

RECRECIMIENTO DE PRESAS EXISTENTES Y METODOS PARA LA CONSTRUCCION DE PRESAS POR ETAPAS SUCESIVAS

Por JOSE TORAN PELAEZ,
Ingeniero de Caminos.

(Continuación.)

33. Tipología.

Recrecimiento directo. — En determinados casos se puede evitar la construcción de la estructura del refuerzo, bien por ser innecesaria (holgura en el dimensionamiento de la presa primitiva o previsión de su recrecimiento) o mediante artificios sustitutivos de la construcción adicional. Tienen mucho interés estos casos, pues ya vimos en el estudio económico comparativo entre el recrecimiento y la construcción de nueva planta, que es juntamente el refuerzo de la presa primitiva el sumando que encarece en desventaja la solución por recrecimiento.

El problema de evitar la construcción del refuerzo se reduce al de equilibrar la sobrecarga sobre el embalse antiguo. El momento estabilizador ha de obtenerse por adición de peso o por anclaje del terreno mediante cables que ponen en juego estructural el propio peso del cimiento.

En algunas ocasiones se puede actuar también sobre las cargas extraestructurales o sobre las distancias de la línea de acción, del peso adicional estabilizador, o incluso de la sobrecarga funcional al eje de vuelco.

La solución más simple se consigue cuando es posible limitar la altura del agua una vez alcanzado el incremento de nivel apetecido, siguiendo, sin embargo, el recrecimiento de la estructura por encima de este nivel hasta obtener en ella el peso necesario para asegurar la estabilidad final. Un ejemplo de esta solución es el antiguo recrecimiento de la presa de Ennepe [3].

Se mejora la acción estabilizadora del peso adicional disponiendo el recrecimiento en voladizo sobre el paramento de aguas arriba. Este dispositivo se ha empleado con feliz resultado en las presas del Chorro [17] y Doiras (España) [A. Presmanes, R.-137].

La acción sobre la sobrecarga puede mejorar la estabilidad y compensar el desequilibrio producido por el recrecimiento. Este fué el sistema empleado en la presa de Ringedal (Noruega) [3], en la cual la posibilidad de vaciar el embalse permitió la construcción de una máscara de Levy que, además de evitar las consecuencias del deterioro del paramento

aguas arriba, causado por el ataque de las aguas ácidas, redujo la subpresión y, por consiguiente, el momento volcador.

Gröner (Noruega) se ocupa de recrecimientos en los que el cuerpo superpuesto tiene un paramento aguas arriba muy inclinado. Con ello se consigue reducir el momento de vuelco de la carga hidrostática sobre el cuerpo adicional.

Las presas con aliviadero en coronación se calculan tomando en cuenta la sobrecarga accidental producida por la sobreelevación de la lámina de agua en caso de vertido. Se puede aprovechar este margen de resistencia de la estructura para una elevación permanente del nivel del embalse mediante el empleo de compuertas superpuestas a la presa. S. W. Stewart [R.-126 U.S.A.] describe muchos casos de recrecimiento con distintos objetivos resueltos por este procedimiento. Recogemos entre ellos el de la presa Bristol (U. S. A.) [12], ya citado en la introducción.

Recrecimientos directos con empleo de tirantes tesos. — Es necesario detenerse en los recrecimientos directos mediante anclaje con utilización de tirantes tesos. Aparece el procedimiento alrededor de 1930 en la presa de Cheurfas (ver 1.^a parte). Si bien entonces se trataba fundamentalmente de un refuerzo que trajo por consecuencia un ligero recrecimiento, su autor Coyne ya previó la extensión del método con carácter general a los recrecimientos de presas [6].

Después han sido muchas las veces en que se ha aplicado, y hoy es evidentemente el procedimiento más popular y extendido. Entre los veintinueve informes recibidos, catorce se ocupan del empleo de tirantes pretensados. El número de realizaciones con éxito también es grande. Las aplicaciones del método, posteriores a la de la presa de Cheurfas, en nada fundamental difieren del sistema allí desarrollado.

Los casos de pretensión que Coyne todavía en el V Congreso calificaba de *outsiders* entran al paio del problema del recrecimiento, con todos los honores, en el campo de la construcción de presas.

El propio Coyne estableció la enjundiosa legitimidad teórica del procedimiento justificándolo rigurosamente como una aplicación del principio general de

la síntesis estática de las estructuras según la definición de Rabut (*) [21].

En el terreno teórico, varios ponentes se han ocupado del método, estudiando diferentes facetas del mismo y sus posibles extensiones.

J. M. Linton Bogle [R.-2 Gran Bretaña] analiza la distribución de esfuerzos creada por los tirantes en las secciones horizontales, según las posiciones de la línea de acción de aquéllos, todas próximas en distancia y dirección al paramento aguas arriba.

A. Z. Bassevitch [R.-112, U.R.S.S.] establece las ecuaciones elásticas exactas que dan el estado tensional debido al efecto de la carga del tirante. Amplía el estudio al caso en que dicho tirante actúe verticalmente, pero desplazado con respecto al paramento de aguas arriba. Preconiza el empleo de la teoría elástica vigorosamente, ya que de ella se obtienen resultados más ventajosos que los deducidos por procedimientos matemáticamente más hurdos. Es muy interesante el estudio del propio A. Z. Bassevitch sobre la influencia del tirante en la distribución de compresiones sobre el cimiento y especialmente en cuanto al incremento de aquéllas en la zona del talón de la presa. Esta mejora puede todavía complementarse disponiendo una galería ancha en la base de la presa y en sentido longitudinal de la misma. La influencia de esta galería se manifiesta en una redistribución de la ley trapecial de cargas sobre el cimiento, con aumento de los valores en los extremos. Del conjunto resulta una resistencia superior al deslizamiento y una mayor seguridad a la subpresión que, por otra parte, se alivia y se puede controlar gracias a la galería visible.

D. Lazarevic [R.-90 Yugoslavia] presenta varias aplicaciones de cables tesos, todas sugestivas y brillantes de concepto. Se ocupa de las presas de contrafuerzas aligeradas y especula con las posibilidades derivadas de la colocación de los tirantes en su interior y según la trayectoria más conveniente. También examina el empleo de los tirantes para anclar estructuras auxiliares (aliviadero) superpuestas [véase A. de Montmarin, W. Ter-Minassian, R.-67, V C.I.G.P.] a una presa de gravedad curvada. En las presas bóveda los tirantes se pueden emplear para reforzar las ménsulas consideradas como vigas curvas empotradas en el terreno y apoyadas en el arco superior. Lamentamos que este estudio, muy interesante, no venga sancionado todavía por realizaciones de las ideas que expone.

R. Priscu y M. Constantinescu [R. 34, Rumania] presentan un estudio analítico del anclaje pretensado basado en el cumplimiento de las hipótesis clásicas.

(*) Asegurar a una estructura su mejor rendimiento, manejando no solamente sus dimensiones resistentes, sino también (mediante la intervención de dispositivos especiales temporales o permanentes) todos o parte de los parámetros vectoriales de la resultante de las fuerzas interiores actuantes sobre una o varias partes de la obra." (Rabut: "Comptes-Rendus de l'Academie de Sciences, 1919.)

cas; ausencia de tracciones en el paramento de aguas arriba y seguridad al deslizamiento. Extienden su estudio al caso general de la presa con inclinación fuerte de ambos taludes y establecen las expresiones del régimen de esfuerzos en cada punto de la sección. Deducen la mayor conveniencia del método para las presas con el paramento aguas arriba inclinado y para las presas de pequeña altura. Es particularmente interesante su análisis de los efectos de pérdida de tensión en los tirantes por causa de las deformaciones plásticas del hormigón.

Más adelante, en el capítulo siguiente, nos referiremos a la tecnología del sistema y a las aportaciones de otros ponentes sobre este aspecto.

Las ventajas del procedimiento con respecto a la estabilidad son obvias; no solamente se resuelve el problema estático, sino que además la adición de compresiones en el paramento de aguas arriba mejora la resistencia a la fisuración y, por consiguiente, evita el gran peligro de la subpresión "difusa". El incremento también de las cargas verticales sobre el cimiento repercute en el coeficiente de seguridad al deslizamiento y en la subpresión general.

Por último, la creación de compresiones en el terreno en las secciones horizontales entre el punto de anclaje y el plano de apoyo significa un auténtico tratamiento mecánico del suelo, creando un estado elástico artificial en mejora de sus condiciones resistentes [21].

Económicamente, la solución de recrecimiento directo con cables tesos es la más conveniente. En ello coinciden todos los ponentes. Mataescu [R.-32] y Priscu & Constantinescu [R.-34] estudian la economía diferencial con respecto al recrecimiento convencional y llegan a resultados corroborados por la experiencia. Linton Bogle [R.-32], Parker [R.-44] y Bellier [R.-48] incluyen cifras obtenidas en casos prácticos de aplicación. En general, se puede estimar entre 30 y 55 por 100 el ahorro obtenido con respecto al recrecimiento con refuerzo de fábrica. Estos resultados confirman la información que ya teníamos del V C.I.G.P., en el cual se vió que el precio de una tonelada "peso vivo" obtenida por pretensión cuesta aproximadamente 30 por 100 del coste correspondiente al mismo peso en hormigón [Montmarin y Ter-Minassian, R.-67, V C. I. G. P.]

Un inconveniente del método de tirantes es el de no aportar base suficiente en la coronación, para acomodar sobre ella la estructura superpuesta que ha de resistir la sobreelevación del embalse [C. M. Roberts, R.-12, V C. I. G. P.]. Puede obviarse con la destrucción de parte de la coronación para acomodar el cuerpo recrecido, según una línea isostática, o disponer aquél en voladizo aguas arriba. También se puede incluir en el anclaje la sección superpuesta [presa de Habra, R.-13, R.-32] [24], que incluso puede ser de bloques prefabricados [H. Press, R.-3].

La objeción más seria sobre el sistema proviene

de las propiedades del hormigón, variables con su edad y muy influidas por la permanencia de la carga. El envejecimiento aumenta el comportamiento elástico ante cargas instantáneas, pero la permanencia de la carga le lleva a manifestar un incremento de sus propiedades de tipo visco-plástico. Este efecto, sumado al de la retracción, repercute en la anulación total o parcial de la pretensión. Con menos importancia se producen fenómenos del mismo tipo en el acero.

Las deformaciones lentas y diferidas propias de la condición visco-plásticas del hormigón han de tomarse en cuenta en el proyecto de empleo de tirantes de acero.

Parece deducirse que la edad aceptable para el pretensado concuerda mal con la longevidad de una presa. Por otra parte, aquello que en el pretensado hay de mecanismo artificioso y sus manifestaciones "biológicas" contrasta con el ser inerte y objetivo que es la presa. Puede ser que todo el problema desaparezca el día que se domine, precisamente, la "biología" del hormigón en grandes masas; pero hoy todavía no se puede asignar al pretensado la misma edad que estamos habituados a pretender de una presa.

Los inconvenientes que anotamos no existen, sin embargo, en el caso de las primeras fases de la construcción por etapas. Entonces no hay imperativo de perdurabilidad y el pretensado puede manifestar todas sus ventajas no sólo en la reducción de la sección resistente provisional, sino también brindando la posibilidad de acoplar la distribución de tensiones en la estructura a la mejor conveniencia en el momento de proseguir la obra. Una regulación de la tensión en los cables debidamente instalados al efecto durante la construcción de la primera fase, puede lograr anular los efectos de la sobrecarga y compensar las tensiones propias de la soldadura.

Los inconvenientes específicos de la construcción por etapas: a) Excesivo volumen de fábrica en las primeras etapas con el consiguiente incremento en la inversión inicial que puede llegar a ser prohibitiva, y b) Dificultades propias del recrecimiento bajo carga al reanudar la construcción. Pueden fácilmente resolverse con la utilización del pretensado. Nos extraña que hasta la fecha no se registre ningún caso de su empleo en estas condiciones.

Por último, no podemos evitar el recordar una interesante observación de Drouhin [8] a la que Coyne da énfasis [21]. Nunca en la historia de la Humanidad se controlaron mayores fuerzas con menos materia. Dejamos volar la imaginación sobre el instrumento técnico que son cables pretensados. Bien podrían devenir las riendas que se necesitan para el dominio de la macroestructura.

Cuerpos estructurales. — Entre las tres partes que, en definitiva, han de componer la estructura final (presa primitiva, refuerzo y presa adicionada), hay tres fronteras: Una de ellas, la horizontal, base de la

estructura superpuesta, es obligada y consustancial con el recrecimiento. La que separa el cuerpo principal con el refuerzo puede no existir (recrecimiento directo), pero es muy importante en el funcionamiento mecánico del conjunto. La tercera es la frontera entre el cuerpo de refuerzo y la presa adicionada.

La naturaleza de las juntas que materializan estas fronteras y su repercusión en el monolitismo del conjunto nos da la clave para un análisis tipológico del recrecimiento.

Al ser tres las juntas y dos las posibilidades en cada una de ellas (no tiene objeto de momento distinguir entre monolitismo simultáneo al recrecimiento y postmonolitismo) resultarían ocho tipos básicos. El número se reduce, sin embargo, sin más que unas consideraciones previas con respecto a las juntas horizontales, que normalmente han de coincidir en una sola de separación entre la super-estructura y la presa primitiva o el refuerzo.

La junta horizontal fundamental, o sea la que separa el cuerpo primitivo de su recrecimiento, ha de ser normalmente monolítica; son razones para ello el peso del cuerpo sobrepuesto y el funcionamiento hidráulico que dificultan cualquier solución distinta.

La solución técnica de la independencia en esta junta abriría enormemente las posibilidades estructurales, no ya de recrecimiento, sino del proyecto básico de presas; serían posibles las soluciones de arcos independientes (*) y se aclararía sobre todo el problema analítico, especialmente complejo, por la forzada solidaridad monolítica del conjunto. La solución técnica del libre deslizamiento en esta junta, y de su impermeabilidad, permitiría limitar en altura el efecto ménsula y dar solución a muchos casos de recrecimiento, hoy por hoy irrealizables.

La junta entre la superestructura y el refuerzo, o no existe en caso de aislamiento entre estos dos cuerpos o será obligadamente monolítica. Las razones para ello son las mismas que en el caso anterior, y el único inconveniente que podría haber, que es el de la discontinuidad dimensional y las alteraciones elásticas consecuentes, puede fácilmente menospreciarse, pues tal discontinuidad correspondiente a la diferencia de espesores a la altura de la coronación de la presa antigua entre el refuerzo y la base de la presa superpuesta no tiene importancia por ser precisamente la coronación donde la presa primitiva ha de tener su dimensión mínima.

Resulta del obligado monolitismo de dos de las

(*) Se han resuelto, sin embargo, con buen éxito algunos casos prácticos que acrecientan el interés en el perfeccionamiento técnico de esta junta. Véase la C.-43, V. C. I. G. P. del Profesor Peña Boeuf sobre las presas de Denia (42 m.), Benageber (40 m.) y Tiemblo. Todas ellas corresponden al tipo de anillos independientes. También D. Lazarevic R.-90 (Yugoslavia) cita realizaciones con buen resultado de este tipo de junta en su país, en particular la de la presa circular de Niksic, objeto de la C.-16 del V. C. I. G. P. de A. Bozovic.

juntas que el análisis tipológico se reduce a las consecuencias morfológicas derivadas de la eventual soldadura de la junta entre el refuerzo y la estructura primitiva.

Subrayemos que en las consideraciones anteriores no hemos de distinguir: a) Aquellos casos en que la junta horizontal entre el cuerpo principal y los adicionales se confunde en una sola sin distinción de tramo horizontal correspondiente a la base de la estructura superpuesta, y b) Aquellos otros en que este tramo horizontal, siguiendo una trayectoria de isostática, se materializa en el perfil en una línea escalonada de directriz inclinada. No se altera por ello la clasificación básica según la hemos establecido, pues

Tal es el caso de la presa de Bever; el recrecimiento directo permitía resolver la función hidráulica (impermeabilidad), quedando en descubierto, sin embargo, la estabilidad. Para suplir la función resistente, tanto de la presa primitiva sobrecargada como del cuerpo superpuesto, hubo que volver el conjunto en una estructura de tierra. Se trata de un caso de metamorfismo con disociación total de funciones, en el cual se distinguen no sólo los cuerpos encargados de las diferentes funciones resistentes, sino también éstos con respecto a la estructura encargada de suplir la función hidráulica. Hemos de repetir aquí el ejemplo clásico—ya citado—del segundo recrecimiento de Assouan subrayando que su evi-

		METAMORFISMO	IDIOMORFISMO
ESTRUCTURA DIFERENCIADA	①	MÖSSVAN [F. GRÖNER R-50] ASSOUAN 2º recrecimiento [H. ZAKY R-20] LOS EJEMPLOS DE [D. LAZAREVIC R-90]	② LA PRESA CEBOLLA [C. SEMENZA R-96] [G. OBERTI R-14] [C. MATEESCU R-32] Kelen /3/ Caso de presas de gravedad
	③	BURGONILLODO [B. BECERRIL R-13]	⑤ ODOMARI [M. KONDO R-23] [J.B. COOKE J.E.SCHUMANN R-127] ROSS /15/
KONOLITICO POST-KONOLITICO SIN-KONOLITICO	④	LAGES /14/	⑥ GRANDE DIXENCE /13/ MUNDARING WEIR [C.M.ROBERTS R-12] MULLADOCH [5º C.I.G.P.] ASSOUAN 1º recrecimiento [H. ZAKY R-20]

estos casos particulares son fácilmente aislables en los grupos tipológicos que a continuación describimos.

Criterio para una clasificación.—Tomando en cuenta las reservas anteriores, queda reducido nuestro análisis a las posibilidades de soldadura en la junta entre el refuerzo y la presa existente, englobando en estos casos aquéllos en que el recrecimiento forma un único conjunto estructural con el refuerzo.

Estructura diferenciada y metamorfosis.—Desde el momento en que se acepta para satisfacer el incremento funcional una estructura independiente de la existente, no hay inconveniente en variar su forma y elegirla de modo que responda de la mejor manera al condicionamiento local. Los recrecimientos diferenciados pueden ser, evidentemente, metamórficos.

El cuadro que incluimos puede guiar mejor nuestra exposición.

Establecido el principio de independencia funcional, no hay por qué extrapolar la estructura inicial, que bien queda absorbida por la final o bien subsiste trabajando en colaboración con la nueva en la función hidráulica resistente encomendada al conjunto.

dente metamorfismo y la independencia total entre el cuerpo adicionado para refuerzo y el superpuesto para cubrir el incremento funcional son complementados, en cuanto a características tipológicas, con la libertad total en la junta del refuerzo que se materializó incluso por interposición de una placa de fundición para inoxidable, permitiendo el deslizamiento de los contrafuertes sobre el paramento de aguas abajo de la estructura antigua. Seguimos la rutina en el empleo del nombre de contrafuertes para estos dispositivos, pese a que, en virtud de este libre deslizamiento, no recogen más compresión que la correspondiente a su propio peso.

Se pueden dar casos extremos de juego resistente, conjunto de estructuras independientes. Tales son los que estudia D. Lazarevic [R.-90]. El ejemplo más curioso entre ellos es el de una presa arco-gravedad que se recrece con un arco independiente y cuyo refuerzo se consigue mediante otro arco situado aguas abajo a la altura de la coronación antigua y adosado al paramento, pero con independencia total, a fin de poder llenar de agua el espacio comprendido entre la presa y el refuerzo, consiguiendo con ello una componente horizontal por reacción ca-

paz de compensar la sobrecarga hidrostática de la elevación.

Tenemos noticias de que también Freyssinet proyectó un recrecimiento de este tipo, sustituyendo, sin embargo, el efecto de la carga hidráulica por gatos. Se trata, en definitiva, de crear un arco costilla independiente para lanzar cargas reactivas sobre la estructura principal.

Estructura diferenciada e idiomorfismo. — Indudablemente no hay ningún inconveniente teórico en sostener el principio de independencia estructural respetando, sin embargo, la forma primitiva. Ello nos llevaría a estructuras finales que, respondiendo a los tipos clásicos, tuvieran una junta de libre deslizamiento separando el cuerpo antiguo de la parte adicionada. Desde el punto de vista elástico, este conjunto puede funcionar perfectamente, y en algunos casos con ventaja, sobre el monolitismo. Así ocurre en las presas bóveda para las cuales Scalabrini [R.-38] analíticamente y Oberti [R.-14] experimentalmente, han estudiado que las reacciones en los apoyos son menores cuando el anillo está compuesto por dos arcos concéntricos y adyacentes, que cuando se trata de un arco único.

A la misma conclusión llegan C. Mateescu [R.-32] y también Semenza [R.-86], a quien debemos la expresiva denominación para este tipo de estructuras: "tipo cebolla".

En el caso de las presas de gravedad el recrecimiento sobre el paramento de aguas abajo mediante una placa independiente con libre deslizamiento, da un reparto de tensiones sobre el cimiento más favorable que el de la presa monolítica [3].

El que no se recoja todavía ninguna realización de tipo diferenciado e idiomórfico no se debe, por consiguiente, a razones de orden teórico y mecánico. Son los inconvenientes de tipo hidráulico y práctico los que las han proscrito. Presentan, evidentemente, el peligro de la entrada del agua en la junta, lo que ocasionaría en cualquier fallo del sistema de drenaje una carga hidrostática con grave riesgo. Lo mismo podría ocurrir si cualquier imperfección en la consecución de la pretendida independencia diera lugar por rozamiento a una concentración de esfuerzos locales.

Sobre este punto es interesante la observación de Scalabrini, que también recoge C. Mateescu. Señalan que la zona de coronación de la antigua presa está más influida por el afecto consola después que antes del recrecimiento, lo cual se traduce en compresiones radiales que aumentan el rozamiento entre los arcos adyacentes.

Monolitismo. — La soldadura de las juntas se puede producir simultáneamente a la construcción del recrecimiento, o diferirla, según hemos dicho anteriormente. (Para designar estas posibilidades, nos permitimos la libertad filológica de anteponer los prefijos *sin* y *post* a la palabra monolitismo.)

En general, tienen poco interés los recrecimientos metamórficos y monolíticos. El cambio de forma da lugar a saltos bruscos dimensionales, y éstos originan perturbaciones elásticas en los puntos de discontinuidad. El problema se complica aún más en el caso de pretender el monolitismo simultáneo al recrecimiento; habría que combatir entonces los esfuerzos propios del recrecimiento y en el peor terreno para la batalla, justamente en aquel en que la perturbación elástica, debida al cambio de forma, es suficiente para la calificación de zona de conflicto.

En la discontinuidad dimensional lleva la peor parte el cuerpo más pequeño, de donde resulta que aun siendo ambos casos desaconsejables, es preferible el recrecimiento de una presa de contrafuertes macizando el espacio entre ellos hasta convertirla en presa de gravedad, que el caso contrario. Se ha estudiado la primera fórmula [22], desde luego, con postmonolitismo como solución económica para la construcción por etapas. En España existe el caso clásico de Burgomillado, en el que se ha obtenido un buen resultado, incluso con la soldadura simultánea a la construcción del relleno de los contrafuertes.

En la de Lages, en Brasil [14] se construyeron contrafuertes radiales sobre el paramento de gravedad curva. Las precauciones durante la construcción, muy bien planeada y sobre todo el estudio del postmonolitismo (cuatro años antes de la soldadura definitiva de las juntas), han permitido un feliz resultado, pese a las dificultades teóricas más arriba expuestas.

Simmonolitismo idiomórfico. — El problema es mucho más importante en el orden constructivo que en el proyecto. El tomar en cuenta el efecto de la sobrecarga para fijar el talud de las presas de gravedad recrecidas por este sistema, no presenta graves dificultades, y varios ponentes tratan de ello [Beccerri. R.-13, y M. Kondo. R.-23].

En la presa de contrafuertes el problema de proyecto incluso se simplifica. Las dificultades son de orden técnico (en el artículo siguiente trataremos de ellas).

En este tipo de recrecimientos se registran realizaciones muy importantes; la más popular es la presa Balch (U.S.A.) [J. B. Cooke, J. E. Schumann. R.-127]. En presas de gravedad, la de Odomari, en Japón, nos da solución a todos los problemas que hoy se pueden prever.

No se puede terminar con este tipo de recrecimientos sin mencionar el de la presa de O'shaugh Nessey, habida cuenta, sobre todo, de su importancia en la época en que se realizó.

Postmonolitismo idiomórfico. — En el orden en que desarrollamos nuestra exposición, ha quedado para el final el tipo de recrecimiento que, indudablemente, presenta mayores perspectivas. Sostener las juntas abiertas hasta el momento en que se sincronice el estado óptimo de sobrecarga con la desaparición de los esfuerzos secundarios en la junta,

parece es la solución óptima para evitar las tensiones residuales. Esto se puede conseguir sin necesidad de cambios en la estructura, y sin necesidad de emplear procedimientos artificiosos que sólo se justifican plenamente cuando se preven anticipadamente, o sea en el caso de construcción por etapas.

Las obras ya realizadas, siguiendo este procedimiento del postmonolitismo, son base suficiente para deducir conclusiones definitivas. Entre todas culmina la Grande Dixence, que hemos de citar una vez más. En esta ocasión para poner todo el énfasis justificado por el estudio allí realizado.

La autoridad de los profesores Gicot, Stucky y Meyer-Peter, nombrados en calidad de expertos por la Inspección Federal Suiza para aconsejar, tanto en el proyecto como en la construcción de la obra y el refrendo de la teoría alcanzado por la perfecta realización práctica, dan carácter de conclusión definitiva al método Grande Dixence [véase C.-34. V C.I.G.P.]. El peculiar procedimiento polilítico seguido en la construcción, se demostró era más ventajoso que la superposición de una placa monolítica. Permitía mejor coordinación con las posibilidades prácticas del hormigonado, facilitando, además, la eliminación del calor de fraguado, por la mayor superficie de irradiación de los bloques pequeños.

En casos menos importantes no es necesario acudir a la construcción polilítica. En el V Congreso figura una ponencia de C. M. Roberts (R-12) que recoge con detalle el recrecimiento de la presa de Mulardoch (Escocia), análoga al de la presa de Mundaring Weir (Australia). En ambas se sostiene la placa monolítica de recrecimiento, libremente apoyada sobre el paramento de aguas abajo, hasta el momento óptimo para la soldadura. En el capítulo siguiente veremos los dispositivos empleados para sostener la junta abierta.

Oberti y Bassevitch, muy especialmente, llaman la atención sobre las posibilidades del seccionamiento estructural no ya por simple diferenciación de los distintos cuerpos encargados de función resistente, sino entendiendo el procedimiento a una auténtica construcción política con vistas a la creación de una distribución de esfuerzos a voluntad del proyectista, que puede después materializarse siguiendo el programa de soldadura de las juntas planeado al efecto. Bassevitch incluye varios ejemplos que lamentamos no vengan acompañados de más referencias a casos concretos.

El sistema, que bien puede llamarse postmonolitismo recoge todas las ventajas derivadas de una redistribución de esfuerzos, localizándolos en las zonas más convenientes a la cual se puede llegar sin emplear otro instrumento que la interacción de los diversos cuerpos en que se fracciona la estructura. En muchos casos no es necesario emplear más fuerza que la resultante del aprovechamiento del peso propio de las distintas secciones. El autor presenta también inge-

niosos dispositivos para crear la pretensión en cables utilizando el peso de secciones de la propia presa convenientemente desequilibrados.

¿No será esta la ocasión de revisar el gran tabú del monolitismo?

El caso límite corresponde a la presa de Meffrouch [G. Safont y J. Salvá, R-101], actualmente en construcción. El polilitismo llevado al extremo se convierte en sillería (la máxima nobleza geométrica, pero en bloques de hormigón prefabricados). Un sistema combinado de cables tesos e inyecciones permite el ensamblaje y la incorporación de la distribución de tensiones óptima.

Disgresión sobre el metamorfismo. — En la línea de revisar prejuicios no se puede evitar el llamar la atención sobre el perfecto funcionamiento de las estructuras "compound": Tanto las provenientes de un recrecimiento como las construídas así originalmente por otras razones. Es desde luego insuficiente la experiencia obtenida hasta la fecha para no calificar de frívola cualquier conclusión general, pero no por ello los casos registrados dejan de excitar la imaginación hacia las posibilidades derivadas de abandonar el "tabú" de la aplicación sistemática de tipos puros o al menos clásicos en la construcción de presas.

H. Press citaba en el V Congreso un caso límite que es probablemente el de la presa Oker. Para cubrir las exigencias geométricas del valle resultó la solución más económica la compuesta de una sección de gravedad superpuesta a un perfil de bóveda. Este tipo habría que llamarlo arco-gravedad-gravedad. No hay razón para precluir esta solución en muchos casos de recrecimiento. Desde luego no presenta ningún inconveniente para el recrecimiento de aliviaderos y menos cuando se facilita con el anclaje del cuerpo superpuesto mediante cables pretensados.

Pero vayamos más allá del tema del recrecimiento. Muchas presas bóveda han requerido de una sección de gravedad para acoplarse a los requisitos geológicos. Así ocurrió en Tignes y Bort. Los famosos *pulvinos* italianos puede perfectamente entrar en el grupo de las estructuras *compound*. Últimamente la presa de Peixoto, en Brasil, bóveda entre dos largos tramos de gravedad con aliviadero en coronación, nos brinda otro ejemplo de cambio de estructura para el mejor acoplamiento del terreno.

Al recrecer una presa, pero también al construir una nueva, se plantea el problema del acoplamiento a la forma y a la naturaleza geológica de las laderas. La geometría rigurosa de una presa de tipo puro pocas veces concuerda con la geología empírica. Es cierto que hay tipos de presa más flexibles en su adaptación, "versátiles", pero la solución radical resultaría del desarrollo de la técnica de combinar diferentes tipos estructurales.

Ajustarse a la naturaleza y ajustar la naturaleza al problema, debe ser siempre el objetivo. La forma ha de ser una reacción ecológica de la solución funcio-

nal ante las posibilidades locales ofrecidas por la naturaleza. En la presa de Mont-Larron [M. Terrasa, R-49], el recrecimiento transforma una bóveda sencilla en una presa de bóvedas múltiples (tres). Los estribos devienen contrafuertes intermedios ubicados aprovechando unos cejos de roca emergentes en el cauce.

De casi todas las combinaciones imaginables se registran ya realizaciones. La necesidad, en última instancia, conminará a su extensión y perfeccionamiento.

II-4. TECNOLOGIA

41. La junta.

Los fenómenos en la junta, esfuerzos y deformaciones proceden de dos orígenes:

a) El funcionamiento elástico de la estructura.

b) Las propiedades físico-mecánicas características, del nuevo hormigón durante su primera edad y, en todo caso, las diferencias de comportamiento con respecto a las del viejo.

Cuando se pretende un funcionamiento monolítico de la estructura, la corrección de las deformaciones propias del funcionamiento elástico, y por consiguiente de los esfuerzos correspondientes, es un problema de proyecto. La solución consiste en localizar la junta en la zona más inocua, proyectando la sección de manera que así ocurra. Becerril (R-13) ha estudiado con detenimiento este caso para las presas de gravedad. En definitiva, el objetivo es que no aparezcan esfuerzos propios del funcionamiento elástico de la estructura monolítica que puedan comprometer la imperfección constructiva de la pretendida soldadura.

Naturalmente, nos estamos refiriendo a las deformaciones creadas en el funcionamiento elástico bajo el cuadro de cargas definitivo. Sin embargo, existe otro estado de deformación también elástico que es el que corresponde a la carga hidrostática si el recrecimiento se efectúa manteniendo la presa en servicio. La compensación de estas deformaciones es mucho más compleja. Puede intentarse, sin embargo, y así lo hace M. Kondo [R.-23]. Calculo el aumento de tálud aguas abajo en una presa de gravedad necesario para contrarrestar la reducción de compresiones en el paramento aguas arriba de la presa recrecida y en carga.

La solución eficaz y práctica es, evidentemente, el postmonolitismo, aprovechando la coyuntura más propicia de la sobrecarga.

Si lo que se intenta es la total independencia en el funcionamiento estructural de las distintas partes de la presa, las precauciones constructivas han de tender a que no se creen esfuerzos imprevistos, fundamentalmente por rozamiento, que alteren las hipótesis de libre deslizamiento. Esta es la solución del segundo recrecimiento de Assouan [R.-5]. Allí se emplearon planchas de hierro inoxidable de 7 mm.; la solución es cara.

Es posible que con una acertada localización de la junta en el proyecto, colocándola en la zona de esfuerzo tangencial mínimo, y con un simple tratamiento cuidadoso de las superficies de contacto que eliminara cualquier rugosidad, se pudiera conseguir prácticamente la independencia estructural. Esta es la creencia de Semenza (la presa "cebolla"), Scalabrini y Mateescu, pero ninguno de ellos reseña directamente ningún caso en que se haya llevado a efecto tal tipo de construcción, aunque todos coinciden en sus ventajas.

Las deformaciones propias del estado de carga en la presa primitiva influyen aún en el caso de independencia funcional. En la presa bóveda, especialmente, no creemos que aun resolviendo las dificultades anteriormente expuestas se pudiera conseguir el contacto directo manteniendo en carga la presa, a no ser que se previera un sistema especial de "clavage" a poner en práctica con la presa descargada.

Con respecto a los fenómenos del grupo b), el problema es distinto, y las medidas han de ser diferentes, según que se desee el monolitismo simultáneo en la construcción o que el proyecto responda al tipo que hemos llamado postmonolítico.

Refrigeración. — Si la soldadura ha de efectuarse conforme progresa la construcción se han de tomar precauciones para minimizar los fenómenos propios del hormigón joven, en particular su retracción. El procedimiento más eficaz es la refrigeración. Por primera vez se empleó con este objeto en la presa de O'Shaughnessy [II]. Entonces se empezó utilizando directamente el agua del embalse. No fué suficiente y hubo de montarse una auténtica instalación refrigeradora para conseguir la reducción de temperatura deseada en el nuevo hormigón.

También en la presa Ross [15] se siguió un tratamiento de refrigeración artificial y mecánica del hormigón. Siempre con el empleo de tuberías horizontales perdidas en la masa del hormigón, pero utilizando en vez de agua fría como elemento refrigerador una salmuera de cloruro cálcico.

M. Kondo [R.-23], en la presa de Odomari, después de un cuidadoso proyecto, se limitó al empleo del agua del embalse captada a la profundidad necesaria para obtener temperaturas apetecidas.

En general, la refrigeración ha de efectuarse tanto sobre los áridos y el agua de la mezcla como sobre el hormigón *in situ* y ha de sostenerse durante el tiempo necesario para eliminar la retracción hasta el grado deseado.

La refrigeración puede completarse con otras medidas, tales como la utilización de *fly ash* y puzzolana. Es naturalmente interesante el control de la calidad del cemento y sobre todo la utilización de mezclas pobres con una granulometría rigurosa.

Aglomerantes. — En la presa Balch, California [J. B. Cooke, J. E. Schumann, R.-28], se está utilizando (al parecer todavía no ha terminado la construcción) el hormigón *prepakt*. Su ventaja tiene dos

aspectos, ambos contribuyen a un mejor comportamiento en la retracción. El primero es la compactación tangencial de los áridos. El segundo es la menor elevación de temperatura de fraguado de la mezcla aglomerante, muy influida sobre todo por el empleo de puzolana.

Pese a las ventajas del *prepakt*, en Balch también se ha utilizado hielo para la refrigeración de los ingredientes del hormigón, y sobre todo se ha mantenido un control preciso de la temperatura interna del antiguo hormigón y del nuevo, mediante la utilización de pares termoelectrónicos embebidos en la masa, con el fin de regular la temperatura del hormigón nuevo.

Las diferencias en el comportamiento mecánico del hormigón, función de su edad, no tienen importancia en el postmonolitismo, pero si la soldadura es simultánea a la construcción se ha de controlar la carga de agua. No hay problema si el embalse se vacía, pero si se mantiene el servicio hay que evitar el aumentar la carga hasta su nivel definitivo, en tanto el hormigón joven no ha madurado elásticamente para solidarizarse en la función resistente con la presa antigua.

Todo cuanto hemos dicho corresponde a una acción sobre las causas de los fenómenos en la junta, tanto del grupo a) como del grupo b), pero el efecto de las medidas no es en ningún caso total. Para alcanzar el monolitismo definitivo de la estructura se han de tomar precauciones en cuanto al diseño de la junta y al tratamiento de sus superficies, a fin de lograr la mejor trabazón.

Adarajas. — En todos los casos de monolitismo, simultáneo o no, debe de picarse vigorosamente el hormigón hasta descarnarlo profundamente. Cualquiera disposición de llaves y redientes mejora también la trabazón. Son muchos los tipos de adarajas empleados a este efecto. Es clásico el tablero de damas de la presa Ross (*waffle type*). Scalabrini comenta esta solución, así como las de las presas de Limberg (Australia), Mauvoisin (Suiza), en las cuales las artesas cuadradas se sustituyeron por formas también de artesa pero mucho más grandes y alargadas dispuestas horizontalmente. La conclusión de Scalabrini es que no son necesarias tales disposiciones para asegurar el monolitismo de la presa bóveda. Se pueden evitar, y por consiguiente el extra costo de encofrados, sin más precaución que la inyección cuidadosa de la junta. Todo ello por consecuencia de la posibilidad de proyecto de situar la junta en la sección, en zona tal, que las deformaciones en ella sean mínimas.

Semenza propugna la solidaridad a base de costillas en el paramento dispuestas según las juntas de construcción, solución que extrapolada lleva cuando se prevé el recrecimiento a la construcción de bloques interjuntas con su espesor total. Este es el caso del cuerpo central de la presa de O'Sshaughnessy. Se ahorra coste, en este sistema, con la construcción de bloques de sección horizontal en forma "T", pero en-

tonces Semenza aconseja una ligera armadura para combatir los esfuerzos propios de la discontinuidad dimensional y del diferente comportamiento en la retracción de los dos cuerpos.

En Grande Dixence, las juntas verticales y longitudinales de los bloques correspondientes a la construcción polilítica, se dispusieron en diente de sierra con ángulos aproximadamente normales a la dirección de las isostáticas.

Como resumen y en términos generales parece que el establecimiento de adarajas tiene más interés en las presas de gravedad que en la junta longitudinal de presas bóveda.

Inyección. — No es del caso el detalle de la técnica de la inyección de juntas. Citemos, sin embargo, la comunicación R-127, de J. B. Cooke y J. E. Schumann, que describe la forma en que se ha llevado a efecto en la presa Balch, en la cual se han tomado toda serie de precauciones en este orden.

Es interesante, sin embargo, señalar que para conseguir un mantenimiento en posición de las superficies de la junta durante la inyección, es conveniente una ligera armadura que resista los esfuerzos normales creados por aquélla aprovechándolos en un aseguramiento de la resistencia al deslizamiento [Scalabrini, R.-38].

Agrafes. — Los agrafes metálicos en la junta son solución clásica. Ya se emplearon en el primer recrecimiento de Assouan, en el cual la inyección se efectuó con pasta pura de cemento. En evitación de la fisuración de la superficie interna del cuerpo adicional, que tiene menor facilidad de enfriamiento, conviene disponer una ligera armadura en malla a fin de reparar y micromizar las grietas de retracción.

Cuando se difiere el monolitismo o cuando se pretende la independencia estructural, aparece la dificultad de mantener la separación entre la presa primitiva y el cuerpo adicional. Se salva disponiendo una ranura en la junta y remitiendo el apoyo del nuevo cuerpo a un sistema de costillas. Al retirar los encofrados se pueden rellenar las ranuras con áridos en seco, lo cual contribuye al mejor apoyo de la parte superpuesta. Ulteriormente se inyectan todos ellos, al mismo tiempo que se efectúa la soldadura. El empleo del hormigón *prepakt* para este caso parece obvio.

Los agrafes metálicos pueden servir también como sostenimiento del cuerpo superpuesto funcionando como bielas en las deformaciones relativas con respecto a la presa antigua.

Drenaje. — Mayor peligro que el desarrollo de esfuerzos secundarios en la junta es la eventual carga hidrostática en ella como consecuencia de una fisuración que la conectará con el embalse. Este es el gran inconveniente de las juntas longitudinales, especialmente en las estructuras delgadas (presas bóveda). Cualquier descuido en la construcción puede dar lugar a ello; las juntas horizontales de construcción son

el camino más propicio. En evitación de tal efecto ha de disponerse un drenaje eficaz de la junta, que alivie la carga de agua accidental. En las presas bóveda el drenaje se dirige hacia el paramento de aguas abajo (presa Balch); en las presas de gravedad han de disponerse galerías colectoras dentro del cuerpo de refuerzo.

En la junta horizontal de apoyo del recrecimiento es corriente disponer una sección machihembrada (Balch, Chicamba, Lake Spaulding).

42. El cimientó.

Poco o nada especial se puede decir con respecto al problema del cimientó. La excavación con dinamita cerca de una estructura es siempre desaconsejable. De ello resulta que salvo en casos muy claros en donde la firmeza del terreno permita un apoyo del cuerpo de refuerzo, se ha de tender a evitar este problema. A esta razón hay que atribuir, en parte, la popularidad de los recrecimientos directos con el empleo de cables pretensados. En las presas bóveda, el tema es también espinoso.

Al margen de las razones de seguridad, que siempre son relativas (en definitiva, es difícil se comprometa la estabilidad de la obra, aunque sí su calidad), se debe evitar ampliar el cimientó, por la carestía que significa cualquier operación de este tipo. En los casos de construcción por etapas, todos los autores coinciden en la conveniencia de construir en la primera etapa el cimientó correspondiente a la estructura total, o cuando menos, ejecutar su excavación. De la construcción del cimientó en la etapa primera resulta justamente el encarecimiento de esta fase con respecto al conjunto. ¿No sería posible la compensación de este encarecimiento con la reducción de la sección provisional mediante el empleo de cables pretensados? No conocemos ningún caso en que así se haya efectuado.

Sin embargo, la conveniencia, además de económica, alcanza al funcionamiento mecánico de la estructura, pues con los cables ya instalados en forma *ad hoc*, se podría, regulando su tensión, compensar el efecto de la carga durante el recrecimiento reintegrando totalmente la estructura a la "distribución cero" de esfuerzos.

Las posibilidades del hormigón pretensado con respecto a problemas de cimientó no pueden omitirse. El ejemplo de la presa de Beni-Bahdel es característico.

Un recrecimiento puede dar lugar, en muchas ocasiones, a la necesidad de apoyarse en estructuras geológicas distintas a la de la presa primitiva, o también a modificar la dirección y la magnitud de la resultante del apoyo hasta llevarla a valores insostenibles por el terreno. En Beni-Bahdel se modificó este resultante mediante su combinación con unas tornapuntas pretensadas. El sistema puede, indudablemente, extenderse.

Para terminar con los problemas del cimientó, recogemos la observación de Semenza sobre el caso de la construcción por etapas en que el cimientó se construye íntegramente en la primera. Entonces la carga sobre él durante esta primera fase, actúa excéntrica-mente. En estructuras delgadas esto puede dar lugar a la necesidad de una ligera armadura.

43. El aliviadero.

Es curioso que entre los informes recibidos no hay ninguna referencia a lo que parece una de las mayores dificultades técnicas de un recrecimiento, que es la construcción del aliviadero si la presa se ha de mantener en servicio.

Todo cuanto hemos tratado sobre el recrecimiento está basado en la carga hidrostática actuando como un parámetro; la existencia de un aliviadero en coronación implica la posibilidad de que este parámetro devenga una variable azarosa y accidental. Ello ha de tener su repercusión en la técnica de la construcción del recrecimiento, pues exige primero su planificación estacional y su construcción rápida y a cubierto de las contingencias de riada.

La solución que ya hemos citado, tal la recogida por H. Press, a base de empleo de bloques prefabricados anclados con cables pretensados sobre el aliviadero vertiente es rápida y eficaz, pero no totalmente, pues sólo vale para aquellos casos en que pueda no tener importancia el incremento de altura en el impacto de la lámina vertiente sobre el canal de descarga.

Dexter señala en su informe la necesidad de modificar todas las obras auxiliares de la presa por la influencia que, en sus dimensiones y funcionamiento, ha de tener el incremento de altura. El caso es particularmente importante en cuanto a los dispositivos para la disipación de energía a pie del aliviadero; el funcionamiento de éstos responde a una determinada velocidad crítica del agua, evidentemente alterada por la modificación de la altura.

No se puede pensar en el tema del aliviadero en conexión con el recrecimiento, sin afrontar el problema — siempre pendiente — de la existencia misma del aliviadero. La muerte más clara de un embalse, hoy por hoy, es el aterramiento. El recrecimiento puede permitir que la utilidad renazca; el recrecimiento en una extrapolación ideal podría también evitar la necesidad de aliviadero en coronación. Ambas razones conjugadas ¿no conducen a un aliviadero de compuertas inferiores que permitiera aliviar el aterramiento sin necesidad de afrontar los caudales de las riadas máximas, que bien podrían ser laminadas con un embalse convenientemente recrecido? No pretendo contestar la pregunta; es suficiente señalar una vez más este problema pendiente en la teoría de las presas. Grandes aliviaderos significan grandes pérdidas de agua. ¿Hasta cuándo podremos desaprovecharla?

Ya hemos comentado el informe de Bassevitch, que amplía el tema insinuado por el mismo autor en el V Congreso sobre la utilización de otros procedimientos que los gatos para la pretensión de los cables. Bassevitch describe distintos métodos conducentes todos al mismo objetivo. Explica, en particular, la inyección entre el cuerpo principal y el de anclaje de los cables y la utilización del propio peso de macizos de presa ingeniosamente dispuestos para su basculamiento controlado.

El procedimiento más extendido hasta la fecha es el de los gatos hidráulicos tipo Freyssinet.

No merece la pena extendernos en la tecnología del procedimiento de los cables pretensados, sobre el cual, en varios informes, se recogen informaciones muy completas. Citemos, en particular, el [R.-44] de P. I. Parker por su detallada descripción de varios casos y las conclusiones económicas que de ellos deduce en un estudio comparado.

Los cables están normalmente compuestos por hilos de $1/5''$, en número dependiente de la fuerza alcanzada en la pretensión, que varía desde 70 Tm. en el caso de la presa de Tansa (India) hasta 1 400 Tm. en la presa Howden (Inglaterra). Parker no ve dificultad al poder alcanzar fuerzas de 3 000 ó 4 000 Tm. sin variar los actuales procedimientos de anclaje y tensión.

El diámetro de los agujeros para los cables varía de $2\ 1/2''$ para cables de 70 Tm., a $14''$ para cables de 1 400 Tm. Ha de prestarse atención a estas perforaciones, pues son uno de los sumandos más importantes del coste. Hasta diámetros de $4''$ y profundidades de 60 m. se puede emplear la percusión; en mayores dimensiones hay que acudir a la sonda rotativa. El diámetro de $4''$ corresponde a cables de 200 Tm., que son los que dan mayor ventaja económica al método.

Las cabezas de tensión se construyen con hormigón armado; los propios hilos de cable sirven de armadura. También en algunos casos se emplean cabezas especiales de fundición (Tansa). Entre las cabezas y la presa se han de disponer pequeñas placas de reparto. Ha de tomarse en cuenta al calcular la pretensión el efecto de relajamiento que, normalmente, se considera entre el 15 y el 20 por 100.

La inyección de los agujeros es de enorme importancia, puesto que ha de asegurar la protección del metal permanentemente, a fin de evitar la más mínima corrosión. Modernamente, el empleo de cables compuestos de hilos paralelos facilita la inclusión del mortero entre los hilos. La operación ha de vigilarse cuidadosamente, pues también de ella depende un segundo efecto que es el de mejoramiento del hormigón circundante en casos de presas antiguas de mala calidad.

La cuestión básica del recrecimiento en las presas de fábrica hemos visto se plantea esquemáticamente en los dos puntos siguientes: a) La junta entre la estructura antigua y la nueva. b) El problema elástico derivado de que la construcción del cuerpo adicional se efectúe sobre un estado de deformación del existente. Hay, por consecuencia, que remitir al contraste de estos dos puntos las diferencias que el problema presenta al proyectarse sobre una empresa de materiales no cohesivos (?).

La soldadura de la junta desaparece como dificultad en el caso de materiales auténticamente no cohesivos. Si el equilibrio está meramente basado en el interrozamiento de las partículas, no hay razón para que prácticamente (son fáciles las precauciones constructivas que aseguren la homogeneidad de los materiales tangentes y hagan desaparecer el plano "estadístico" de contacto) pueda distinguirse en el conjunto la junta como solución de continuidad. Lo mismo ocurre en el caso de materiales muy cohesivos, cuyo comportamiento, totalmente plástico, les sitúa en una posición análoga con respecto a las deformaciones a la de los materiales nada cohesivos. Es el caso de las arcillas, cuyas deformaciones no son reversibles.

Puesto que el problema, tanto en el punto a) como en el b), radica, en definitiva, en el comportamiento en las deformaciones, la dificultad aumenta progresivamente conforme los materiales a tratar se alejan de los puntos extremos antedichos, que, en última instancia, coinciden en cuanto a su no reversibilidad. Además, y comparando las dificultades con las que se encuentran para una soldadura entre hormigones, hay que considerar otras muchas variables, o al menos la distinta intensidad con que afectan a las reacciones físico-mecánicas de materiales. Tales son la comparación, la edad, la meteorización, estatuto higroscópico, etc., que se proyectan sobre el material existente en forma difícilmente reproducible, o al menos muy difícilmente controlables en su reproducción artificial.

Puesto que los dos extremos que limitan, a efectos físico-mecánicos, toda la gama de materiales de suelos posibles son aptos para la soldadura, no hay razón aparente para que no resulte lo mismo en aquellos materiales de la gama intermedia (*lean plastic soils*) y menos si se tiene en cuenta la baja sensibilidad tixotrópica que estos materiales acusan. La dificultad no es teórica, es de orden práctico.

La conclusión a que llegamos, sin embargo, es que en las presas de tierra el problema de soldadura en la junta es más difícil si se quiere alcanzar la homogeneidad y la continuidad físico-mecánica del material que en las presas de fábrica.

En el núcleo, el material empleado es, normalmente, la arcilla pura. El recrecimiento ha de efectuarse con el mismo material por razón de la función imper-

meable que ha de desarrollar. La plasticidad asegura el comportamiento mecánico de la junta y la impermeabilidad se garantiza imponiendo la condición de que su longitud sea al mínimo dos veces la máxima carga de agua [Scott, R-92].

En el cuerpo de presa lo frecuente es evitar el problema de alcanzar la homogeneidad entre el material de aportación y el existente, aprovechando la estabilidad en las deformaciones de los materiales francamente granulares y no cohesivos. Este tipo de material es el que se emplea en los recrecimientos, conjugando con ello cualquier peligro de pérdida de resistencia con una eventual deformación del cuerpo de apoyo. Los cuatro casos presentados corresponde a la presa de Schwammenauel (Alemania, R. F.) [H. Press, R-3], Torre el Aguila (España) [C. Conradi, R-47] y Alamo Gordo y Pine View (U. S. A.) [C. J. Hoffmann, R-91] y se emplearon materiales granulares limpios para el recrecimiento.

En líneas generales, no tiene sentido en presas de tierra hablar del estado de deformación. En la medida en que puede no tomarse en cuenta la cohesión, la presa de tierra no se comporta elásticamente; sus deformaciones no son reversibles y al no serlo desaparece el problema de su eventual bloqueo en el recrecimiento. Todo esto, claro está, sin ningún valor absoluto, puesto que los conceptos de elasticidad y plasticidad tienen un valor muy relativo en las tierras cuyo comportamiento mecánico responde a un estado intermedio entre ambas condiciones, influido, además, por otros fenómenos de mucho más difícil control teórico, tales como las presiones intersticiales, y en definitiva, la tixotropía característica. Por esto, la diferencia que hemos marcado existe, con la violencia con que se ha establecido, únicamente en el caso extremo en que desaparezca en absoluto la cohesión o la plasticidad sea total.

La estabilidad del conjunto ha de comprobarse tal como se efectúa para una presa "zonada", pues el espaldón del recrecimiento constituye siempre una zona, incluso aunque la presa existente fuera homogénea, por las razones que más arriba hemos apuntado. No tiene objeto distraerse con las consideraciones que justifican el que esta comprobación a la estabilidad haya de seguir efectuándose por el método de la línea de rotura en sucesivos reajustes (*trial line*). Evidentemente, hay que añadir la comprobación en el plano de unión entre el antiguo relleno y la adición que, en determinados casos, puede ser una superficie de especial debilidad; en ella ya hemos dicho que es necesario siempre un elemento especial que asegure el rozamiento necesario.

El inconveniente fundamental del método procede de su coste. Las presas homogéneas se construyen así porque los materiales granulares son escasos en el lugar o de costosa explotación. Un recrecimiento ejecu-

tado según el esquema indicado será, por lo tanto, en estos casos, caro. Vemos así que el recrecimiento de la presa de Torre del Aguila costó 49 por 100 más que el presupuesto en otro proyecto anterior, en el que se proponía recrecer con los mismos materiales arcillosos que constituyen el cuerpo de la presa.

La decisión de ejecutar el nuevo proyecto se tomó al comprobar la dificultad de efectuar la junta con las tierras antiguas. Estas se presentaban muy cementadas, lo cual se debe, sin duda, a su alto contenido en *calcium carbonate* (60 por 100).

El trabajo sobre la presa Montgomery, presentado por G. W. Scott (U.S.A.), se refiere a un tipo de presa construida con escollera y con pantalla impermeabilizadora de hormigón asfáltico. En la elección de este tipo se consideró su facilidad de recrecimiento en comparación con la solución de tierra; no hay duda de que, tanto el nuevo relleno de escollera como la pantalla suplementaria de hormigón asfáltico, no tendrán ninguna dificultad para unir perfectamente con la presa ya construida.

La presa de Mingesetchaoursk, presentada por L. Bossovsky (U.R.S.S.), es un caso especial, pues su aumento de altura fué decidido durante la construcción, sin que hubiera lugar para ninguno de los problemas de juntas a que nos hemos referido. Es interesante esta presa por constituir una vuelta al método del "relleno hidráulico", abandonado hace años, quizá no tanto por los accidentes que en su día originó, como por el pujante desarrollo de los equipos mecánicos de movimiento y consolidación de tierras. Es posible que si los esfuerzos dedicados últimamente por la mecánica del suelo al estudio de la compactación mecánica se hubiera dirigido al "relleno hidráulico", éste se encontraría en posición mucho más ventajosa. El control cuidadoso durante la construcción, permitió, en el caso presentado por L. Bossovsky, ir conociendo en cada momento el coeficiente de seguridad de la estructura, que resultó mayor que el calculado, hecho que decidió el aumento de altura de la presa. De los datos aportados parece deducirse que la sensibilidad tixotrópica era alta, al menos antes de la consolidación definitiva; ésta puede ser una de las objeciones al "relleno hidráulico" y más todavía la posibilidad de depósito de arena fina por debajo de la densidad crítica, que darían una obra muy sensible a los efectos dinámicos. Esta última cuestión ha merecido la debida atención en la presa Mingesetchaoursk, situada en región sísmica, habiéndose efectuado determinaciones de sensibilidad a las acciones dinámicas, empleando técnicas poco conocidas. Es posible que entre los perfeccionamientos que la moderna Mecánica del Suelo pueda aportar al "relleno hidráulico", se encuentre el empleo, durante la construcción, de vibradores profundos que mejoren la densidad y estabilidad de las zonas arenosas.

II-6. RESUMEN Y CONCLUSIONES

1. *Más agua.* — La construcción de presas sigue un ritmo creciente en el mundo entero. Nada permite pensar que se haya alcanzado todavía la punta. Al repasar los objetivos que la dirigen, es posible que en países muy desarrollados se vea próxima la satisfacción total de algunos de ellos. Tal puede ocurrir con el control de riadas, la corrección fisiográfica de cauces, la navegación e incluso el riego, por agotamiento de terrenos cultivables.

En cuanto a la energía, el tema está en discusión ante las posibilidades de la energía nuclear. Al parecer, las conclusiones coinciden en que el desarrollo de ésta dependerá, en gran parte, de las disponibilidades hidráulicas. Las instalaciones nucleares requieren enormes caudales de agua. Además, y pese al gran avance que se registra en la mejora del coeficiente de variación de carga de las instalaciones nucleares, parece que se ha de tender a la utilización de hidroelectricidad para satisfacer puntas de consumo.

El suministro de agua, tanto para usos humanos como industriales no tiene límite a la vista. La construcción de embalses ha de proseguirse e intensificarse en función del acelerado crecimiento demográfico e industrial de la humanidad. En los próximos cuarenta años se espera se duplique la población del mundo.

2. *Ubicaciones limitadas.* — Ante tales exigencias, ha de acudir al aprovechamiento integral del agua disponible. Como los recursos topográficos y geológicos que permiten la construcción de embalses resultan inferiores a las exigencias del almacenamiento, se impone:

a) Una revisión de todos los embalses existentes hasta su aprovechamiento total (recrecimiento de presas).

b) Una planificación de la construcción de nuevos embalses hasta el aprovechamiento exhaustivo de las posibilidades naturales (construcción por etapas).

3. *Mejora de condiciones naturales.* — En la creación de un embalse, el hombre se limita a la construcción de una presa que sirva de tapón al recipiente creado por la propia Naturaleza. Al enrarecimiento de vasos útiles para embalses corresponde un aumento de la intervención del hombre en el complemento de la naturaleza. Los requisitos de impermeabilidad y resistencia mueven a la corrección de suelos y al tratamiento mecánico de laderas y cimientos. La escasez, asimismo, obliga a la construcción en zonas sísmicas y en terrenos cársticos que, años atrás, se hubieran descartado.

Todo ello ha de considerarse en el aprovechamiento exhaustivo; también cuenta en el estudio del recrecimiento de embalses ya existentes (son muchas las presas cuya altura se limitó por razones geológicas que no permitían el soporte de una estructura mayor

o la utilización del vaso a partir de una determinada altura).

4. *Potencial hidráulico.* — El valor del agua crece con la altitud. La altura aumenta el dominio del campo de las necesidades. El ideal sería disponer de almacenajes capaces de regular todos los recursos hidráulicos, a tenor de las exigencias de la demanda, a la misma altura que los propios manantiales. Esto es, en definitiva, el máximo del potencial de utilización.

Interesaría disponer de datos estadísticos sobre el ritmo del desarrollo hidráulico hacia este objetivo. Un embalse reduce la entropía hidráulica. Será fácil establecer un criterio para determinar la entropía máxima. Podría referirse a volúmenes totales o a caudales no regulados. Este último supuesto daría mayor calidad práctica al coeficiente.

En este punto nos referimos a los embalses reguladores y no a aquellos que, interpuestos en una corriente, no tienen otro objetivo que el de producir un escalón de salto para energía; en éstos, el agua juega como elemento estructural, creando una discontinuidad en la línea de pendiente sin alteración del potencial hidráulico.

5. *Rendimiento del incremento de embalses.* — La capacidad del embalse aumenta en ley más que lineal con respecto a su altura. Muchos factores intervienen, sin embargo, contra este mejor rendimiento volumétrico. Tales son:

a) La evaporación, que actúa en función de la superficie. b) La permeabilidad del terreno, que es función de la carga de agua. c) El aterramiento; y d) El rendimiento de la regulación, o sea el porcentaje de ocupación de embalse creado, que disminuye conforme aumenta éste.

6. *Visión de conjunto.* — No se puede reducir, por consiguiente, el aprovechamiento integral, que es imperativo para la humanidad, a un mero problema de estructuralistas. La Hidrología, la Geología, la Fisiografía, la Climatología y, en última instancia, una ordenación económica de orden superior, han de intervenir en fijar una política: la coordinación de las distintas demandas de los recursos hidráulicos decidirá, pero todo induce a pensar que la libertad de acción del usuario y del proyectista de las presas, cuyo ámbito de acción es todavía más reducido, quedará constreñida por la obligación de sujetarse a las exigencias del bien común.

7. *Puesta en valor de reservas estructurales.* — El problema de la presa no se puede plantear en abstracto. Ha de conseguirse el acoplamiento máximo a los recursos naturales, viendo la presa como un complemento a la naturaleza para crear el vaso. En el recrecimiento, además, ha de tenderse a aprovechar no sólo posibilidades remanentes de la Naturaleza, sino también los recursos inexplorados de la estructura anterior.

Es frecuente el encontrar, en presas ya construidas, un margen de estabilidad. Es seguro, en orden absoluto, y muchas veces cierto, a efectos prácticos, el que la estructura existente presente reservas elásticas aprovechables. La localización de los esfuerzos máximos y las pequeñas cargas de trabajo a que se somete el material en los tipos clásicos de presa, permite, al menos en determinadas zonas, nuevas solicitaciones sin superar las cargas de trabajo aceptables. La estructura de la presa existente en este aspecto se presenta como un embalse de energía elástica que debe ponerse en juego en el incremento de la función resistente.

8. *Comparación estructural del recrecimiento.* — El problema estructural del recrecimiento, en comparación con el de la nueva presa, presenta ventajas. La presa existente es siempre un principio de regularización geométrica del contorno natural de la cerrada. Cuando menos la homogeneidad de su material es otra circunstancia propicia para el mejor reparto de carga sobre el cimiento. Las dificultades fundamentales estriban en los siguientes puntos: a) Estado de deformación de la estructura sobre la que se ha de construir. b) La junta y en particular su soldadura. c) Ampliación del cimiento. d) Adaptación de las instalaciones auxiliares (aliviadero, amortiguador de energía, válvulas, etc.).

9. *Técnica del recrecimiento.* — La técnica actual, con sus posibilidades de acción sobre la temperatura de fraguado, la retracción del hormigón, las inyecciones y el hormigón *preplast*, puede afrontar con garantía la soldadura en la junta. Esta garantía aumenta con precauciones tales como adarajas, agrafes y el propio diseño de la junta siguiendo líneas isostáticas. Sin embargo, la construcción postmonolítica parece la solución aconsejable, puesto que, además de eliminar los problemas de control que la junta plantea en otro caso, resuelve el problema elástico del bloqueo de tensiones al construir y soldar simultáneamente sobre una estructura deformada.

10. *Los cables pretensados.* — El empleo de cables pretensados permite, en el recrecimiento, explotar los recursos de estabilidad y de energía elástica remanentes en la estructura primitiva, e incluso en el cimiento. Con ellos se pueden sostener sobre la presa primitiva nuevas estructuras, tales como pilas de aliviadero, o incluso el propio recrecimiento; también se puede hacer participar en el equilibrio estructural al propio terreno mediante el anclaje pretensado, que incorpora a la estructura el peso de toda la zona afectada.

Muchos dispositivos ingeniosos permiten también actuar en mejora de las condiciones resistentes del terreno o de la resultante de las cargas estructurales sobre él.

11. *Objeción a los cables pretensados.* — Sin embargo, el empleo de cables pretensados, que resuelve muchos problemas agudos, parece más adecuado para

una acción quirúrgica sobre la estructura que para una solución permanente. En la presa, la permanencia ha de ser perennidad.

La construcción de presas ha ido soslayando el hormigón armado convencional y manifestando en general una cierta repugnancia a toda intromisión del metal y de la mecánica. Por un efecto de mimetismo, la presa que complementa y se incorpora a la Naturaleza, parece que exige una existencia pétreo e inerte. No podemos pretender ninguna rotundidad en estas afirmaciones, pero es indudable que todavía es largo el camino por recorrer hasta dominar el comportamiento "biológico" del hormigón en grandes masas, y arriesgado, además, el depender de materiales metálicos y de mecanismos expuestos en sitios de difícil acceso a los agentes destructores naturales.

12. *La pretensión circunstancial.* — El relajamiento de la pretensión de los cables es consecuencia de la fluencia del propio acero, pero en mayor proporción del comportamiento plástico del hormigón bajo cargas permanentes. Sin embargo, el hormigón mejora con la edad sus condiciones elásticas ante cargas instantáneas. De ello parece desprenderse la conveniencia del empleo de dispositivos de pretensión, de una manera general o limitada a determinadas zonas del perfil, para entrar en juego únicamente en las condiciones de carga estadísticamente menos frecuentes y más cortas.

Es fácil imaginar sistemas que hicieran funcionar los cables exclusivamente en momentos críticos, tales como los correspondientes a la carga máxima, la sobrecarga por elevación de la lámina vertiente, o incluso al vaciado del embalse. Para establecer la pretensión de los cables en el momento requerido, se podrían utilizar acumuladores hidráulicos o cualquier otro mecanismo. Esto correspondería a abrir las compuertas de energía elástica almacenada en la presa para su empleo en caso de emergencia.

La sobretensión circunstancial, condicionada a la aparición de la carga extraordinaria y efímera, se acopla perfectamente con las propiedades específicas de los materiales. Las objeciones al mecanismo por mor de longevidad, subsisten y se acentúan en esta exploración especulativa de soluciones.

13. Pese a las objeciones anteriores, cualquier sistema es válido en el recrecimiento. El problema está precondicionado por la estructura existente. La solución ha de ser forzosamente casuística, y cualquier procedimiento es bueno si la función se cumple.

14. *Construcción por etapas.* — En la construcción por etapas, el grado de libertad es mayor y el campo más amplio. Sin restricción al ingenio ha de pretenderse centrar el tema en sistemas más rigurosos.

La pretensión parece que podrá significar un auxilio importante con vistas a la reducción de la construcción durante las etapas de permanencia temporal, manteniendo perfiles reducidos en compensación con el exceso de cimiento.

El monolitismo ha de aceptarse con toda clase de reservas. La localización conveniente de las juntas en zonas de esfuerzo tangenciales mínimos permite obviar o minimizar el problema de la soldadura. Si se resolviera la impermeabilización de las juntas horizontales, se multiplicarían los tipos aceptables de estructuras compuestas por secciones independientes.

Es evidente la conveniencia de la construcción postmonolítica, con pleno desarrollo de las posibilidades de aprovechar la interacción entre los distintos cuerpos estructurales para la creación de una distribución favorable de tensiones, tanto en el cimiento como en la estructura.

La reducción del tamaño de bloques hacia un auténtico polilitismo permitirá grandes ventajas con respecto al grado de isostatismo general de la estructura, que ha de aumentar en función del requerimiento, de adaptabilidad a terrenos débiles o heterogéneos.

El hormigón con función hidráulica ha de ser precomprimido. Parece que no tardará en desarrollarse la técnica que permita, con empleo de cables o sin ellos, la creación de estas precompresiones. Esta técnica podría extenderse al terreno y cimiento en mejora de sus condiciones hidráulicas y resistentes.

El título del tema que estudiamos no es sino una versión, o al menos una fracción limitadamente tecnológica, de otro mucho más amplio sobre el que es necesario y apremiante centrar la atención. Se trata del aprovechamiento integral de los recursos de agua y los medios para lograrlo, o sea, las grandes presas.

Para fijar objetivos, es imperativo organizar una información estadística que permita establecer una correlación entre las necesidades de la Humanidad, tanto demográficas como industriales, y las disponibilidades en agua y en ubicaciones aptas para la construcción de embalses. Sin esperar a la precisión cuan-

titativa, se puede anticipar la conclusión que, fatalmente, impone:

a) Una política de coordinación de usos del agua, fácilmente alcanzable, ya que simples condiciones geométricas (alturas, caudales) son los requisitos necesarios para satisfacer demandas de distinto origen. Ha de desarrollarse la teoría del embalse y de su explotación múltiple y conjugada. Muchos puntos están ya estudiados, y una simple recopilación sería útil y eficaz.

b) Una política de prospección sistemática de ubicaciones y de aprovechamiento exhaustivo de las existentes.

La civilización industrial a la que pertenecemos; la Humanidad misma, tienen origen fluvial. A través del mar la civilización se ha transmitido, y es posible que a este destino se añada en el futuro la subsistencia alimenticia, pero el "habitat" del hombre es el continente, y en él la civilización ha progresado y progresará en función de las disponibilidades de agua. (Es curioso el repaso en la Historia de la reacción — fluvial, marítima o continental — de las distintas civilizaciones, en contraste con su proyección expansiva.)

Las presas, para controlar el agua que la Humanidad requiere, han de ser cada día mayores, auténticas macroestructuras. En menos de cuarenta años, la altura máxima alcanzada por una presa, que era de 100 m. en el año 20, ha llegado al pie de los 300. Los recursos de la técnica han superado las extrapolaciones aceptables sobre las bases de partida. De igual modo se han rebasado módulos de todo orden. Parece obligada una revisión general, y desde luego, de la teoría en que se ha de apoyar la estrategia ante el nuevo problema.

II-7. BIBLIOGRAFIA

Información sobre citas recogidas en el texto.

(No se incluyen las referencias correspondientes a los C.I.G.P.)

1. A. Coyne: "Leçons sur les Grands Barrages". *École des Ponts et Chaussées*, París, 1943.
2. J. L. Gómez Navarro: *Salto de Agua y Presas de Embalse*. Madrid. Ed. 1953.
3. N. Kelen: *Gewichtstauwehrn*. Berlín, 1953.
4. *Engineering News Record*, Enero 1956.
5. E. Freyssinet: "L'idée française de la précontrainte". *Travaux*, julio 1957.
6. A. Coyne: "Perfectionnements aux barrages poids par Padjonction de tirants en acier". *Le Genie Civil*, 23 de agosto de 1930.
7. M. Drouhin: "Consolidation du Barrage des Cheurfas". *Annales des Ponts et Chaussées*, agosto 1953.
8. — "Notice le Barrage des Beni-Bahdel". *Service de la Colonisation et de l'Hydraulique*. Orán.
9. C. V. Davis: *Handbook of applied hydraulics*. Chicago, 1952. Madrid, 1956.
10. *Engineering News Record*, 26 de abril de 1923.
11. "Raissing O'Shaughnessy Dam". *Engineering News Record*, 25 de mayo de 1923.
12. "Power Dam Raised 30 Ft. Under Full Head". *Engineering News Record*, 17 de agosto de 1933.
13. H. Gicot, A. Stucky, E. Meyer-Peter: *Rapport des Experts Federaux*. Grande Dixence.
14. "Lages Dam Is As Rio Powoer". *Engineering News Record*, 4 de agosto de 1949.
15. "Seattle's Ross Dam Steps Up Among 'The Word's Tallest Western". *Construction News*, Febrero 1949.
16. C. Sáenz: *Forma empírica de las curvas características de los embalses*. Julio 1934.
17. J. J.-Aracil: "Recrecimiento original de una presa". *Revista de Obras Públicas*. Septiembre de 1949.
18. R. A. Sutherland: "Some aspects of water conservation". *Transactions of A.S.C.E.* 1932.
19. V. Muñoz Oms: "Energía nuclear y su repercusión en los sistemas eléctricos". *E. E. de I. de C., C. y P.* 1956.
20. W. B. Langrein: "Limit Is Seen on Reservoir Building". *Engineering News Record*, 12 junio 1958.
21. A. Coyne: "Nouvelles applications de la synthèse statique des construction". *Le Genie Civil*, 15 de febrero de 1936.
22. J. A. Gallego y C. Safranez: "El recrecimiento de presas". *Revista de Obras Públicas*, Octubre 1947.
23. "Mulholland Dam Backed by Earthfil Against Downstream Face". *Engineering News Record*, 3 de mayo de 1934.
24. "Le barrage de L'oued Fergoug". *Terres et Eau*, Mayo de 1948.
25. M. Petry: "Applications des granss sacs de béton aux fondations des diques et des phares de mer Consolidation des Soubassements de phares par scellement de fers tendus". *Annales des Ponts et Chaussées*, Núm. 17, 1934.
26. F. Contessini: *Dighe e Traverse*. Milano, 1953.
27. E. Wegmann: *The design and construction of dams*. New York, 1927.
28. E. Vallarino: *Contracciones de fraguado en grandes presas*. Madrid; 1951.