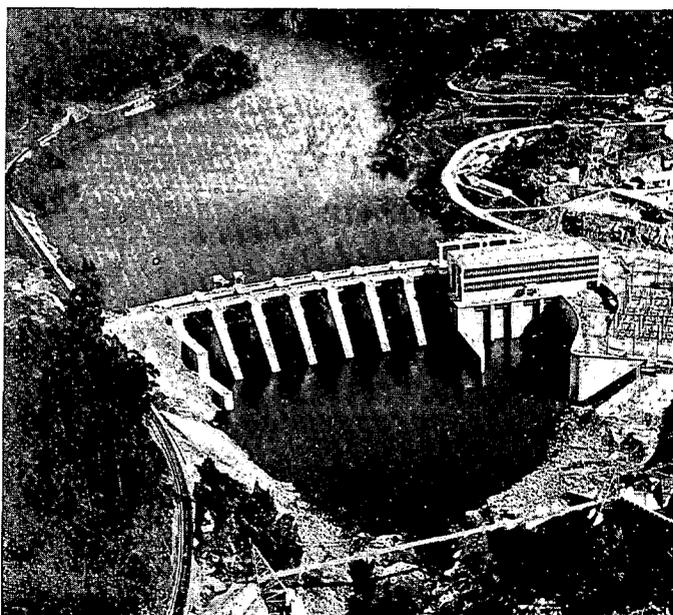
Partiendo de las ecuaciones de equilibrio de un elemento de la cáscara a través de la compatibilidad geométrica, se obtienen ecuaciones diferenciales en derivadas parciales que den los desplazamientos de la cáscara.

Se utiliza también el método de las "diferencias finitas" en las que las derivadas parciales son reemplazadas por diferencias finitas en las ecuaciones de elasticidad.

Por toda esta variedad de métodos existentes, en Inglaterra, la Institution of Civil Engineers creó un comité para estudiar los diversos métodos de cálculo, obteniéndose la conclusión general de que para un mismo problema planteado los resultados obtenidos por los diversos métodos eran comparables.

No obstante, desde nuestro punto de vista, es la definición de la presa, así como el análisis de las circunstancias geológicas del emplazamiento, el primer paso fundamental. Este primer paso puede estar basado en un método de cálculo simplificado, teniendo en cuenta que el problema importante es analizar inicialmente con los

Fig. 11.—PRESA Y CENTRAL DE FRIEIRA, perteneciente a Fenosa. Altura de la presa: 33 m. Longitud de coronación: 149 m. Número de compuertas: siete de 15,50 × 14,50 m.



medios disponibles la influencia de la deformación del cimientó, más que realizar cálculos laboriosos sin conocer exactamente las hipótesis del problema.

Después, la comprobación y retoque de la forma de la presa se puede hacer a base de modelos reducidos, con los cuales se puede ir a reducción de volúmenes, mejorando al mismo tiempo el estado tensional de la estructura mediante la realización de más de un modelo a escala reducida.

Finalmente el cálculo de ajuste es el que sirve para la comprobación final de las dimensiones establecidas en principio y comprobadas en el laboratorio, cerrando así el proceso general del proyecto.

No podemos dejar de recordar aquí la gran colaboración que tuvimos en algunos de nuestros proyectos, de los Laboratorios Central y del Centro de Estudios Hidrográficos de Madrid y del Laboratorio Nacional de Ingeniería Civil de Lisboa.

También queremos repetir que el proyectista independientemente de poder moverse entre unos ciertos límites en lo que a las formas de la presa se refiere y con una cierta disciplina, tiene que demostrar su verdadero acierto en la definición de incidencias y superficies de contacto con las laderas del emplazamiento, definiendo de la forma más correcta posible el grado de rigidez de las cimentaciones, así como la estabilidad de los macizos rocosos que las constituyen, ya que éste es el problema importante al que antes nos referíamos.

Para ello es conveniente en muchos casos hacer modelos con diversas relaciones de los módulos de elasticidad de la roca y hormigón, tales como

$$\frac{E_r}{E_b} = \infty, 1, 0,5, \text{ etc.},$$

y calcular también la estabilidad de los macizos rocosos de las fundaciones por algún método, como por ejemplo el definido por Pierre Londe, Director del "Bureau de Coyne y Bellier", expuesto después de la rotura de la presa de Malpasset, y que nosotros utilizamos en las cimentaciones de la presa de Albarillos.

Anecdóticamente comentaremos que en la primera presa cúpula que construimos, la del Eume, podríamos decir en forma figurada que el 65 por 100 de nuestra atención en la redacción del proyecto estaba concentrada en la estructura y el 35 por 100 en la cimentación. Posteriormente, en la redacción del proyecto de la presa de Belesar estos porcentajes se igualaron en nuestra mente y finalmente en la presa de Albarillos la máxima atención fue concentrada en el tratamiento y consolidación de las fundaciones, pasando a segundo lugar la propia estructura.

Esto fue debido, independientemente de las circunstancias intrínsecas de cada caso, a la experiencia que existe hoy sobre las formas de las estructuras y el comportamiento de las mismas complementado por el desarrollo de la tecnología del hormigón, que ha contribuido sensiblemente a mejorar su calidad, llegándose en la actualidad a obtenerse grados de dispersión mínimos con altas resistencias de rotura.

Hormigones de 220 Kg/m³ dan perfectamente cargas

de 350 Kg/m², que permiten admitir tensiones de trabajo de 100 Kg/cm² y las tracciones inherentes a toda presa bóveda.

Por esto, una cierta disciplina de formas dentro de ciertos límites, negando horribles ejemplos de presas construidas y unas correctas hipótesis son el secreto de la bondad de un proyecto, como ya dijo claramente hace años el Dr. F. Vogt: "Una aproximación a *grosso modo* basada en correctas suposiciones con respecto a contracciones, cambios de temperatura, posibles deformaciones de cimientos, etc., tiene más valor que computaciones altamente afinadas pero basadas en erróneas hipótesis".

Mucho se ha escrito en los últimos cincuenta años acerca de los cálculos de tensiones de las presas y cuanto más lejos se va más complejos se hacen los análisis por las dificultades de los métodos y matemáticas empleados, lo cual tiene, a nuestro entender, el peligro de "perder la cara al toro", o sea, que una excesiva complejidad haga ocultar el problema físico real, planteado por la construcción de la propia presa.

Hasta aquí hemos comentado someramente algunos aspectos de los factores principales que condicionan al proyectista, tales como forma de la cerrada, altura de la presa, calidad del cimientó, máxima avenida, estructuras accesorias y diseño y cálculo de la presa, y vamos a tratar ahora de definir la conclusión final de este artículo.

CONCLUSION FINAL

Hemos considerado el emplazamiento de la presa de embalse como el concepto que define más ampliamente todo el conjunto de problemas con los que se enfrenta el ingeniero hidráulico para lograr su fin, que no es ni más ni menos que "cerrar el valle".

En el emplazamiento de la presa convergen todos los exponentes fundamentales de la realidad, topografía, geología, forma, altura, ría, etc.; por ello pactar con el emplazamiento es el secreto del éxito de la nueva construcción que tratamos de definir inicialmente y de realizar *a posteriori*.

En las páginas anteriores hemos expuesto algunas consideraciones sobre los emplazamientos diversos, con las que tratábamos de hacer compatibles dos conceptos, uno de disciplina o clasificación en el diseño o elección del tipo de presa, basado en la experiencia de obras ya construidas, y otro de iniciativa, coraje y conocimiento basado a su vez en la propia personalidad del ingeniero proyectista, para vencer así de forma cada vez mejor al emplazamiento determinado para la presa y conseguir por consiguiente para él la mejor solución técnica y económica.

En relación al primero de ellos tenemos que recordar que el hombre conserva y retiene los resultados de la experiencia que le precede, por lo cual posee un conjunto de facilidades que le permiten disponer de un conocimiento acumulado y por él recibido. Sería ridículo entonces que al enfrentarnos con un nuevo proyecto no tuviésemos en cuenta la experiencia recibida, la cual nos

permite afrontarlo no desnudamente, ya que por lo menos en alguna medida lo conocemos de antemano, porque al retener el pasado podemos mejor prever el futuro comportamiento de la obra, con una previa definición basada en una cierta analogía precedente.

Esto, sin embargo, no queda confirmado en muchos casos y como ejemplos surgen algunas obras que debían de ser proscritas, aunque no fuese más que por su comparación con otras análogas en las que el éxito de su comportamiento confirmó la razón de ser de su acertada solución.

En cuanto a la personalidad del propio ingeniero o segundo concepto, no queremos mediatizarla en absoluto, porque sabemos que cada vez existe con más fuerza una previsión más libre, que es la de imaginar siempre como posible algo diferente a lo establecido o heredado, afanándose el hombre porque esta idea imaginativa se convierta en realidad.

Este es uno de los atractivos del ejercicio de la pro-

fesión, el de dejar volar la imaginación para conseguir algo nuevo, compatible con lo posible y lo seguro.

Recordaremos aquí la frase de Unamuno escrita en su libro *Mi Religión*: "Buscan poder encasillarme y meterme en uno de los cuadrículados en que colocan a los espíritus... Y yo no quiero dejarme encasillar, porque yo, Miguel de Unamuno, como cualquier hombre que aspire a conciencia plena, soy especie única".

Creemos finalmente que el conjugar estas dos ideas es importante en el camino que todavía queda por recorrer en la construcción de presas de embalse. Deseamos por esto que las futuras obras lleven el sello de la experiencia, el conocimiento y la audacia del hombre para confirmar una vez más que la memoria (experiencia) y la imaginación (conocimiento + audacia) son, en definitiva, formas esenciales del pensamiento que otorgan al hombre una de las armas para vencer a la Naturaleza.

A la vez ambas son exponentes de los dos conceptos que hemos sustentado en este comentario.