

ros especiales en el improbable caso de saltar alguna pieza de la coronación.

El carácter general de las obras de que se ha pretendido dar idea armoniza con lo abrupto y vigoroso del terreno, del mismo modo que los valles y alegres pueblos de las llanuras espléndidas de vegetación parece reclaman las filigranas de sillerías y las obras atrevidas y elegantes.

Además de esto, gran parte del Pirineo es pobre en materiales de construcción, y es preciso resolver con mamposterías, hormigones y ladrillo, no en todas partes barato ni de buena calidad, el problema de la construcción de las obras en carreteras, cada vez más apurado por el acicate de la economía que como principal se impone al Ingeniero, por la insuficiencia de nuestros pobres recursos ante las necesidades de día en día crecientes.

Gerona Mayo de 1913.

FEDERICO MORENO.

Presa y canal del Gállego.

Objeto de la obra.—El objeto de la presa de derivación del río Gállego y del canal del mismo nombre, que en ella tiene su origen y que termina en el pantano de la Sotonera, es contribuir á la alimentación de éste, junto con el canal del Cinca y las aportaciones directas del Sotón y el Astón.

Situación de la presa y trazado general del canal.—Se ha fijado en el capítulo anterior la situación que debía tener la presa de la Sotonera, con lo que quedaba determinada la del embalse que con ella se producía. Se estableció allí que su nivel máximo venía limitado por el del canal del Cinca, no pudiendo rebasar la cota de 417 metros sobre el del mar.

Esta última determina también el nivel superior que podrán alcanzar las aguas del canal del Gállego en su extremo inferior, donde se reúne con el pantano de la Sotonera. Fijada esta cifra, y adoptada una pendiente para el canal que guarde relación con su sección, capacidad y naturaleza de sus paredes, fácil es determinar el tramo del río Gállego en que deberá tener su origen y situarse la presa de derivación.

Pero el problema, dada la configuración de los terrenos atravesados, no se presenta con esta sencillez, porque hay un elemento, la altura de la presa, que puede hacer variar su situación entre límites muy extensos.

En el primer estudio realizado, se partió de una capacidad de conducción del canal igual á 40 metros cúbicos por segundo, que se ha elevado luego á 50, por las razones en otro lugar expuestas. En aquel estudio, además, después de fijar en 0,0005 la pendiente media del canal, se consideró como la más satisfactoria, la que podría llamarse solución límite, de remontar el río para asignar á la presa la altura reducida, casi mínima, de 2,29 metros sobre el lecho del Gállego. Esto conducía á un desarrollo de canal de 20.058 metros, con un presupuesto total que se apreciaba en 6.767.000 pesetas.

El trazado, forzado á seguir la orilla izquierda del río, por terrenos muy escarpados en su origen, surcados luego por barrancos profundísimos, constituidos por arcillas, margas y areniscas, resultaba de una dificultad extremada, siendo seguro, á juzgar por el proyecto formulado, que la apreciación primeramente hecha de su coste hubiera resultado notablemente excedida en la realidad.

Circunstancias tan adversas han motivado el estudio de todas las demás soluciones que se han considerado posibles.

Fué la segunda de ellas la que establecía la presa de 10,50

metros de altura junto al barranco de Malopino, con rasante, en el origen del canal, á la cota de 419 metros. El remanso inundaría el molino Molinaz, que habría que expropiar, y la longitud de canal se reduciría á 14.892 metros. Esta solución, sin evitar de la parte difícil del trazado más que los 5.166 primeros metros, representaba, con respecto á la anterior, alguna economía, pero todavía resultaba muy costosa.

En vista de esto, se bajó la presa siguiendo el curso del río, hasta situarla en un punto conveniente del cauce, que se halla á unos 200 metros aguas arriba del puente del Ardisa (carretera de Ayerbe á Egea de los Caballeros). Resulta aquélla con una longitud de 80 metros y una altura de 18 sobre el lecho del río. El canal tiene un desarrollo de 11.634 metros, y la cota, en el origen de su solera, es igual á 417,26 metros.

Esta tercera solución, que se ha representado en la hoja misma de los planos en que aparece dibujada la traza del canal del Gállego definitivamente elegida, resulta aún más ventajosa que la segunda, por reducir en 3.158 metros la longitud del canal en su sección costosa, evitando, además, la expropiación del molino Molinaz y la necesidad de hacer la toma en vertedero, ventajas que se traducen en una economía de unas 300.000 pesetas.

Ello nos ha movido á estudiar una última solución eligiendo, para derivar el canal, un punto del Gállego, situado á unos tres kilómetros aguas abajo del puente de Ardisa citado, en que el río se presta admirablemente, tanto para establecer la presa en excelentes condiciones, como para instalar muy económicamente un amplio aliviadero de superficie que desagüe á mucha distancia de su pie, evitando en ella todo peligro de socavaciones, dándose así solución satisfactoria al problema de sustituir, en una longitud algo considerable, el actual cauce del río Gállego por otro artificial (que no otra cosa vendría á ser el canal de descarga del aliviadero), sin que se exijan excavaciones de importancia, ni pueda temerse que la corriente las produzca en el transcurso del tiempo, al menos que puedan ofrecer algún peligro para la presa misma, ó para los terrenos colindantes.

Esta situación de la toma del canal permite desarrollar éste por terrenos abiertos, en que el movimiento de tierras ha de ser muy moderado, y la longitud en túnel se limitará á 866 metros, de los 8,130 que en total tendrá el canal. Este sigue el trazado de la solución anterior en sus últimos 7.206 metros.

Resulta, pues, que la longitud de canal, con respecto á la solución tercera, se acorta en 3.504 metros, desapareciendo por completo la parte más difícil y costosa, con la economía que esto representaba para la sección al principio admitida de 40 metros cúbicos por segundo, que aun es mayor al elevar ahora á 50 metros cúbicos la capacidad de conducción.

No se consiguen todas estas ventajas sin que, en parte, se hallen compensadas por otros inconvenientes, representados por la mayor longitud y altura de la presa, que en la coronación tiene 280 metros de desarrollo y que alcanza, en la parte más profunda, 29,64 metros de altura sobre el lecho del río, constituyéndola en una presa de derivación y elevación de altura considerable.

Esto no obstante, tal solución se impone, dada la situación del embalse de la Sotonera, por dos razones decisivas: es la más barata y es la más segura.

No hemos vacilado, pues, en adoptarla.

Independientemente de estos motivos, ha de notarse también que con la solución que se propone, aún más que con las otras estudiadas, se obtendrán en la corriente del Gállego efectos muy sensibles de regularización que, unidos á los más importantes á que dará lugar el pantano de La Peña, alargarán notablemente la ola de las avenidas y facilitarán su utilización para la Sotonera

en condiciones mejores todavía de las que se han supuesto al calcular la alimentación de aquel embalse.

Arrastres.—Flotación de maderas en el Gállego.—Los arrastres del Gállego no pueden ser de importancia en el punto que se considera, situado aguas abajo de varias presas de derivación importantes, que los detienen, y del pantano de La Peña, que ha de almacenar todos los más pesados. Tan sólo los ligeros, que la corriente lleve en suspensión, y las aportaciones, poco importantes por lo demás, de los afluentes inferiores al pantano citado, podrán acumular algunos depósitos, durante el transcurso de muchos años, en el remanso que formará la presa del Gállego constituyendo un verdadero embalse muerto.

De consiguiente, no es de esperar que los aterramientos que se produzcan sean importantes, pero aunque así no fuera, los inconvenientes que podrían ocasionar se limitarían a la mayor erosión que los arrastres determinasen en el labio del vertedero y en el canal de descarga, y al riesgo de depósitos frente a la toma del canal. En cuanto a lo primero, dada la amplitud del vertedero, el peligro no existe prácticamente; y respecto a lo segundo, si los depósitos se presentan, nada será más fácil que evitarlos, abriendo la compuerta de limpia que se ha establecido con tal objeto en la parte alta de la presa, y que originaría una corriente enérgica por delante de la toma del canal.

De la flotación de maderas no es preciso ocuparse, pues no existe ya en el Gállego; pero si se restableciera el aliviadero daría en todo tiempo paso fácil a las almadías.

Sondeos realizados.—Los sondeos verificados con sonda rotativa en la parte del Gállego que ha de ocupar la presa, acusan un lecho de gravas sueltas y modernas, con espesor medio de 2,50 metros, próximamente, descansando sobre un fondo de margas muy compactas, de color pizarroso, que presentan notable resistencia a la intensa acción erosiva de las gravas del río. Los sondeos se han profundizado tan sólo hasta 6 metros por debajo del lecho, porque se supone que las margas han de tener aquí, como en otras partes de la misma formación, un espesor considerable, a menos que no alternen con bancos de arenisca, más resistente aún que las margas mismas, y prácticamente impermeables, porque son siempre muy arcillosas.

Estudio de los terrenos y de la impermeabilidad del vaso.—Los sondeos del fondo y el examen de las márgenes revelan que el terreno, que pertenece al mioceno lacustre y al diluvial, está constituido por margas, areniscas y gravas, en bancos próximamente horizontales y concordantes.

El cauce, en todo el curso a que afecta el embalse, es resultado de la erosión de las margas y areniscas por efecto de la corriente; en su lecho se encuentra la capa de gravas, de formación moderna, acusada por los sondeos por debajo del agua y que, cuando el nivel de ésta baja, se descubre también en las orillas.

Fuera del cauce, por encima de los bancos de margas y de arcillas margosas, aparecen en la superficie, junto al río, depósitos considerables de gravas, de origen diluvial, que, en el sentido de la corriente, se extienden desde el barranco de Vallipuerto hacia aguas abajo, con anchura muy variable, desapareciendo en varios puntos.

De lo expuesto se infiere que el terreno será casi en absoluto impermeable. Las capas de margas del fondo, por su naturaleza y espesores, se opondrán completamente al paso del agua, y las areniscas, muy compactas y arcillosas, aunque no tan en absoluto impermeables, se colmatarán rápidamente, si es que al través de ellas se llega a producir alguna leve corriente que dé origen a ligerísima resudación.

Las gravas del lecho, bastante sueltas y no finas, han de ser

levantadas para cimentar la presa, y en cuanto a las que afloran en las márgenes del cauce, podría suceder que dieran lugar a filtraciones que, teniendo su origen del lado del embalse, contorneasen la presa por sus estribos y vinieran a aparecer aguas abajo de ella en los escarpes.

Estimamos, sin embargo, que semejantes filtraciones no pueden resultar inquietantes, porque siendo pequeña la carga de agua, muy compactas y con poquísimos huecos las gravas y largo el camino que han de recorrer las aguas, por mucha que se quiera suponer su velocidad y grande la sección, el gasto total será muy reducido. Así, admitiendo que la sección filtrante alcanzara 300 metros cuadrados, cifra seguramente muy exagerada, y que el gasto se elevara a 50 metros cúbicos por día y metro cuadrado, lo que es también extraordinario, el gasto total ascendería a 15.000 metros cúbicos diarios, es decir, a unos 175 litros por segundo, lo que resulta insignificante enfrente del caudal de 15.000 a que, de ordinario, tendría que darse paso por el aliviadero para respetar los aprovechamientos inferiores. Además tales filtraciones, si en efecto se presentasen, poco peligro podrían representar para la obra.

En la zona atravesada por el canal, a más de la capa de tierra vegetal que, si bien de poco espesor, casi nunca falta, se encuentran, principalmente, arcillas, algunas muy compactas, margas y areniscas, éstas en bancos de poco espesor. Se encuentran, además, depósitos de gravas que, fuera de las márgenes del río, son a veces de gran compacidad y llegan a constituir verdaderos conglomerados.

Clase de presa elegida.—La naturaleza de la roca en el fondo y paredes del cauce del Gállego, permite cimentar en buenas condiciones una presa de fábrica, pues es evidente que las margas tienen resistencia sobrada para soportar la presión máxima a que en el punto más cargado pueden llegar a verse sometidas, y se prestan muy bien, además, para obtener entre las fábricas y el terreno una unión enteramente impermeable, que evite todo peligro de filtraciones. Y, como no se trata de una presa vertedero, en que la caída de las aguas pudiera dar lugar a socavaciones en el pie, que siempre son peligrosas, es evidente que el terreno contiguo a la presa, resguardado de todo ataque y cubierto de gravas y fangos, se hallaría, menos que ahora, expuesto a degradaciones de ninguna clase. Tan sólo en el desagüe que se proyecta al través de la presa, en su parte baja, podrían ser de temer las erosiones producidas por la corriente, y aunque dicho desagüe ha de estar normalmente cerrado y ha de funcionar muy poco, lo que permitirá reparar fácilmente las degradaciones, si llegaran a presentarse, se ha creído que, para mayor seguridad, convenía en esta parte del cauce establecer un escollero a continuación de la galería. Hecho esto, ninguna precaución más es necesaria.

Pero hay que apuntar que acaso no es la presa de fábrica la única solución posible. Si no se tratara de altura de agua tan considerable como es la de 32,14 metros a que deberá estar sometida la proyectada, no hay duda que una de tierra con núcleo de fábrica, o mejor aún, de tierra y escollera, constituiría una solución muy satisfactoria y, desde luego, más económica que la que presentamos. No creemos imposible, sin embargo, el encontrar las garantías suficientes en una presa de las clases indicadas, aun para una carga tan grande como la que debería sufrir; pero como no hemos podido, hasta el presente, reunir todos los antecedentes que un estudio concienzudo de este linaje de obras reclama, hemos creído lo prudente presentar un tipo, más caro probablemente, pero que ofrece las garantías de una seguridad completa y de estar sancionado por una experiencia dilatada y favorable.

Cimiento y empotramiento de la presa.—El cimiento de la presa se hará directamente sobre las margas del lecho, profundizando lo necesario (en el proyecto se ha supuesto 2,50 metros), hasta alcanzar las que se hallen por completo exentas de la influencia del agua y arrastres del Gállego. Se escalonará, además, el plano de cimientos, al practicar esta excavación, de modo que las superficies de los escalones coincidan con las isostáticas de presión máxima del macizo, á embalse lleno, con lo cual se evitará por completo toda tendencia al deslizamiento y se dificultarán las filtraciones á lo largo de la unión de fábricas y terreno.

En las laderas se abrirán igualmente escalones hasta llegar al terreno sano, suficientemente profundos para que tampoco por esta parte sean de temer las filtraciones. Los escalones se adaptarán del mismo modo á las superficies isostáticas, siendo las de unión en el sentido transversal á la longitud de la presa planos diametrales que pasen por su eje. Tanto en el cimiento como en los empotramientos se emplearán morteros con altas dosis de cemento portland artificial, que faciliten y garanticen la perfecta unión de fábricas y roca en esta parte delicada de la obra.

Descripción de la presa. Dimensiones principales.—Afectará la presa en planta la forma circular ya consagrada en la mayor parte de las construcciones de esta clase; pero conviene consignar que, en el caso presente, no se persigue con ella, como ocurre con la de Mediano, referir de algún modo á los estribos una parte del empuje que el agua transmita á su paramento, pues es casi evidente que siendo tan considerable la longitud que resulta para el arco, y mucho su espesor, estando, además, empotrado en el fondo, no podría esperarse que trabajase como una bóveda, y mucho menos como una cuña. Por esta razón nos hemos limitado á dar á la planta la curvatura necesaria para permitir las expansiones debidas á los cambios de temperatura, aquí menores que en otros casos, por hallarse la presa siempre, ó casi siempre, en carga. Obsérvase también que no era posible aceptar un radio reducido, no sólo por el aumento del volumen de fábrica y cimiento que ello representaría, sino también porque siendo las márgenes próximamente paralelas al cauce, no se prestan á estribar una presa muy curva tan bien como otra que se separe poco de una recta.

El perfil transversal es triangular, de paramento anterior vertical: dado el poco espesor que requiere la coronación, este perfil es, para la altura requerida, más económico que el trapecoidal.

Lleva la presa, cerca de su fondo, una galería que sirve de desagüe, á que se ha hecho alusión anteriormente, y se hallan á continuación, en la margen derecha, el aliviadero de superficie, y en la izquierda, la toma del canal del Gállego.

Las dimensiones principales de la presa son:

Altura máxima desde el punto más profundo del cimiento hasta el más alto del piso de la coronación, 34,64 metros.

Máximo espesor en la base, 32,86 metros.

Longitud en la coronación, según el desarrollo del paramento de aguas arriba, 280 metros.

Longitud al nivel del lecho del río, según el desarrollo del mismo paramento, 115 metros.

Radio de la planta del paramento de aguas arriba, 1.000 metros.

Inclinación del talud de aguas abajo, 0,98.

Coronación de la presa.—El espesor de la coronación es igual á tres metros; de ellos son macizos los dos metros inmediatos al paramento de aguas arriba; el resto forma dintel, que descansa sobre pies derechos de 0,70 metros de ancho, espaciados 1,80 metros de eje á eje. Con esto se aligera la coronación y, sin que se resienta la resistencia que el piso necesita, se obtiene en la

parte alta un movimiento de la masa que será de buen efecto arquitectónico, pues imitará los apoyos de un puentecillo ó pasadereza, lo que se hallará en consonancia con el destino de esta parte de la obra.

Tendrá la coronación, lo mismo que la de la presa de Mediano, un pretil de hierro del lado de aguas abajo, y del otro, uno de fábrica capaz de resistir, si fuese preciso, una sobreelevación que pueda experimentar el nivel máximo previsto para el remanso, con lo cual se obtendrá que la capacidad del vertedero aumente en un 66 por 100.

Aliviadero de superficie.—Partiendo del extremo de la presa situado en la margen derecha del río, se extiende el vertedero de superficie de 320 metros de longitud, á lo largo, próximamente de la línea del nivel del terreno, la cual forma en planta un ángulo de poco más de 90 grados con la proyección horizontal de la coronación de aquélla. El umbral de vertedero enrasa 2,50 metros por debajo del piso de la coronación.

El muro del vertedero es de sección triangular, con paramento anterior vertical, coronación redondeada por un arco de círculo, tangente á ambos paramentos, de 0,75 metros de radio, terminando por la parte posterior en talud de 45 grados de inclinación.

Contiguo al vertedero se halla el canal de descarga, que en planta tiene la forma de un triángulo, hasta frente al paramento anterior de la presa, continuando desde este punto con ancho casi constante de 50 metros hasta el fin, en que se encorva y abocina para guiar las aguas hacia el río. Esto último tiene por objeto evitar un canal demasiado largo; pero también se podría, con poco aumento en el gasto, prolongarlo sin la curva indicada, de suerte que fuera á verter las aguas más lejos que ahora del pie de la presa, esparramándolas sobre la ladera, con lo cual perderían, en gran parte, su velocidad y fuerza erosiva.

Se ha calculado la capacidad del vertedero para un caudal de 2.900 metros cúbicos por segundo, que es el mismo adoptado para el aliviadero del pantano de La Peña. Esta cifra, que debe considerarse ya muy amplia para aquel embalse, en nuestro caso lo será aun más, pues sin existir corrientes tributarias intermedias que aporten al Gállego volúmenes sin importancia, se han de notar en el nuevo vertedero los efectos reguladores que producirá el pantano citado, lo que se ha de traducir en una sensible reducción de los caudales máximos de avenidas. Nosotros, sin embargo, no lo hemos tenido en cuenta con objeto de compensar así las aportaciones de los tributarios intermedios aludidos y, sobre todo, de tener la seguridad de que en ningún caso será excedida la altura mínima prevista para el agua.

No estará de más notar nuevamente que, aun cuando así no ocurriese, el embalse podría subir un metro, por lo menos, por encima del nivel de la coronación, sin que el agua llegara á saltar por ella; en tal caso el vertedero daría paso á 4.640 metros cúbicos de agua por segundo.

En la fórmula del vertedero se ha empleado el coeficiente 0,50, por las mismas razones que se han dado al justificar su adopción en el cálculo de la capacidad del aliviadero del pantano de Mediano.

JOSÉ NICOLAU.

FÉLIX DE LOS RÍOS.

(Continuará.)

