

EL APROVECHAMIENTO HIDROELECTRICO DEL PANTANO DEL TRANCO DE BEAS

Por JOSÉ LUIS MENDOZA, Ingeniero de Caminos.

En este segundo artículo sobre el tema del epígrafe, justifica el autor las ventajas que, a su juicio, presenta la solución adoptada de Central subterránea y socaz en túnel sin presión, desechando las de galería a gran presión.

II

En nuestro artículo anterior dejamos de exponer las razones por las que habíamos optado, en nuestro proyecto, por la solución de central subterránea y socaz en túnel sin presión, desechando la de galería a gran presión, para tratar el tema con mayor detenimiento.

En la Memoria del proyecto presentado a la aprobación de la Administración, se discuten ampliamente las ventajas e inconvenientes de ambas soluciones, y ahora sintetizaremos todo lo posible las ideas para no dar tampoco excesiva extensión a un tema en el que la apreciación subjetiva juega papel muy principal.

Hay que tener en cuenta, como elemento de juicio esencial, las características del terreno en que quedarían situadas ambas galerías. Se trata, como ya dijimos, de calizas del jurásico medio e inferior, resistentes, pero muy permeables. Se muestran, en la mayor parte del trazado, en potentes bancos de sanísimo aspecto, lo mismo a cotas superiores (galería de presión) que a cotas inferiores (socaz sin presión) y, por lo tanto, sin dificultades previsibles de tipo mecánico o de estabilidad que resolver, pero tienen las fisuras y diaclasas propias de esta clase de terrenos, que los convierten en verdaderos "coladores". El problema de la permeabilidad habrá de presentarse en ellos siempre a manera de un "Comendador", auténticamente filtrante por las paredes en este caso, anunciado previamente y dispuesto a aguar la fiesta.

Las galerías de presión fuerte, como es nuestro caso, en que alcanzamos, a embalse lleno y con golpe de ariete, las ocho atmósferas, por terrenos permeables, hay que considerarlas siempre con mucho respeto. El eminente Ingeniero Dr. Otto Walch, Director de la Siemens Banunion, primera casa constructora alemana, dice en su libro *Die Auskleidung von Druckschächten und Druckschloten*, lo siguiente: "Si se pasa revista al gran número de galerías de presión construidas, se encuentra que muy pocas son impermeables, y si se estudia caso por caso las que lo son, se comprueba que la ausencia de fugas es debida, la mayoría de las veces, no a la calidad del revestimiento, sino a las circunstancias especiales del terreno (impermeabi-

lidad, contenido de agua o gran recubrimiento)". Se exceptúan de esto, naturalmente, las galerías revestidas de palastro, prohibitivas, la mayoría de las veces, por su excesivo coste.

La anterior afirmación de un Ingeniero tan autorizado como Otto Walch, es, por otra parte, fácilmente comprensible en líneas generales. Los revestimientos de todas las galerías de presión trabajan a tracción, y el único material susceptible de trabajar adecuadamente a tracción es el material metálico. Todos los demás pueden dar origen a grietas, que serán causa de fugas de agua.

Las tensiones del revestimiento son calculables, aunque no exactamente, porque desconocemos el módulo E de elasticidad de la roca *in situ*, que no es nunca el mismo (acaso ni aproximadamente) que el que pudiéramos experimentar en un Laboratorio con muestras obtenidas en el terreno, aisladas de toda influencia de presión, contacto, planos de deslizamiento, grietas, etc., que actuarían sobre la muestra en su emplazamiento. De todas maneras, podemos fijar dos valores límites, razonables a E , que nos permitan operar dentro de dos órdenes de magnitud.

En el caso de la galería de presión del Tranco, teniendo en cuenta la influencia de las variaciones de temperatura, llegábamos a las tensiones máximas siguientes, para hormigón sin armar:

Para $E = 20\,000$ Kg./cm. ²	$t = 10,02$ Kg./cm. ²
" $E = 200\,000$ "	$t = 31,62$ "

El desconocimiento de la posición exacta entre estos dos valores de t , induce a calificar de imprudente la solución de revestimiento de hormigón sin armar.

Hechos los cálculos de tensiones en el revestimiento, supuesto éste formado de una corona de hormigón sin armar y una capa de gunita armada en el interior, llegábamos a valores de tensiones admisibles para el hierro, cuando la armadura tenía un peso equivalente a chapa de 4 mm., que es una cantidad de hierro redondo bastante importante. Además, la ejecución es costosa y delicada. Pero sobre todo, y de acuerdo con Otto Walch, no lograríamos tampoco una buena impermeabilidad, aun por muchas precauciones que adoptásemos en la construcción. No es tan fácil

conseguir que la gunita acompañe, sin agrietarse, a la armadura en su deformación.

Pero es que, además, para llegar a la determinación de estos valores extremos, hemos tenido que hacer, en el cálculo, varias hipótesis que forzosamente estarán muy alejadas de la realidad. Hemos admitido una perfecta adherencia o continuidad entre el revestimiento y el macizo rocoso, lo cual no es posible, ni aun teóricamente, sin olvidarnos de la retracción de fraguado. Tampoco es posible realizar, prácticamente, esta continuidad. Las inyecciones de lechada de cemento detrás del revestimiento serían siempre necesarias, pero nunca capaces de garantizar un relleno total, porque, por lo general, nada de lo que se ejecuta a ciegas puede ofrecer verdadera garantía.

Otra hipótesis que sirve de base para el cálculo de las tensiones, es la de que los módulos de elasticidad E , del hormigón armado o sin armar y del macizo rocoso, son los mismos; pero esto puede ser o no ser una simple coincidencia, y lo más probable, naturalmente, es que no lo sea. Si el módulo E del macizo rocoso es más elevado que el del revestimiento, lo que no es verosímil más que en rocas de singular dureza, aquél absorberá tensiones más grandes que éste, y si se produce la grieta en él, se transmitirá seguidamente al revestimiento, que quedará sobrecargado al romperse la roca.

Si el módulo de elasticidad del macizo rocoso es inferior al del revestimiento, caso más frecuente, éste soportará tensiones más altas de las calculadas, y las probabilidades de grietas serán mucho mayores.

Ciertamente, en los cálculos se admite una precisa colaboración elástica, sin discontinuidades, según un radio cualquiera y en todos por igual, entre el revestimiento y el macizo rocoso, lo cual está muy lejos de ser cierto por innumerables motivos, varios de los cuales escapan al dominio de la técnica de ejecución más perfecta, y de los que citaremos dos importantes:

1.º Los efectos del enfriamiento, con la consiguiente contracción del revestimiento y aumento del diámetro de la excavación, al pasar por la galería el agua a temperatura inferior a la de la roca, que origina una separación entre ambos.

2.º La formación poco uniforme de la roca, desde el punto de vista elástico, puesto que tiene estratos, diaclasas, posibles fallas, incrustaciones, humedad variable, etc., todo ello con efectos imprevisibles sobre la dirección e intensidad de las líneas de fuerza.

Se comprende, con todo lo que vamos exponiendo, que la afirmación de Otto Walch, fruto de su experiencia, de que no hay ninguna galería de fuerte presión que sea impermeable, tenía que ser muy cierta.

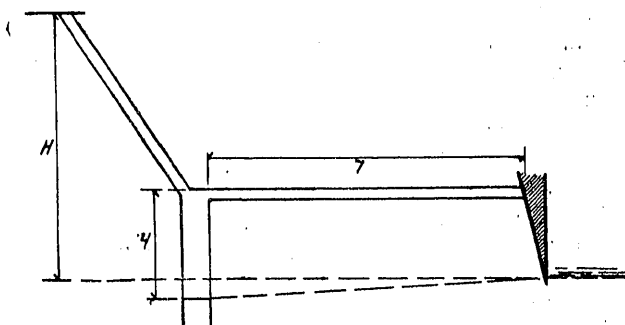
Por lo que se refiere a nuestro proyecto de aprovechamiento hidroeléctrico del Tranco, y teniendo en cuenta la gran permeabilidad de las calizas jurásicas, el problema adquiriría verdadera gravedad, y por nuestra parte, sin necesidad y sin motivos para avanzar

más de lo debido en el establecimiento de premisas demasiado pesimistas, nos limitamos a plantearnos una, a nuestro juicio incontrovertible: "Las galerías de fuerte presión, en terrenos permeables, tienen un importante factor de riesgo de fracaso, aun extremando las garantías de proyecto y ejecución."

Esto establecido, la pregunta que cabe hacerse, en el caso del Tranco, es la de si merece o no la pena de correr este riesgo, que en otros aprovechamientos hidroeléctricos del mundo no cabe duda que han corrido, puesto que hay bastantes galerías de fuerte presión.

Lo primero que procedía era encontrar la manera de valorar este factor de riesgo, con relación al que tendrían, cuando se proyectaron, esos otros aprovechamientos.

Vamos a admitir que todos los saltos con galería de presión de que hemos podido recopilar datos, estuvieran situados en terreno de calizas jurásicas permeables idéntico al del Tranco, para colocarlos en



igualdad de condiciones, lo que en una gran mayoría de ellos supone concederles importante ventaja. El factor de riesgo crece con la presión de la galería, h ; crece también con la longitud de la galería, L , pues es evidente que cuanto más fuerte sea la presión a que esté sometida la galería y mayor su longitud, mayores serán las probabilidades de fracaso. Pero este producto $L \times h$, que nos daría ya un índice de por sí, del factor de riesgo, digamos absoluto, vamos a dividirlo por H , que es la altura total del salto utilizado, y tendremos el *factor de riesgo relativo* para cada salto, que es mucho más elocuente y más honrado, porque ¿qué duda cabe que cualquier riesgo merece ser afrontado para ganar, por ejemplo, un salto total de 2 000 metros de altura? Sin embargo, ese mismo riesgo absoluto sería inocente afrontarlo para aprovechar un salto de 110 metros.

Pues el *factor de riesgo relativo*, correspondiente a la discutida galería de presión del salto del Tranco, aparece en la siguiente lista, unido a los *factores* de otros 27 saltos, también con galería de presión, de los más conocidos en Europa:

	$\frac{h}{\text{Metros}}$	$\frac{H}{\text{Metros}}$	$\frac{L}{\text{Metros}}$	$\frac{h}{H} \cdot L$
Alpes Orobies (Italia)				
Salto III.....	10	400	1450	36
Strubklam (Austria)	25	1265	2450	48
Alto Belice (Italia).....	32	475	850	56
Gressoney (Italia).....	82	746	800	88
Isola (Italia).....	60	931,10	1500	96
Lago de Avrio (Italia)...	22,3	772,50	3500	101
Leitzach (Austria).....	20	120,6	651	109
Galeto (Italia).....	33	213	30	113
Alpes Orobies (Italia)				
Salto II.....	53	719	1681	125
Barberine (Suiza).....	65	763	2200	187
Las Conchas (España) ...	30	210	1450	208
Mörel. Ródano (Francia) .	21	263,5	2950	236
Dhron (Alemania)	15,2	102	1857	278
Wagital II (Suiza).....	30	194,2	2400	372
Alpes Orobies (Italia) ...				
Salto IV.....	45	486	4364	405
Salto del Nansa (España) .	76	330	1800	417
Bohi (España).....	18	400	10000	450
Sallent (España).....	100	685	2650	462
Burguillos (España).....	50	83	800	480
Nove (Piave-Italia).....	18	96	2900	545
Teigitsch (Austria).....	35	245,8	5256	750
Innertkirchen (Suiza)...	56	672,2	9953,5	831
Partenstein.....	38,65	182,5	5522	1160
Wagital I (Suiza).....	70	241,5	3677	1060
Heimlach (Alemania)...	45,4	111	2850	1160
Murgwerk (Alemania) ...	27	126	5633	1205
Fadalto (Piave-Italia)....	55	109	2530	1280
TRANCO (España).....	77,1	109,5	3000	2120

Vemos en el cuadro anterior que a la galería de presión del Tranco le corresponde un índice aproximadamente el doble que a la de Fadalto, que es la que lo tiene mayor. Se comprende la necesidad que ha habido de poner en juego el ingenio para tratar, en lo posible, de eludir la galería de presión, sin caer,

por otra parte, en soluciones que acusaran inconvenientes más graves.

Es cierto que haciendo la central y el socaz por debajo del cauce del río, aunque con bastante distancia en planta, existe mayor posibilidad de que las filtraciones del agua que discurre por el río dificulten los trabajos de la excavación de la central y del túnel. Por ello ha sido necesaria la colaboración de los geólogos para tratar de averiguar, en la medida de lo posible, hasta qué punto estas dificultades podrían llegar a imposibilitar los trabajos o encarecerlos excesivamente. Nada se deduce de los informes de los geólogos que determine como prohibitiva la ejecución de los trabajos, dada la excelente resistencia mecánica del terreno. Tanto en una como en otra solución, hemos de encontrar agua durante la construcción, pero ni en una ni en otra, en cantidades tales que sean inagotables o indominables. Durante cinco meses del año, el río estará normalmente cortado por el embalse, con lo que desaparece en estas épocas la desventaja que pudiera haber, durante la construcción, de una solución respecto a la otra. En todo caso, siempre podemos cortar el agua que discurre por el río, si fuera imprescindible, cerrando los desagües de la presa.

Creemos que al proyectar se debe perseguir la seguridad, inalterabilidad y menor coste de conservación de la obra, una vez terminada, sin detenerse por la posibilidad de la existencia de algunas más dificultades durante la construcción, especialmente cuando para vencerlas existe, como en nuestro caso, un amplio margen económico de diferencia a favor de la solución subterránea. Este margen económico se deduce, principalmente, de que el revestimiento de la galería de presión habría de ser todo él armado, mientras que el del túnel socaz, no, y de la supresión de la enorme y costosísima chimenea de equilibrio que se necesitaría en terreno casi inaccesible.

No queremos cansar la atención del lector exponiendo todavía algunas razones más, si bien secundarias, que, a mayor abundamiento, justificarían la solución adoptada, porque creemos suficientes las expuestas.