

EL MUNDO DE LAS GRANDES PRESAS CONSTATACIONES Y CONSIDERACIONES DE ACTUALIDAD

Por EMILIO CASAL BERNARD

Ingeniero Jefe de Aprovechamientos Hidráulicos
de la Compañía Sevillana de Electricidad.

Concluye con el presente artículo el interesante trabajo iniciado en nuestro número anterior, presentando finalmente una completa información de accidentes, fallos y catástrofes, que analiza con acierto; y ofrece un próximo trabajo, de cuyo interés podrá juzgar el lector, y que por nuestra parte tendríamos mucho gusto en publicarlo.

(Conclusión).

D) Progresos de detalle en lo que va de siglo.

No es éste un tratado sobre presas, que no se pretende dar ni reducido a su mínima expresión. Quisiera únicamente dar a los presistas principiantes las impresiones de uno que va a acabar sobre cuánto puede o no adelantar una técnica durante el medio siglo de vida que nos está concedido para actuar y, por otra parte, hacerles ver que las presas no son cuerpos muertos, sino que viven una vida que vale la pena observar, estudiar. De paso resulta un resumen orientativo y, si posible, no aburrido para no presistas.

No todo fueron progresos; si en ciertos aspectos los hubo muy notables, en otros se puede dudar si lo que parecían progresos lo fueron efectivamente, y hasta creo que en ciertos puntos no se adelantó.

1) Cálculo de presas.

Por estar ya en buen punto el cálculo de las presas de *gravedad* a principio de siglo, no se buscaron en esto grandes progresos. Se aclaró tal vez, en parte quizá debido a la catástrofe del San Francisquito (año 1928), que una curva de gran radio aplicada a un perfil de gravedad de nada sirve. Mientras que al comienzo del siglo el presista, después de calcular el triángulo de gravedad, cedía al instinto suponiendo que, a paridad de perfil, una presa algo encorvada en planta resultaría más segura que la recta, hoy se ha abandonado esta idea y, salvo casos motivados por especiales condiciones locales, las presas de gravedad escueta se hacen rectas. Una vez más el progreso tiende a la simplificación.

Grandes fueron, en cambio, los progresos en el cálculo de las *bóvedas*. Entre lo que se entiende hoy por tal y la bóveda de Shoshone ($H = 100$ m., año 1910) hay un progreso real y visible. El gran avance fué debido a la introducción por Ritter y Stucky de

la noción del reparto de cargas entre arcos y ménsulas que, gracias también a los ensayos sobre modelo, permitió construcciones siempre más atrevidas sin pecar en seguridad. De allí, paso a paso, salieron, con colaboración de todos los países interesados, las bóvedas en construcción actualmente, de las cuales gran parte tiende hacia la cúpula.

Pero los progresos hubieran sido imposibles sin el desarrollo de dos prácticas desconocidas hace cincuenta años; ensayos sobre modelo reducido y medidas de deformaciones de presas en servicio. Sin estas dos técnicas poco hubiéramos adelantado en proyectos y cálculos.

2) Ensayos sobre modelo reducido.

No se hace hoy ninguna presa grande sin acudir a estos ensayos, en cuya técnica no vamos a entrar. También aquí hubo, como es lógico, aprendizaje, cambios de procedimientos, de escalas, de materiales: empleo de mercurio en vez de agua, de plástico en vez de mortero, forma de aplicar la carga y métodos de medición, introducción de las medidas fotoelásticas, etcétera, etc.

Si interpreto bien la prensa técnica internacional, uno de los países más adelantados en esta técnica parece hoy ser nuestro vecino y amigo Portugal (véase la revista *Electricidade*).

Los ricos U.S.A. hasta pudieron permitirse el lujo de construir una presa, la de Stephenson Creek, sólo para ensayar desde un punto de vista muy general el comportamiento de las bóvedas delgadas, escogiendo al efecto condiciones topo-geográficas que dieran un embalse mínimo para el caso de rotura y la admisibilidad de ésta en cuanto a seguridad de personas.

A pesar de todos estos ensayos, los cálculos no resultan inútiles, ni mucho menos, sino que resultan, si se admite la expresión, "fertilizados". Es el constante y mutuo readaptar de cálculos y ensayos lo que ha traído y sigue trayendo los progresos.

3) Observaciones de presas en servicio.

Estas vienen a ser como ensayos en escala natural, y como tales están dando tanto fruto como los ensayos sobre modelo reducido o más.

constatar en un caso ($H = 50$ m., $L = 320$ m.) que, entre los extremos de temperatura, el centro de la coronación se desplaza hasta 9 mm., ni más ni menos que bajo la presión hidrostática sola. Únicamente no se llega nunca al total de $9 + 9 = 18$ mm., sino sólo

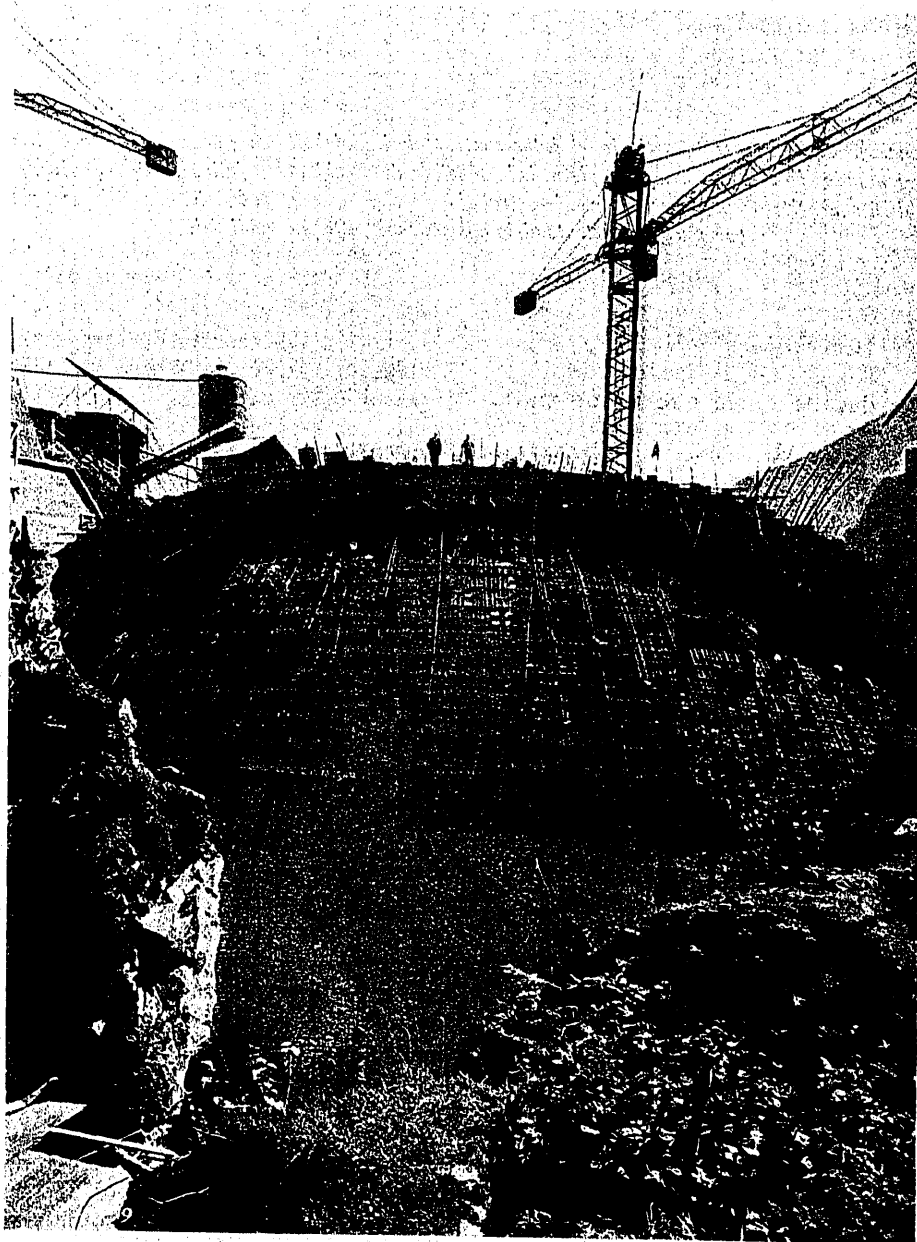


Fig. 3.ª — Vodo di Cádore, la más moderna cúpula italiana, en construcción. Foto cortesía de la Sociedad Adriática de Electricidad.

Para los ingenieros de la generación anterior, las presas eran bloques de mampostería u hormigón inmóviles y sin vida. Hoy sabemos, por ejemplo, que incluso los triángulos de gravedad rectos oscilan bajo el efecto aislado de la temperatura. Hemos podido

a un máximo compuesto de 12 mm., porque las dos condiciones extremas no coinciden nunca.

Más interesante aún puede ser la medida de la subpresión: el valor de ésta es uno de los puntos más oscuros de las bases a admitir para el cálculo. Se está

conforme en admitirla como un triángulo con la punta en el paramento seco, pero estando claro que este triángulo sería exagerado dando 100 por 100 a su base, situada a continuación del paramento mojado. Teóricamente el porcentaje de reducción admisible es función de la clase de terreno; pero ¿cómo evaluarlo en cada caso? Y como es prácticamente también función del esmero en la construcción, resulta imposible acertar sin constataciones prácticas. Las prescripciones oficiales italianas, redactadas a consecuencia de la cu-

mientos de una presa en proyecto con las observaciones de otras en servicio. Esto tanto más si se trata de presas de análogas condiciones geológicas, de métodos y capacidad constructivos, etc., similares. Son, por ejemplo, muy parecidos todos los terrenos de las muchas presas en los afluentes derechos del Guadalquivir y las observaciones resultan útiles de una presa a otra.

Disponiendo una serie de grifos-manómetros a lo largo de una galería de acceso a las de visita, es decir,

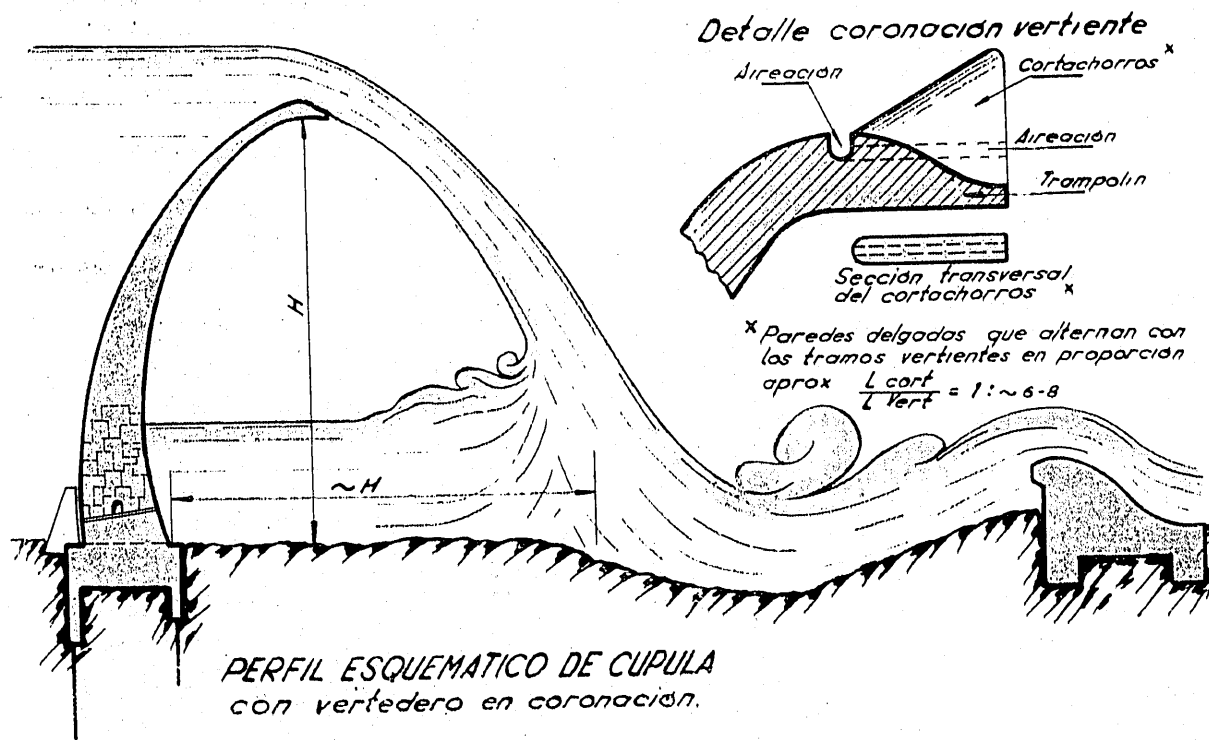


Figura 4.*

tástrofe del Gleno, salvan la dificultad haciendo depender la reducción tolerada del supuesto grado de catástrofe que la rotura de la presa provocaría. Cuanto más grave la posible catástrofe, tanto menos reducción se tolera en el cálculo para la subpresión.

Es, evidentemente, un punto de vista demasiado empírico, práctico para los centros oficiales, pero no satisfactorio para el ingeniero. Es aquí donde ayuda la medida de las subpresiones de presas en servicio.

Al efecto se dejan abiertos agujeros adecuados que penetran más abajo de los cimientos y que en las galerías de visita terminan en tubos metálicos abiertos y dotados de empalmes para poder llevar a la par un grifo y un manómetro. El grifo abierto permite medir la pérdida de agua, que normalmente no habrá, y, una vez cerrado, se toma la lectura del manómetro. Se consiguen así datos bien fundados para proyectos futuros, no siendo difícil correlacionar los ci-

de una galería representable en su sentido longitudinal en el perfil de la presa, se pueden hacer observaciones altamente interesantes con relación al supuesto triángulo de subpresión. En el centro de una presa, en roca durísima pero no homogénea, los gráficos de subpresiones entre paramento mojado y seco, nos resultaron quebradas caprichosas. En cambio, en las alas de la misma presa, en terreno relativamente blando pero completamente homogéneo, resultaron triángulos absolutamente perfectos, que hubieran alegrado a Maurice Lévy.

Otro medio de observación directa son simples plomadas colgadas de alambres de acero inoxidable, en los pozos que suelen unir las galerías de visita. Fijando a mínima distancia del alambre una escala milimetrada, combinada con un espejo, para eliminar la paralaje del alambre, se consiguen lecturas inmediatas de hasta 1/4 mm. de exactitud: Incluso con escalas

parecidas colocadas ortogonalmente a las primeras, las mismas plomadas revelan eventuales inclinaciones de los sectores comprendidos entre dos juntas de dilatación en sentido longitudinal de la presa.

Algúná vez las lecturas discrepan algo de las esperadas y hay que buscar una explicación que suele ser fácil hallar.

Al escribir esto recuerdo con gusto a un guarda que se clasificaba a sí mismo de alfabeto (analfabeto) por no haber tenido formación escolar. Sus cifras eran feás y sus partes adivinanzas. Pero había llegado a compenetrarse con la vida de la presa como un ingeniero especialista, y cuando una lectura no le cuadraba según situación y datos anteriores, procuraba demorar ir al teléfono hasta haber hallado él mismo la explicación. Y entonces: "La plomada 14 da $-2 \frac{1}{4}$ milímetros debiendo dar $-2,0$; pero no se extrañe usted. Es porque la temperatura de..." o bien: "... porque el pantano subió tan rápido que..."

Ya con los medios de control sencillos apuntados se consigue una serie de importantes ventajas:

a) El guarda transmite inmediatamente a sus jefes cualquier anomalía que note, lo que puede tener su importancia en momentos de subida muy rápida del embalse. En Andalucía suelen éstos rellenarse en pocos días, de varios metros de altura al día en las capas superiores, eventualmente después de haber estado un par de años vacíos. Pueden producirse fenómenos de defasaje, o histéresis, que extrañan, obligando a los guardas a quedar siempre alertas en vez de anquilosarse, como les ocurre cuando todo se repite siempre exactamente según previsto. No puede así darse el caso del guarda que rellena las hojas de resultados anticipándose a las lecturas que no hará. Los responsables de más categoría están siempre inmediatamente al corriente, tranquilos a pesar de situaciones anómalas, como, por ejemplo, inmediatamente después de un terremoto. Y si hubiera motivo de intranquilidad, tanto más importaría la rapidez de lecturas tomadas y transmitidas.

b) En la oficina central resultan así estar algunos técnicos auxiliares siempre bien al corriente y de paso se forman para la comprensión de todos los fenómenos. Se dispone de personas capaces de reemplazar de un momento a otro al guarda faltante por cualquier razón, o para asistirle en casos de apuro, como crecidas extraordinarias, averías de compuertas, socavaciones debajo de aliviaderos, etc.

c) El guarda, constantemente ocupado en lecturas y en actividades que requieren atención e inteligencia (abrir grifos, cronometrar pérdidas, controlar manómetros, etc.), se transforma en un verdadero técnico especialista, adquiere amor propio e interés. Donde no se hacen observaciones cuidadosas o no se comentan con el guarda, éste no tiene prácticamente nada que hacer y con el tiempo y el aislamiento se embrutece, dedicándose exclusivamente al cultivo de sus huertas, y cuando haga falta un guarda a la altura en determinadas circunstancias, no sirve el titular.

d) En fin, ya queda señalado el altísimo valor de tales anotaciones de datos observados para proyectos de presas futuras.

A éste respecto sirven también muchos tipos de observaciones más difíciles, que necesitan lo mismo instalaciones más complicadas que personal especializado de mayor categoría técnica que guarda. En fin, hay métodos de observación que necesitan semanas de trabajo de especialistas para poder conseguir ciertos resultados. Así, las observaciones geodésicas, según el suizo Lang, no orientan rápidamente, pero no dejan por esto de ser muy interesantes sus resultados como confirmación de que no hay novedad a los X años.

Me limito a continuación a la simple enumeración de estos variadísimos métodos de observación empezando por los ya descritos:

1. *Agujeros abiertos p.*, medidas de eventuales pérdidas de agua.

2. *Agujeros con manómetro p.*, medida de subpresiones.

3. *Plomadas.* — Inclinación de la presa en sentido del empuje del agua.

3 bis. Idem en sentido longitudinal de la presa de sectores entre juntas.

4. *Péndulos.* — En presas muy altas se consiguen medidas más exactas de las inclinaciones que con simples plomadas midiendo repetidas oscilaciones de péndulos interpretadas por fórmulas apropiadas. Hacen falta dos observadores simultáneamente.

5. *Clinómetros.* — Principio de la burbuja de un nivel para medir las inclinaciones. Penosos para la vista del observador.

6. *Termómetros corrientes.* — Temperaturas en agujeros superficiales desde paramentos o galerías. Temperaturas del agua del embalse.

7. *Termómetros eléctricos.* — A base del puente de Wheatstone dan la temperatura en cualquier punto escogido del interior de la presa. Importantes para el estudio de las temperaturas de fraguado y su repercusión sobre la retracción, agrietamiento, etc. Aplicados por primera vez en la presa bóveda de Broc en 1920, por Joye, Profesor de Física de la Universidad de Fribourg.

8. *Medidas directas de alargamiento o acortamiento* de los paramentos con escalas de alta precisión. Extensómetros, elongímetros.

9. *Medidas de tensiones por métodos acústicos*, haciendo vibrar cuerdas de piano.

10. *Medidas ópticas* de varias clases. Las medidas de alineación de la coronación resultan prácticamente imposibles en climas calientes y presas largas por causa de la reverberación debida al movimiento vertical del aire a lo largo de los paramentos. Ni con aparatos y miras estudiados exprofeso por Zeiss y empleados de madrugada, llegamos en Andalucía a sacar resultados.

11. *Control de las juntas de dilatación.* — Fijando en los dos labios de una junta marcas metálicas, resulta posible, por medio de reglitas y galgas apropiadas

das, medir con 1/10 mm. de exactitud los movimientos relativos de dos sectores de presa contiguos en las tres direcciones:

- a) Sentido del empuje del agua.
- b) Sentido longitudinal de la presa.
- c) Sentido vertical.

Medidas interesantes y eventualmente importantes cuando los distintos bloques de presa se asientan en rocas diferentes. Hay presas cuyos sectores se comportan como teclas de piano.

12. *Medidas geodésicas* de alta precisión que controlan los desplazamientos lentos del paramento seco (método Lang).

13. *Nivelación periódica* de la coronación de la presa.

14. *Medidas de las deformaciones del terreno* bajo el peso de la presa y del embalse. No las conozco personalmente.

15. Habrá probablemente otras.

Las primeras tres clases de observaciones estimo que debían practicarse en absolutamente todas las presas. En cuanto a las demás, aparte el aplicar unas u otras según requieran especiales condiciones locales, se debían adoptar más o menos con criterio parecido a como las prescripciones oficiales italianas gradúan el porcentaje de subpresión a tener en cuenta según la magnitud de los daños a los cuales la eventual rotura pudiera dar lugar. Creo que en esto se hace demasiado poco, que es aquí donde hay que "escarbar" todavía para progresar con cálculos y proyectos, consiguiendo de paso un aumento de la seguridad en general.

4) Calidad de los hormigones.

Es otro aspecto en el cual los progresos del medio siglo fueron grandes.

Eran hace cincuenta años ya excelentes los cementos y se empezaba a compactar bien el hormigón gracias a la introducción del pisón de aire comprimido. En cambio, se desconocían todavía casi todas aquellas teorías y prácticas que hoy forman parte del instrumental corriente del ingeniero en general.

Para las presas vino entonces a Europa desde América del Norte la práctica del hormigón "colado". Es decir, que se añadía a la masa una cantidad excesiva de agua. (teóricamente, 10 por 100 del peso de la masa, prácticamente más) para asegurar su fácil descenso por gravedad a lo largo de canalones metálicos (llamados Lakewood) y de paso ahorrarse el apisonado. Así se hicieron, por ejemplo, en España, Tremp, Camarasa, Montejaque. Pero más aún nos apresuramos los europeos a aprovechar el descubrimiento, también norteamericano, de Abrams, que la resistencia es función del factor agua-cemento, abandonando cuanto antes un procedimiento que habíamos apenas adoptado, y sólo con mala conciencia. Los franceses, por ejemplo, casi no llegaron a emplearlo.

En realidad el sistema fué mejor de lo que hoy se pudiera creer; las presas de entonces son tan sólidas y tan estancas como las que se hacen hoy con un mínimo de agua. La bóveda de Montejaque, por ejemplo, que tiene el paramento mojado tal como salió en hormigón basto de los encofrados, resultó, a pesar de su extrema delgadez, perfectamente estanca para las 5-7 atmósferas a la cual fué repetidamente posible someterla. Pero, para conseguir buenas resistencias, obligaba evidentemente el hormigón colado a un despilfarro de cemento que hoy se evita. Esto gracias también a otra novedad aparecida poco después: la pervibración del hormigón, que permite con poco esfuerzo físico del obrero compactar perfectamente un hormigón amasado con poca agua.

Mejoraba simultáneamente el hormigón por los trabajos y fórmulas de diversos "sabios", como, por ejemplo, Bolomey, sobre granulometría, y finalmente por una variadísima serie de productos añadidos: plastificantes, aireantes, impermeabilizantes y otros "...antes" que según situación pueden prestar buenos servicios.

En cambio, parecen definitivamente abandonadas dos prácticas que hace treinta-cuarenta años eran objeto de esperanzas, estudios y discusiones: la adición al cemento de "sand-cement", harina finísima de piedra, y a la masa de bloques de piedra de gran tamaño. Desde luego, aquellos dos intentos de economizar no mejoraban la calidad y en cuanto al ahorro resultaba anulado por las complicaciones que aquellos procedimientos traían consigo. Una vez más se llega a lo más sencillo.

En las instalaciones de preparación de los áridos y de hormigonado aparecieron naturalmente muchas ideas y máquinas nuevas, pero no puede hablarse de adelanto, porque ya las instalaciones de hace cincuenta años eran satisfactorias. Esto, salvo lo que afecta a poderse hoy pesar los componentes del hormigón en vez de medirlos por volumen, como se hacía antes con menos exactitud, y lo que resulta importante, sobre todo para el cemento.

5) Inyecciones.

Esta técnica nació hace precisamente cincuenta años, no en presas, sino en las primeras galerías de traída de agua a presión. Con primitivos calderines se rellenaba con lechada de cemento a presión de aire el intersticio que se suele formar entre bóveda y roca. Todavía en la presa de Broc (1920) nadie hablaba de inyecciones y, a pesar de tratarse de Carst, todo salió perfectamente, como en muchas presas anteriores. Pero ya pocos años más tarde se habían convertido las inyecciones en una moda, y el presista que no las hiciera incurría en la crítica de sus compañeros más ortodoxos, muchas veces sin razón.

Porque las inyecciones son una espada de doble filo y tratándolas como cosa de rutina no está ex-

cluido que resulten contraproducentes. Su primer inconveniente reside en que no se ve lo que se hace, para no decir que no se sabe lo que se hace. Todo depende de la situación local que nunca es copia de otra, donde se hubieran podido hacer experiencias. Es, por ejemplo, difícil, para no decir que quedará siempre arbitrario, determinar la distancia entre agujeros, y la presión más adecuada a emplear para que surta efecto sin hacer daño. En rocas muy sólidas con grietas o diaclasas finas, parece evidente que se impondrán sin peligro presiones altas y que éstas alcanzarán su fin. Pero no ocurre lo mismo con rocas menos resistentes homogéneas, sin intersticios naturales. Una presión de inyección excesiva se abrirá allí paso reventando la roca y no está seguro que la lechada rellene bien las grietas por ella misma abiertas. Incluso se conocen casos de edificios y hasta de presas movidas por inyecciones, que por lo tanto habían levantado el terreno y no rellenado oquedades. Oigo las protestas de compañeros especializados en inyecciones: "En los últimos años esta técnica ha hecho tales progresos, que cada caso puede encontrar su solución". No lo dudó ni pretendo prescindir de las inyecciones en general: lo que digo es que no en todas las presas son necesarias, representando, pues, en ciertos casos despilfarro para cargarse de una complicación más, y que en algunas rocas hasta podrían resultar contraproducentes.

Por lo tanto, no se deben hacer inyecciones rutinariamente; necesitan un estudio muy profundizado en colaboración íntima de presista, geólogo y ejecutante, y no pueden ser abandonadas al último para que haga "una campaña" de inyecciones, sino que el presista tendrá que mantenerse, por medio de sus propios técnicos, al corriente de la biografía de cada agujero, para volver a considerar con el geólogo lo que pasa cuando se observe alguna novedad. Puede ocurrir que haya que abandonar una "campaña" empezada o adelantada. Y prepárense abundantes fondos..., porque son como las guerras: se empiezan sin saber lo que costarán ni cómo acabarán. He visto hacer inyecciones en terrenos donde con poca reflexión se hubiera podido colegir de antemano que no servirían para nada o que resultarían económicamente prohibitivas. No se pueden rellenar cavernas cársticas con inyecciones, ni se pueden corregir económicamente rocas de tipo colmena, como, por ejemplo, la carniola. Por lo tanto: no olvidemos en ningún proyecto de presa de considerar las eventuales inyecciones, pero no abordemos el problema pensando de antemano que de todos modos habrá que hacerlas "porque esto es lo que se lleva". Y sobre todo, mucho ojo al detalle una vez decididas.

6) Drenajes.

Situados a pocos metros de distancia del paramento mojado, tienen teóricamente por objeto atraer las eventuales filtraciones para llevarlas a colectores que suelen ser las galerías de visita, con lo cual se anula

o casi, la subpresión aguas abajo del velo de drenes. De paso se evita el empobrecimiento del hormigón que aguas abajo de los drenes podría causar el flujo de las filtraciones. De hecho se trata de otra espada de dos filos, y no creo ser el único presista que les tiene más bien antipatía. Por de pronto conozco varias presas con paramento de aguas abajo absolutamente seco a pesar de la completa falta de drenajes, y otra donde se impuso desde arriba cada detalle de una tupida red de drenes, para atribuir después a éstos las grandes filtraciones, que se redujeron... taponando los drenes, estimados ahora responsables del fracaso. Y en cuanto al empobrecimiento del hormigón, parece preferible dejar que se produzca en todo el cuerpo de la presa, que siempre será insignificante si el hormigón es bueno, que no intensificar el empobrecimiento entre paramento mojado y drenes por la circulación de agua que éstos sin duda allí provocan.

Por si acaso se quiere gastar dinero para reducir las filtraciones más eficazmente, me parece gastado mejor en el tratamiento del paramento mojado, al cual dedicamos el párrafo siguiente.

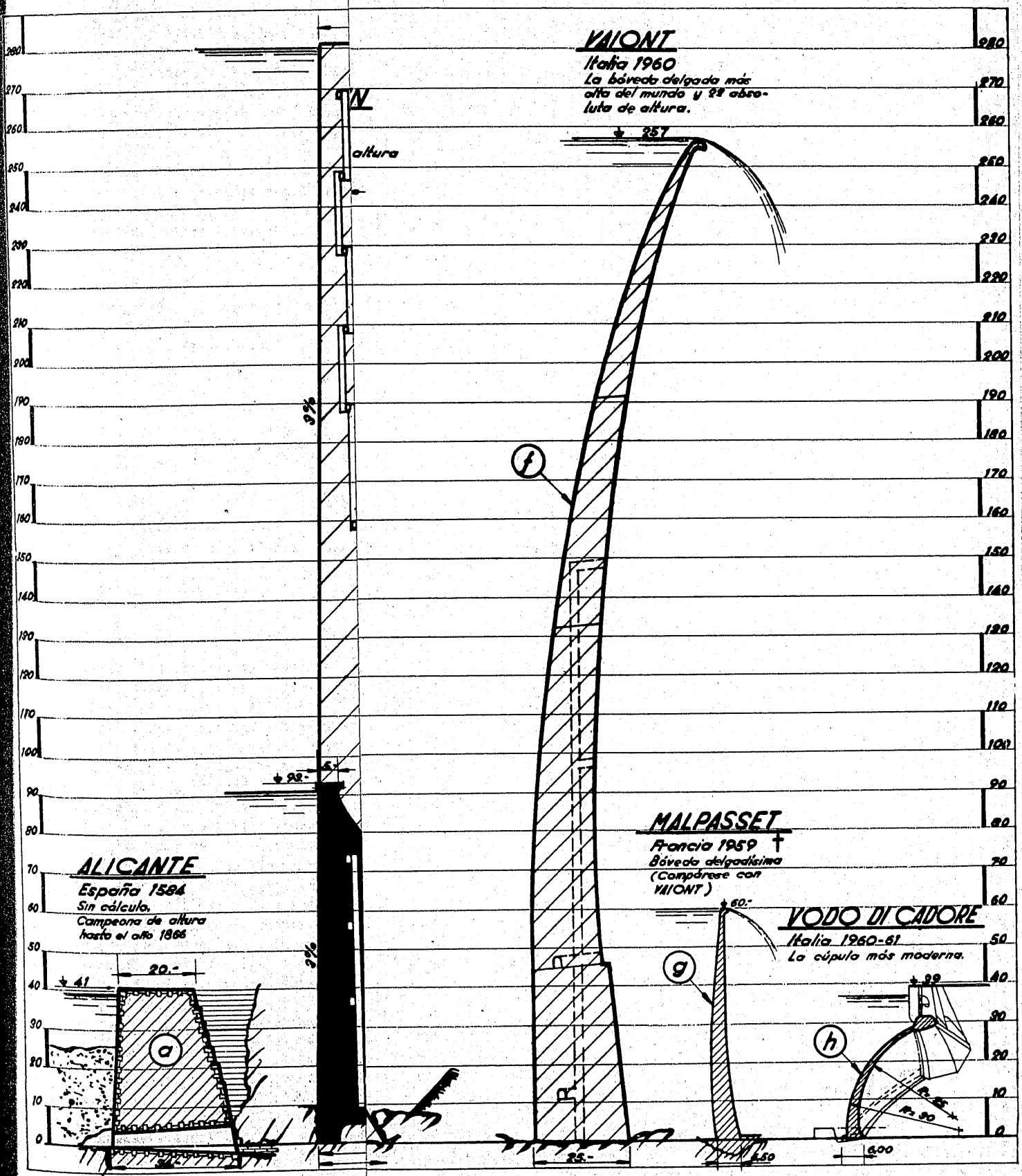
7. Estanqueidad del paramento mojado.

No cabe duda que el agua a presión puede dar lugar a sorpresas impresionantes cuando se empeña en atravesar hormigones o mampostería. De ahí que ingenieros especialmente escrupulosos o temerosos exageren las medidas para estancar el paramento mojado. Estimo que en el estado actual de la técnica de confección de hormigones, que permite conseguirlos no sólo sólidos, sino también perfectamente estancos, todas las atenciones deben ir a la masa de hormigón que, bien hecho, ha de bastar para asegurar la estanqueidad. Desde luego hay que gastar lo necesario en un buen laboratorio de hormigones en obra, confiado a personal no sólo inteligente sino concienzudo, meticoloso y sistemático.

En Broc (año 1919) previmos un paramento de bloques de hormigón de alto dosaje y especialmente cuidados, con una cara (soga o tizón, la que iría a parar contra el agua), dotada de un enlucido especialmente estudiado, aplicado "a fresco" y que quedaba como un espejo, al punto que molestaba ver en él rasguños. Mi jefe (¡contratista!) me reprochó una vez haber apoyado contra el paramento una... escalera de madera, y al notarme cierta sonrisita, se enfadó: "Es usted joven y no sabe todavía lo que es la presión del agua". (Me enteré poco después.) Y ello que todavía iba a recibir todo el paramento tres capas de pintura bituminosa especialmente estudiada al efecto. Evidentemente fué completo el éxito, pero pagado demasiado caro. Poco después se anunciaban los hallazgos de Abrams, Bolomey, etc., y apenas un par de años más tarde, Montejaque y Cala resultaron perfectamente estancos sin el menor tratamiento especial de la superficie mojada, a pesar de ser hormigón colado, superficie bruta y a pesar de la delgadez del

Hm.

Hm.



VALONT

Italia 1960
La bóveda delgada más
alta del mundo y 2ª abso-
luta de altura.

280

270

260

250

240

230

220

210

200

190

180

170

160

150

140

130

120

110

100

90

80

70

60

50

40

30

20

10

0

altura

3%

+ 28

3%

MALPASSET

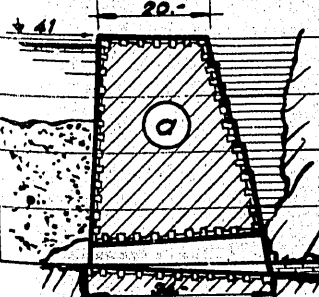
Francia 1959 †
Bóveda delgadísima
(Compárese con
VALONT)

VODO DI CADORE

Italia 1960-61
La cúpula más moderna.

ALICANTE

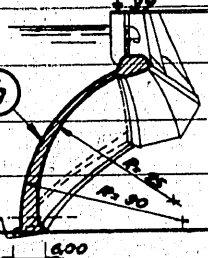
España 1884
Sin cálculo.
Campeona de altura
hasta el año 1865



+ 60

g

h



+ 69

600

cluido que resulten contraproducentes. Su primer inconveniente reside en que no se ve lo que se hace, para no decir que no se sabe lo que se hace. Todo depende de la situación local que nunca es copia de otra, donde se hubieran podido hacer experiencias. Es, por ejemplo, difícil, para no decir que quedará siempre arbitrario, determinar la distancia entre agujeros, y la presión más adecuada a emplear para que surta efecto sin hacer daño. En rocas muy sólidas con grietas o diaclasas finas, parece evidente que se impondrán sin peligro presiones altas y que éstas alcanzarán su fin. Pero no ocurre lo mismo con rocas menos resistentes homogéneas, sin intersticios naturales. Una presión de inyección excesiva se abrirá allí paso reventando la roca y no está seguro que la lechada rellene bien las grietas por ella misma abiertas. Incluso se conocen casos de edificios y hasta de presas movidas por inyecciones, que por lo tanto habían levantado el terreno y no rellenado oquedades. Oigo las protestas de compañeros especializados en inyecciones: "En los últimos años esta técnica ha hecho tales progresos, que cada caso puede encontrar su solución". No lo dudó ni pretendo prescindir de las inyecciones en general: lo que digo es que no en todas las presas son necesarias, representando, pues, en ciertos casos despilfarro para cargarse de una complicación más, y que en algunas rocas hasta podrían resultar contraproducentes.

Por lo tanto, no se deben hacer inyecciones rutinariamente; necesitan un estudio muy profundizado en colaboración íntima de presista, geólogo y ejecutante, y no pueden ser abandonadas al último para que haga "una campaña" de inyecciones, sino que el presista tendrá que mantenerse, por medio de sus propios técnicos, al corriente de la biografía de cada agujero, para volver a considerar con el geólogo lo que pasa cuando se observe alguna novedad. Puede ocurrir que haya que abandonar una "campaña" empezada o adelantada. Y prepárense abundantes fondos..., porque son como las guerras; se empiezan sin saber lo que costarán ni cómo acabarán. He visto hacer inyecciones en terrenos donde con poca reflexión se hubiera podido colegir de antemano que no servirían para nada o que resultarían económicamente prohibitivas. No se pueden rellenar cavernas cársticas con inyecciones, ni se pueden corregir económicamente rocas de tipo colmena, como, por ejemplo, la carniola. Por lo tanto: no olvidemos en ningún proyecto de presa de considerar las eventuales inyecciones, pero no abordemos el problema pensando de antemano que de todos modos habrá que hacerlas "porque esto es lo que se lleva". Y sobre todo, mucho ojo al detalle una vez decididas.

6) Drenajes.

Situados a pocos metros de distancia del paramento mojado, tienen teóricamente por objeto atraer las eventuales filtraciones para llevarlas a colectores que suelen ser las galerías de visita, con lo cual se anula

o casi, la subpresión aguas abajo del velo de drenes. De paso se evita el empobrecimiento del hormigón que aguas abajo de los drenes podría causar el flujo de las filtraciones. De hecho se trata de otra espada de dos filos, y no creo ser el único presista que les tiene más bien antipatía. Por de pronto conozco varias presas con paramento de aguas abajo absolutamente seco a pesar de la completa falta de drenajes, y otra donde se impuso desde arriba cada detalle de una tupida red de drenes, para atribuir después a éstos las grandes filtraciones, que se redujeron... taponando los drenes estimados ahora responsables del fracaso. Y en cuanto al empobrecimiento del hormigón, parece preferible dejar que se produzca en todo el cuerpo de la presa, que siempre será insignificante si el hormigón es bueno, que no intensificar el empobrecimiento entre paramento mojado y drenes por la circulación de agua que éstos sin duda allí provocan.

Por si acaso se quiere gastar dinero para reducir las filtraciones más eficazmente, me parece gastado mejor en el tratamiento del paramento mojado, al cual dedicamos el párrafo siguiente.

7. Estanqueidad del paramento mojado.

No cabe duda que el agua a presión puede dar lugar a sorpresas impresionantes cuando se empeñe en atravesar hormigones o mampostería. De ahí que ingenieros especialmente escrupulosos o temerosos exageren las medidas para estancar el paramento mojado. Estimo que en el estado actual de la técnica de confección de hormigones, que permite conseguirlos no sólo sólidos, sino también perfectamente estancos, todas las atenciones deben ir a la masa de hormigón que, bien hecho, ha de bastar para asegurar la estanqueidad. Desde luego hay que gastar lo necesario en un buen laboratorio de hormigones en obra, confiado a personal no sólo inteligente sino concienzudo, meticulado y sistemático.

En Broc (año 1919) previmos un paramento de bloques de hormigón de alto dosaje y especialmente cuidados, con una cara (soga o tizón, la que iría a parar contra el agua), dotada de un enlucido especialmente estudiado, aplicado "a fresco" y que quedaba como un espejo, al punto que molestaba ver en él rasguños. Mi jefe (¡contratista!) me reprochó una vez haber apoyado contra el paramento una... escalera de madera, y al notarme cierta sonrisita, se enfadó: "Es usted joven y no sabe todavía lo que es la presión del agua". (Me enteré poco después.) Y ello que todavía iba a recibir todo el paramento tres capas de pintura bituminosa especialmente estudiada al efecto. Evidentemente fué completo el éxito, pero pagado demasiado caro. Poco después se anunciaban los hallazgos de Abrams, Bolomey, etc., y apenas un par de años más tarde, Montejaque y Cala resultaron perfectamente estancos sin el menor tratamiento especial de la superficie mojada, a pesar de ser hormigón colado, superficie bruta y a pesar de la delgadez del

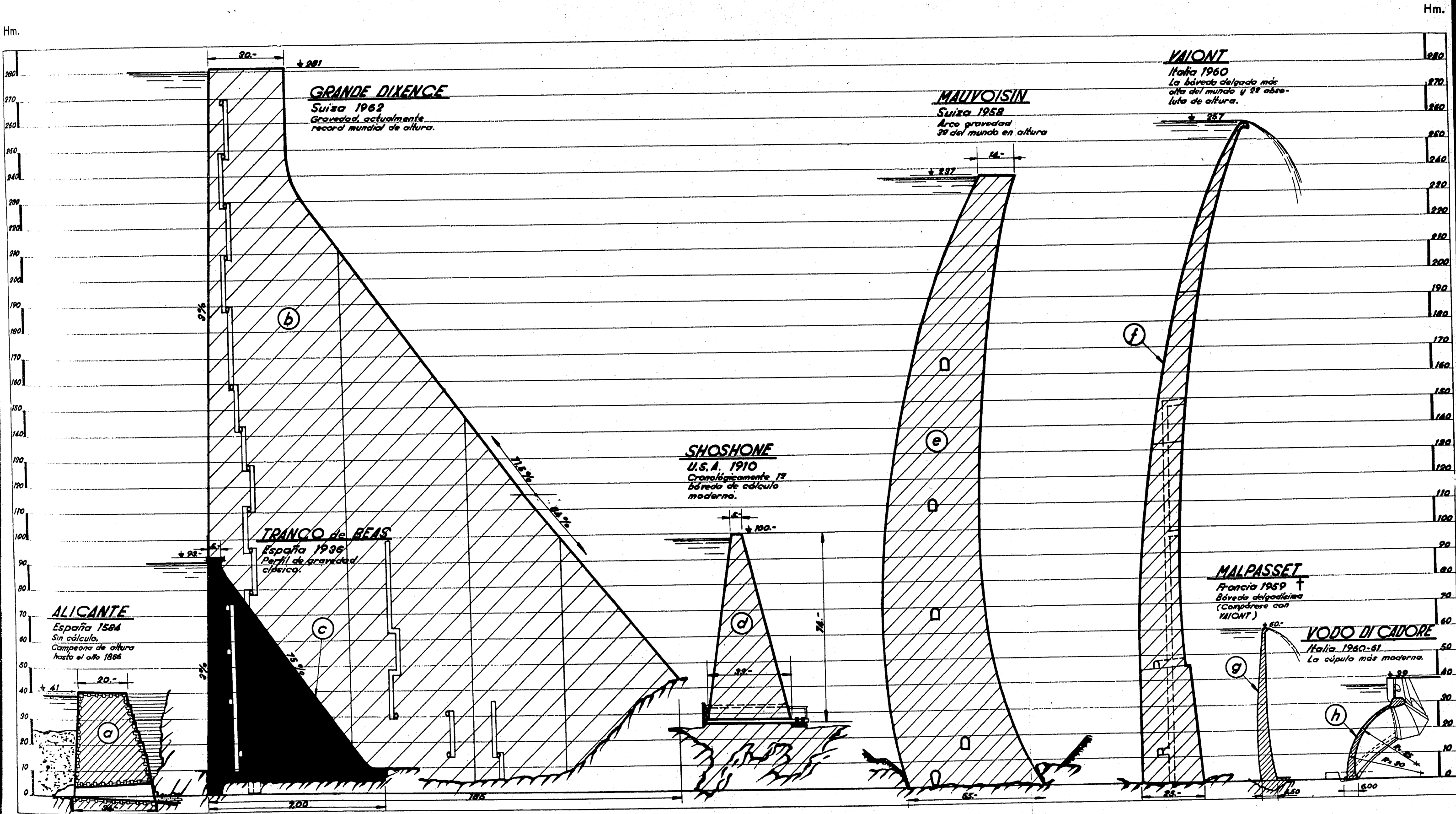


Fig. 5.ª — Lo que va de ayer a hoy. Escala, 1 : 1.333 (7,5 mm. = 10 m.).

arco de Montejaque. Con el apropiado cuidado se consiguen, pues, hormigones absolutamente estancos que permiten prescindir de todo detalle supletorio. Esto no quiere decir que en casos singulares no pueda convenir un tratamiento especial del paramento mojado. En Suiza, por ejemplo, se prefiere, a partir de cierta altura sobre el nivel del mar, revestir de mampostería de buena piedra no sólo aquél, sino también el paramento de aguas abajo, porque se ha hecho la experiencia que el hielo desmorona poco a poco los mejores hormigones. Por lo mismo, hay presas italianas con paramento mojado protegido por palastro. En ciertas condiciones, un revestimiento de bloques de hormigón puede resultar más barato que encofra-

jóvenes presistas principiantes, el inconveniente psicológico de distraer la atención de lo esencial hacia lo accesorio. *Un hormigón perfecto sobre intachables bases geológicas, pedantería en las juntas de trabajo, y el viejo presista está tentado de afirmar que sobran entonces detalles.* Cuanto mayor la obra, tanto más importan sus grandes líneas básicas, tanto menos lo accesorio.

8. Juntas de contracción.

Es un aspecto más con el cual he hecho la experiencia de que lo más sencillo es lo mejor (v. fig. 6.^a). Más vale una equidistancia pequeña entre juntas

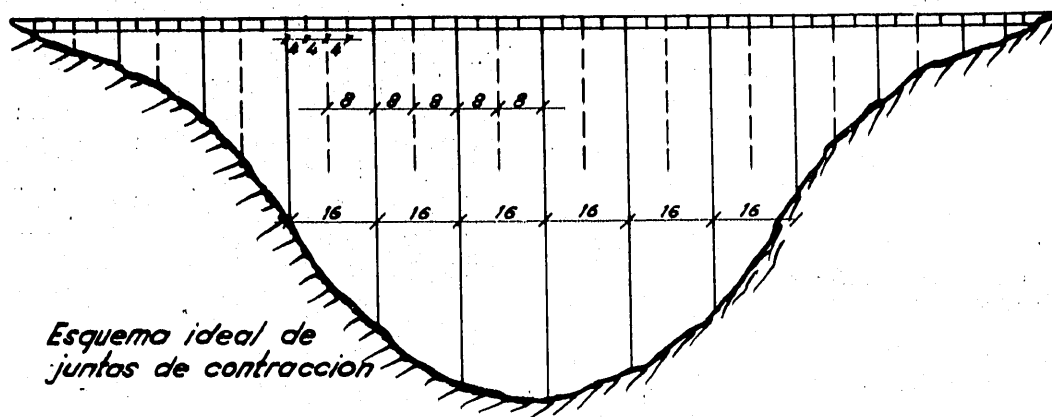


Figura 6.^a

dos; en otras, un dueño rico buscará un efecto arquitectónico fastuoso. Cada presa es un individuo único y conviene, pues, tratar cada uno de sus detalles en consecuencia. Pero estructural y económicamente, es hoy posible, sin más, renunciar lo mismo a un tratamiento especial del paramento mojado, que a drenes. ¡Hágase un hormigón como Dios manda, que en esto no se puede exagerar, y todo irá bien! En las bóvedas no habrá ni que prever un aumento de dosificación, porque suelen ser de dosificación rica en toda su masa, mientras que en las presas de gravedad convendrá, sobre un par de metros desde el paramento, aumentar a 300 C.P./m.³ la dosificación, que en el cuerpo del triángulo suele ser < 200. En Suiza se está ya por debajo de 150 C.P./m.³, contando poder bajar a 120.

Las presas no son cuerpos muertos, desde luego; no un simple bloque triangular o abovedado de hormigón; pero, por otra parte, suelen ser de una envergadura tal, que deben conceptuarse, en primer lugar, sus grandes líneas. De nada sirven los revestimientos más refinados, los sistemas de drenes mejor elucubrados, las inyecciones, los detalles de las juntas de contracción, si no se hace un excelente hormigón. Y los muchos detalles tienen, especialmente para los

de la mayor sencillez, que una distancia mayor complicada por muchos detalles de estancamiento. Hace treinta y tres años se me confió como jefe de explotaciones una presa, en cuya construcción yo no había intervenido, de 50 m. de altura y 320 de longitud, con juntas a 32 m. de equidistancia. Poco después descubrí en el paramento seco grietas y me dediqué personalmente a levantar el plano exacto de todas ellas, llevándome la sorpresa de que son prácticamente sistemáticas: en el centro entre dos juntas, a 16 m. de cada una, una grieta bien marcada llega de la coronación hasta los cimientos. A su vez, en el centro entre una de estas grietas y la próxima junta, es decir, a 8 m. de cada, otra grieta algo menos marcada bajando sólo hasta media presa desde la coronación. Encima de esta última se eleva aguas arriba un muro-baranda de protección, de 1,20 x 0,40 m., y éste tiene una grieta cada 4 m. Todas las grietas registradas tienen los labios irregulares característicos de las fisuras espontáneas, pero en su trazado son prácticamente verticales. Quiere esto decir que para las condiciones de aquella presa (geología, perfil, clase de hormigón), la Naturaleza no admitió la excesiva equidistancia de 32 m., que la corrigió a 16, y que ni éstos bastan en las partes altas, más delgadas, de la presa. Esto no

quiere decir que esta presa, en vez de una equidistancia de juntas de 16 m., no hubiera admitido 18 ó 14; pero sí parece ser el orden de magnitud que se ha impuesto, cuando hace treinta-cuarenta años se hablaba del doble, que resultó, pues, insuficiente. Tiene 16 m.; además, la ventaja de ser potencia de 2, es decir, que por muchas juntas parciales que se intercalen divi-

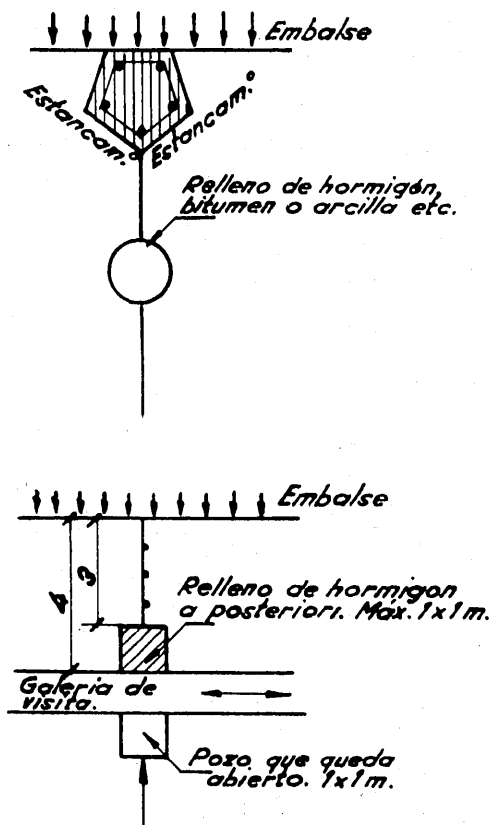


Fig. 7.ª — Dos tipos extremos de estancamiento aguas arriba de juntas de contracción: a) Complicado y caro (Waggithal, Pintado). b) Sencillo, barato y eficaz (Cala).

diendo por 2 la serie de categoría superior, siempre saldrán en distancias de cifra sencilla, fácilmente recordable para todo el mundo. Porque aquel levantamiento de grietas me dió la idea de que un esquema parecido debía adoptarse al proyectar presas nuevas, y creo saber que en muchas presas modernas se acude a este criterio. Resulta algo arbitrario en esta disposición fijar la altura donde empezar las juntas intermedias, las que no arrancan en los cimientos, y hay, pues, cierta posibilidad de que más tarde éstas se prolonguen algo más por fisuras. Pero esto no puede tener importancia, visto que aquel amplio sistema de grietas que levanté estaba y sigue estando completamente seco. Deduzco que con este sistema "natural" de grietas, a imitar con las juntas a prever en una presa nueva, resulta tan pequeño su juego, que los corpúsculos flotantes en el agua, el plancton, etc.,

bastan para estancar la junta. Y donde no bastara, que el guarda eche, a pantano subiente, un par de palas de tierra, estiércol, carbonilla, barredura de cemento o similares, para que el estancamiento se produzca inmediato y completo. Es por todos estos antecedentes que no soy amigo de cierres de junta complicados (v. fig. 7.ª).

Y también por haber visto fracasar la cara y complicada junta, según a) de la fig. 7.ª, mientras que dió éxito completo la sencilla, barata, según b). La de a), adoptada por primera vez en 1923 en Waggithal (1694), columna de hormigón armado a rellenar a posteriori dentro del adecuado pozo, es de difícil ejecución, porque se requieren paredes de pozo perfectamente verticales, planas, lisas. Caso contrario, la presión del agua no puede desplazar hacia aguas abajo la columna; basta, por ejemplo, una rebaba de junta de trabajo para no soltarla; no apoya entonces sobre las dos caras del pozo que han de hacer el cierre. En la solución b) pueden volverse a formar grietas finísimas alrededor del hormigón de relleno del pozo de aguas arriba, pero esperando con el relleno que la masa de la presa haya hecho lo principal en su retracción y gracias a las exiguas dimensiones del hormigón de relleno, las eventuales grietas capilares resultan prácticamente estancas, y en el caso improbable contrario, las pocas gotas se evacuan por el pozo de aguas abajo. Este sirve, además, para alojar en él varios de los aparatos de medida de los movimientos de la presa citados anteriormente. Una vez más me parece también, para las juntas de contracción, que un esquema de principio claro y sencillo, sistemáticamente respetado, pasa antes que mimos de detalle.

En cuanto a las grandes superficies de contacto entre bloques, hace ya bastantes años que se abandonó la disposición a). Angulos rectos, en mampostería u hormigón, son siempre antipáticos por temerse

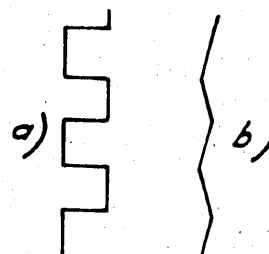


Fig. 8.ª — Dos tipos de juntas de contracción: a) Tipo antiguo, hoy abandonado. b) De adopción frecuente.

que puedan favorecer el arranque de grietas, y hasta hay quien teme tensiones de carácter e intensidad desconocidos, si dos bloques contiguos no trabajaran al unísono (v. fig. 8.ª). Hay presistas que por esto opinan que en las presas de gravedad es preferible dejar las caras de contacto entre bloques completamente planas, de acuerdo con el cálculo que parte de la base que cada sector resiste por su cuenta. A

pesar de esto, el instinto se inclinará hacia una forma de trabazón que evite fuertes ángulos, como, por ejemplo, la solución b) de la figura 8.^a. Es de práctica general pintar con algún producto bituminoso la cara primero hormigoniada.

En los arcos, y más en los delgados, lo lógico es que las juntas sean planas y radiales, sobrando más consideraciones.

9. Juntas de trabajo.

Creo que es aquí donde más se peca. Es evidentemente mucho más cómodo para los contratistas dis-

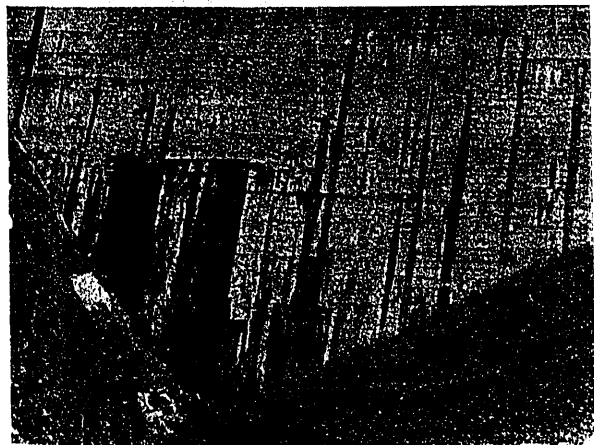


Fig. 9.^a — Un paramento que debía poderse llamar seco, se convierte en mojado si no se tratan con el debido cuidado las juntas de trabajo.

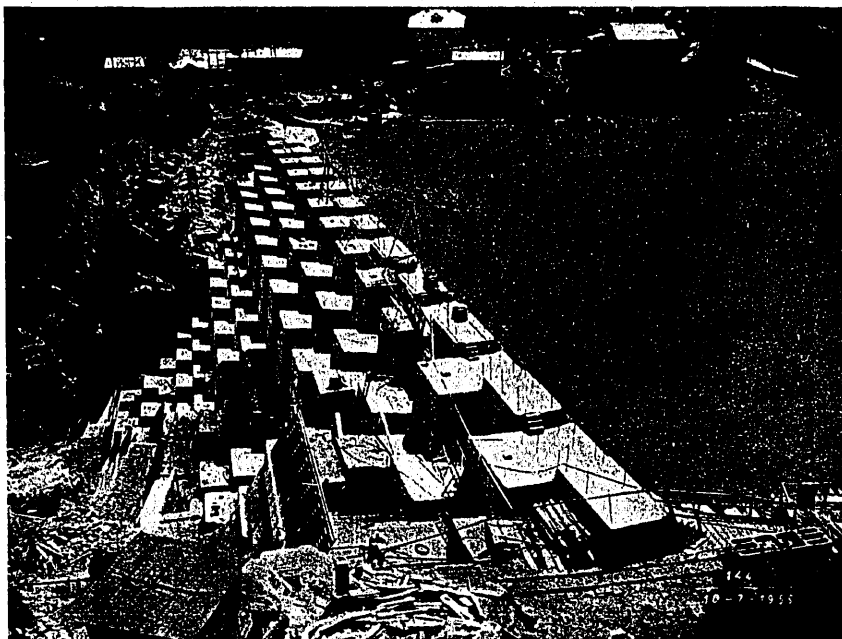


Fig. 11. — Cuidadoso esquema de juntas de contracción y de trabajo en una presa actualmente en construcción en Italia. Cortesía Empresa S.A.L.C.I.

poner de grandes superficies horizontales, que no hacer los distintos bloques de forma que las juntas de trabajo obliguen las eventuales filtraciones, a re-

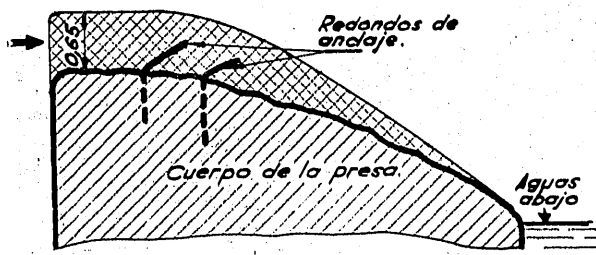


Fig. 10. — Reecrido de presa que, a pesar de anclajes de hierro, se marchó a la primera crecida por haberse descuidado la junta de trabajo. Reecrido de hormigón sobre vieja mampostería.

correr caminos largos y tortuosos. Progresos en la técnica del tratamiento de las juntas de trabajo no los podía haber porque lo que hay que hacer se sabía ya hace cincuenta años. Quizá consista la diferencia en que entonces se hacía efectivamente, y hoy, no solamente ciertos contratistas, sino hasta directores de obras, se conforman con un simulacro de tratamiento de las juntas de trabajo. Cuáles pueden ser entonces los resultados, se ve en la foto de la figura 9.^a, cuyas copiosas filtraciones están debidas casi exclusivamente a no haberse cuidado bien las juntas de trabajo. ¡Sabe Dios qué porcentaje de subpresión tendrían algunas de ellas! El caso fué corregido y no es único (v. también fig. 10).



Fig. 12. — La gigantesca escalera de Malpasset, rota: *c* = juntas de contracción; *t* = juntas de trabajo.

La negligencia está, quizá, debida a que la técnica correspondiente, no pudiendo ser enseñada en la Escuela, el ingeniero joven la tiene que aprender en la práctica, a la par que le va adquiriendo respeto a la presión del agua. Pero por las razones que sean, y que no vamos a analizar aquí, el hormigonado se suele confiar a ingenieros jóvenes, en algunos casos hasta el extremo de que estaban todavía en la Escuela cuando ya se excavaban los cimientos de la presa. Únicamente para estos jóvenes repito lo que dicen todos los Pliegos de Condiciones, pero que no siempre se suele aplicar con seriedad:

a) Evitar grandes superficies horizontales previendo los bloques de hormigonado de forma tal que al agua le cueste el mayor trabajo posible recorrer la fisura capilar que inevitablemente se produce entre un bloque fraguado y uno fresco. Hasta qué punto llegan en esto algunos presistas, lo dice la fotografía de la figura 11, correspondiente a una obra italiana.

b) Si, por las razones que sean, se admiten superficies mayores, no deben ser horizontales, sino aproximadamente ortogonales a la resultante más frecuente del conjunto de presiones.

c) Ser muy severo con la prohibición, hasta lo

humanamente posible, de transitar con zapatos sucios de tierra o proteger las superficies de tránsito incluíble con tablas, mantas de arpillera, etc.

d) Al reanudar el hormigonado habrá que:

1.º Picar con martillo picador la superficie vieja hasta hacerla lo más basta posible. El dejar en el hormigón viejo grandes piedras hundidas parcialmente, no es de buena técnica, porque las piedras pueden recibir golpes durante el fraguado y porque el martillo picador no actúa después bien entre los salientes de piedra.

2.º Lavar con agua a presión la superficie picada para quitar, además de la suciedad, el polvo producido al picar, ayudando con cepillo metálico según casos y evitando la formación de charcas.

3.º Echar una delgada capa de mortero uniformemente repartida antes de pasar al hormigón en masa.

Incluso respetando religiosamente estos preceptos, no hay quien evite la formación de finísimas grietas en las juntas de trabajo, pero serán mecánicamente aceptables y la penetración del agua en el paramento mojado progresará pocos centímetros.

No se dará el caso de la figura 9ª, que permite ver claramente cómo aquellas filtraciones están debidas exclusivamente a no haberse cuidado suficientemente las juntas de trabajo. Porque el ingeniero encargado era muy joven. Entonces...

En todas las fotografías de la presa de Malpasset rota (fig. 12) se ve una gigantesca escalera, y los periodistas de siempre hablan de la extrañeza que los "enigmáticos" peldaños provocaron en los miembros de la Comisión investigadora. Naturalmente, no hubo tal enigma. Porque cualquier presista comprende a primera vista que las contrahuellas corresponden a las juntas de contracción, lo que es normal, mientras que las grandes huellas de la escalera se deben a juntas de trabajo probablemente no perfectas, lo que, eventuales filtraciones aparte (parece que no las había), no tendría importancia en una presa calculada a base de sólo anillos horizontales, pero pudiera haberla tenido si, como es probable, se contó con el trabajo de las ménsulas. No, por esto se ha ido Malpasset; pero las fotos dan la impresión de que las juntas de trabajo no fueron tratadas a la perfección. O si las hicieron bien, quiere decir que los ingenieros no podemos con ellas.

Después de la calidad del hormigón propiamente dicho, es el cuidado de las juntas de trabajo de la mayor importancia en las presas y, por lo tanto, lo que más atención requiere.

10. Descargas de fondo.

Es otro de los accesorios de pragmática, que casi todas las prescripciones oficiales exigen, pero cuya instalación o no estiman algunas presistas se debiera dejar a su arbitrio. Soy de ellos porque:

a) El dinero aplicado aquí, lo es con muy poco provecho.

b) Nunca se podrá resolver el problema de la crecida extraordinaria acudiendo a válvulas de fondo. Ni pueden tener capacidades adecuadas, ni en momentos tan críticos habrá quien tenga valor para abrirlas. Si en caso de urgencia se han de abrir por motor, faltará la corriente; si a mano, faltará el personal necesario, se distraerá la atención de los aliviaderos principales, etc.

c) Tuve en una presa de gravedad una mariposa de fondo, que a media abertura vibraba tanto que nos apresuramos a cerrar. Consecuencia: gastos para aplicar aguas abajo de la presa otra válvula, de compuerta ésta, y que se abre solamente después de abrir la mariposa con compuerta cerrada. Es decir, que la mariposa sobra. Dinero tirado. Vibraciones de la compuerta de fondo podrían ser fatales en ciertas circunstancias. Parece claro que la catástrofe de Malpasset fué debida a fallo geológico del apoyo izquierdo. Pero también había sido abierta poco antes la válvula de fondo. ¿Vibraría ésta? ¿Estaría taponada por tarquines y daría un cañonazo al destaparla la presión del agua? Los peritos excluyen que esta compuerta fuera la causa fundamental del accidente, pero puede haber sido su abertura la causa desencadenante. Es evidente que en una cáscara tan delgada (la que en sí no era un error), una compuerta en marcha tiene que producir vibraciones que puede no hagan daño cuando todo está bien. Pero en Malpasset estaba el apoyo izquierdo en equilibrio lábil, que la menor vibración destruiría (1). Y tanto más al tratarse de un tipo de válvula mal escogido, la mariposa, que son las que más vibraciones dan. Y, como si esto no bastara, era de abertura automática (2), sustraída a la reflexión del ingeniero, si convendría o no abrirla.

Pocos ingenieros se atreverían a mandar abrir una válvula de fondo en una noche de temores por crecida, y menos en una bóveda delgada.

d) Por otra parte, las descargas de fondo quedan taponadas en poco tiempo por los tarquines. Naturalmente, se podría evitar esto abriendo de vez en cuando, para que los tarquines no se acumulen. Pero en muchos casos (años secos de Andalucía, por ejemplo) esto significa tirar energía y no se hace. De hecho, el 90 por 100 o más de las válvulas de fondo duermen el sueño del justo por la eternidad y representan, pues, dinero mal empleado, cuando no una complicación contraproducente. Naturalmente, puede resultar lógico instalar una compuerta donde se tuvo que abrir de toda forma una galería de derivación durante la obra, o, ahorrándose la galería, se colocó un tubo en pie de presa para poder cimentar, mientras que se tenía que dejar paso al agua. En todo caso, parece

preferible evitar, en presas delgadas, vibraciones que podrían resultar armónicas, y cualquiera que sea el tipo de presa o de compuerta de fondo, ésta va a quedar pronto taponada por el atarquinamiento. Vale, pues, la pena considerar la renuncia a una descarga de fondo o estudiar si las condiciones geológico-topográficas no permitirían, con el mismo gasto o poco más, instalar descargas laterales en alturas que las sustraigan al taponamiento por tarquines.

Si lo que se pretende, a pesar de su poca eficacia, es que la válvula ayude, en situaciones imprevisibles, a bajar el nivel del embalse, no es necesario para nada situarla al fondo. Colocada, por ejemplo, a $1/3$ de altura, costará aproximadamente lo mismo y no será alcanzada por el atarquinamiento; en caso de duda, se pone más alta aún. Y si se pensara en un vaciado del embalse, cosa posible sólo en contados ríos con largos periodos de estiaje absoluto o casi (Andalucía), tampoco hará falta vaciar completamente. Porque en la altura $H/3$, el momento de vuelco de la presa ya resulta reducido a menos del 4 por 100 del embalse lleno. Cualquier clase de peligro hubiera desaparecido (figura 13).

Por esta misma razón, huir del atarquinado, conviene colocar a cierta altura todas las tomas de agua, cualquiera que sea su destino.

II. Aliviaderos o vertederos.

Hablando de grandes presas, los ingenieros no especializados suelen pensar en los aliviaderos como en un accesorio más. No se trata de esto, y los presistas sabemos que, en la mayoría de los casos, el o los aliviaderos pueden traer más problemas que la correspondiente presa, y que desagradables sorpresas suelen ser allí incluso más frecuentes. Basta pensar en lo difícil que es acertar determinando su capacidad en función de la crecida máxima que se puede o debe esperar y en las decepciones que en cuanto a peligrosas socavaciones puede procurar un terreno aparentemente solidísimo. Los presistas de este país conocemos uno de los más grandiosos ejemplos en esta clase de experiencias.

Y no son los dos citados los únicos problemas que suscitan los vertederos, sino que los problemas son infinitos y un tratado sobre aliviaderos resulta tan voluminoso como uno sobre presas.

Aquí se pretende solamente dar una vista a vuelo de pájaro sobre las ideas directrices desarrolladas en lo que va de siglo. Al comienzo prevalecía lo natural: un *vertedero de labio completamente libre*, y ésta sigue siendo la solución más segura. También es éste el aliviadero cuyo rendimiento se ha incrementado más en nuestra época, ya que en la fórmula sucinta $Q = C \times h^{3/2}$, el valor que se da al coeficiente C resulta hoy en 2,2 gracias a los ensayos de laboratorio que condujeron al llamado perfil Creagher, cuando hace cuarenta años apenas si nos atrevíamos a poner

(1) Según declaración del guarda a la Comisión investigadora, estas vibraciones eran "del mismo orden que las de un motor de automóvil". Bien perceptibles, pues.

(2) Según noticias privadas. Del informe de la Comisión investigadora, parece deducirse que había sido puesta en marcha por el guarda.

1,75. Aumento de rendimiento del 25-30 por 100 sin aumento de gastos, o casi.

Pero esta ventaja se aprovecha más en los umbrales de compuertas que en vertederos libres, porque raras son, cerca de presas, topografías que permitan instalar vertederos libres largos. Los cortos dan láminas altas que, elevando el nivel del embalse, encarecen sobremanera la presa sin aumentar el volumen

nistrador de compuertas automáticas que no obedecían correctamente, y hasta automatismos tirados a la chatarra. Su mayor inconveniente es que tienen que funcionar sólo con intermitencia; según clima, pueden pasar años de un funcionamiento al otro, empaquetaduras y engrases se secan, etc., y cuando se necesita contar con el automatismo, éste se niega. Naturalmente, una explotación consciente prueba las

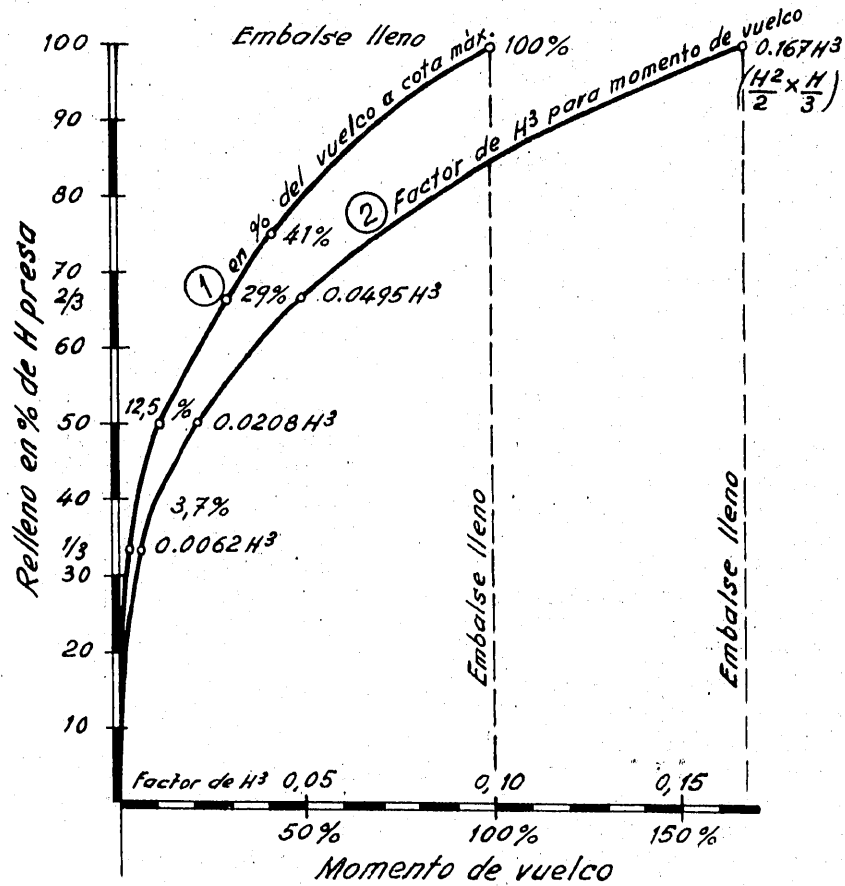


Fig. 13. — Momento de vuelco de una presa de gravedad en función del estado de relleno del embalse: H = altura presa. Se subentiende: paramento mojado vertical, triángulo teórico sin peso coronación, ni subpresión, la que se comporta análogamente.

aprovechable del embalse. De ahí que ya al comienzo del siglo se conocieran varios tipos de compuertas para aliviaderos de superficie.

Al finalizar, en 1918, la primera guerra mundial, la neutral Suiza había desarrollado varios tipos de compuertas automáticas, que de pronto despertaron entusiasmo y fueron adoptadas en varios países. Entre otras ventajas permitirían ahorrar personal. En el hombre anida siempre el niño y los automatismos tienen mucho de juguete... Pero los juguetes se suelen romper, los automatismos son a base de complicaciones; un detallito dejó de tenerse en cuenta y... recuerdo algún que otro pleito entre presista y sumi-

compuertas a intervalos regulares breves; pero ciertos tipos no se pueden probar sin disponer del embalse, y de toda forma se pierde ya la ventaja de no necesitar la intervención del hombre. Tuvimos hace poco el caso de un pantano, cuyas compuertas automáticas del aliviadero hubieran tenido que funcionar a los trece años de no haber tenido que servir, y, naturalmente, no funcionaron. Eran del tipo que se eleva con el nivel del embalse, y el no elevarse hubiera representado una pérdida de 100 millones de metros cúbicos, pérdida que se evitó gracias a los esfuerzos de ingenieros y técnicos de la entidades interesadas, a más del fabricante de las compuertas,

cuyos prolongados y meritorios sudores no lo hubieran, sin embargo, podido salvar todo sin la Divina Providencia, que siguió enviando el agua necesaria después de arreglada la avería; arreglo que, mientras que el embalse no haya bajado hasta el umbral de compuertas, seguirá necesitando vigilancia inteligente por parte del personal de la explotación. A ésta no se debe renunciar nunca.

A mediados de los años 20 se puso de moda un automatismo a primera vista más inteligente que los regidos por flotadores y mecanismos y, sobre todo, absolutamente seguro: *sifones*. Los de Cala, en Andalucía, son los más potentes del mundo con sus 520 m.³/seg., y el verlos funcionar constituye uno de los espectáculos más grandiosos que pueda ofrecer el arte del ingeniero. A pesar de ello, la moda alcanzó prácticamente sólo a los U.S.A., a Italia, a España y poco a Suiza; eso es, a los países vanguardistas en presismo. Hoy no hay quien los haga para aliviaderos de grandes embalses (1), y los no especializados en sifones podrían preguntarse por qué. Sus inconvenientes son:

1.º Resultan caros. El vacío, el violentísimo juego entre aire y agua al arrancar, hacen obligatoria una muy sólida ejecución del hormigón armado. Por otra parte, el chorro saliente choca con violencia sobre el suelo, requiriendo una más sólida protección contra las socavaciones.

2.º A paridad de espacio, anchura por altura, sacan mucho menos caudal que las compuertas, resultando peor aprovechadas las obras de conducción a ellos o después de ellos, con nuevo encarecimiento.

3.º Su peor inconveniente es que funcionan sólo a embalse lleno y que no pueden bajar el embalse a voluntad.

4.º Una vez lleno el embalse, pasan en un par de minutos del caudal cero al máximo. Esto, que puede no tener importancia en ciertas instalaciones ni con caudales pequeños, constituiría las más de las veces una brutalidad inadmisibles: es lanzar a un cauce seco la crecida máxima en pocos minutos. Resultaría dañino en general y peligroso para vidas humanas. Se le ocurre a uno escalar los umbrales vertientes a distintas alturas, pero hay pantanos que en crecida suben muy rápidamente, y el efecto apetecido se conseguirá entonces sólo con un escalonamiento tan pronunciado, que la mayoría de los sifones no trabajarían nunca, y que, por ejemplo, para una batería de 20 sifones, escalonándolos de 10 en 10 cm., resultaría que la presa se tendría que construir para 2 m. encima

(1) Distinta es la situación si se trata del extremo de un canal delante de una central, cuyas turbinas pueden parar repentinamente. Allí creo que sifones siguen siendo un organismo adecuado, gracias a su rápido y automático arranque. También puede valer la pena instalarlos, a pesar de su elevado coste, en presas de tierra; su automatismo absolutamente seguro garantizaría, más que cualquier tipo de compuerta, estos diques, que son a considerar como perdidos, caso de llegar a verter su coronación.

del nivel del embalse normalmente lleno. El efecto sería el de un vertedero libre, obligando a pagar una presa más alta que el embalse.

5.º Tampoco se ha conseguido que, a crecida pasada, los sifones restablezcan automáticamente, como en el origen se contaba, el nivel máximo propio del pantano. Para que un sifón pueda funcionar, tiene que situarse su dintel de entrada un par de metros más bajo que el umbral vertiente. Por lo tanto, al descender el nivel del embalse por debajo de su cota máxima, el sifón no se corta y el nivel bajaría indebidamente, con peligro de no poder volver a rellenar si el río cesa de aportar. Para eliminar el inconveniente, se elucubraron complicadas instalaciones, cuyos detalles no describimos para no alargar (intervienen, por ejemplo, complejas oscilaciones tipo cámara de equilibrio), y que fracasaron, no porque no fuéramos capaces de hacerlas funcionar, sino por haber tenido que reconocer que los fenómenos hidrodinámicos en juego no consienten cortar automáticamente un sifón en un nivel exactamente determinado de manera práctica y segura. En cambio, aireando el sifón a mano, nos sale perfectamente; pero esto no era la "gracia", que se nos prometía, de completo automatismo.

6.º Incluso si se subdivide una batería de sifones en grupos parciales, por ejemplo, 20 elementos en 4 baterías de a 5, escalonadas éstas en alturas variadas, resultaría una manera de trabajar absurda. En el caso que sirve de ejemplo, una batería trabajaría con 130 m.³/seg. Pero teniéndolo que hacer automáticamente tan pronto como el caudal aportado por el río baste para cebar, se sacan los 130 m.³/seg. contra los 2-3 que trae el río, el nivel baja, el sifón corta, el nivel vuelve a subir y el sifón a arrancar, y así repetidamente hasta que el río, aportando menos de lo que la explotación del embalse consume, el embalse baje definitivamente. Tan pronto como el caudal del río rebasara los 130 m.³/seg., la primera batería marcharía constantemente y la segunda tendría a su cargo el absurdo juego de quita y pon, y así sucesivamente al pasar de 260 y de 390 m.³/seg.

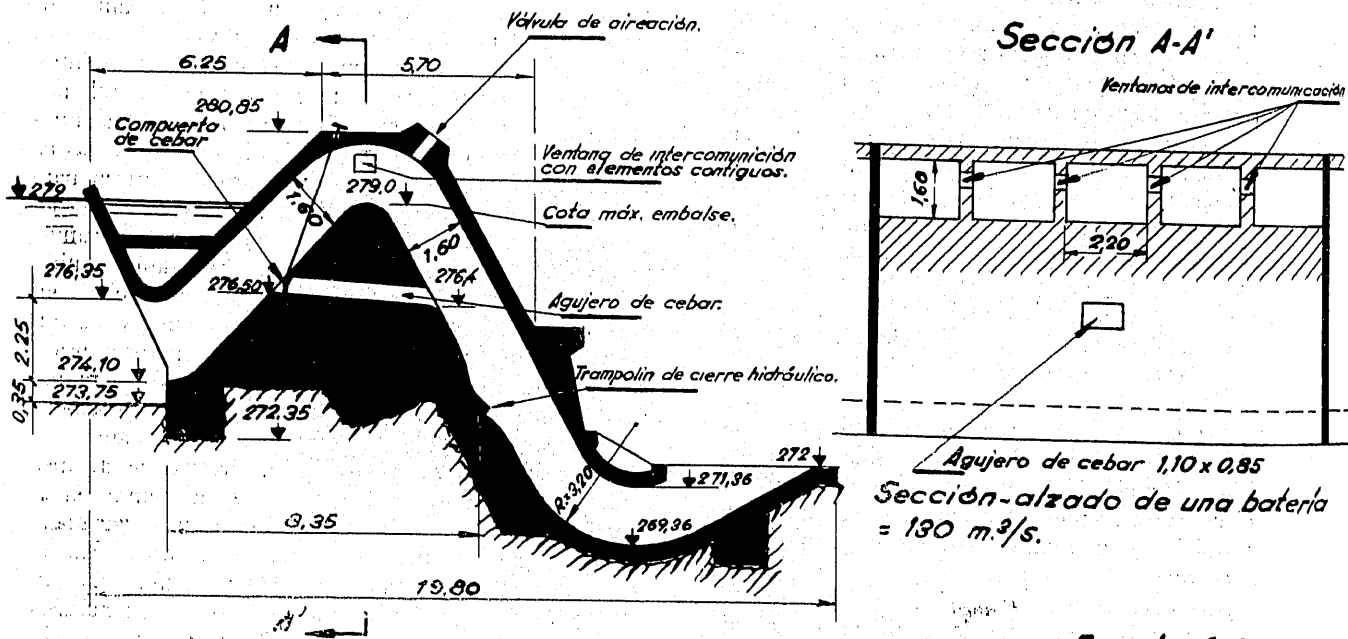
7.º Si se deja marchar el sifón bajando el embalse, se llega a una zona de cotas, a partir de la cual no se saca sólo agua, sino una mezcla de agua y aire, aumentando el último a medida que el nivel del embalse baja. En esta zona no se puede determinar el caudal del sifón sin acudir a ensayos de laboratorio. Muy interesante científicamente, pero poco práctico para una explotación. Sin embargo, es éste el inconveniente menor de todos los indicados (fig. 14).

No tardamos, naturalmente, mucho tiempo en encontrar la solución para que los sifones obedecieran correctamente a todas las desideratas de una buena explotación. Se consiguió quitándoles el inadecuado automatismo, introduciendo un juego de intercomunicaciones por tuberías, grifos y válvulas, que permiten a un sólo hombre, sin esfuerzo físico, cebar o cortar cualquier sifón a voluntad, instalación mucho más simple de lo que se pudiera creer a la lectura

de estas líneas. Y en cuanto a poder hacerlos marchar en niveles inferiores, encontramos el truco gracias a infinidad de ensayos en modelo reducido, hechos en laboratorio casero instalado en una resistencia líquida. Se perforó a través del núcleo central de cada quinto sifón (sifón central de cada batería de 5) una pequeña galería, cerrada por una sencilli-

goria, aunque sí inteligente y nada distraída. Estas abundan en Andalucía, incluso entre los iletrados.

Con este sistema, los sifones siguen siendo de funcionamiento más seguro que cualquier instalación de compuertas que se hubiera podido prever en su lugar. Para ejercitar al personal de guardería, hacemos las suposiciones más pesimistas y llegamos a



SIFONES DE LA PRESA DE CALA (Prov. de Sevilla)
20 x 26 m³/s. - Record mundial de capacidad
4 baterías de 5 elementos = 4 x 130 m³/s = 520 m³/seg.

Figura 14.

sima compuerta maniobrable a mano por un solo hombre. La galería se sitúa aproximadamente 2,5 m. por debajo del umbral vertiente (cota de embalse lleno), pero todavía lo bastante encima del trampolín cebador. Así se puede hacer funcionar el sifón a voluntad, a partir del momento en que el embalse alcance la solera de la pequeña galería abriendo la respectiva compuerta. También se puede parar a voluntad en cualquier nivel aireando el sifón, independientemente de que el paso del agua por el agujero de ceba esté cortado o no por la compuerta.

En estas condiciones, los sifones son automáticos solamente para ponerse en marcha a embalse lleno, seguridad de grandísimo valor. Para ser cortados en cualquier nivel y puestos en marcha en niveles inferiores, necesitan la intervención de un hombre. Pero de éste se dispone de toda forma, porque sería inadmisibles dejar una presa importante sin guardería en absoluto. No se necesita a ninguna persona de cate-

enseñarles hasta a poner, sin esfuerzo físico ni mental, en marcha todos los 20 sifones, con tal que arranque uno solo de ellos. Son prácticamente imposibles de averiar, pasaron por ellos hasta barcas, saliendo desde luego molidas, pero sin el menor inconveniente para el funcionamiento. En este sentido, la crítica anterior podría parecer injusta. Habida cuenta también de la grandiosidad del espectáculo de la puesta en marcha, cuando el agua lucha con el aire venciendo poco a poco, espectáculo del que uno no se cansa nunca a pesar de las muchas veces que lo ha visto en tantos años, no quisiéramos tener otra cosa en lugar del simpático, "caro" artefacto. Pero ello no quita que si, con la misma anchura y altura, hubiéramos instalado compuertas, éstas sacarían un caudal más de dos veces mayor por un gasto parecido, o viceversa, se hubiera podido instalar la misma capacidad de evacuación con un gasto muchísimo menor.

A esta razón y las enunciadas arriba (quizá en

otras partes no hayan descubierto los trucos nuestros para convertir un organismo que parecía mal aprovechable en uno que lo es perfectamente), habrá que atribuir el haber pasado la moda de los sifones tan rápida como apareció. Pero el que ha sabido educarlos, no siente tenerlos, coste aparte.

Desde 1930 aproximadamente, los aliviaderos de superficie son, pues, casi en todas partes de *compuertas*. Las hay de los más variados tipos: a mano, de motor, semi o completamente automáticas, de tipos antiguos o recientes. No vamos a describir ninguno; cada tipo combina ventajas e inconvenientes en infinita variedad; es misión del proyectista escoger lo más adecuado a su caso. La principal novedad habida en lo que va de siglo en cuanto a compuertas de aliviadero, es que hasta aproximadamente 1940 no nos atrevíamos a instalarlas en coronación de altas presas, y ahora sí. Recuerdo cómo en 1923/24 apareció la idea en Montejaque y nos echamos atrás asustados; hoy, incluso en las últimas presas de bóveda delgada, suele el aliviadero instalarse en coronación. En Montejaque se disponía de un puerto en altura adecuada a cierta distancia de la presa, lo que constituye siempre la solución más segura.

A pesar de tantas instalaciones en coronación que resultan bien, sospecho no ser el único a quien en el perfil de Malpasset, antes del accidente, resultaba antipático el vertedero. Por lo menos piensa uno que éste sería más adecuado en una presa cúpula que echara el agua a buena distancia del pie de la presa, mientras que la delgada pared de Malpasset era vertical (fig. 5.^a). Tampoco había un contraembalse para amortiguar el chorro, sino una simple placa de hormigón de protección resultando inevitables las vibraciones. Parece, a pesar de esto, seguro, que el vertedero no intervino en el accidente, como que todo va bien en muchas instalaciones parecidas; pero ¿quién garantiza que así sea en el 1000 por 100 de los casos? Todo depende de las circunstancias locales. ¿Quién puede asegurar que según caudal, frecuencia e intensidad de vertido, tipo de presa, clase de roca y punto de choque, con los años no resulte "cansado" por vibraciones el material de una presa, donde todo funcione bien al origen?

No instalemos, pues, vertederos en coronación, y menos en altas presas delgadas, mientras haya otras posibilidades no prohibitivas económicamente. O, si lo hacemos, alejemos la descarga adecuadamente del pie de la presa y preveamos una contrapresa para que el chorro se amortigüe en un buen espesor de agua (fig. 4.^a).

En este aspecto hacen una excelente impresión las descargas llamadas de "salto de esquí", en las cuales se llega incluso a situar una gran central eléctrica por debajo del mismo chorro. La instalación más (año 1948), que pasa por ser la iniciadora del tipo, conocida de este tipo es la de L'Aigle, en Francia cuando esto lo puede reivindicar una vez más Andalucía: muchos años antes (en 1921) había construido

Don Rafael Benjumea, Conde de Guadalhorce, para la Hidroeléctrica del Chorro, la centralita del Gaitanejo, prototipo de lo que se llama ahora el tipo L'Aigle: vertedero en coronación con central por debajo del chorro vertiente.

Otra tendencia de los últimos años en cuanto a vertederos de compuertas, en coronación o no, es la de reducir al mínimo el número de compuertas, confiar toda la evacuación por ejemplo a dos grandes compuertas, donde se podrían instalar tres o cuatro más pequeñas. Reducir su cantidad resulta más barato; pero este criterio, que no tiene inconvenientes en ser aplicado en turbinas de una central, reduce la seguridad de una presa y no se debía ir demasiado lejos con él. Si se acodala una compuerta de 8, se reduce la capacidad del vertedero en 12,5 por 100; si se acodala una de 2, la reducción es del 50 por 100 y puede significar la catástrofe.

Estimo exigible que la evacuación del Q_{max} de crecida quede asegurada incluso al fallar una compuerta. Debe haber una más, de reserva, con criterio parecido al que aplican las grandes redes eléctricas, dejando el servicio asegurado incluso para el caso de fallo repentino de la mayor unidad en marcha.

Importantísimo es no fiarse no sólo de los automatismos, sino tampoco de los motores eléctricos. Lo lógico es preverlos y hacerlos normalmente intervenir. Pero, como último recurso, debe siempre poderse acudir al funcionamiento a mano. Pero estos temas están reservados a una segunda publicación.

E) Accidentes, fallos, catástrofes.

1. Antigüedad.

Debe considerarse que ésta duró para las presas hasta aproximadamente 1800, mientras que el siglo XIX puede considerarse como la Edad Media del presismo.

Noticias antiguas, demasiado vagas, hablan de una gran catástrofe en Asia Menor, unos 2000 años antes de J. C., y las habrá habido incluso antes, ya que los egipcios hacían presas 4000 años a J. C. Quizá esté permitida la suposición de que la narración bíblica del diluvio universal tuviera que ver con una catástrofe debida a rotura de presas. Quizá Noé, buen ingeniero, según lo atestigua su construcción del Arca, hubiera sido capaz de prever lo que iba a ocurrir, a tiempo para tomar las disposiciones que iban a asegurar la supervivencia propia, con los suyos y lo suyo...

Ya más concretos son los datos de la inundación que causó millares de víctimas en Grenoble en 1219, al romperse un dique de tierra que veintiocho años antes se había formado por un corrimiento de tierras. Diques parecidos no son nada de fiar, a pesar de que suelen tener base mucho más ancha que los diques de tierra de creación humana.

Pero las estadísticas concretas de roturas suelen

empezar mencionando los casos españoles de Puentes (construcción, 1785; rota, 1802) y Gascó (Guadarrama, 1788; rota al alcanzar 53 m. del proyecto de 93). Es éste un título de honor para los ingenieros españoles del, en presismo ya lejano, siglo XVIII. Es que en el mundo no había entonces otras presas altas; España era el pionero, la única expuesta a sufrir fracasos, ni más ni menos de como tuvieron que morir Lilienthal, Chávez, Nungesser y Coli y muchos más aviadores, para que pudieran triunfar Blériot, Lindberg, Ramón Franco, etc. Desde 1798 a 1831 se registraron en Francia varias roturas, sobre las cuales carecemos de datos exactos. Pero ya entra en consideración la estadística antes aludida del Gómez-Navarro.

2. *Tabla de las 308 roturas totales, parciales o iniciadas y ocurridas (1799-1944).*

Según la última edición del Gómez-Navarro, páginas 2411/13, basada en los *Proceedings ASCE*, 1932.

El periodista de la figura 1.^a, bien por falta de inteligencia, bien por la de escrúpulos al picarle el sensacionalismo, dejó de ver ciertos detalles importantes del encabezamiento de la tabla, tales como:

a) No se refiere la tabla a catástrofes, sino a "roturas totales, parciales o solamente iniciadas". Las dos últimas categorías importarían quizá la mitad de los casos y serían casi todas inocuas.

b) La tabla llega, en cierto modo, hasta lo absurdo, empezando por H -presa = cero. De esto deducimos que las cifras indicadas para fallos de presas pequeñas tienen que pecar de cortas; porque nadie va a comunicar al ASCE la rotura de una presa de tierra de 2,35 m., como la que se me fué en 1929, no llevándose ni a uno de los muchos perritos que suelen acompañar al campo al obrero andaluz.

c) La tabla incluye 77 casos de presas desconocidas, sobre cuyos accidentes nada se sabe en concreto. Ninguna presa que diera lugar a catástrofe con número notable de víctimas, pasa desapercibida, y la posibilidad máxima de que hubiera habido desde la Revolución Francesa hasta la segunda guerra mundial 308 catástrofes, ya se reduce a 231 (v. tabla VII).

d) En la tabla VII seguimos reduciendo paso a paso las posibilidades de catástrofes por falta de altura de las presas. Evidentemente roturas de presas de $H < 7,5$ m., principalmente de tierra, y no olvidemos que incluídas las parciales y hasta las solamente iniciadas, no representarían catástrofes, y ya quedan las posibilidades reducidas a 165 casos en los ciento cuarenta y cuatro años para las presas de $H > 7,5$ m. Sígase la tabla VII paso a paso, y se llega a la conclusión de que la posibilidad máxima de catástrofes hubiera sido de 32, 45 y 85, respectivamente, según se admita la separación entre presas peligrosas e inocuas a los 30, 22,5 ó 15 m.

Es aquí el momento de controlar si era o no justa nuestra identificación de presa "peligrosa" con las de $H > 30$ m. (v. tabla VIII). Resulta que no hubiera sido justa en el siglo pasado, pero que lo es en el presente. En efecto, descendiendo de los 30 m., las estadísticas de catástrofes registran las de la tabla VIII solamente, 3 casos sin víctimas.

3. *Por ciento de fallos según el tipo de presa (tabla IX).*

De la tabla VII, que reduce a un máximo posible de 32 catástrofes los 308 fallos de la tabla del ASCE, deducimos, en cuanto a la frecuencia de los fallos en los distintos tipos, la tabla IX. Resalta en primer lugar de ésta la alta seguridad de las bóvedas simples. Todavía la última edición del Gómez-Navarro (2431) podía escribir: "No conocemos caso alguno de rotura de presa-bóveda sencilla. Citaremos sólo los dos casos de rotura de estribos en ellas, sin que sufriera la bóveda, lo que viene a confirmar la gran estabilidad de este tipo."

Hasta qué punto puede llegar esta estabilidad de la bóveda sencilla, lo ilustra la bóveda italiana de Ponte Alto: construída en 1611 con $H = 10,1$ m., fué sometida con el andar del tiempo a seis sobreelevaciones sucesivas, llegando en el año 1897 a 47 m., que todavía están allí. Esto con perfil y cimientos absurdos, aunque siempre de bóveda delgada. Teniendo además en cuenta que es en la bóveda sencilla donde los progresos hechos con los ensayos previos en modelo reducido y con las mediciones de control en las presas en servicio son más concluyentes, se puede afirmar que, a pesar de Malpasset, la bóveda sencilla es invulnerable en el aspecto proyectivo y cálculo. Malpasset no puede haberse ido porque el perfil fuera incorrecto o demasiado atrevido: se ha ido por haberse querido reducir demasiado los gastos que, especialmente en las bóvedas, conviene dedicar a la geología, a las exploraciones preliminares para cerciorarse de la inmovilidad de los apoyos.

4. *Fallos de los últimos cuarenta y dos años.*

El que suscribe es presista apasionado desde cuarenta y dos años, políglota muy interesado en lo que internacionalmente se escribe, y por otra parte dotado de excelente memoria. Con todo esto se cree autorizado a dar de memoria en la siguiente tabla X el resumen de las catástrofes ocurridas de 1918 a hoy. La primera que le impresionó fué, en 1923, la del Gleno, cuyo número de víctimas no ha sido rebasado desde entonces. Los italianos, noblemente, editaron en aquella ocasión un estudio muy completo y aleccionador, pero mi ejemplar quedó destruído por una bomba en el Madrid rojo de 1936.

TABLA VII. — Descomposición de los 308 casos de rotura, años 1799-1944, según pág. 244/13 del Gómez Navarro.

(Origen, Proceedings ASCE.)

TIPO	Total	Detalles desconocidos	H < 7,5 m.		H 7,5-15		H 15-22,5		H 22,5-30		Quedan	
			Quedan	H < 7,5 m.	Quedan	H 7,5-15	Quedan	H 15-22,5	Quedan	H 22,5-30		
Tierra	163	37	126	37	89	45	44	25	19	7	12	
Escollera	14	1	13	2	11	4	7	1	6	—	6	
Gravedad	70	13	57	21	36	22	14	6	8	1	7	
Bóveda	2	—	2	—	2	1	1	1	—	—	—	
Idem múltiple	7	—	7	—	7	1	6	2	4	—	4	
Pantalla plana	7	—	7	2	5	3	2	—	2	—	2	
Idem metálica	1	—	1	—	1	—	1	1	—	—	—	
Idem de madera	18	—	18	4	14	4	10	4	6	5	1	
Desconocido	26	26	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	308	77	231	66	165	80	85	40	45	13	32	~ 1600 = ~ 2%*
1 rotura cada	1/2 año		7 1/2 meses		10 1/2 meses		1 año y 8 1/2 meses		3 1/4 años		4 1/2 años	

* Para poder hablar de catástrofes partiendo de este resultado, hay que deducir todavía la casi totalidad de las roturas "parciales" y la totalidad de las "iniciadas". Hay que tener, además, en cuenta que, gracias a los adelantos de la técnica, la frecuencia de roturas va relativa y paulatinamente disminuyendo. Resulta así que lo que parece al incauto una frecuencia de catástrofes de dos por año, y que según esta tabla hubiera sido del orden de 2 por 100 de presas rotas sobre las construídas, se convierte a la hora actual en una probabilidad de catástrofe de un orden de magnitud no expresable en por 100, sino sólo en por 1000.

TABLA VIII. — Catástrofes del siglo XIX en presas de H < 30 m.

Núm.	Nombre presa	Hm.	Tipo	País	Causa rotura	Victimas humanas	Año rotura	Años hasta hoy	Observaciones
1	Bouzey	27	Gravedad.	Francia.	Insufic. perfil sub-presión.	< 90	1895	65	
2	Walnut Grove.	23	Escollera.	U.S.A.-Ariz.	Insufic. aliviadero.	> 150	1890	70	
3	Johnstown	21	Tierra y escollera.	U.S.A.-Penn.	Insufic. aliviadero.	2 142	1889	71	Máx. víctimas humanas registrado desde 1799.

A pesar de los formidables aumentos en cantidad, altura y variedad de tipos, hace ya sesenta y cinco años que no hubo catástrofe producida por rotura de presa de H < 30 m.

En el siglo XX se conocen con H < 30 m. sólo dos casos:

1	Hauserlake	24	Metálica.	U.S.A.-Mont.	Fallo cimientos.	0	1908	52	} Parecen demostrar que una explotación prevista permite evitar las víctimas humanas.
2	Schenectady	15	Tierra.	U.S.A.-N. Y.	Insufic. aliviadero.	1	1938	22	

P. S. — Al momento de poner en prensa el presente trabajo, se rompió la presa de Reocín (Torrelavega) con 18 víctimas. No conozco otros detalles.

TABLA IX. — Orden de porcentaje de roturas de los distintos tipos.

Combinando las de tabla VII (deducida a su vez del Gómez Navarro) con la tabla del total de presas existentes, según Sutherland en *Proceedings ASCE*, 1958.

TIPO	Total presas hasta 1958	En % del total	Rotas	% Rotas (1)	OBSERVACIONES
Bóvedas múltiples ...	41	2,3	4	9,75	¿Causas de tan desfavorable resultado? Tipo a primera vista más seguro que el de tierra, resulta dos veces peor. ¿Explicación?
Escollera	85	4,8	6	7,05	
Tierra	389	22,1	12	3,10	Malpasset. La única bóveda rota. Hasta ésta, el porcentaje era de 0 por 100 para > 250 bóvedas de $H > 30$ metros en servicio desde decenios.
Gravedad	927	52,5	7	0,75	
Bóveda sencilla	268	15,1	1	0,35	
Tipos raros restantes	54	3,2	3	5,5	
<i>Total</i>	1.764	100	32	1,82	Porcentaje en 1944. Va disminuyendo.

1. Los resultados no son matemáticamente exactos porque en las presas dadas como construídas están incluídas una parte de las en proyecto; pero esto no tiene importancia relativamente; se trata de hallar las proporciones aproximadas entre los distintos tipos, y esto la tabla lo refleja perfectamente.
2. Por lo dicho en 1, podría elevarse algo este valor, pero en ningún caso pasaría del 2 por 100. Si se analizara cronológicamente, resultaría un por 100 más elevado al comienzo del siglo XIX, por 100 que va disminuyendo a medida de los progresos de la técnica. Para el porcentaje actual véase tabla siguiente (X).

Resumen:

- I. Si no fuera por la excepción de Malpasset, la *bóveda simple* seguiría conservando su fama de *invulnerable*.
- II. El tipo más peligroso, 10 por 100 de roturas, parece ser el de *bóvedas múltiples*, tres veces más roturas que las de tierra, que instintivamente son creídas las más peligrosas. La cifra merece menos crédito que para los otros tipos porque está basada en una pequeña cantidad de presas; no deja por esto de ser significativa la constatación.
- III. Sorprende el mal resultado de la *escollera*, dos veces peor que la de tierra pura.
- IV. El dique de tierra resulta mejor que su fama. Desde luego cuatro veces más falible que la presa de gravedad, pero todavía mucho mejor que *escollera* y *bóvedas múltiples*.
- V. La de simple gravedad, recta o no, queda bien.
- VI. Relativamente mal resultan los tipos más complicados y poco corrientes, como *contrafuertes*, *Ambursen*, *metálicas*, etc. Se saca como lección general que son de preferir los tipos sencillos: *arcos simples*, *gravedad recta*, *tierra franca*, a los tipos combinados, complicados, rebuscados. Resulta en las presas, lo mismo que en la Ingeniería en general, como en las obras de arte o en cualquier otra creación humana, que se consigue *progreso pasando de lo complicado a lo sencillo, y no viceversa*.

La tabla X resulta interesante en más de un aspecto:

a) *Frecuencia de las catástrofes y número de víctimas.* — Las dos catástrofes anuales que un lector despreocupado puede sacar de la célebre tabla del ASCE-Gómez Navarro, resultaron en 1918-60 del orden de una cada seis-siete años. En cuanto a los millares de víctimas dos veces al año son, en realidad, del orden de 40/año. Es decir, que el número de víctimas por roturas de presas resulta, en media anual, del orden de un accidente mediano de aviación, como se producen, aproximadamente uno-semana, o de un orden bastante inferior al causado anualmente por accidente de ferrocarril. A pesar de sus casi 600 presas, éstas les cuestan a los U.S.A. una media de sólo 10 víctimas humanas al año. Cada día les cuesta un múltiplo de esto sólo por accidentes de automóvil. Incluso queda el número de víctimas por accidente

de presas (aproximadamente 240) comparable con los mayores accidentes de circulación: recordemos el choque de aviones de hace un par de años sobre el cañón del Colorado (152 muertos) o un choque de trenes cerca de París en una nebulosa noche de Navidad hace un par de decenios (> 300 †). Con razón a nadie se le ocurrió acusar de ligeros a los responsables de aquellas catástrofes. Tampoco se puede acusar a Coyne de ligereza, o a otros presistas.

A este razonamiento se me ha objetado que:

“En avión va el que quiere, mientras que las presas las hacen aguas arriba de uno sin preguntar.” Contesto que, por ejemplo, en la España actual y en el Japón las presas son de absoluta necesidad, a menos de lanzar leyes contra-concepcionistas, por demás ineficaces. El que haya conocido el valle del Guadiana antes de ponerse en marcha el “Plan Badajoz”, el que desde un helicóptero vea el contraste entre el jardín

TABLA X. — *Catástrofes efectivas 1918-1960 (1).*

Los cuarenta y dos años de presista (del que redacta), por orden cronológico.

a Núm. de orden	b Nombre	c País	d Tipo Presa	e Hm.	f Víctimas aprox.	g R O T U R A		h Detalles	i AÑOS	j Intervalo	k CUENCA Km. ²	l Modific- tráneo
						Causas						
1	<i>Gleno.</i>	Italia, Alpes Orientales.	Arcos múltiples.	50	600			Cálculo apurado y mala ejecución. No empotraron los ci- mientos.	1923	4	8 100	x
2	<i>Habva.</i>	Argelia fran- cesa.	Gravedad.	35	Ninguna. Fun- cionó servicio alarma.			Insuficiencia aliviade- ros por tercera vez en sesenta y dos años.	1927			
3	<i>S. Francisquito</i>	U.S.A.-Calif.	Gravedad, r = 152 metros.	63	400			Falla geológica en la base (cauce).	1928	7	141	x
4	<i>Molane.</i>	Italia, Liguria.	Gravedad.	47,5	100			Insuficiencia aliviade- ros (vertedero más sifones).	1935	24		
5	<i>Ribadelago.</i>	España, Sana- bria.	Contrafuertes, pantallas planas.	33,5	140			Se habla de varias: juntas de trabajo, asien- tos diferenciales de contrafuertes y otras (?).	1959			x
6	<i>Malpasset.</i>	Francia, Costa Azul.	Bóveda delgada.	60	400			Geología. Cedió el gneiss del apoyo izquierdo.	1959	1		
7	<i>Orós (2).</i>	Brasil.	Tierra.	54	40			Véase observación al pie.	1960			

En total, 7 catástrofes con aproximadamente 1 680 víctimas en cuarenta y dos años = aprox. 240 † por catástrofe = aprox. 40 † al año.

(1) La realidad es todavía 10-20 por 100 más favorable. La tabla abarca el período de presista del redactor, pero éste está casi seguro que no hubo catástrofes du- rante sus años de estudio. Las 7 de aquí deben, pues, de ser referibles a cincuenta años, o tal vez más años, en vez de los cuarenta y dos admitidos de base a la tabla.

(2) Por no haberse podido cumplir el programa de ejecución, la crecida, del orden de 2 250 m.³/seg. sobre 2 000 previstos para el futuro vertedero, vertió por encima de la obra, que alcanzaba los 30 m., llevándose la presa sobre 200 m. de longitud = aprox. la 1/2 del volumen ya levantado. Es decir, que no se trata de una rotura de presa, sino de un accidente de ejecución de obras en condiciones que permitieron poner a salvo a los muchos millares de personas cuyas vidas peligraban. Son, en realidad, sólo 6 catástrofes en cuarenta y dos años, o, en media, una cada siete años.

de Edén aguas abajo de Mérida y el desierto actual aguas arriba, desierto que, a su vez, va a ser convertido en Edén, no puede poner en duda que las presas son allí más necesarias que la aviación, y que los habitantes no pueden más que agradecer la creación de embalses.

b) *Otras constataciones interesantes.* — En la tabla X se da la extraña coincidencia que los accidentes se produjeron por rachas. Recuerdo la emoción producida por los accidentes del Habra y del San Francisquito por haber ocurrido a intervalo de pocos meses (1927-28). Se dijo entonces que en consecuencia el Reclamation Bureau de los U.S.A. las había controlado todas, resultando, *grosso modo*: 1/3 absolutamente seguras, 1/3 francamente dudosas, mientras que 1/3 tendrían que seguir vigiladas. (No olvidemos que se deben vigilar todas siempre.) A pesar de lo cual la rotura de San Francisquito fué la última hasta la presente (treinta y dos años) en los U.S.A., con sus centenares de presas y su despreocupación, en escala europea, por pérdidas materiales. No deja de sorprender que después de veinticuatro años de calma se produzcan otra vez tres accidentes casi simultáneos.

Es como si al no ocurrir nada, los presistas nos hiciéramos menos cautos hasta que nuevos accidentes nos vengán a recordar qué terrible espada de dos filos estamos manejando. El párrafo siguiente ilustra hasta qué punto esto se puede olvidar.

c) *Comentario a cuatro catástrofes.* — Mientras que en la del Habra, año 1928, no hubo víctimas por estar previsto un servicio de alarma que respondió, Gleno, San Francisquito, Ribadelago y Malpasset causaron muchas víctimas, rompiéndose al primer relleno, los cuatro de noche. En el momento más crítico no había allí más que un simple guarda aniquilado por el exceso de su responsabilidad..., si le dió tiempo a darse cuenta de ella. ¿Quién podrá nunca figurarse la pavorosa situación del guarda de Gleno? A medianoche, al pie de un contrafuerte, creyó durante un instante ver deslizarse sobre él mismo una negra serpiente. Era la primera grieta y tuvo apenas el tiempo de ponerse a salvo.

Es evidentemente difícil para los responsables encontrarse en la presa en un momento del cual se ignora cuándo se presentará. Tampoco es muy probable que la presencia del ingeniero encargado pueda evitar la eventual catástrofe. Pero sí está el ingeniero más capacitado para tomar eventuales medidas, como abrir o no compuertas, dar o no la alarma u otras. Por lo menos conozco un caso donde se había dado a los aliviaderos todos los automatismos imaginables con el fin de ahorrarse hasta el guarda — ¡un sueldo de peón! —, y que de no haber estado allí esperando el primer relleno el ingeniero de explotación (nadie de los constructores) y un par de peones que prudencialmente aquél se había reservado, los daños hubieran

podido ser incalculables. También era de noche, ¿por qué será? (1).

Debe de ser posible hacer acompañar al guarda por un técnico de más categoría a partir del momento en que se pueda prever la inminencia del relleno. Y que aquél, a su vez, llame a más responsables tan pronto como el relleno va a producirse con seguridad dentro de poco. Tampoco debe hacerse la economía de unos cuantos obreros conocedores del ambiente, que puedan resultar útiles para situaciones imprevistas, aunque hubiese que pagarlos inútilmente durante algunas semanas al no tener que intervenir.

d) *Mediterráneo.* — Que dos países grandes presistas, Italia y Francia, figuren en tabla X cada una con dos fallos es probablemente casualidad, pero conviene señalar que en cada país uno de los accidentes fué debido a insuficiencia de aliviaderos en clima mediterráneo. *El Mediterráneo, cuna de excelsas culturas y de absurdas guerras, la es también de imprevisibles y peligrosísimos caprichos hidrológicos (2); en su cuenca el presista tiene, con relación al resto de Europa, que redoblar la cautela al apreciar el máximo posible de recida.* Mientras que en Europa central la proporción entre aportación anual máxima y mínima de un río es de pocas unidades, en orillas del Mediterráneo se conocen proporciones de 1:150 ó peores. ¡Y no hablemos de caudales que pueden pasar de prácticamente cero a 2'000-3'000 m.³/seg. en pocas horas! Pocas aguas más hipócritas que las que desembocan en la Costa Azul, en el Levante español, las sicilianas o las que cerca de aquellas costas tienen su origen. "La terrible Ardèche" llaman los franceses a lo que se desliza como un simple arroyo — pero por un cauce de anchura kilométrica — desde el Massif central hacia el Ródano; hace veinte años los pluviómetros de Sicilia registraron lluvias del orden de 500 milímetros en 24 horas, hasta 511. ¿Quién se puede figurar las consecuencias? Y de las traiciones del Turia o del Segura no hay por qué hablar a valencianos o murcianos: ¡*Cave Mediterraneum!*

Hasta qué punto influye el clima local lo ilustra una ingenua frase de la reciente obra *Presas*, muy buena, por lo demás, de un eminente presista alemán: "Naturalmente (¡la gracia que tiene aquí el adverbio!), si la explotación es bien llevada, los aliviaderos no tendrán que funcionar" (!). El jefe de explotación español se queda boquiabierto pensando si habrá leído mal. Pues, ¡que intente Herr Professor Doktor no utilizar los aliviaderos de un embalse de tipo mediterráneo, incluso de volumen interanual, cuando en año húmedo reciba en pocas semanas una aportación múltiplo de la cabida total! Como no sea quitando para siempre el obturador de la válvula de fondo...

(1) Escritas las presentes líneas, se fué la presa del Reocín (Torrelavega). También a medianoche...

(2) Quizá pudiera haber cierta correlación profunda entre las tres constataciones: cataclismos (clima), guerras, culturas (?).

¡y aún! Y cuando el constante temor al año seco obliga a ser tan parsimoniosos con los vaciados, parciales, desde luego.

También esta tabla de las recientes roturas efectivas parece confirmar que los tipos elucubrados son más vulnerables que los sencillos.

En fin, encontramos en esta tabla X interesantes indicaciones sobre las causas inmediatas. Predominan una vez más los errores de apreciación de tipo geológico e hidrológico (véase párrafo siguiente).

e) *Causas de las roturas.* — Según el ligero interpretador de la figura 1.^a, que hablaría de oídas, 80 por 100 de los accidentes de presas estarían debidos a insuficiencia de aliviaderos; según el conocido geólogo suizo, Maurice Lugeon, en su obra *Barrages et géologie*, es la insuficiencia geológica (o del geólogo) la que causaría el 80 por 100 de los fallos. Como no puede haber en esto un 160 por 100, hay contradicción. A pesar de lo cual no es de excluir que ambos tengan razón, si Lugeon se refiere a Europa central y el otro a la zona de influencia del Mediterráneo. En conjunto mundial, no andaremos muy lejos de la verdad suponiendo que las dos causas acusadas como principales importarán cada una 35-45 por 100, quedando un aproximado 20 por 100 para el conjunto de todas las demás causas posibles, entre las cuales los descuidos de ejecución pasan mucho antes que los errores de concepción o cálculo, hoy reducidos prácticamente a la insignificancia.

Cuando D. J. L. Gómez-Navarro y más tarde D. Antonio del Aguila llevaban a sus alumnos de Caminos a visitar alguna de "mis" presas, animándome a la vista de la obra a que dirigiera a nuestros futuros compañeros y sucesores algunas palabras, les solía decir, más o menos:

"Si queréis crear o criar presas sanas, procurad

que sean hijas del matrimonio de D. Vertedero Capaz y Seguro con D.^a Perfecta Geología, que ya irá la cosa bien." Y apurando chabacantemente el símil:

"Si además conseguís hacerlas amamantar por Ejecución Consciente y confiarlas a D. Vigilante Bravo, podréis dormir tranquilos en vuestra cama, colocada al mismo pie de la presa, como debía ser capaz de hacerlo todo presista digno de este nombre."

Sé que los alegres muchachos saben ya calcular cualquier tipo de presa mejor que yo, sé que se saben mejor las fórmulas de Bolomey, de Fuller y de otros, pero que tienen todavía ideas insuficientes del daño que les harán juntas de trabajo ejecutadas sin meticulosidad, y me duele pensar en su desamparo cuando en clima mediterráneo se tendrán que enfrentar por primera vez en serio con las disparatadas, indemostrables fórmulas que pretenden determinar la mayor crecida del siglo en su río... ¿Y si me tocara la mayor, no del siglo, sino de cien siglos? Pero los financieros aprietan... Si propongo tanto... ¿o si las fórmulas de los andaluces García de la Herranz o González Quijano estuviesen más apropiadas que las demasiado generales del americano Fuller o las matemáticas del francés Gibrat? ¿Y quién me garantiza a mí que, alcanzado por mi futuro aliviadero el caudal máximo admitido, deje de llover? Quien me resuelva esto, buen *resolvedor* será...

Pero entramos ya, sin darnos cuenta, en el tema de un futuro trabajo del cual éste era sólo el cimiento: *¿Qué podríamos hacer para disminuir todavía más aún los ya poco frecuentes fallos que, sin embargo, serán siempre demasiados?*

Para más tarde lo dejamos, pues, a menos que algún compañero se nos adelante a tomar a su cargo el interesantísimo tema. ¡Anímense!