

PODEMOS MEJORAR AUN LA SEGURIDAD DE LAS GRANDES PRESAS

In memoriam
ANDRE COYNE

trágica víctima, cual moderno Ikaros, de su maestría en un noble arte, en el nuestro, de presistas.

Por EMILIO CASAL BERNARD

Ex-Ingeniero Jefe de los Aprovechamientos Hidráulicos
de la Compañía Sevillana de Electricidad.

En un trabajo anterior de este mismo autor, publicado en los números de abril y mayo de nuestra Revista, se vió que, a pesar de la impresión pesimista dejada por las últimas catástrofes de presas, ofrecen éstas un altísimo grado de seguridad, que, sin embargo, puede y debe ser todavía mejorado, como se demuestra en este nuevo e interesantísimo estudio, que por su extensión dividimos en dos partes. En esta primera hace el autor una documentada y amena exposición, que, sin pretender ser un tratado de presas, como dice el mismo al comienzo, destaca los puntos más importante que hay que considerar para la concepción y proyecto de una presa.

BROCHE DE ENLACE CON UN TRABAJO ANTERIOR

Decíamos allí que tal vez pudiera haber tenido la narración bíblica del Diluvio Universal algo que ver con una catástrofe de presas, queriendo con ello significar que el origen de las presas se pierde en la noche de los tiempos. Puede que la hipótesis fuera arriesgada; pero de la noche de los tiempos nos viene la mitología griega, y ésta cuenta:

"Al haber perdido Dédalos, primer aeronauta y constructor de máquinas voladoras, a su hijo Ikaros, su dolor fué tal que, no sólo cesó de interesarse por el vuelo de los humanos, sino que abandonó la isla escenario de la tragedia, donde todo le recordaba su desgracia. Desapareció de Creta, con gran disgusto de su rey, y fué a ofrecer sus servicios al de Sicilia, quien acogió al ingeniero con los brazos abiertos (1). Entre los variados y valiosos trabajos con que Dédalo demostró su agradecimiento a Kókalos, rey de Sicilia, el más célebre fué *un lago artificial*."

La técnica de los embalses nació, pues, en los mismos albores de la Humanidad.

(1) La historia se repite y no se repite: incontables siglos más tarde se disputarían así los U. S. A. y la U. R. S. S. a los Niels Bohr, Werner von Braun, Pontecorvo, etc. Esta vez no para ingeniería de paz, sino para la de guerra. Progreso...

Notemos, de paso, que tanto el primer pantano artificial de la mitología griega como la catástrofe hidrológica del Antiguo Testamento, afectaron a la cuenca del Mediterráneo. Origen de tantas facetas de la cultura y de la civilización, el Mediterráneo lo fué también de los embalses, de las presas.

CAPÍTULO I.º CONCEPCIÓN (Proyecto).

PARTE I.ª Proyecto de la presa propiamente dicha:

No siendo éste un tratado de presas, no vamos a discutir los preliminares que han llevado a una entidad cualquiera a decidirse por la creación de un lago artificial mediante elevación de una presa en lugar adecuadamente escogido. Estamos en el momento en que la cerrada ha quedado fijada, porque se impone con claridad dentro del marco general o en que, caso menos frecuente, dependerá de cálculos más detallados la decisión entre dos emplazamientos o, incluso, caso más raro aún, entre varios. Como en la mayoría de las obras, los cálculos han de extenderse a dos aspectos: al técnico y al económico, seguridad y rentabilidad, respectivamente.

Es una peculiaridad de las presas que las catástrofes a que pudiera dar lugar su derrumbamiento son, *a priori*, de envergadura mucho mayor que las

de cualquier otro fallo de obras humanas (1). Evidentemente, pueden producir centenares de víctimas, también hundimientos de, p. ej., puentes; pero las probabilidades desfavorables son para las presas mucho mayores. La endeblez de un puente la revelan antes las trepidaciones; la velocidad máxima del viento que lo azotará es una base de cálculo mucho mejor conocida que las futuras crecidas máximas del río; las difíciles interpretaciones de la geología están mucho más expuestas a fallar en una presa que en un puente. De éste los transeúntes habrán prácticamente desaparecido a tiempo la noche del vendaval que se lo llevará. En cambio, las poblaciones de aguas abajo de las presas ignoran casi siempre el peligro. Los transeúntes del puente están interesados en él, porque lo utilizan a sus fines; los ribereños, amenazados por la rotura de una presa, no tienen normalmente nada que ver con ella, no son preguntados si la presa les interesa o no. Pero, sobre todo, los estragos que puede producir el hundimiento de un edificio o de un puente se limitan a su emplazamiento escueto, mientras que hay presas cuya rotura puede llevar la desolación a kilómetros y kilómetros de distancia, arrastrar barcos de los puertos y hasta romper otras presas, potenciando la catástrofe inicial.

Quiere decir que la balanza seguridad-economía, que en cualquier obra puede quedar normalmente equilibrada, debe inclinarse para las presas mucho más del lado de la seguridad, lo mismo que las seguridades requeridas de cables son, cuando han de confiárseles personas, un múltiplo de lo que se les exige para mercancías. Por ello dedicamos un primer párrafo al aspecto económico de los proyectos de presa.

A) DE LA ECONOMÍA.

Evidentemente, aumentar el coste de una presa significa encarecer el producto para cuya obtención se crea el embalse: energía eléctrica, agua para riegos, potable, etc. El incremento de gasto sólo tiene, pues, sentido si es para mejorar la seguridad. Todo lo que se emplee sobre lo estimado estrictamente necesario y suficiente, puede considerarse como una prima de seguro suplementaria contra el fallo de la presa. Siendo, según trabajo anterior, la probabilidad de fallar actualmente del orden del 1 por 100 (2), si gastamos algunos millones más para una presa que pudiera estrictamente hacerse con 100 millones de pesetas, parece a primera vista que pagamos una prima de seguro excesiva. Pero la impresión es errónea por dos conceptos:

1.º No se trata tanto de asegurar valores mate-

riales nuestros como de evitar, en primer lugar, los centenares, tal vez millares, de muertos a personas que, no beneficiadas *a priori*, por nuestra obra, tienen derecho a no ser puestas en peligro ni con la pequeña probabilidad del 1 por 100. Su natural protector, el Estado, no puede, ni debe, pues, admitir que en esta materia las primas de seguro sean consideradas con criterio puramente mercantil.

2.º La presa constituye sólo una parte parcial de las obras necesarias para la futura explotación y lo que en los gastos de la presa misma aparece como encarecimiento relevante, repercute en medida mucho menor de lo que a primera vista se puede apreciar en el coste del producto final.

Vamos a ilustrar esto con un ejemplo sencillo en cifras redondas para que las ideas queden bien claras. Pero cifras de un orden que en proyectos parecidos hemos barajado alguna vez en Andalucía. Una empresa "R" construye una presa para asegurarse una dotación anual constante de agua y se entiende al efecto con un productor de energía "E", por cuyas turbinas el agua pasará mediante un canon que "E" pagará a "R" por cada Kw./h. producido.

Admitimos las bases siguientes para el proyecto que se va a presentar solicitando la concesión:

1.ª Presa de gravedad de altura H con paramento mojado vertical (1).

2.ª Ensayos previos de laboratorio permiten contar con que debe de ser posible obtener un peso específico del hormigón de $\gamma = 2,4$.

3.ª De estudios adecuados sobre la subpresión probable, resulta suficiente preverla agua arriba en $m. = 2/3 H$.

4.ª La riada máxima del siglo está prevista prudentemente, según estudios, en 1200 m.³/s. que se van a evacuar por 4 compuertas de 300 m.³/s. c. u.

5.ª El conjunto del embalse costará en tales condiciones 100 millones de pesetas, de los cuales se llevarán los aliviaderos 20 millones y las expropiaciones, así como todo lo demás que no se encarece al aumentar el espesor de la presa (2), 30 millones.

6.ª La empresa "R" gastará, además, en sus canales, depósitos, tuberías, acequias, etc., 100 millones de pesetas.

7.ª "R" recibirá de "E" por cada Kw./h. producido, 5 céntimos.

8.ª Habida cuenta de 7.ª y de que tiene buenas condiciones de financiación, le resultará a "R" el m.³ de agua en 4 céntimos.

9.ª A "E" le resultará el Kw./h. por sus instalaciones peculiares y gastos de explotación directos, en 15 céntimos.

(1) Ya se sabe que en presas muy altas conviene dar al paramento mojado pocos tantos por 100 de talud, lo que, sin embargo, apenas influye sobre el espesor total de la presa.

(2) Estudios y administración, dirección de obras, aliviaderos, compuertas de todas clases, tomas varias, coronación, accesos, aparatos de control, alumbrado, poblado del personal, expropiaciones, etc., etc.

(1) Prescindiendo, naturalmente, de los estragos causados por las ambiciones y equivocaciones de la política: revoluciones y guerras.

(2) Según tipos, oscila este porcentaje desde prácticamente cero (bóvedas escuetas) hasta casi 10 por 100 (bóvedas múltiples). Término medio general, 1 por 100.

10. Incluido el canon a pagar a "R", le resultará, pues, a "E" el Kw./h. en $15 + 5 = 20$ céntimos.

Prescindiendo de la coronación, que no dejamos intervenir, bien para tomar una seguridad suplementaria, bien porque la defina y la pague quien vaya a utilizarla para carretera, el espesor e de la presa, en función de la altura, se halla por la fórmula de Guidi:

$$e \text{ en } \% \text{ de } H = \sqrt{\frac{1}{\gamma - m}},$$

en la cual γ es el peso específico de la masa de hormigón de la presa y m la fracción de H que en el cálculo se aplica de subpresión en el paramento mojado.

Con dicha fórmula la resultante de todas las fuerzas pasa por el punto de núcleo inferior a embalse lleno y por el superior a embalse vacío. En ningún caso se presentarán tracciones, aunque, sí, bajará la compresión a cero, tanto en el paramento mojado a embalse lleno como en el seco a embalse vacío. Cálculo correcto.

Con esta fórmula y nuestras premisas, resulta el espesor $e = 0,758 H$. Pero el proyecto pasa a informe del señor "C", dotado de poderes para poner "pegas" y conocido por su extrema prudencia, y tanto "R" como "E" se las esperan "negras". Efectivamente, "C" razona como sigue:

$\gamma = 2,4$. Está bien como resultado de laboratorio. Pero yo sé cómo van las obras efectivas. Es más probable que salga sólo un 2,3, y pido que se cuente con esto.

$m = 0,67$. Muy bien también. Teóricamente. Porque la lucha para conseguir de los contratistas juntas de trabajo estancas no se suele ganar con frecuencia. Y si esta presa se fuera, se llevaría todos los barcos del puerto de Presaville, las víctimas serían incontables, la región no volvería a levantar cabeza en años. Aun sabiendo que de esta clase de presas falla sólo una de 133 (1), más vale exigir $m = 0,75$, que es lo que hago.

$Q_{\max.} = 1\ 200 \text{ m}^3/\text{s}$. ¿Según Fulánez? Aceptable. Sin embargo, hay fórmulas más severas. Una compuerta puede negarse a abrir; no hace muchos años que en el embalse de Riadas, donde también se habían basado en Fulánez, esto no bastó, porque el agua subió a gran altura en el huelgo... (?) ; Por las razones que fueran! ; No me interrumpa! ; Cabe una compuerta más en este collado? ; Que sí? Pues, entonces, ; que la pongan!

"R" y "E" están indignados. ; Este "C" nos va a arruinar con sus caprichos! Nos encarecerá la presa en un 10 por 100 por lo menos. ; Tomémoslo con calma! Con la correcta fórmula de Guidi la presa de $\gamma = 2,4$ y $m = 0,67 H$ da un espesor de $e = 0,758 H$. Pero, partiendo de $\gamma = 2,3$ y $m = 0,75 H$, resulta $e = 0,802 H$. El espesor del triángulo aumenta en

$0,802 - 0,758 = + 5,8$ por 100. Y si, como se suele hacer por razones prácticas, se redondea a la segunda decimal, resulta que e pasa de 0,76 a 0,80 = + 5,25 por 100.

Cualquiera que haya tenido que ver con presas de gravedad reconoce las cifras: el que pretenda ser capaz de conseguir $\gamma = 2,4$ y de contener la subpresión en el paramento mojado por debajo de $2/3 H$, puede prever un paramento seco de 75 por 100 H ; el elucubrador llegará a demostrar con cálculos refinados que se puede incluso tomar menos. Mas el viejo presista, que las ha visto de todos los colores, renuncia a cálculos y se queda tan tranquilo... porque ha puesto el 80 por 100. Hace medio siglo que la presa de gravedad llegó a ser artículo de catálogo (1).

Pero como hay que presentar a la Administración un cálculo completo, que se divierta con Guidi o con Pigeaud, o con quien quiera, el joven colaborador, ingeniero novato, que el ejercicio le hará bien. Pero ateniéndose, desde luego, al método Agata Christie: ella fija de antemano quién ha de resultar al final el asesino (nuestro 80 por 100) y construye la novela correspondiente a la inversa. El método es conocido, pues, también entre los ingenieros y no tiene inconveniente si el final ha sido prefijado a todas luces con inteligencia y prudencia. La Administración podría ser menos detallista en esta clase de cálculos, exigiendo, en cambio, al proyectista que se extienda más a fondo, que emplee más a fondo sus capacidades, fuerzas, tiempo y medios, en la investigación geológica e hidrográfica, informes de laboratorios de ensayo, así como en la preparación de una perfecta ejecución.

Reflexiones análogas caben con los demás tipos de presas. Como vamos a ver, los cálculos dejaron de tener, y con mucho, el grado de peligro que siguen encerrando geología, hidrología y negligencias de ejecución.

Pero volvamos a los 5,8 por 100 de aumento debidos a la excesiva (?) prudencia de ese "C". Afectando sólo a la mitad de los gastos del pantano, a los 50 millones de pesetas del triángulo escueto de hormigón, encarecen éste en 2,9 millones. Desdichadamente, con esto no basta, porque, además, "C" no se conforma con 4 compuertas sino que pide una quinta "de respeto", sin reducir las 4 de base. ; Si éstas cuestan 20 millones, la quinta costará otros 5? No; algo menos. Porque aquí tampoco se necesitan planos nuevos ni más gastos generales; las obras de conducción a, y de salida de, las compuertas no aumentan proporcionalmente a su número, no se incrementan las obras de amortiguamiento de la energía, contrapresa, etc. La quinta compuerta costará, pues, algo menos de 5 millones, digamos 4,3.

El coste total del pantano aumenta, pues, en $2,9 + 4,3 = 7,2$ millones de pesetas, prima de seguro a

(1) Desglosadas, las de gravedad quedan mejor que la media general del aproximadamente 1 por 100.

(1) Puede, además, que un pequeño margen de espesor sea bienvenido el día que empiece a empujar sobre la presa el atarquinamiento.

primera vista muy alta para un objeto que suele fallar en un caso de 133.

Veamos, sin embargo, la repercusión sobre el coste del producto final. Supongamos que la clave de reparto de los gastos del embalse entre "R" y "E", que llevó a fijar el canon que el segundo pagaría al primero por Kw./h. producido, hubiera sido de $2/3$ a cargo de "R" y $1/3$ al de "E", por ser primordial el objetivo de "R" y subproducto la energía conseguida por "E": 67 y 33 millones de pesetas, respectivamente. Los 7,2 millones del aumento provocado por la intervención de "C" se desglosan entonces en 4,8 a cargo de "R" y 2,4 a cargo de "E".

A "R" le aumenta el coste del m.³ de agua en 4,8 sobre 167 (67 del pantano y 100 de sus obras pecu-
liares) = + 2,87 por 100 = 4,115 céntimos en vez de 4,0.

A "E" le aumenta el canon del Kw./h. en 2,4 sobre 33 = + 7,28 por 100. Pasa el canon de 5,0 a 5,36 céntimos y el coste total del Kw./h. a $15 + 5,36 = 20,36 = + 1,8$ por 100.

Introdúzcanse ahora todas las variantes que se quieran: presa relativamente más cara, financiación más onerosa para uno de los participantes, clave de reparto distinta para el coste del embalse, etc., y se verá que "C" tendría que exigir absurdos para que el encarecimiento se aproximara al 5 por 100. ¿No valdrá la seguridad de poblaciones y regiones enteras un par de por cientos de encarecimiento? Porque, desde luego, por estos 2-3 por 100 de aumento en el coste del producto final, la seguridad de la presa aumenta relativamente muchísimo más. Veamos:

En cifras redondas, el encarecimiento resultó debido en $2/5$ al mayor espesor de la presa y en $3/5$ a la quinta compuerta, la suplementaria impuesta por "C". Esta última encarece, pues, el producto final en + 1,73 por 100, para "R", y + 1,08 por 100, para "E"; digamos, para simplificar, que los productos finales se encarecen del orden del 1,5 por 100. Tomando como base de apreciación de las crecidas seculares y milenarias las respectivas curvas de Fuller, se ve que el paso de 4 a 5 compuertas iguales = + 25 por 100 de capacidad, corresponde a pesar de la crecida secular a la de siete siglos. Incluso si el que se resiste a instalar la quinta compuerta alega en contra que también aumenta con ella en un 25 por 100 el peligro que una de las compuertas no funcione en el momento crítico, casualidad de probabilidad ínfima, aumentará, por lo menos, de cinco a seis veces la probabilidad de poder encajar sin peligro ni daño la desconocida crecida máxima a temer, aumento de seguridad muy relevante (1).

Rendimiento menos aparatoso da el + 1 por 100

(1) En el mismo orden de ideas, añadir una cuarta compuerta "de despeto" a las tres de base representa poder encajar la crecida milenaria en vez de la secular. Y, si en vez de basarnos en Fuller lo hacemos en Creager, la ventaja es aun mayor: la quinta compuerta añadida a la cuarta pasa ya de la secular a la milenaria.

de gastos por el mayor espesor de la presa: ninguno, naturalmente, e incluso puede resultar contraproducente si el ingeniero encargado, molesto por haberle "C" obligado a contar con $\gamma = 2,3$ en vez de poder tomar 2,4 y $m = 0,75$ en vez de 0,67, no se preocupa de obtener más de aquellos valores en la ejecución, descuidando el estudio práctico y el control del hormi-gón, la unión entre roca y presa, las juntas de tra-bajo. Si, como es lógico, se sigue luchando por con-seguir no sólo los valores puestos en el cálculo, sino los máximos posibles con las posibilidades dadas, se sacará efectivamente más de aquellos mínimos, pon-gamos, p. ej., 2,35 y 0,7, respectivamente, y se tendrá un aumento de seguridad del orden del + 5 a 7 por 100 contra un aumento del coste final del 1 por 100.

De paso se ve cuánto más importante es una buena ejecución que una refinada minuciosidad al escoger las bases del cálculo. Porque vale, desde luego, mu-chísimo más una presa con paramento seco del 75 por 100 de H y ejecución esmerada que la del 80 por 100 descuidada.

B) SEGURIDAD SEGÚN TIPO DE PRESA.

Alguna vez, no siempre, el emplazamiento impone el tipo de presa a escoger. Las estadísticas del tra-bajo anterior consignaron que el 52 por 100 de las presas existentes son de gravedad. Está debido, en primer lugar, a la naturaleza misma, que ofrece con más frecuencia cerradas demasiado anchas o de insu-ficiente seguridad de apoyos para permitir una bó-veda. Pero también hay que tener en cuenta que la técnica de las bóvedas es bastante reciente y que sólo desde muy poco nos atravesamos en Europa a erigir altos diques de tierra.

A la vista de los últimos desarrollos, llegamos a prever que las proporciones tienden a resultar las siguientes:

TABLA NÚM. I. — *Frecuencia de los tipos en un pró-ximo futuro.*

1. Presas de gravedad (de fábrica).....	aprox.	50
2. Diques de tierra	»	20
3. Bóvedas únicas (delgadas, gruesas, cúpulas)	»	20
4. Tipos raros (escolleras, bóvedas múl-tiples, contrafuertes, hierro, mado-ra, etc.)	»	10
TOTAL		100

Donde la Naturaleza impone unívocamente el tipo (por ejemplo, terreno de fundación que admite sólo un dique de tierra), o donde admite más de uno, pero siendo uno de ellos a todas luces más seguro y más económico (p. ej., la bóveda única, siempre preferible a la de gravedad que cabría en su lugar), no hay di-

lema. En cambio, cuando ocurre, como con cierta frecuencia que quepan bien varios tipos, la decisión recae normalmente a favor del más barato. Esto era perfectamente lógico hasta hace poco, porque no había datos comparativos entre los fallos de los distintos tipos; ello tanto más que la primera y de momento última estadística, que sigue en la tabla núm. 2. publicada por primera vez en nuestro trabajo anterior, da resultados inesperados:

TABLA NÚM. 2. — *Tipos ordenados por la frecuencia relativa de sus fallos.*

1. ^a Bóveda única todos tipos	1/268 = 0,35 %
Invulnerable si no fuera p. l. excepción Malpasset.	
2. ^a Gravedad	7/927 = 0,75 »
3. ^a Tierra	12/389 = 3,10 »
; Causas de tan malos resultados?	
4. ^a Tipos esporádicos	3/54 = 5,50 »
5. ^a Escolleras	6/85 = 7,05 »
6. ^a Bóvedas múltiples	4/41 = 9,75 »

Para mí fué una sorpresa y sigue siendo poco claro el porqué las escolleras resultan 2,5 veces más vulnerables que los diques de tierra, y me es aún menos claro el malísimo resultado de las bóvedas múltiples, cuando, supuestos inmovibles los apoyos, es invulnerable la bóveda sencilla. En cambio, a la vista de mi tabla núm. 2, he perdido el miedo que me inspiraban los diques de tierra, debido a que uno se me había ido, si bien no causando catástrofe, porque era chico.

Visto también que el encarecimiento de la presa se suele atenuar 3-4 veces en su repercusión sobre el coste final de la explotación, se debe concluir que, al escoger entre los tipos posibles, ya no está permitido basarse sólo en la comparación económica. Si el tipo que resulte más caro ofrece, según la estadística de roturas, un múltiplo de seguridad, se debe decidir a favor del que encarezca el producto final. Por otra parte, la experiencia enseña que rara vez la comparación económica entre dos tipos para el mismo emplazamiento da diferencias muy relevantes. El paso de la presa de gravedad a las bóvedas, ahorra excavación y hormigón; pero estas economías se vuelven a perder en complicaciones de todas clases: de replanteo, de excavación, de encofrados, en aumentos de dosificación, en servidumbres sobre detalles como no poder emplear ciertos tipos de válvulas o compuertas, dejar menos libertad para el aliviadero o para el emplazamiento de una central de pie de presa inmediato. Parece exluído que el paso de la segura gravedad a las inseguras bóvedas múltiples pueda dar

un ahorro tal que represente más de un par de por cientos de encarecimiento en el producto explotado. Apenas si da un 20 por 100 de ahorro el paso de la gravedad a la bóveda sencilla en los estrechos tajos donde ésta se impone; supuesta asegurada la inmovilidad de los apoyos, doy la preferencia a la bóveda, desde luego, pero antes por más segura que por más económica. Y no resisto aquí a repetir el estribillo que la tabla núm. 2 que antecede no es la única en cantar: cuanto más sencillo, tanto más seguro: bóveda franca, gravedad franca, o, si no hay más remedio, tierra franca. Y por lo demás, tanto más temor cuanto más complicado es el tipo. Con estos principios se puede, con buena conciencia, hacer abstracción de demasiadas refinadas comparaciones económicas.

Cuán poca claridad había hasta relativamente poco en este aspecto, lo ilustra el libro de texto de Guidi (1), "Statica delle dighe per laghi artificiali", impreso en 1921, con dos afirmaciones a propósito de las bóvedas múltiples, que la catástrofe del Gleno (año 1923) se encargaría pronto y cruelmente de desmentir: Primera. "Siendo las bóvedas tan seguras, las presas de bóvedas múltiples lo serán también". ¡Como si no existiese el problema de los apoyos intermedios! Segunda. "Las de bóvedas múltiples tienen además la ventaja de que, en caso de rotura, se romperá una bóveda solamente, con gran disminución del riesgo de catástrofe". Fueron 10 las bóvedas rotas del Gleno y 600 los muertos; y no fué la cosa peor gracias a que se detuvieron las roturas en dos pilares reforzados, "de amarre" (véase Gómez-Navarro, pág. 2439). Hasta este punto puede cegar el deseo de economía o el de lucirse con construcciones poco corrientes (2). Las presas son artículo demasiado peligroso para alardear con ellas de originalidad. Huyamos, siempre que sea posible, de tipos raros y no probemos tipos nuevos en condiciones que significarían catástrofe en caso de fallo. Reservémoslo para probarlos en zonas desérticas (¡mientras que queden!), donde la eventual rotura no mate al por mayor.

Un caso interesante de actualidad, lo ofrece en propósito la controversia suiza entre militares y pre-sistas sobre las presas de gravedad aligeradas o "de cabeza de martillo": a raíz de los ataques de la RAF a presas alemanas en 1944, los militares consiguieron hacer rellenar los huecos de la presa de Cleuson (88 metros), y después de lo ocurrido en Ribadelago y Malpasset, insisten para que se haga lo mismo con

(1) Autoridad italiana de hace medio siglo.

(2) En evitación de malentendidos: Guidi no había intervenido para nada en el Gleno, que fué de las primeras bóvedas múltiples.

la de Lucendo. Como presista, no puedo lógicamente adherirme al bando de coroneles y periodistas; pero como redactor de la tabla núm. 2, me cuesta trabajo no hacerlo. Los paredones entre las cavidades recuerdan fatalmente pilares de bóvedas múltiples, y en los tipos no cerrados aguas abajo, los contrafuertes de Ribadelago. Parece evidente que contrafuertes de alturas muy distintas tengan que ser más sensibles en sus diversas reacciones sobre el terreno, que también puede carecer de homogeneidad, que los cimientos continuos de la gravedad maciza, que lo iguala todo mucho mejor.

Un argumento, sin embargo, a favor de mis más sabios colegas: que en la presa aligerada actúa forzosamente menos la subpresión y que ésta resulta mucho mejor controlable que en el bloque de gravedad lleno. También pueden alegar desde ahora los padrinos del tipo que hay, tanto en Italia como en el Japón (país gran presista sin — por ahora — ningún

fallo, a pesar de los frecuentes terremotos) varias de estas presas, no conociéndose hasta hoy ninguna que haya dado lugar a alarmas.

El principio tendrá que ser siempre: no aferrarse demasiado a la economía y si a todo lo que la situación dé de sí en seguridad. Si en esto el proyecto no es satisfactorio, renunciemos a él; nunca se podrá salvar un proyecto dudoso reemplazando una presa de tipo sencillo por otra de tipo más complicado.

En estos aspectos son muy interesantes las adjuntas tablas núms. 3 y 3 bis, establecidas en junio de 1958 y fin de 1959, respectivamente, donde figuran todas las presas japonesas de $H > 15$ m. Prescindiendo de unos 2 000 diques bajos, de tierra, debidos desde antiguo a riegos, los japoneses empezaron como presistas en el sentido moderno hace sólo unos cuarenta años, a pesar de lo cual nos han alcanzado, si no rebasados. Véase cuánta prudencia refleja la tabla número 3:

Tabla Núm. 3. — Presas japonesas $H > 15$ m. (Estadística de junio de 1958.)

(A pesar de los frecuentes terremotos y de terribles crecidas, Japón no llama la atención con catástrofes de presas.)

OBJETO	TIERRA		GRAVEDAD		ARCO		ESCOLLERA		Contrafuertes, bóvedas múltiples Ambursen		GRAVEDAD ALIGERADA III		TOTAL		TOTAL GENERAL
	En serv.	En const.	En serv.	En const.	En serv.	En const.	En serv.	En const.	En serv.	En const.	En serv.	En const.	En serv.	En const.	
Múltiple . . .	—	—	44	10	3	7	1	1	—	—	—	1	48	19	67
Riegos . . .	2.225	42	22	15	—	1	1	2	1	—	—	—	2.249	60	2.309
A. Potable . . .	23	—	35	—	—	—	—	—	1	—	—	—	59	—	59
Energía . . .	15	—	182	19	2	3	4	1	6	—	1	4	207	27	234
Total . . .	2 263	42	283	44	5	11	6	4	8	—	1	5	2.563	106	2 669
TOTAL . . .	2.305		327		16		10		8		6		2.669		100 %
En % . . .	86,3		12,3		0,6		0,3		0,3		0,2				

(1)

(2)

(3)

(4)

(5)

(6)

(1) La gran mayoría de éstas son antiguas y de $H < 30$ m.

(2) Si se prescinde de las de tierra, resultan las modernas de gravedad el 90 por 100 del total.

(3) Empiezan solamente ahora por miedo a los terremotos, aspecto últimamente aclarado en laboratorio; prefieren el arco grueso al delgado, tipo del cual hay uno solo.

(4) Tipo que parece estar perdiendo simpatía.

(5) Tipos completamente abandonados: primera, en 1924, contrafuertes $H = 20,5$ m.; última, en 1937, Ambursen, $H = 33$ m. Un sola de bóvedas múltiples, $H = 30$ m., en 1929.

(6) Tipo que está entrando en moda actualmente, $H > 47$ m. < 119 m., probablemente por estimarlo más seguro en caso de terremoto.

TABLA NÚM. 3 bis. — Presas japonesas $H > 16$ m., en construcción o proyecto a fines de 1959.

TIPO	$H > 16 < 30$ m.	$H > 30$ m.	Total	%	H mín. y H máx. m.	%		OBSERVACIONES
						> 30 m.	30 m. $>$	
Gravedad	11	54	65	47,5	16,3-157,0	17	83	
Tierra	34	7	41	30,0	16,9- 40,8	83	17	No interesa el dique de tierra de $H > 40$ m.
Bóvedas	1	17	18	13,1	25,0-194,0	5,6	94,4	De lejos, el record de altura lo tienen las bóvedas. No se emplean $H < 25$ metros.
Grav. aliger.	—	7	7	5,0	47,0-119,0	—	100	La gravedad aligerada interesa sólo para $H > 25$ m.
Escolleras	2	4	6	4,4	20,9-131,0	33,3	66,7	Están las escolleras perdiendo interés.
TOTALES ...	48	89	137	100,0	16,3-194,0	35,0	65	De las 137, estaban 112 (82 %) en construcción y 25 (18 %) en proyecto. Nada de Ambursen, ni bóvedas múltiples, ni contrafuertes, ni tipos raros.
En el año 1958 habían sido terminadas 20 presas entre 18 y 91 m., de las cuales 50 por 100 de gravedad (máx., 91 m.), 10 por 100 de tierra (máx., 30 m.) y 10 por 100 de bóvedas (máx., 67,4 m.). De ningún otro tipo.								De los países grandes presistas, es el Japón el que más mérito tiene: ninguna catástrofe a pesar de ser el segundo del mundo en cantidad de altas presas y el más perseguido por los terremotos. Efecto de su prudencia.

1. Por temor a los terremotos, los japones son muy circunspectos con las bóvedas, habiendo preferido la gravedad hasta incluso 1953, cuando se atrevieron con la primera bóveda de modesta altura, 39 metros, mientras que hoy están acabando los 194 m. de Kurobegawa 4. Pero, salvo una sola, Sozanami-gawa, de 67 m., son todas cúpulas de arco-gravedad. Tal vez estimen la cúpula gruesa menos peligrosa que la delgada, prevaleciente hasta ahora en Europa, para el caso de un terremoto que afecte a los apoyos. Por otra parte, el paisaje japonés da la impresión de que no debe de ser fácil hallar collados independientes donde situar los aliviaderos. Hay que instalarlos en coronación de presa, y en esto no cabe duda que la cúpula gruesa es más segura que la bóveda corriente de espesor reducido, que llevó al record de delgadez de Malpasset, pero también a las vibraciones provocadas por su válvula de fondo.

2. Le están perdiendo apego a las escolleras

3. Lo más interesante: sólo en el breve plazo de trece años a partir de 1924, hicieron ocho presas entre contrafuertes y Ambursen, abandonándolas completamente desde 1937. Una sola de bóvedas múltiples figura entre las ocho. Recordemos que, según

nuestra tabla núm. 2, esos tipos acusan porcentajes de fallos entre 5 y 10 por 100. Salvo, pues, la escollera, los japoneses han abandonado los tipos complicados e inseguros desde hace veinticinco años, al poco tiempo de conocerlos.

4. Pero no cabe duda que simpatizan hoy con la gravedad aligerada, que parece ser más segura en caso de terremoto, mientras que, por otra parte, frente a las bombas atómicas modernas tampoco resistirá la presa no aligerada. (Véase a este propósito la nota 1, pág. 592. Tenían en 1958 cinco aligeradas en construcción, de las cuales una de 119 m., Hatanagi número 1, cimentada sobre pizarra (1).

C) DEL CÁLCULO.

De la docena de fallos del último medio siglo, de los cuales la mitad ocasionaron catástrofes, ninguno

(1) Los padrinos suizos de la gravedad aligerada aseguran que resiste mejor los terremotos que la gravedad corriente. El Japón, país de terremotos, parece, pues, compartir esta opinión, aunque empleando la aligerada sólo a partir de H aprox. 50 m., mientras que los suizos las estiman interesantes a partir de $H = 30$ m.

pudo ser atribuido a errores de cálculo. Los cálculos de la presa de gravedad quedaron ya perfectamente claros a fines del siglo pasado, en las revisiones provocadas por las roturas del Habra (primera), de Bouzey, Johnston y Austin (1), por las teorías de Lévy sobre el efecto de la subpresión, etc. No hace falta ser ningún gran matemático para calcular una presa de gravedad. Las que se fueron en este siglo lo debieron o al aspecto geología o a insuficiencia de aliviaderos o a mala ejecución. Y en cuanto a las bóvedas,

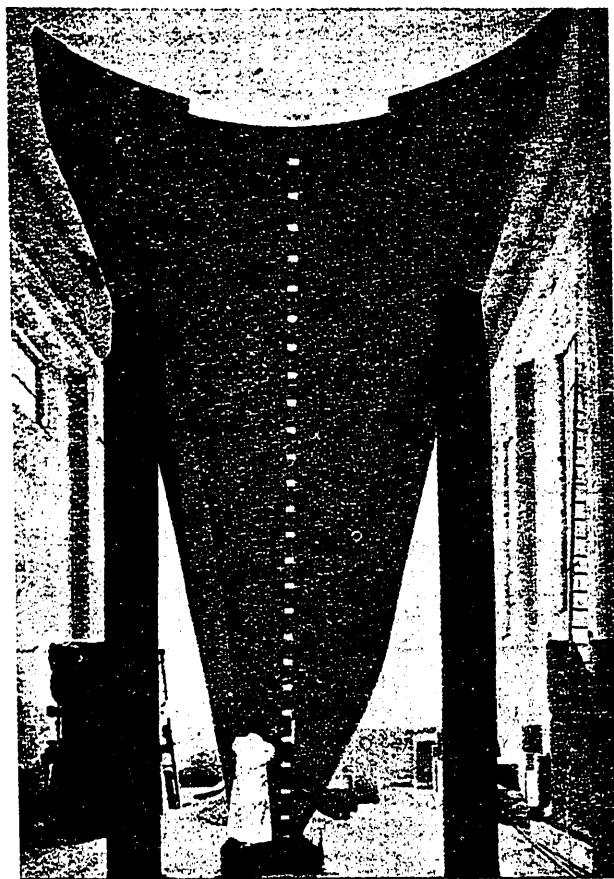
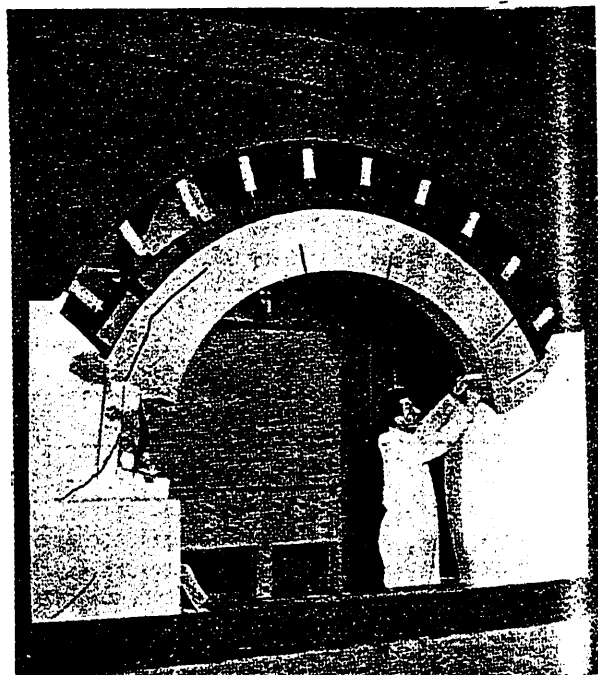


Fig. 1.ª — Primer modelo — escala 1 : 33 — de la presa de Vayont, la bóveda delgada más alta del mundo (257 m. a. 1906). (De un impreso de la Società Adriatica di Elettricità.)

fué Malpasset la primera y hasta ahora única en irse de más de 270 de $H > 30$ m., y esto tampoco por error de cálculo. La única que pudiera atribuirse a este motivo fué la del Gleno, pero eran precisamente bóvedas múltiples, y las negligencias de ejecución habían sido tales, que la Comisión investigadora no pudo atribuir con seguridad al cálculo el fallo. Y no olvidemos que lo primero en ceder en el Gleno fué un pilar intermedio. Porque la bóveda escueta, y pese a Malpasset, es hoy mucho más segura que hace un

(1) Cuatro gravísimas catástrofes en veinticuatro años; en el siglo actual no son más frecuentes a pesar de haber 30-40 veces más presas. Mejora proporcionalmente enorme.

par de decenios, gracias al desarrollo de la técnica de ensayos de laboratorio, que tantos progresos ha aportado y sigue aportando. Desde luego, hay que *sentar como principio que ninguna bóveda importante, ninguna gravedad de un H superior a los ya usuales, deben darse por bien calculadas sin la confrontación paralela por modelos de laboratorio*. Y conviene tener en cuenta, sobre todo para las bóvedas, un consejo atinado de Becerril: "Que los ensayos de laboratorio sean llevados hasta la destrucción del modelo, comprobando así que se produce cerca ya del límite de resistencia del material, lo que supone un altísimo coeficiente de seguridad y concuerda con los resultados excelentes de la práctica" (1). La cuestión de si los ensayos sobrarán en un futuro más o menos lejano, no se plantea por ahora. Una presa estudiada así por Becerril en Es-



paña, Stucky en Suiza, Semenza en Italia, o por buenos presistas de cualquier país, no se hunde.

Pero la objeción es inmediata: más célebre que todos ellos era Coyne, y Malpasset se fué. Es precisamente aquí donde quiero llegar: por delgada que fuera Malpasset, no se fué por error de cálculo, sino por insuficientes estudios geológicos, coadyuvados, tal vez, por impropias disposiciones en la válvula de fondo y en el vertedero en coronación y sin estar excluidas por completo ciertas imperfecciones de eje-

(1) Estoy persuadido que el consejo va a ser acogido como norma general, si no lo es ya.

cución, como en las juntas de trabajo. ¿Por qué no vería todo esto Coyne? Supongo que por ser una gran Autoridad, con mayúscula. Todas ellas, de todas las ciencias, peligran por dos razones: primera, el exceso de éxito, la confianza en sí mismo, la admiración que inspiran, hacen alrededor de ellas el vacío. Es una regla psicológica que no falla. Políticos y generales victoriosos, presistas y geólogos, arquitectos o cirujanos de fama mundial, acostumbrados a éxitos continuos, se van encontrando poco a poco y sin darse cuenta, solos en las nubes. Algún que otro colaborador quisiera discrepar alguna vez, pero, vista su distancia de la indiscutible altura, acaba por inclinarse a creer modestamente que el equivocado tiene que ser él mismo. ("Mussolini ha sempre ragione" — también para Ciano, y a éste le cuesta la vida.) Por lo demás, de nada le serviría al colaborador querer opinar: la autoridad, desde tanto tiempo aislada de la realidad, ha acabado por creerse infalible y no acepta sugerencias de nadie (1). En mi vida de presista me encontré un par de veces en situaciones que condujeron a extrañas "metidas de pata" de autoridades internacionales, que impusieron grandes gastos... ¡contraproducentes! La "boutade" de Coyne: "Le problème de la voûte ce n'est pas de la faire tenir, c'est de la faire tomber", es bien justificada. El que escribe tuvo en su vida dos veces ocasión de comprobar lo tercas que pueden ser bóvedas a demoler. ¡Ni con dinamita! Pero a condición de estar en presencia de apoyos inconnovibles, detalle en el cual la Autoridad con mayúscula no tiene mucho tiempo para detenerse. No ironizo, es trágico. Huyamos, pues, de grandes autoridades sobrecargadas de febril actividad, que no tienen ni el tiempo necesario para poderse dar cuenta que sus extraordinarias capacidades han empezado a recibir los primeros avisos de la senectud. Segunda. Porque ser célebre autoridad les procura tanto trabajo, tantas pérdidas de tiempo y de nervios en viajes, consultas, congresos, conferencias, publicaciones con o sin "redactores fantasmas", preparación de informes y de facturas de honorarios, que se van insensiblemente desprendiendo de detalles

(1) Caso clásico, Hitler. Pero los hay trágicos también en otro plano, como el del Prof. Sauerbruch, indiscutido primer cirujano alemán entre las dos guerras mundiales. Después de la segunda, sus operados empezaron a morir todos, cuando antes la muerte en sus manos era la excepción. A los ayudantes que, viendo la operación acabar mal, se ofrecían a sustituirle, les rechazaba brutalmente. Y nada podían hacer, porque el Gobierno de la Alemania Oriental entendía lucirse políticamente con la celebridad, que no se quedaba detrás del telón de acero por simpatías comunistas, sino por estimar cristianamente que todos los hombres tienen el mismo derecho al médico con independencia de su etiqueta. Hasta que la macabra estadística habló demasiado claro, obligando al Gobierno a someter a S. a un examen, que constató un avanzado grado de esclerosis cerebral. Tragedia para la Excelencia, pero después de haber causado muchas a terceros inocentes.

considerados demasiado fáciles, demasiado "terre à terre" para dedicarles de su precioso tiempo. No es ni orgullo ni dejación, sino que están cogidos por un engranaje que no les deja efectivamente tiempo. En principio no parece haber inconveniente en que alguien se ocupa aparte de la válvula de fondo o del vertedero de una presa calculada por otro; sin embargo, *del conjunto de un embalse tiene que llevar la responsabilidad completa una persona sola*. Nadie pide a un especialista en cálculos y laboratorios que sea a la par un gran geólogo, sobresaliente en construcción de compuertas, etc. Pero no quita que cálculos y geología, aliviaderos y sistemas de futuras observaciones, la ejecución, formen un conjunto no fraccionable, en el cual nada se puede cambiar ni dar por suficientemente estudiado sin la conformidad del presista, primer responsable, coordinador general, que o encuentra el tiempo necesario o renuncia (1).

Y cuando no una persona, tendrá que ser, por lo menos, una oficina, en la cual el espíritu del jefe titular prevalezca en un equipo de contados colaboradores, siempre en comunicación íntima y mutua desde años con el jefe, los pocos que tengan atribuciones.

Tiene que haber habido discontinuidad en este aspecto de Malpasset, para que fallara tan extrañamente la geología y se adoptaran un vertedero en coronación y una válvula de fondo inadecuados al tipo de presa. Con mucha razón empiezan por sentar las actuales *Normas transitorias de la Dirección General de Obras Hidráulicas sobre presas* (N.T.M.O.P.), que *la complejidad del problema desborda el aspecto matemático*. En materia de cálculo, gracias a Dios, poco queda que aprender. Hace pocos decenios no se hubiera podido decir esto de las presas de tierra porque faltaban bases. Hoy, gracias a los laboratorios de tierra, que nadie soñaba todavía hace poco: gracias a los Terzaghi, Chebotariof y otros, se calculan fatigas y resistencias de suelos blandos ni más ni menos que las de obras de fábrica, con aproximación suficiente... "a la condición que la ejecución realice o casi las hipótesis de partida" (N.T.M.O.P.).

Si nuestra meta actual es la de reducir del 1 por 100 al 1 por 1000 las catástrofes de presas, en el aspecto cálculo esta meta está ya alcanzada, pero repetamos: *el cálculo de por sí solo no garantiza nada*.

(1) Era éste el gran secreto del gran Maraño: empezaba su consulta ayudando personalmente al enfermo a desnudarse y la terminaba ayudándole a vestirse. Nada aparecía como abandonado a enfermeras o asistentes. Esto hacía de médico y enfermo una tal unidad que era ya la mitad de la curación. También era una autoridad reconocida, pero una excepción entre ellas en el sentido de que su capacidad de trabajo era sobrehumana y de que siempre supo evitar el aislamiento de la restante humanidad.

D) DE LA GEOLOGÍA.

Es sabido que, en gran proporción, los fallos de presas conocidos fueron debidos a deficientes investigaciones geológicas o a francos errores de geólogos. Maurice Lugeon, conocido geólogo suizo, en su "Barrages et géologie", incluso afirma, exagerando por amor a su ciencia, que los fallos geológicos son, en el 80 por 100 de los casos, el motivo de las catástrofes.

de presa, en lo que pudiéramos denominar con expresión de moda para algo que existió siempre. "las relaciones humanas" entre geólogo, presista, dueño de la obra, financieros, representantes del Estado, etc. Estas relaciones suelen ser muy cordiales, pero las posiciones e intereses pueden, desdichadamente, llegar a oponerse hasta el punto que un informe geológico no reciba de las otras partes la atención que siempre conviene prestarle.

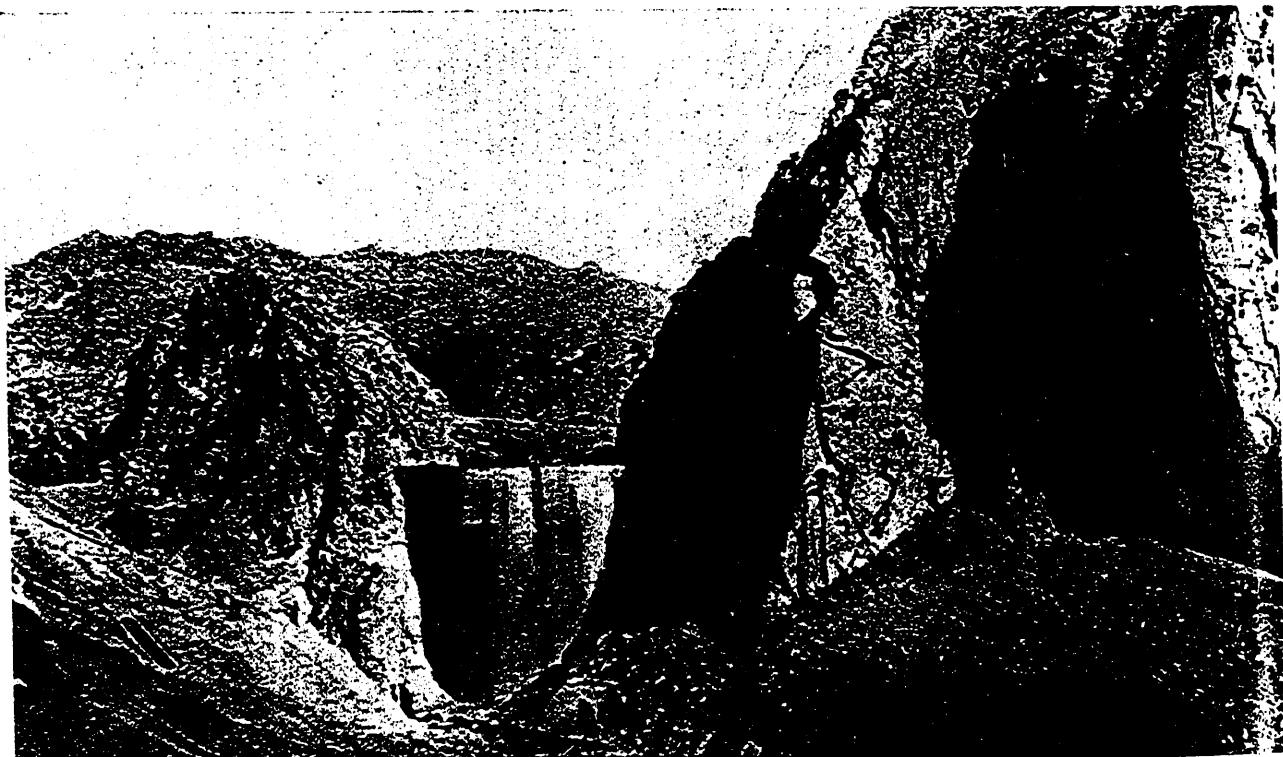


Figura 2.*

El prometeico paisaje de Montejaque.

Esto no puede ser cierto, porque cualquier estadística al respecto sorprende por la regularidad con que alternan en las causas la Geología y la insuficiencia de aliviaderos. Y como también se presentan, si bien raramente, fallos por negligencias de ejecución, la Geología puede intervenir, como máximo, en el 50 por 100 de los casos. Pero de todas formas es una proporción demasiado elevada, y con razón las N.T.M. O.P. insisten, en el capítulo II, "Del proyecto", mucho más en el aspecto geológico que sobre el cálculo. Tanto, que consideramos innecesario aquí profundizar más en el tema, limitándonos a aconsejar que se estudien y, sobre todo, que se apliquen, las N.T.M.O.P.

Podemos, en cambio, extendernos sobre el aspecto general de la intervención del geólogo en proyectos

Contribuye también a ello el no ser la Geología una ciencia exacta. Tiene mucho de intuición, por no decir de arte; el geólogo hace lo que puede, pero no siempre logra alcanzar en todo la plena seguridad o se ve forzado a pedir créditos suplementarios, que siempre sientan muy mal, para nuevas investigaciones, sondeos, etc.; si no se les conceden por completo, es lógico que se descorazone. Son las circunstancias que motivan en muchos informes geológicos dar "una de cal y una de arena"; esto es blanco, pero pudiera ser, según tal detalle, negro, y podemos concluir por gris, etc. Y quien ha de interpretar las sibilinas frases acaba por buscar y encontrar en ellas lo que más le conviene, lo que, tratándose de cimientos de presa, puede resultar peligroso. La presa no se debe hacer si el geólogo no está en condiciones de decir blanca

de un modo categórico, o si, habiendo un gris, no toma la plena responsabilidad de que el tratamiento que recomienda para convertirlo en blanco dará un resultado completamente seguro. En fin, también se dan casos donde el geólogo resulta completamente claro en sentido negativo y, sin embargo, no es escuchado por contrariar intereses, esperanzas o apremiantes necesidades. Muy interesante en este aspecto es la *didáctica historia del embalse de Montejaque*.

parecido al caso de Montejaque: que fuertes intereses locales, exceso de prisa, incapacidad de renunciar a un bello sueño, no tomaran bastante en serio los avisos del geólogo, del terreno.

Montejaque fué excusable porque no había el mínimo peligro para la presa; la inmovilidad de sus apoyos estaba y sigue fuera de duda: era evidente que el eventual fallo del vaso no podría costar vidas humanas. Una empresa poderosa incurrió a sabien-



Fig. 2.^a bis.

Vista veraniega con embalse vacío.

El fracaso de Montejaque "anda" como un fantasma por muchos libros y revistas, viniendo a cuento o descuento. Porque nada es más interesante, por no decir regocijante, que los fracasos ajenos. Lo fué sólo económicamente, no una catástrofe en el sentido que nos ocupa. Si, a pesar de ello, lo cuento aquí, es para poner de manifiesto cómo pueden resultar peligrosas apariencias arraigadas, esperanzas concebidas antes de conocerse el informe geológico. Si lo que ocurrió allí con la estanquidad del vaso, o mejor, con su permeabilidad, ocurre, como ocurrirá alguna vez, al tratar de cimientos de presas, puede provocar el tipo de catástrofe que con el presente trabajo intentamos combatir. No estoy al corriente de lo que habría de esto en Malpasset, pero, sin saber por qué, abrigo ciertas sospechas de que hubiera podido pasar algo

das, en el peligro de fracasar porque, en caso de éxito, el beneficio, no sólo material, hubiera sido realmente muy interesante. El embalse debía permitir a dos centrales inferiores, que constituían entonces la base de la producción hidráulica de la Compañía explotadora, combinadas con la futura central de pie de presa de Montejaque, compensar el vacío de producción que aquellas sufrían de verano. Que se aceptara el riesgo a sabiendas, lo prueba el hecho de no haberse iniciado la construcción de la central al mismo tiempo que la presa, precisamente porque se quería comprobar primero el resultado del embalse. Por otra parte, el fracaso no es tan completo como se pudiera creer a la vista de ciertas ilustraciones. Sobre 80 metros de altura se alcanzan cada invierno normal o húmedo 30 - 50 y hasta casi 70 m., alcanzados una vez. Pasa-

da la crecida, el embalse empieza a bajar, las pérdidas se distribuyen por los infinitos depósitos subterráneos de la amplia región que, a su vez, se vacían con largo defasaje, mejorando así el régimen de verano de las centrales inferiores. Gracias en parte a esto, el río Guadiaro, colector de la región, acusa el sensacional coeficiente de escorrentía de 62-64 por 100, contra los aproximadamente 30 por 100 de Andalucía occidental.

El capital invertido en la obra fallida devuelve un interés demasiado bajo, pero no está perdido del todo. El no haber podido construir la central de Montejaque tuvo poca importancia, porque con el régimen del general Primo de Rivera el desarrollo de la demanda de energía se aceleró tanto que de todas formas hubo que buscar centrales más potentes, acoplándose al plan de riegos de las recién creadas Confederaciones, que no incluía la región de Montejaque.

Por otra parte, son muchos los países que gracias al ya clásico Montejaque se evitaron fracasos parecidos. Yugoslavia es casi toda *carst* y no ha sido la única en enviar a especialistas a informarse en Montejaque antes de repetir la experiencia en carne propia. Desde Suecia a Israel, universidades y ministerios estuvieron y siguen estando ávidos de datos a comparar con dudosos proyectos propios. Naturalmente que con esto los que financiaron Montejaque no pretenden pasar por bienhechores de la humanidad. Pero no está, a pesar de todo, excluido que en algún caso resultara prácticamente así, si, aleccionados por la historia, que por esto contaré, se renuncia a quitar importancia a un informe geológico negativo, según la tendencia humana, demasiado humana, cuando se trata de presas, de creer lo que se desea. Y allá va:

Como queda dicho, se buscaba un embalse cercano a dos centrales existentes para compensarles sus huecos de producción de verano. Saltó a la vista que Montejaque sería muy interesante: a solamente 50 kilómetros de aquéllas, en la cuenca de las lluvias más intensas de España, un estrecho tajo ofrecía en roca solidísima un asiento seguro para una elevada presa, alcanzándose con el proyectado embalse un collado apto para instalar en él un aliviadero apartado de la presa. Estamos en 1917, se desconocen todavía la presa-bóveda y el vertedero en coronación. Se proyecta, pues, una presa de gravedad con aliviadero separado. Siendo notoria la presencia de dolinas, simas y resurgencias en amplia extensión, se impone, naturalmente, un estudio geológico, que fué confiado al suizo Fleury († en 1958), profesor de geología en la Universidad de Lisboa. A pesar de su edad ya algo avanzada, pasó concienzudamente varias semanas en aquel heroico paisaje, desierto de desoladas calizas, acompañado tan sólo por un práctico del terreno, una caba-

llería y, ¿cómo no?, del inevitable, pero siempre tan simpático podenco andaluz, y entregó, en 1918, el informe geológico más claro leído en mi vida: "Lo siento: no, no y no. Hágase lo que se quiera, aquí no hay quien consiga un embalse." Y, conociendo el paño, añadía: "Veo muy bien que las condiciones topográficas e hidrológicas tienen que ser para ustedes tan atrayentes que no me harán caso. Lo intentarán, fracasarán, seguirán intentos de reparación que conducirán únicamente a otros fracasos... ¡Lástima!"

Acertó en todo. El informe hizo primero mella, naturalmente, y el proyecto fué archivado. Pero la falta de embalse seguía apretando y cada vez que era presentado otro proyecto la nostalgia de Montejaque volvía a picar... Hasta que "la opinión", impaciente, se volvió contra ese geólogo, tan antipático con su pesimismo. Se me contó más tarde (1) que hubo hasta quien llegó a insinuar que el pobre geólogo estaría sobornado por misteriosos adversarios, ocurrencia evidentemente absurda. En los años siguientes fué progresando y extendiéndose la nueva técnica de reparar terrenos con inyecciones y se empezó a buscar a un geólogo que prometiera arreglar aquello inyectando. El estudio, sin perjuicio del informe Fleury — una excursión espeleológica por una de las muchas cavernas de la región, hubiera podido convencer a cualquiera que no era el caso de confiar en las inyecciones. Pero se sabía todavía demasiado poco de ellas y lo que hoy puede parecer imperdonable, lo sería entonces. Nunca se puede ser buen juez *a posteriori*, ignorando los detalles desvanecidos de una situación ya histórica.

En 1922 intervinieron tres hechos nuevos, "lesdichadamente favorables": 1.º La proposición de reemplazar la presa de gravedad por una bóveda delgada: 30 000 m.³ para 80 m. de altura no se había visto nunca y resultaba realmente muy interesante. 2.º Resultó en Suiza perfectamente estanco, ¡sin inyecciones!, el embalse de Monsalvens (o de Broc, sobre el río Jogne), con presa situada exactamente en las mismas formaciones geológico-petrográficas que Montejaque: calizas del Jurásico superior y Neocomiense contiguo. 3.º Se encontraron, ¡por fin! los geólogos que creyeron poder corregir el terreno mediante inyecciones (2).

Mientras, se hacía siempre más angustioso el pro-

(1) Llegué allí al comienzo de 1923 — por pocos meses, que se van transformando en cuarenta años — con la misión de cambiar la presa de gravedad por la entonces más alta bóveda delgada del mundo, y así se hizo.

(2) Hasta qué punto pueden llegar ciertos estados de psicosis colectiva haciendo que resulte imposible no creer en lo que se desea, lo ilustra una pintoresca frase que hallé años más tarde hojeando viejos archivos: "Habiendo, por fin, los nuevos geólogos conseguido persuadirnos de la infalible estanqueidad del vaso..."

blema de la producción de verano; no existían, como ahora, posibilidades de enlace con otros productores que hubiesen permitido traer energía ajena. Fué decidida a fines de 1922 la construcción, previendo el contrato de ejecución de la presa que la obra podría ser temporal o definitivamente parada si durante su curso se comprobaba la ineficacia de las inyecciones para estancar el embalse. Pero llegamos pronto a hormigonados diarios de 300 a 400 y hasta más m.³, con lo cual la presa se acabó demasiado pronto para poder esperar el resultado de las inyecciones, que hubieran debido anteponerse a la obra. Así, el hormigonado de la presa "se nos escapó" de la cláusula del contrato según la cual estaban previstas paradas para poder controlar embalses parciales. Transcurrido casi todo el año 1923 en los trabajos de instalación y escavación, terminó el hormigonado de la presa en la primavera de 1924 mientras que el embalse alcanzaba ya los 50 m. y se empezaban a ver subir en el agua burbujas: el fracaso.

Poco antes había extrañado un agujero de inyección semihorizontal porque no paraba de absorber vagones de cemento. Se pasó a mortero y más tarde ya se estaba hablando de barro, cuando a alguien se le ocurrió dar un barreno, abriendo con él una caverna accesible que se perdía en todas las direcciones en meandros sin fin, alternando cavidades como catedrales con pasajes tan estrechos que con dificultad podíamos pasar, hiriéndonos cuando íbamos en bañador, porque también se presentaban lagos que sólo a nado podían ser atravesados. Tuvimos que abandonar con reflexiones pesimistas nuestro intento de explorar todo. No era más que una de las muchas zonas fracturadas y deslavadas tan claramente anunciadas por el informe Fleury. Pero ya era demasiado tarde para parar el hormigonado de la presa, prácticamente terminado.

Los vanos intentos de remediar con intervención de sabias autoridades y de casas especialistas internacionales fueron abandonados ocho años más tarde, habiendo costado unas 3 veces la obra original en dinero y mucho más en tiempo.

Juraría que al recorrer estos renglones más de un lector habrá ido recordando algún caso de parecida experiencia propia que, tal vez, conduciría a la construcción de una presa sin tomar en serio advertencias de un geólogo, presa que, a pesar de todo, resistiría; porque, hasta ahora, se ha ido una de cien, cuando nosotros nos equivocamos con mucha más frecuencia. El que se empeñe, puede que acabe por conseguir un informe geológico del cual entresacar lo que le parece le convenga. Pero, si, tratándose del vaso, el fallo queda limitado a lo económico, cuando se trata de los cimientos de una presa puede resultar la catástrofe. Únicamente para llegar a esta moraleja conté la historia: no se debe levantar una presa mientras que un sólo geólogo serio lo desaconseje y solamente debe considerarse el informe geológico claro

y unívoco, redactado después de muchas investigaciones y estudios personales. Los informes geológicos tienen que ser "sudados".

Tampoco está permitido dar por terminada la intervención del geólogo al dar su conformidad al proyecto de ejecución, sino que debe continuar formando parte integrante del equipo constructor, en estrecho contacto con el ingeniero encargado, al menos hasta la primera puesta en carga completa; y más allá, si cabe. Por ello, no es muy indicado tomar como geólogo a la gran autoridad que, sobrecargada de trabajos ajenos, no puede acudir a tiempo cuando haga falta porque está en U.S.A. o en Persia. Un geólogo joven, que haya dado ya ciertas pruebas de inteligencia, atención, capacidad física, sentido de responsabilidad y que pueda estar siempre a disposición, compensa con creces la menor experiencia. Siempre cabe llamar a la celebridad para un informe de supervisión. ¡Cuidado con éste!

E) ACCESORIOS Y DETALLES.

No conviene hablar de anejos, palabra que pudiera sugerir la impresión de suelto, de independiente. Por muy destacado del cuerpo de la presa que un accesorio pueda ser, como una descarga de fondo lateral o un aliviadero en un collado independiente, esto sólo al parecer, no pueden ni deben ser proyectados en un aspecto general, sino siempre con la vista puesta en la presa a la cual pertenecen. Hacen falta varios detalles, además de la circunferencia de la cabeza, para que un sombrero le cuadre bien a una persona determinada. Una válvula de fondo, un vertedero en coronación, un esquema de inyecciones, buenos para cien presas, pueden sobrar en la que hace 101, ser contraproducentes en la 102 y resultar catastróficos en la 103 (1). De ahí que nadie deba ocuparse de tales detalles sin conocimiento completo del conjunto y sin la supervisión del que lleve la responsabilidad de la obra total.

1. *Cimientos, rastrillo, inyecciones de costura con el terreno.* — No siendo éste un tratado de presas, no vamos a entrar en tecnicismos de detalle. Sólo insistiremos en que es, evidentemente, aquí donde más necesaria resulta la íntima colaboración y mutua comprensión entre presista y geólogo. He dicho antes por qué es de pocos recursos la gran autoridad, casi siempre ausente. Si la presa o, respectivamente, la catástrofe que su supuesto fallo originaría, son muy importantes, cabe la solución de emplear en permanencia en obras a un aventajado discípulo de la celebridad, con cuya oficina estará permanentemente en contacto para informes y directivas, clarificadas alguna vez por una inspección ocular del gran jefe.

(1) "Son estos factores adicionales que pueden dar lugar a las más desagradables sorpresas." (Becerril).

Un par de reglas las conocen todos, porque, aparte de ser de sentido común, las dan los libros de texto. Si, a pesar de ello, las repito aquí, es porque en la práctica son con harta frecuencia olvidadas, como demuestran, precisamente, célebres catástrofes:

No se debe cimentar sobre una falla. Pues bien: este error fué reconocido como causa de la catástrofe del San Francisquito (California, 1928).

No se debe cimentar—y menos, bóvedas—sobre apoyos de los cuales broten manantiales. Pues bien: en Malpasset había, en el apoyo izquierdo, el que cedió, francos manantiales dos semanas después de la catástrofe. Estaban allí antes de la construcción, a pesar de lo cual ni los informes oficiales ni las personas que se defienden de acusaciones parecen mencionarlos.

No se debe cimentar sobre terrenos que puedan alterarse física o químicamente con el agua del futuro embalse. Pues bien: esto también intervino en el San Francisquito y, según informes oficiales sobre Malpasset, pudo también ser la causa aquí, mientras que "el ruido que corre" sospecha algo de esto como causa de asientos diferenciales en los contrafuertes de Ribadellago.

Tampoco es buen procedimiento emplear en una presa dos materiales distintos. Pues bien: también se habla de esto a propósito de Ribadellago: junta de trabajo demasiado marcada entre hormigón y mampostería.

No se debe cimentar en laderas con corrimientos, actuales o viejos. Pues bien: conozco una presa, desde hace años casi terminada, cuyos constructores no saben cómo terminarla completamente, por haber empezado sin reconocer a fondo un corrimiento viejo en una de las laderas, corrimiento sobre el cual les había sido llamada en tiempo útil la atención.

Hay que tener cuidado de no exagerar la presión de las inyecciones. Pues bien: he visto en esto cometer error a una gran autoridad.

En fin, conviene empezar, de acuerdo con el geólogo, por fijar desde cimientos las instalaciones de control de subpresiones, movimientos, tensiones, sobre las cuales nos extenderemos más adelante. Por ejemplo: ¿conviene o no una galería de visita ya en lo más bajo del rastrillo de una presa de gravedad o al pie de la pantalla de estancamiento de una escollera o de un dique de tierra? En caso afirmativo, ¿cuáles? Y, ¿cuáles de las galerías que prolonguen dentro del terreno las de visita de la presa?

2. *Juntas de contracción.* En la catástrofe del San Francisquito, un bloque entre dos juntas se quedó de pie entre dos que se fueron, pero por su cimiento malo y no por faltas en las juntas. Seguramente, por mucho que se varíe el esquema de las juntas, más o menos distancia entre ellas, hasta no prever ninguna, que arranquen desde cimientos o no, las más variadas disposiciones de estancamiento, caracte-

rísticas de las correspondientes inyecciones a posteriori, etc., no parece que en nada de esto pueda residir peligro. Hágase lo que se quiera, no hay presa sin grietas bravías, a pesar de lo cual no se conoce ningu-

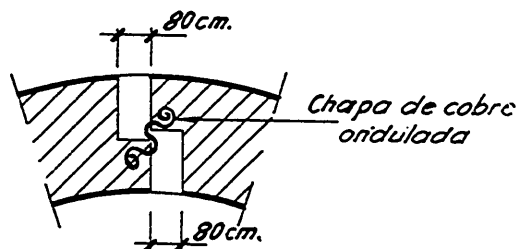


Fig. 3.ª — Juntas de construcción de Broc (Lac de Moirans, río Jogne. H = 55 m. Suiza, año 1920).

na catástrofe causada fundamentalmente por juntas de contracción imperfectas. En el trabajo anterior vimos un ejemplo de esquema de juntas que puede reducir la formación de grietas espontáneas y que parece, sobre todo, práctico; pero dudo que valga la pena hurgar aquí al querer reducir la proporción actual de catástrofes de presas.

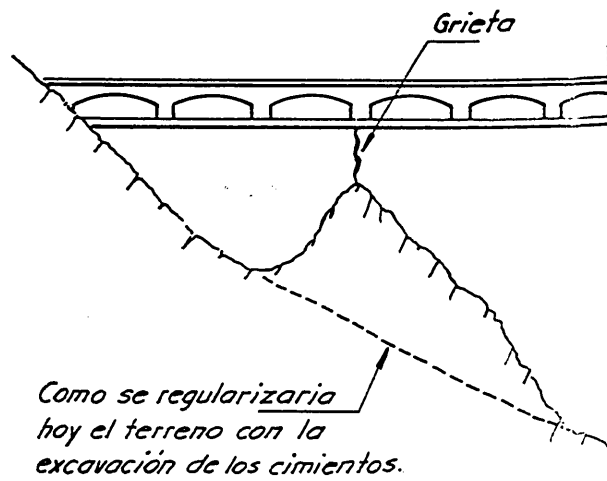


Fig. 4.ª — Juntas de construcción de Broc. Grieta mayor —inocente— favorecida por una joroba del perfil longitudinal del pie. Hoy se regulariza este perfil según la línea de puntos.

En Broc (Suiza, 1919-20), dejamos 5 juntas de 80 cm. de anchura, con estrechamiento para colocación de una placa ondulada de cobre. A pesar de rellenar e inyectar, sólo casi un año después del hormigonado original todas volvieron a abrirse de un par de milímetros, especialmente la que correspondía a una joroba en el perfil longitudinal de la presa. El enton-

ces joven Stucky no se incomodó, declarando tranquilamente que no había por qué preocuparse, que la presión del agua cerraría las grietas.

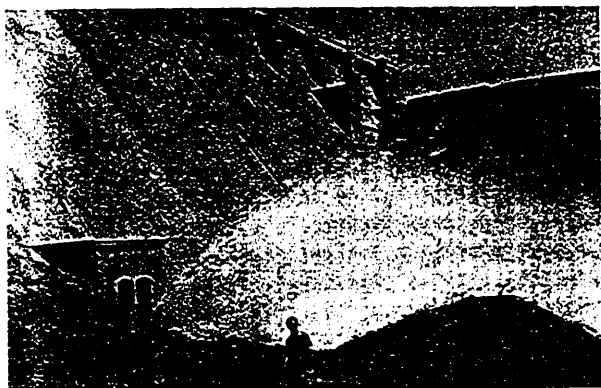


Fig. 5.^a — Válvula de medio fondo (riegos) de la presa del Guadalén. Tipo sin vibraciones, parecido a la válvula Johnson.

Así ocurrió, efectivamente; no salía ni una gota y pocos años después el nivel máximo del embalse fue sobreelevado de 80 cm. sin más. Hoy se regularizaría el perfil con la excavación de los cimientos según la línea rayada de la figura; pero también sin esto sigue la presa de Broc después de más de cua-

renta años tan campante con su perfil longitudinal jorobado y la grieta por el mismo facilitada.

Una vez más: no por defectos en juntas de contracción se irá una presa. En cambio, sigamos desconfiando de juntas de trabajo horizontales descuidadas. Demasiados mimos en las juntas de contracción tienen, precisamente para principiantes, el inconveniente psicológico de distraer su atención de las juntas de trabajo, tanto más peligrosas.

3. *Válvulas de fondo y de medio fondo.* Reiterándome en el trabajo anterior, estimo inútiles las de fondo porque se atarquinan pronto: pero son, además, francamente peligrosas en presas delgadas y no sólo en éstas, si dan lugar a trepidaciones. Puede darse también el caso de que, forzados por una necesidad imperiosa de abrir, a pesar del avanzado atarquinamiento, se produjeran los efectos de un cañonazo al ceder con violencia los tarquines (una botella de champán que se destapa), lo que siempre entraña peligro. Seguimos sin poder excluir que fuera ésta en Malpasset la causa desencadenante. Por lo menos, sé de mi práctica con la puesta en marcha de turbinas hidráulicas, que está prohibido destapar con ellas los tarquines que durante la construcción pudieran haberse acumulado desde el canal de fuga en el aspirador de la turbina. Esta se pone en marcha sólo después de haber destapado el aspirador con otros medios.

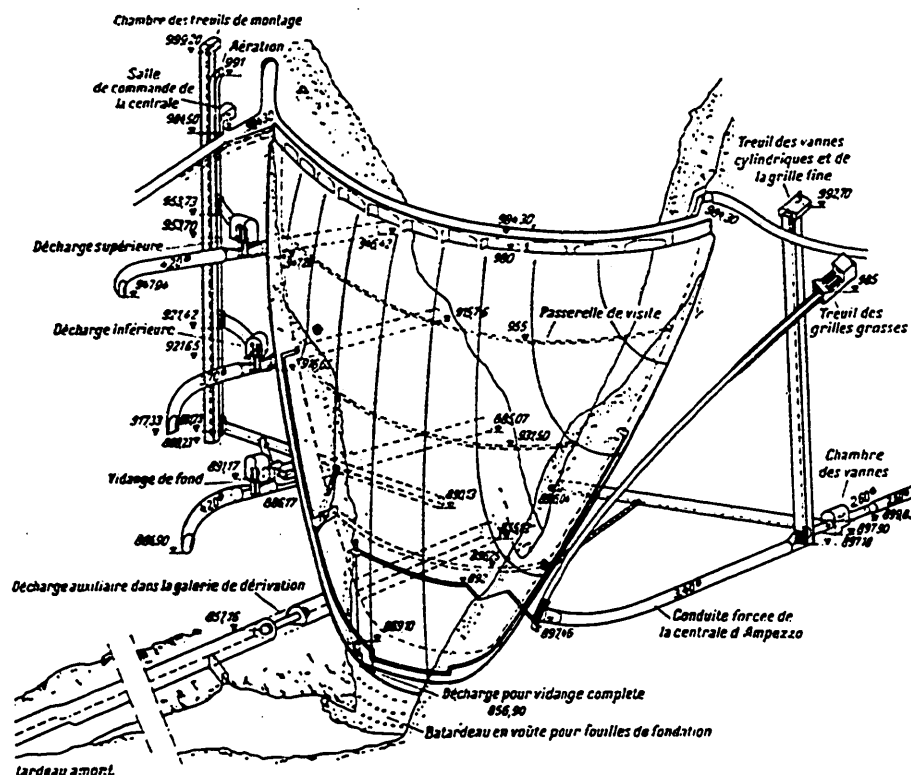


Fig. 6.^a — Presa de Lumiei (H=133 m. Italia, año 1947). A más de la válvula de fondo, una de medio fondo cada, aproximadamente, 30 m. en altura.

Parece que las prescripciones oficiales debieran renunciar a exigir válvulas de fondo, imponiendo, en cambio, válvulas que podemos llamar "de medio fondo", situadas en alturas comprendidas entre el 30

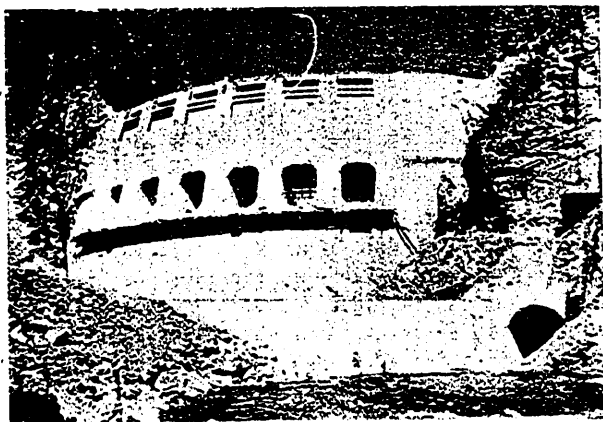


Fig. 7.ª — Presa de Tonoyama (H = 64,5 m. Japón, año 1957). Seis potentes salidas a media altura a más de otras tantas en coronación y una potentísima de fondo.

por 100 y el 70-80 por 100 de la de la presa. Los puntos exactos de colocación los determinarán, en cada caso, con la topografía y, eventualmente, la geología, las previsiones sobre los progresos del futuro atarquinamiento. Para que las válvulas tengan sentido, deben quedar libres, lógicamente, por lo menos durante el tiempo de la concesión y ellas mismas contribuir a frenar el atarquinamiento. Efectivamente, recientes estudios sobre este fenómeno que preocupa siempre más, a medida que van existiendo siempre más embalses viejos, han revelado la presencia de las llamadas "corrientes de turbiedad de fondo", que, llegadas al pie de la presa, suben a lo largo del paramento. Esto, que acentúa la rapidez del taponamiento de la válvula de fondo, resulta, por el contrario, combatido, atenuado, por las de medio fondo, situadas en altura estratégica con relación a la nube de turbiedad que intenta subir a lo largo del paramento y que en épocas de crecida a embalse lleno será atraída y evacuada. A pesar de resultar, *a priori*, algo más ligeras por tener que resistir a menos presión, las válvulas de medio fondo resultan, a paridad de caudal evacuado, algo más caras que las de fondo completo, por ser el caudal función de $\sqrt{H}$ y, normalmente, más trabajoso su montaje, bien por tener que atravesar la presa en cierta altura, bien por hacerlo por fuera de los estribos. Pero es, evidentemente, mucho más económico gastar 120 ó 150 y hasta más, consiguiendo su objetivo, que gastar 100 para no conseguirlo.

Los objetivos de estas válvulas (intencionadamente se emplea el plural, queriendo con esto recomendar la instalación de más de una) son:

1. Poder vaciar el embalse para descargar la presa en caso de peligro.

2. Combatir el atarquinamiento.
3. Auxiliar los aliviaderos durante las grandes crecidas.

Nada de esto se consigue con las válvulas de pleno fondo, que a los muy pocos años resultan enterradas, y, por el contrario, los objetivos se alcanzan todos con las válvulas de medio fondo:

1. En caso de vaciado urgente por peligro en la presa, no se necesita vaciar completamente. En la región comprendida entre el 20 por 100 y el 50 por 100 de la altura, tanto el momento de vuelco, como el ángulo de deslizamiento, como el contenido del vaso se reducen al orden del 1 al 10 por 100 de sus totales respectivos; todo peligro ha desaparecido desde tiempo, si es que se consigue bajar hasta aquellas regiones, que esto es harina de otro costal. Pero, de todos modos, se consigue antes y mejor con válvulas de medio fondo que con las de fondo total.

2. Las válvulas de fondo se atarquinan y las de medio fondo no sólo no se tapan, sino que incluso sacan algo del material suspendido, atenuando el fenómeno de enterramiento.

3. Al papel de las válvulas bajas en auxilio de los aliviaderos altos volveremos al tratar de éstos.

Conclusión importante: dejémonos de válvulas de

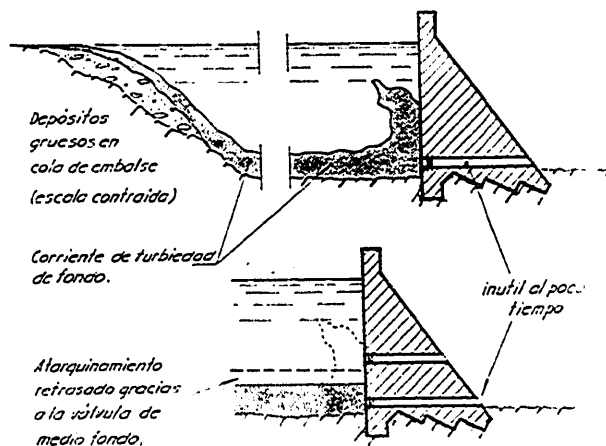


Fig. 8.ª — Representación esquemática de la "corriente de turbiedad de fondo" y modo de atenuar su contribución al atarquinamiento gracias a válvulas de medio fondo. (De *Energía Eléctrica*, 1961.)

fondo completo y seamos generosos con descargas situadas en alturas parciales (1).

4. Otras tomas. En todos los embalses debe

(1) La controversia suiza sobre lo vulnerable que serían las presas de gravedad aligeradas en caso de bombardeos aéreos, llega a la conclusión que con la potencia a la cual han llegado las bombas atómicas, el tipo de presa no tiene importancia, porque no resistiría ninguno. Que, por lo tanto, la única defensa consiste en bajar rápida y considerablemente el nivel del embalse si hay que prever tales bombardeos. Como esto resulta imposible con válvulas de fondo atarquinadas, hay que abundar desde ahora aún más en válvulas de medio fondo, incluso, pues, desde el punto de vista militar.

haber, a más de descargas del embalse, otras que controlan las salidas de explotación: agua de riegos, potable, para la producción de energía u otras. Las portables y las destinadas a centrales eléctricas tienen muy frecuentemente tomas alejadas de la presa, que no interesan aquí. En cuanto a las que atraviesan la presa, como es corriente con las tomas de riegos, no ofrecen otro peligro que el señalado ya para las válvulas de descarga: pudieran dar lugar a *trepidaciones que deben a toda costa ser evitadas*. Esto no es difícil; basta renunciar a atravesar presas delgadas y utilizar en las espesas únicamente tipos de válvulas que no produzcan vibraciones. Para comprobación, acúdase una vez más al laboratorio antes de decidir.

5. *Accesos, alumbrado, comunicaciones, barandillas o pretilles*. Que una gran presa debe tener una buena carretera de acceso es una de las muchas peregrinidades que estamos repasando aquí, como no tendríamos que hacerlo si todo el mundo cumpliera.

Un buen alumbrado no está de más que se prevea en el proyecto, sobre todo si se da importancia al conjunto arquitectónico del pantano; pero donde más importa el alumbrado es para la lectura de los aparatos de observación, muy especialmente en las galerías de visita. Era, hasta hace poco, un cierto problema, porque las galerías quedan, a pesar de todo, húmedas. Los conductores corrientes, su aislamiento, se deterioran pronto, dando lugar a apagones cuando no ponen en peligro la vida del que inadvertidamente entra en contacto con ellos. Los conductores bajo plomo resultan buenos sólo mientras sean nuevos, porque el plomo se descompone en contacto con hormigón húmedo y vuelven a producirse tierras y cortocircuitos. Acaba el guarda sirviéndose de carburadores que merman su libertad de movimiento y, por ende, su eficacia. Hoy, con tantos conductores aislados por modernos materiales plásticos, deben existir tipos inatacables a las sales de hormigón.

Para librar en lo posible las galerías de visita de la humedad, que deteriora los aparatos de observación, deben quedar muy bien ventiladas, *por lo cual no se deben cerrar los accesos* o, si circunstancias locales obligan a ello, ciérranse sólo con rejas. Las ratas no encuentran allí nada que comer y si entran murciélagos nos libran de mosquitos.

En presas muy altas se impone un ascensor, y en las muy largas dos, uno por extremo. Hay que dedicar atención a su ventilación para conservación de los mecanismos, así como de los cables, a dejar siempre bien engrasados.

Las comunicaciones telefónicas pueden preverse, naturalmente, también en el proyecto original y habrá que hacerlo si la concesión es condicionada por la organización de un servicio de alarma. Precisamente por ello nos parece que encaja mejor el tema en los párrafos dedicados más adelante a la guardería y al servicio de alarma.

Para terminar, con estos accesorios queremos señalar uno del que nunca nadie habla, porque parece

nimio. Pero no lo es: *las protecciones del camino en coronación, barandillas o pretilles*. Supongo que mayormente por arquitectos se instalan barandillas de columnas y tubos o perfiles de más o menos diámetro, más o menos distanciados, inclinados, combinados con muritos, etc. *No cumplen con su misión principal*. El viejo presista sospecha que estarán proyectadas por personas que nunca tuvieron que pasar una noche verdaderamente mala en lo alto de una presa con el lago lleno y los aliviaderos en marcha. No olvidemos que el presente trabajo tiene como único fin contribuir a reducir los accidentes de presas. Al efec-

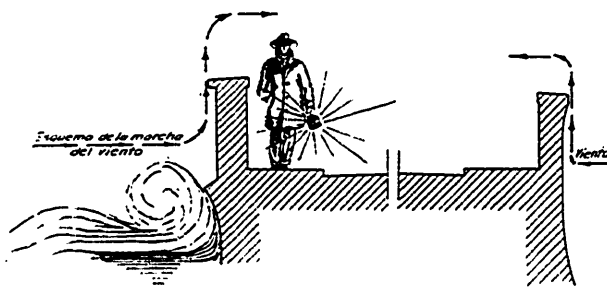


Fig. 9.ª — El pretil macizo es el único que protege contra viento y lluvia, que, juntos, dejan paralizado. Es el único que no entorpece el servicio de vigilancia desde el guarda al ingeniero-jeje. Aplicado a. arriba incrementa, además, notablemente el huelgo de crecida extraordinaria. El perfil curvo es necesario sólo donde puede presentarse fuerte oleaje, pues incluso un perfil vertical de 1 m. nos libra del viento. Las barandillas que lo dejan pasar deben, por lo menos aguas arriba, ser sistemáticamente rechazadas. (Buenos ejemplos: La Minilla, Cala y, sobre todo, Tranco Beas. Malos ejemplos: El Pintado y Orellana).

to, tiene mucha importancia el bienestar del guarda. Si el frío que le produce la lluvia y viento combinados puede llegar a ser casi insoportable en Andalucía baja, ¿qué será en los Pirineos o en otras zonas de alta montaña? Si el guarda ya tiene que soportar lluvia y frío ambientes, ¿por qué molestarle además con el cierzo y duchas de olas? ¿No será para que resulte incapaz de cumplir! Abriguese, pues, con muros al estilo de los del Tranco de Beas o de la figura adjunta. Protegen completamente, no sólo de olas, sino también del viento y hasta de la lluvia por el mecanismo esquematizado en nuestra figura, que conocen todos los que viajan en Vespa. No dejamos de reconocer que el cajón encerrado entre dos muros es menos estético que una barandilla proyectada por arquitectos, pero las consideraciones estéticas deben aquí ceder el paso a las razones de confort y de seguridad. Y en la seguridad interviene el bienestar del guarda. Estoy seguro que cualquiera de ellos que leyera estos renglones los aprobaría sin reserva, máxime si tuvo ocasión de conocer ambas formas de protección. ¡Probar per credere! Sólidos pretilles doblan, además sin nuevo gasto, el huelgo de crecida, con aumento de seguridad.

F) INSTALACIONES DE CONTROL.

Hace medio siglo no se les había ocurrido a los presistas que podría valer la pena observar una presa con aparatos especiales para asegurar su vida. Hoy no está permitido ignorarlos. Hay quien no se ha enterado todavía, mientras que otros exageran. Nada se ha leído de aparatos de control en los informes oficia-

ejemplo, verano e invierno, y saltando años si son muchos.

Parece muy bien que una gran entidad o una mancomunidad de propietarios de presas escoja una especialmente adecuada para convertirla sistemáticamente en laboratorio de estática, hidráulica, física, hormigones, etc., dotándola de todos los requisitos de un buen laboratorio: máquinas de calcular células foto-eléctricas, procedimientos electrónicos, etc. Pero habrá que confiar este laboratorio a un sabio ingeniero-jefe, asistido por todo un organigrama de personal desde ingenieros hasta botones, que no se dediquen a otra cosa. *Debió cada país gran presista equipar este laboratorio de escala natural.* Pero esto poco tiene que ver con la vigilancia corriente de una presa en explotación.

Lo normal estimamos que pueden ser de 4 a 6, o poco más, los tipos de observaciones que se debían desde ahora prescribir obligatoriamente. Esto no impide al personal de explotación añadir algo más, según aconsejen las condiciones locales a lo largo del tiempo y según observaciones hechas con los aparatos primitivamente instalados. Si desde el guarda al ingeniero-jefe se han de interesar por las observaciones, no pueden éstas excederse en cantidad, porque se perdería la visión general y con ella el interés, que no debe aflojar nunca, ni en el curso de muchos años. Una media docena de tipos de observaciones con un total de 50 a 100 datos como máximo a consignar, que ya son muchos, bastan para la presa corriente, la que no tenga aspectos excepcionales de altura, longitud, delgadez, curvatura o de tipo inédito.

Es conveniente que lo considerado necesario en este aspecto lo consigne ya el proyecto, porque va íntimamente enlazado con el sistema de pozos, galerías de visita, juntas de contracción. Estimando que estas últimas deben tener una equidistancia de 16 m., habrá lógicamente pozos a la misma distancia. Por otra parte, es conveniente una galería de visita cada 15 a 30 m. en altura, según la total de la presa. En una de 60 m. caben perfectamente 3 ó 4, pero no se van a prever 20 en la presa de 300 m. Con criterio análogo, estas galerías de visita convendrá situarlas a un par de metros de distancia del paramento mojado en las partes altas, con poca presión de agua, distanciándola del mismo a medida que se baja, tanto más cuanto más alta es la presa. A partir del espesor de 50 a 60 metros hacia abajo empieza a ser normal prever otro velo de galerías de visita a 30-50 m. del principal. Este parece lógico situarlo a poca distancia de las juntas verticales dentadas, que también se han empezado a prever paralelas a los paramentos en presas de gravedad muy altas. En las bóvedas, así como en las pantallas de hormigón de escolleras y diques de tierra es más adecuado prever un sólo velo de galerías en el centro de su espesor.

Interesante también una galería que, sinuosamente paralela a los cimientos y a poca distancia de los mismos, enlace todas las galerías horizontales en sus ex-

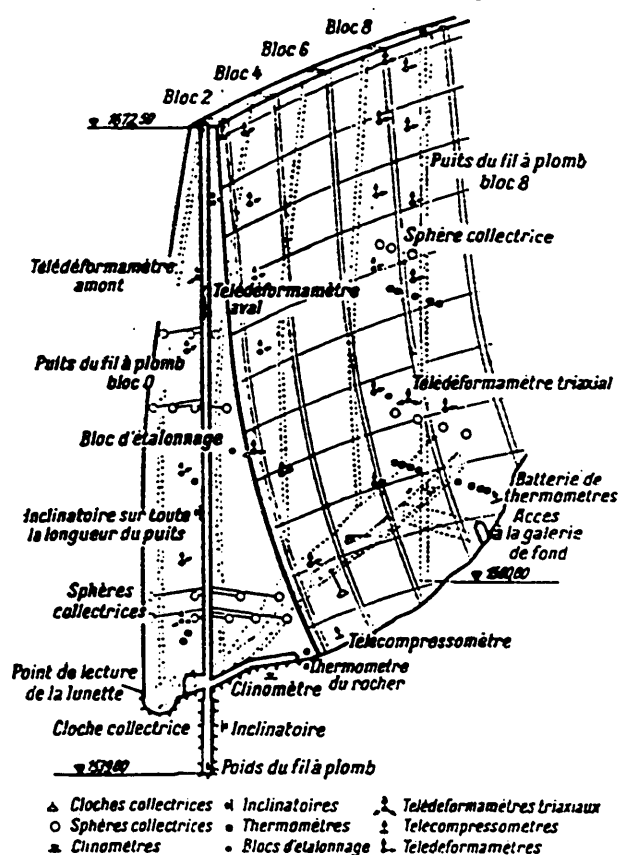


Fig. 10. — Instalaciones de medida y control de la presa de Limberg (Austria, año 1951. H = 121 m.).

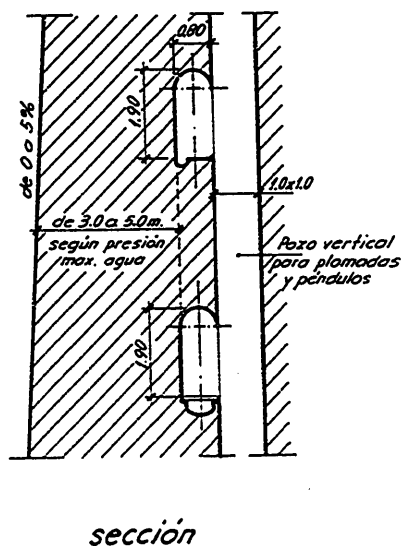
les o privados, de técnicos o de periodistas, sobre Ribadellago o Malpasset, presa donde se imponían más que en otras. En cambio, véase en la figura qué complejo laboratorio constituye la presa austríaca de Limberg, arco-gravedad de 120 m. Pero el record lo tiene probablemente la presa japonesa de Narugo, arco-gravedad, de 82 m.: 117 termómetros, 239 deformómetros, 17 tensómetros, 47 controladores de juntas de contracción, total 420 anotaciones periódicas con sólo cuatro tipos de aparatos. Si se piensa que hay más de 15 tipos distintos... Parece que cuadra aquí lo del exceso de árboles que impiden ver el bosque. Si en un estudio de desarrollo futuro doy 12 gráficos mensuales por cada año estudiado, nadie los mirará; en cambio, harán el deseado efecto dos gráficos por año, por

tremos de cada margen. (Ejemplo: Beiesar, presa de Fenosa.)

Y como personalmente les tengo antipatía a los rincones agudos de huecos, porque favorecen el arranque de grietas, me permito dar de paso un cro-

salir, por ejemplo, sólo en las juntas de número par en los niveles pares, y análogamente con juntas y niveles impares, consiguiendo así dominar todos los bloques con sólo la mitad de ventanas. Estas deben ser fácilmente alcanzables en los paramentos por escale-

SOLUCION 1



SOLUCION 2

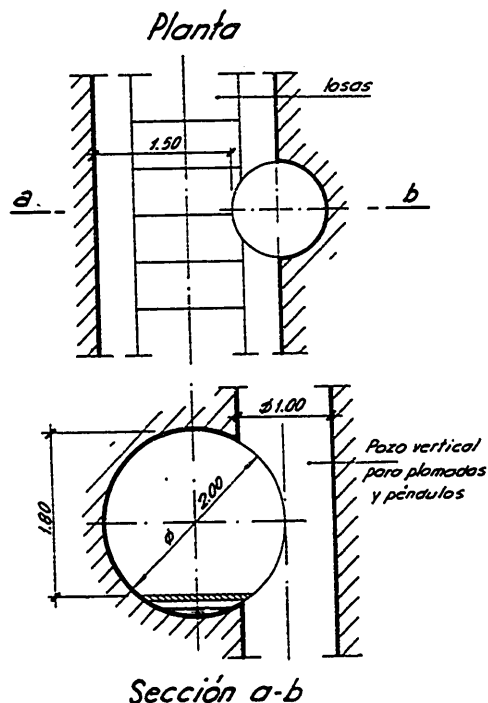


Fig. 11. — Secciones posibles de galerías de visita sin ángulos.

quis de sección que creo más conveniente para las galerías de control, por lo menos para las regiones sometidas a sensibles fatigas o a alternancias de las mismas. En las presas de gravedad muy grandes, por ejemplo, a partir de $H = 150$ m., yo pasaría incluso a dar a todos los conductos sección circular. Resulta mayor la cavidad para las galerías horizontales y pueden ser menor para los pozos verticales. Conviene aprovechar las juntas de contracción para situar en ellas las "ventanas" de comunicación con el paramento seco. Si son muchas las juntas, no conviene hacerlo en cada una: se le ocurre a uno pensar en

ras, pasarelas, etc. Detalles éstos que pueden servir de enriquecimiento arquitectónico, aunque personalmente me parece mejor aligerarlas en lo posible para no estorbar la impresión de potente inmensidad que debe dar el paramento seco de una gran presa. (¡Y que sea seco!) Tal vez valga, en cambio, aprovechar las casi invisibles pasarelas para instalar en ellas un sistema de alumbrado indirecto, consiguiendo simultáneamente una buena visión de conjunto y un hermoso efecto arquitectónico.

(Continuará)