

# El progreso de la técnica de las grandes presas de fábrica<sup>1</sup>

II

## CUESTIONES TECNOLOGICAS

Con la realización de otros tipos de presa distintos de la presa de gravedad, han preocupado grandemente las propiedades elásticas del hormigón. Pero no se ha ido más allá de los conocimientos exigidos para la aplicación del hormigón armado, es decir, que no se avanzó y las deducciones se aplican solamente a las construcciones delgadas. Por esto hay tantas prevenciones contra el establecimiento de presas que exijan un cálculo estáticamente indeterminado.

Es evidentemente una gran laguna. La falta de conocimientos precisos sobre los fenómenos térmicos que tienen lugar durante el fraguado del hormigón, sobre la dilatación del mismo, retracción y elasticidad, para no citar más que los más importantes, justifica perfectamente el temor que estas incógnitas puedan tener una influencia desfavorable en la estabilidad de los macizos empotrados.

Felizmente, en este campo, como en otros de la técnica, la aplicación fué delante de los conocimientos. Aunque la temperatura en el hormigón, consecuencia del fraguado y la retracción son fenómenos conocidos de antiguo, no se habían preocupado de su influencia sobre la repartición interna de esfuerzos. Es interesante señalar que la aplicación del hormigón a las presas ha dado un impulso al estudio de este material, lo que se explica por dos razones:

Primero, por ser las presas obras de tal importancia que todas las cuestiones de las que depende su seguridad son examinadas con gran atención y una crítica severa. Segundo, por ser los fenómenos en cuestión más aparentes a causa de las grandes dimensiones de las presas.

Pero viendo más objetivamente esta cuestión hay que sentar que en realidad la importancia relativa de estos fenómenos insuficientemente conocidos no puede ser, guardando las proporciones, más grande para las presas que para otras construcciones. Se puede pensar, por el contrario, que para el hormigón armado, por ejemplo, la retracción modifica más la repartición de los esfuerzos internos. El simple problema de la columna vertical de hormigón sometida a una presión axial, para la cual existe sin embargo un gran número de métodos de cálculo, no ha sido jamás abordada suponiendo la retracción del hormigón. La cuestión es de primera importancia, pues una retracción normal de 0,5 por 1.000 correspondería una deformación elástica producida por un esfuerzo de 50 kg./cm.<sup>2</sup> si  $m = 20$  y 100 kg./cm.<sup>2</sup> si  $m = 10$ . Sin embargo, a pesar de estos problemas y probablemente porque durante mucho tiempo se les ha ignorado, se han desarrollado grandemente las aplicaciones del hormigón armado y en todos los países exis-

te la tendencia a elevar las cargas de trabajo que son mucho más altas que las del hormigón de las presas. La experiencia, felizmente, y es un hecho incontestable, no desmiente este optimismo, que es la base del cálculo del hormigón armado y que consiste en admitir que el hormigón posee propiedades elásticas invariables y bien definidas.

Comparando las condiciones a las cuales está sometido el hormigón de las presas gruesas y el de las construcciones ligeras, armadas, se debe admitir que en el primer caso el hormigón es mucho menos influenciado por el medio ambiente que en el segundo. En particular, la influencia de la retracción, a la cual se deben en definitiva referir todos los movimientos no elásticos del hormigón, debe ser mucho más reducida en una presa, por dos razones: una de ellas tecnológica — las propiedades elásticas diferentes y no proporcionales del hierro y del hormigón —, la otra estática — sollicitación exterior menor — se puede pensar que las cuestiones dependientes de la retracción y de la dilatación térmica del hormigón no pueden ser un obstáculo a la realización de una presa maciza. Estas cuestiones no pueden, por otra parte, ser invocadas para establecer la superioridad de la presa gravedad sobre los otros tipos de presas.

Aunque estas deducciones parecen lógicas, no se emprende la ejecución de una obra de importancia capital sin estudiarlas y tenerlas en cuenta en la medida posible. Esto parece una necesidad. En el estudio de la presa de Grimsel pudimos comprobar que lo realizado en este campo, era bien poco y sin ningún resultado práctico. En muchas presas se habían medido las temperaturas del hormigón, pero no se habían tenido en cuenta los resultados, ya para disminuir la misma, ya para acelerar la disipación de calor, ya para determinar la influencia de los fenómenos térmicos sobre la repartición de los esfuerzos y la deformación de la presa.

El problema estaba aún sin resolver y revestía una importancia especial en relación con las cuestiones estáticas que presentaba la adopción de una presa arco gravedad. Para no tomar disposiciones con riesgo de influenciar desfavorablemente el trabajo de la bóveda, se decidió construir la presa en segmentos separados y no unirlos más que después de uno o varios años en el momento más favorable, indicado por la observación minuciosa de los movimientos de la presa.

Como se tenía la intención de utilizar el embalse a medida que se avanzara la presa, parecía prudente registrar las deformaciones en esta etapa, ya que la observación de un cierto número de presas gravedad, en servicio, parecía señalar un movimiento progresivo de la flecha provocando una deformación permanente. No podemos examinar aquí este fenómeno que se le bautizó con el nombre de "envejecimiento de las presas", aunque se trate de construcciones recientes. Señalaremos que en la presa de Grimsel no se ha re-

<sup>1</sup> Véase el número anterior, página 93.

gistrado ninguna manifestación análoga, aunque en distintas etapas el agua alcanzó el límite de la carga, teniendo en cuenta sólo la resistencia de los elementos verticales, pues las juntas de construcción no estaban llenas, sino simplemente cerradas agua arriba por una chapa de impermeabilización. La flecha encontrada —7 mm. en una altura de 90 m. sobre cimientos— fué perfectamente elástica.

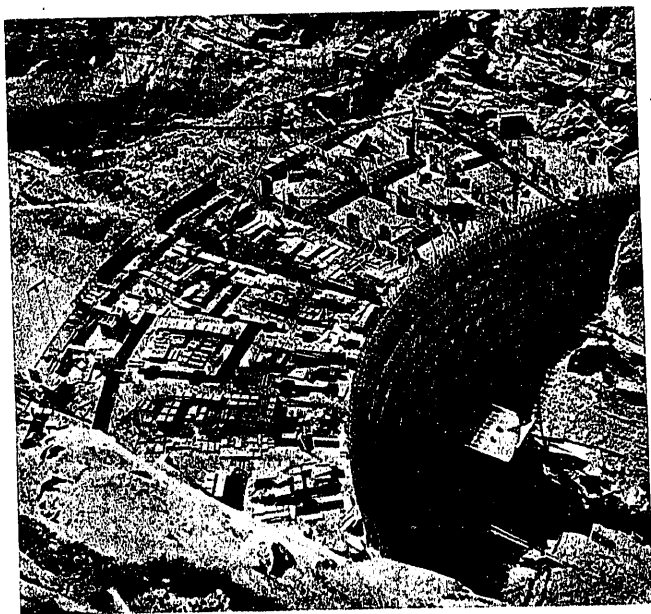
Además, el control de los movimientos de las juntas ha permitido seguir exactamente los cambios volumétricos del hormigón. El aumento de la temperatura por el fraguado del hormigón no provoca una dilatación del mismo tan grande como la dada por los

las enfriar lo más uniformemente posible se les hiciera por capas como en el hormigonado. La comparación parece extrema, pues son diferencias de 1.500° las que entran en juego, en vez de 20° a 30°, o, como máximo, 50°, que ocurren en el hormigonado. Pero si se tiene en cuenta que la resistencia a la tracción del hormigón no alcanza más que una fracción pequeña de la de los metales, se puede imaginar que el hormigón ejecutado por capas se fisuraría totalmente si su plasticidad no le restara múltiples esfuerzos internos, producidos por el modo de fabricación y por los cambios de volumen.

Esta facultad de adaptación no es ilimitada, y puede producirse una fisura local cuando varios factores intervengan desfavorable y simultáneamente. Entre éstos, cabe citar la forma de los bloques (evitar los ángulos entrantes), la disposición respecto a los bloques hormigonados anteriormente (evitar hacer puente entre dos bloques con deformaciones diferentes), el descenso brusco de la temperatura exterior o, muy frecuentemente también, la desecación de la superficie. Es difícil formular reglas precisas para evitar toda fisuración. El éxito no puede asegurarse más que por disposiciones tomadas en cada caso, conociendo los factores locales. De una manera general, se disminuyen las probabilidades de fisuración reduciendo las dimensiones de las superficies de hormigonado.

El desarrollo de calor por la hidratación del cemento continúa durante varios meses, y probablemente años, pero de un modo débil. La pérdida de calor se realiza de una manera regular. Las medidas efectuadas enseñan que la contracción del hormigón es inferior al valor correspondiente al descenso de temperatura. La explicación de este fenómeno ha sido encontrada por estudios especiales sobre el cemento y el hormigón y por observaciones efectuadas en la presa. El cemento y el hormigón conservados en agua aumentan su volumen aparente, y el aumento se acelera si la temperatura de conservación es elevada; es indudable que la masa de hormigón de una presa en construcción está tan saturada de agua como si estuviera inundada, pues sobre su superficie se lleva continuamente hormigón fresco, conteniendo un exceso de agua, y aun se lava o riega el hormigón durante el fraguado. Por otra parte, la temperatura es, durante algún tiempo, elevada; ella acelera las reacciones químicas que provocan la hinchazón del hormigón. Pero cuando se interrumpen los trabajos a fin del otoño, se comprueba que la abertura de las juntas aumenta en un valor superior a la contracción térmica. El movimiento se acelera al fin del invierno; la temperatura exterior aumenta de nuevo, y la del hormigón, determinada por un gran número de termómetros, baja poco a poco, verificándose la retracción.

En la presa de Grimsel las medidas de deformación efectuadas durante la construcción han permitido seguir muy exactamente los fenómenos que se realizaban en la presa. La explicación no era fácil, por la complejidad de los factores determinantes, que los conocimientos técnicos de la época no permitían prever, y hacían inciertas las previsiones sobre el modo cómo el hormigón se comportaría y la oportunidad de esperar un año o dos para rellenar las juntas. Para elucidar estas cuestiones se emprendieron ensayos detallados sobre la dilatación, retracción y



Presa bóveda de Spitallamm. Juntas de construcción.

cálculos, lo que se explica de la manera siguiente: el fraguado y el desprendimiento de calor son consecutivos; y además, el hormigón fresco es muy plástico. Si el movimiento de dilatación se encuentra coartado por una resistencia cualquiera, por ejemplo la adherencia sobre la capa inferior ya endurecida, el hormigón sufrirá una compresión correspondiente. Según las circunstancias, se aprecia, en efecto, una variación de la dilatación aparente observada en los primeros días después de hormigonado. Esta propiedad del hormigón se encuentra muy acentuada en los ensayos de laboratorio al determinar los movimientos del hormigón durante el fraguado. Pero el estudio de las propiedades del cemento muestra que no hay que atribuir importancia especial a los movimientos del hormigón en los primeros días: la textura del principio no es más que provisional, se la puede considerar como el andamio de la construcción definitiva.

Esta plasticidad del hormigón fresco es una condición indispensable en el éxito de la construcción de grandes macizos de hormigón. Para destacar mejor su importancia, comparemos el modo de fabricación de los macizos de hormigón con el de las presas de fundición, constituídas por un material no plástico como el hormigón viejo. Pensemos lo que ocurriría si en lugar de fabricarlas de un sólo bloque y dejar-

elasticidad del hormigón, cuyos resultados fueron publicados en una revista suiza (*Schweizerische Bauzeitung*, julio-agosto 1932).

Sobre la base de todas las observaciones efectuadas, podemos terminar las notas sobre las cuestiones técnicas relativas a las presas de hormigón de la manera siguiente:

Las propiedades del hormigón, sobre las cuales, hasta estos últimos años, no eran muy conocidas, la retracción (y la plasticidad), no entrañan una perturbación en la repartición de las solicitaciones interiores, más importante en el caso de las grandes masas que en el hormigón armado, sino al contrario. En los dos casos el cálculo estático no nos da más que una repartición aproximada de las cargas. La experiencia demuestra, sin embargo, que la facultad del hormigón de adaptarse, hasta un cierto límite, deformándose, a los esfuerzos a los cuales está sometido, presenta en general grandes ventajas. En el estudio de proyectos y cálculos de presas gruesas no habrá que ocuparse especialmente de estas cuestiones, a condición de mantener el coeficiente de seguridad habitual.

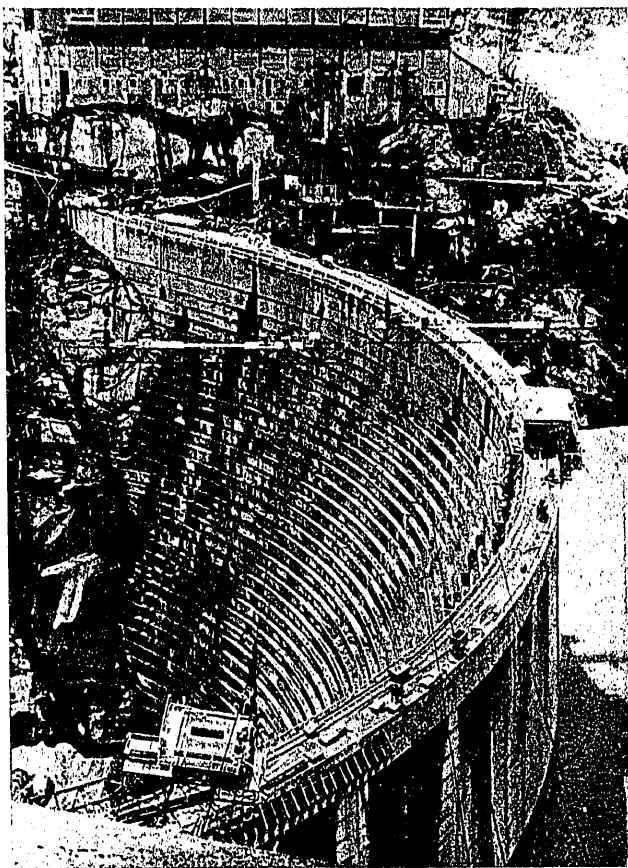
Por el contrario, en la ejecución del hormigonado de grandes masas, se tendrá en cuenta lo mejor posible los cambios de volumen del hormigón después de fraguado. Si se tomaran malas disposiciones o precauciones insuficientes, aparecerán irremediablemente las fisuras. Aunque no se debe exagerar la importancia de éstas, pues siempre cabe hacerlas inofensivas, su aparición es desagradable, pues indica que todo no estaba previsto en la ejecución del trabajo; además, su relleno con inyecciones, trae grandes gastos y, eventualmente, retrasos en la puesta en carga de la presa.

## EJECUCION DE LAS PRESAS

Los métodos de puesta en obra del hormigón han sido desarrollados considerablemente; no trataremos de ellos, pues frecuentemente se tiene la ocasión de leer en la prensa técnica descripciones de instalaciones ejecutadas. Se puede comprobar el camino recorrido comparando los medios empleados en las primeras presas y el utillaje formidable puesto en obra en la presa Hoover, actualmente en construcción.

Existe un gran progreso en relación con la calidad del hormigón. En la ejecución de varias presas europeas, según recetas americanas, posiblemente mal comprendidas, se ha fabricado hormigón con un exceso de agua, a fin de que corra por los canales. Pero hoy, los errores cometidos se conocen, y es de esperar que no se repitan más. Las condiciones elementales de la realización de un buen hormigón eran conocidas hace tiempo. Feret, en particular, había puesto en evidencia la influencia nefasta de un exceso de agua de amasado. Pero sus consecuencias claras han sido veladas por las teorías, mal comprendidas, de la granulometría. No entra en nuestra intención disminuir la importancia de los estudios granulométricos; al contrario, ellos son la base indispensable de la dosificación del hormigón. Haremos, sin embargo, notar el error de admitir que la observación de una cierta fórmula de dosificación granulométrica puede dar una garantía suficiente de la calidad del hormigón. Sabemos de obras en las que las proporciones de los componentes del hormigón se verificaban todos los

días, pero en donde no ha presentado nunca una resistencia suficiente al medio ambiente. El criterio más seguro de la calidad del hormigón lo da el control de la compacidad, que debe ser perfecta, y el de la consistencia, que debe ser plástica. Los estudios enseñan que cuando la composición granulométrica es



Presa bóveda de Spitallamm.

insuficiente, y el hormigón, por ello, no es compacto, no será verdaderamente plástico; si, por el contrario, la composición granulométrica es buena, la cantidad de agua de amasado se determina fácilmente. Débiles diferencias de agua se distinguen fácilmente por el práctico de hormigones, y es imposible que un exceso de la misma escape a un control serio.

La compacidad y, por consecuencia, la plasticidad del hormigón dependen de la graduación de los elementos más finos de la mezcla, cemento y balasto. La composición granulométrica del fino, por bajo de 2 mm., presenta una importancia mucho más grande que la de los elementos gruesos. Desgraciadamente, en las obras no se cuida la composición de la arena desde algunas décimas a 2 mm. Si la arena, natural o artificial, no presenta en conjunto una composición favorable de elementos finos, no será posible realizar hormigón de buena calidad. Este caso se presenta con bastante frecuencia, sin que los constructores se den cuenta de que el control de la resistencia mecánica no basta para determinar todas sus propiedades. Las composiciones más peligrosas son aquellas que, por falta de fino o por abundancia de polvo (harina de piedra de la firmeza del cemento), presentan una composición muy porosa, pero no aparente, porque los

poros son imperceptibles a la vista. Un hormigón así no podrá resistir al hielo, y no será lo suficientemente impermeable para una presa de embalse.

Para resumir sobre la composición del hormigón:

Los estudios granulométricos deben efectuarse antes de empezar los trabajos; deben, sobre todo, tener por fin el determinar la elección de un árido que tenga una composición buena de fino. La dosificación de los diferentes componentes del hormigón, que es posible separar en una obra, no debe tener más que una importancia secundaria. La variación de las proporciones de arena gruesa y de grava no debe influenciar la cualidad del hormigón, lo que pasa cuando la arena es de graduación buena. Si no es posible obtener una arena buena, habrá que fijar la dosificación del cemento con más cuidado. Para el hormi-

gón de la parte central, se podría, en definitiva, contentarse con un hormigón no muy bueno, presentando en la puesta de obra algún tanto por ciento de vacíos o exceso de agua, y determinar la dosificación por la resistencia mecánica. Pero para los paramentos hay que prever un hormigón compacto. En defecto de arena adecuada, se aumentará la dosificación de cemento, lo que no puede llevarse muy lejos, pues 50 kg. por metro cúbico de hormigón no representan más que el 1,7 por 100 del volumen total.

En el estudio de estas cuestiones se opera con ventaja, en oposición con muchas teorías granulométricas, haciendo figurar el cemento en las curvas granulométricas.

H. JUILARD,  
Ingénieur-Conseil, Berna.

## La economía de las obras hidráulicas

**Contribución de la Asociación de Ingenieros de Caminos a información pública abierta por el Consejo de la Economía.**

La Asociación de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos ha acordado comparecer en la información abierta por la Comisión gestora del Consejo de la Economía nacional, sobre el tema "La economía de las obras hidráulicas".

\* \* \*

La importancia del agua como elemento de vida y como factor de riqueza es tan evidente y tan universalmente reconocida, que no hay que detenerse a demostrarla; pero sí habrá que notar que esta importancia se acentúa sobre todo en los países áridos, entre los que se cuenta la mayor parte de nuestro territorio peninsular. Si en todas partes el aprovechamiento de las aguas puede contribuir poderosamente a la prosperidad económica, su influencia llega a hacerse preponderante allí donde se encuentra en defecto y donde, por consiguiente, es necesario llegar a su utilización máxima.

Esta máxima utilización plantea problemas de muy distintos órdenes: técnicos, unos; otros, económicos; muchos, de carácter jurídico y social; pero aun en aquellos que más extraños pudieran parecer a la técnica, no puede ésta permanecer ausente, porque de nada servirían las más ingeniosas combinaciones financieras si en el planteamiento y desarrollo de la empresa no se emplearan procedimientos adecuados y métodos eficaces; de nada, los principios abstractos del Derecho si el medio físico no respondiera a los postulados esenciales que han de hacer la regla trasunto de la Justicia, y en vano se expresarán las más vehementes aspiraciones de la opinión si una naturaleza hostil no permite satisfacerlas sino con número y medida. Y es al técnico al que corresponde precisar la medida y el número, estudiar las particularidades y complicaciones del medio físico y señalar los procedimientos y los métodos de más eficaz aplicación.

Lo que da en este caso especial preponderancia a esa inspiración técnica es que, mientras en los países húmedos el agua basta para todos y el problema principal que se presenta es el de dar salida al sobrante, en lo que van

a una el interés de los más y el régimen natural de desagüe, que, a lo sumo, habrá que facilitar y perfeccionar, en los países áridos, por el contrario, hay que evitar que el agua se escape, contrariando al régimen natural, y hay que distribuirla entre los que la desean, sin que a todos pueda alcanzar el beneficio; los conflictos han de ser, por consiguiente, más numerosos y difíciles, y para resolverlos no puede haber otro criterio que el del interés público, que es, a su vez, el de la máxima utilidad, ya que gracias a ella los más copiosos beneficios indirectos podrán llegar aun a aquellos que, por su situación, no han podido participar de los beneficios directos.

Y no hay que olvidar que si los países áridos tienen sus problemas propios, no son extraños tampoco a los problemas de los países húmedos. Tanto como la escasez de agua, suele dominar en ellos la irregularidad del régimen, que obliga en ocasiones a defenderse contra el mismo elemento que de ordinario se anhela retener, porque su acumulación en ciertos lugares o en momentos determinados puede ser ocasión de daños tan graves como las consecuencias de su falta.

Estas diferencias fundamentales y esta complejidad de los problemas ha de reflejarse hasta en la organización política y en la actitud del Estado frente a los mismos. En mayor o menor medida, la intervención del Estado en el régimen y distribución de las aguas es absolutamente indispensable en los países áridos; podrá desentenderse de la administración directa de las mismas, confiándola a concesionarios o usuarios y encargando a los mismos de la ejecución de las obras precisas para su aprovechamiento; podrá concederles más o menos libertad para que se organicen y gobiernen; pero, por lo menos, han de permanecer en sus manos la ordenación general y la facultad de resolver los conflictos que pudieran surgir entre tantos intereses particulares.

Aun para mantenerse en estos límites, si su acción dentro de ellos ha de ser eficaz, necesitará conocer los recursos con que se cuenta y las directrices generales de su posible aprovechamiento; pero rara vez el Estado,