

REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS

PUBLICACION TECNICA DEL CUERPO DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

DIRECTOR

D. MANUEL MALUQUER Y SALVADOR

COLABORADORES

LOS INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

SE PUBLICA LOS JUEVES

Dirección y Administración: Plaza de Oriente, 6, primero derecha.

El pantano de la Sotonera.

(DEL PROYECTO DE OBRAS DE RIEGO DEL ALTO ARAGÓN)

Condiciones á que debe satisfacer el pantano.—Las condiciones fundamentales á que debe satisfacer el pantano de alimentación del canal de Monegros, son las siguientes:

- 1.^a Que pueda ser alimentado á la vez por el canal del Cinca y por otro derivado del Gállego.
- 2.^a Que la capacidad no baje de 176 millones de metros cúbicos.
- 3.^a Que su toma más baja no sea inferior á la cota de 385 metros sobre el nivel del mar.
- 4.^a Que el coste, referido al metro cúbico de embalse, sea el menor posible.

Fácil será justificar las precedentes condiciones.

Respecto á la primera, se halla impuesta por la insuficiencia del Gállego para alimentar por sí sólo el canal que ha de servir la extensa zona que dominará el que, pasando por el collado de Tardienta, pretenda llevar las aguas á la comarca de Monegros. Por otra parte, no podía pensarse en la alimentación exclusiva con las aguas del Cinca, pues, además de que también este río resultaría insuficiente, la solución sería más costosa, por la gran capacidad de conducción que habría necesidad de dar al canal derivado de aquel río.

El volumen que el pantano ha de poder embalsar es una exigencia forzosa nacida de las necesidades de la zona regable y de las condiciones de la cuenca alimentadora, en relación con las del embalse y canal del Cinca, fijadas por otras consideraciones.

La conveniencia suma de comprender en la zona regable las extensas llanuras de Almudébar, y la más ineludible de que el canal domine el collado de Tardienta, impone la condición de que no baje de 383 metros, aproximadamente, la cota de la solera del canal de Monegros en el punto adoptado como origen, cerca del que ha de utilizarse para situar la presa del embalse. Teniendo en cuenta las pérdidas que representa el túnel del canal de toma, y la conveniencia de que ésta se halle algo elevada sobre la solera del canal, puede fijarse en 385 metros, como mínimo, la altura á que debe hallarse situada la entrada de la solera de dicho túnel.

Es cierto que podía pensarse en establecer más de un pantano, con lo que habría mayor flexibilidad para solucionar el problema de encontrar vasos adecuados, pues entonces no se requeriría que todos reuniesen, por completo, las condiciones formu-

ladas; pero es lo cierto que los reconocimientos verificados no han permitido encontrar la solución fuera de los términos en que el problema se plantea. Las derivaciones del Gállego, han de ser difíciles en todo caso, limitando mucho la zona en que los pantanos, alimentados exclusivamente por aquel río, podrían establecerse. Tampoco ha podido hallarse, hasta el presente, un vaso adecuado dentro del cauce mismo del Gállego, pues se han considerado insuperables las dificultades que á ello se oponen, sin contar con que esto no excusaría la necesidad de disponer de un pantano para almacenar y regular las aportaciones del canal del Cinca y del río Sotón.

Resulta, pues, que impuesta por las circunstancias la solución del vaso único y, por tanto, las condiciones formuladas, queda muy limitada la zona en que el pantano puede ser establecido, y determinadas con mucha aproximación sus características principales.

Los reconocimientos practicados han conducido á la elección del vaso que los ríos Sotón, y su pequeño afluente el Astón, ofrecen aguas arriba de su confluencia, pues aguas abajo, aparte de que no existe paraje en que pudiera formarse uno con capacidad suficiente (condición segunda), no se llenaría tampoco la tercera, y aun la cuarta lo sería desventajosamente.

La presa, por estas consideraciones, ha de situarse, lo más abajo, en la confluencia de los dos ríos indicados. Así convendría hacerlo para facilitar su alimentación; mas llevándola unos 500 metros aguas arriba puede obtenerse una reducción en su volumen de medio millón de metros cúbicos. Esta consideración acaba de determinar, por completo, la situación del dique y, por lo tanto, del vaso que, por ocupar una zona conocida en la comarca con el nombre de Sotonera, ha dado motivo á que se adopte esta designación para el nuevo embalse.

Canales de alimentación.—Este, según queda dicho, estará alimentado por el canal del Cinca y por el que, partiendo del Gállego, aporte las aguas de este río. Además, recogerá todas las del Sotón, y eventualmente podrá utilizar las que, por intermedio del canal del Cinca, se deriven del Guatizalema.

Este último canal llega al pantano de la Sotonera con su plano de aguas á la cota de 417 metros sobre el nivel del mar, y esta deberá ser la altura máxima del agua en el embalse, con objeto de no perder capacidad, ya que toda ella es necesaria. La misma cota determinará la que, en el punto en que desagüe en el mismo pantano, habrá de tener el nivel máximo del agua en el canal del Gállego.

Condiciones de las cuencas alimentadoras.—Prescindiremos de la cuenca del Cinca por haber sido estudiada en el capítulo an-

terior, y, sobre todo, porque, utilizándose sus aguas mediante el pantano de Mediano, no hace falta tenerlas en cuenta al estudiar la alimentación del de la Sotonera.

Nace el río Sotón, lo mismo que sus tributarios principales Riel y Benia, al final de la Sierra de Loarre, correspondiente al macizo denominado, en general, «Las Sierras», que corre paralelamente al Alto Pirineo y donde las cimas alcanzan alturas variables entre 1.330 y 1.570 metros.

Son ríos cuyas aguas no siempre corren todo el año, siendo bastante seguras desde Septiembre á Mayo y algo eventuales en los meses restantes, variando, como es natural, según las lluvias.

El área de la cuenca puede fijarse en 300 kilómetros cuadrados, estando sus alturas comprendidas entre 1.570 y 390 metros. Las pendientes son muy fuertes desde las cumbres hasta el pie de la sierra, pero luego se suavizan muy rápidamente, á la vez que el terreno se abre, formando grandes llanuras, de muy escasa pendiente en todos sentidos. Esto ha permitido, con presas de tierra, de construcción descuidadísima, formar, en la parte que ha de ser ocupada por el pantano, pequeños embalses conocidos en la localidad con el nombre de «albercas», que se utilizan para el riego de tierras inferiores. Al pantano de la Sotonera ha de ser la cuenca del Gállego la que principalmente le alimente, después de dejar satisfechos los aprovechamientos que hay establecidos en aquel río.

Su superficie, por encima del canal de derivación, mide 2.100 kilómetros cuadrados. Extiéndese dicha cuenca hasta la divisoria pirenaica donde el río nace, no lejos de Sallent; su altura mayor en esta parte es de 2.572 metros (Arolleta alta), pero en la cabecera de la cuenca del río Agua Limpia, el pico de Batallitús tiene 3.146 metros, y en la del Caldarés, afluente como el anterior de la margen derecha, existen montes que alcanzan en varios puntos cotas superiores á 3.000 metros, llegando el pico del Inferno á la de 3.081.

A pesar de tener la cuenca del Gállego extensión parecida á la del Cinca, el desarrollo de su parte elevada es mucho menos considerable, pues la estrechan notablemente el río Ara por Levante y el Aragón por Poniente, los cuales siguen en un trayecto de sus cursos una dirección paralela á la cordillera pirenaica, á la distancia de unos 25 kilómetros de la divisoria. Esto no obstante, los recursos hidráulicos del Gállego no dejan de ser considerables, como lo demuestran los resultados de los aforos que presentamos en los anejos; cuenta con afluentes tan importantes como el Agua Limpia y el Caldarés, que tienen una cuenca altísima en que existen numerosos lagos, y en la parte más baja, entre la sierra de Loarre y el Alto Pirineo, es tributario suyo el río Guarga, que recoge las aguas de un valle largo y muy extenso.

La cuenca del Gállego tiene aún menos bosques que la del Cinca, pero el régimen de las corrientes difiere bien poco de uno á otro río.

Los arrastres son acaso menos importantes en el primero que en el último, y su naturaleza y condiciones ofrecen al observador bien escasas diferencias.

Cálculo de las aportaciones del río Sotón.—Al determinar en el cap. II el caudal de aguas que para el riego podrían derivarse del pantano de la Sotonera, se ha indicado que las aportaciones del Sotón excederían seguramente á las pérdidas que existan por evaporación y filtraciones. Conviene, pues, darse alguna cuenta de lo que pueden significar anualmente los caudales de aquel río, para compararlos con las cifras en que se aprecien aquellas pérdidas, de que se tratará más adelante, y para tener en cuenta los volúmenes sobrantes aprovechados para el riego, si llegasen á ser deficientes los del Gállego.

No existen datos directos sobre la corriente, y ante este de-

fecto, preciso será recurrir á los que pueden deducirse de los pluviométricos y de los relativos á los caudales de otras cuencas.

Según el anejo núm. 3, la altura media pluviométrica ha sido en Huesca, durante cuarenta y un años, igual á 553 milímetros, y la mínima ha llegado en el de 1894 á 278. Estas cifras podrían, sin inconveniente, aplicarse á la parte de la cuenca del Sotón, que tiene una altura análoga á la de Huesca, la cual puede calcularse en 100 kilómetros de extensión, pero serían evidentemente deficientes si las adoptásemos en la restante.

En ésta puede admitirse que la lluvia varía entre 278 y 1.200 milímetros en los años más escasos, siendo, por término medio, igual á 740 milímetros.

Con estos datos se deduce que la lluvia total en la cuenca del Sotón será, como mínimo, de unos 176 millones de metros cúbicos, de los cuales 28 corresponden á la parte baja y el resto á la alta.

El coeficiente de aprovechamiento, es decir, la fracción de lluvia que llega á correr por los cauces y alcanza al punto que se considera (en nuestro caso, el pantano), que en el Esera se ha estimado en 0,48, por término medio, ha de ser en el Sotón notablemente más reducida, porque se trata de una cuenca con menos pendientes, en que la parte baja es muy llana, y porque se sabe que en los años secos aquel coeficiente experimenta, en general, una reducción importante, sobre todo en las pequeñas cuencas, donde la evaporación resta un gran contingente al agua de las corrientes. Fijado, en suma, dicho coeficiente, en virtud de lo que arrojan las curvas de Mr. Newel, y las observaciones de Mr. Binnie en la India, en 0,08 para la parte baja, y en 0,25 para la alta, se obtiene un caudal anual del río Sotón, en los años menos abundantes, igual á 40 millones de metros cúbicos, próximamente. Es seguro que esta cifra aumentará en un 50 por 100, por término medio, en los años ordinarios, llegando á 60 millones de metros cúbicos.

Si se compara este caudal con los gastos mínimos anuales del Gállego; Cinca y Esera, se verá, como debía esperarse, que es proporcionalmente mucho más reducido, llegando á la cuarta parte, próximamente, de lo que le correspondería con arreglo al desarrollo superficial de las cuencas. Ello demuestra que el cálculo realizado más arriba no debe tacharse, en modo alguno, de excesivo, sino más bien de parco.

Arrastres.—Puede admitirse que los arrastres procedentes del canal del Cinca, revestido en gran parte, serán nulos, y despreciables los que discurran por el del Gállego. Los sedimentos que dejen las aguas procedentes de estos canales, también serán insignificantes, y no hay para qué tenerlos en cuenta.

Algo mayores serán los que proporcionen el Sotón y Astón, pero vertiendo estos ríos sus aguas al embalse después de un recorrido algo largo por cauces de pequeña pendiente, no son de temer los depósitos pesados, y de que los ligeros no han de constituir en muchísimo tiempo, probablemente nunca, amenaza temible para la capacidad del vaso, lo demuestran las albercas antes citadas que, durante larguísimo espacio de tiempo, vienen recibiendo los aportes de aquellas corrientes, sin peligro para su subsistencia, no obstante ser dichos embalses de capacidad muy reducida.

Puede afirmarse, pues, que no existirá en el pantano de la Sotonera el problema de los aterramientos.

Situación de la presa.—La planta de la presa se ha estudiado con la condición de que fuese un mínimo el cubo de tierras que su construcción habría de exigir para la capacidad requerida del vaso: á esto es debida la irregularidad de la traza. De este suerte se aprovechan las mayores alturas que presenta el terreno, y se salvan las depresiones por los puntos más estrechos.

Siete son las vaguadas que deben atravesarse: las más importantes del Sotón, Astón y la del barranco de las Vacas, que desemboca en el último, á muy poca distancia de la presa, tienen cotas sobre el nivel del mar, en el eje de ésta, de 394,08 metros, 389,38 metros y 388,40 metros, respectivamente. Este último es el punto más bajo del terreno. La depresión que forma la alberca de Alcalá en la parte que se cruza, tiene una altura sobre el nivel del mar de unos 393 metros. Existen todavía otras tres depresiones, bastante menos importantes que las anteriores, constituyendo pequeños collados que separan las divisorias que la presa cruza.

Ya se ha indicado que es imposible encontrar para ésta un paraje en que, para remansar el mismo volumen de agua, resulte menor el de tierras del dique.

Tampoco existen consideraciones de otro orden, como la mejor cimentación, materiales adecuados más próximos, etc., que aconsejen preferir al paraje elegido otro cualquiera que pudiera utilizarse. Cuantas investigaciones han sido hechas acerca del particular han dado un resultado negativo, y como la zona en que la construcción de la presa puede llevarse á cabo es en extremo restringida, cabe asegurar que no existe otra más favorable, al menos teniendo en cuenta las condiciones á que debe satisfacer.

Sondeos realizados.—En el anejo núm. 11 de esta Memoria se inserta un corte del terreno, por el eje de la presa, tal como se deduce del examen de los pozos abiertos al efecto y de los taladros practicados con sonda rotatoria en varios puntos. En el más profundo se ha llegado á la cota de 377,90 metros, 10,50 metros por debajo del terreno, no habiéndose continuado, porque es de suponer, dada la constitución geológica de la zona, que aquél, en una gran profundidad, no habría de tener variación.

Fuera de la capa de gravas y arenas, el terreno revela una grandísima impermeabilidad, aumentando con la profundidad su capacidad, y aun su dureza. Las capas de arenisca que se encuentran deben ser horizontales, como las más altas que se ven en las laderas próximas, pero su espesor no es considerable, y no parece que se extiendan sobre gran superficie. En cambio, las arcillas y margas algo sabulosas, abarcan toda la extensión del vaso y deben alcanzar espesores fuertes.

Estudio de los terrenos del vaso.—Todo el terreno está cultivado, salvo las laderas más pendientes y las partes más altas.

Encuétrase el fondo cubierto por una capa de tierra vegetal, muy arcillosa, de unos 50 centímetros de espesor. Por debajo de ella continúan las arcillas, con más ó menos arena, sin que la proporción de ésta exceda de un 15 por 100. Estas arcillas van siendo más duras y más puras cuanto más profundas, descansando, en las proximidades de las vaguadas del Sotón, Astón y barranco de las Vacas, sobre bancos de arena y grava de espesor variable entre 0,50 y 1,20 metros. A las gravas siguen las arcillas compactas y bancos de gran espesor de margas arcillosas, conocidas en esta provincia con el nombre de «salagón».

Los pozos y taladros han sido abiertos en los parajes más bajos; algunos han revelado un banco de arenisca de unos 20 á 25 centímetros de grueso; en las laderas del vaso se ven también los bancos de molas amarillentas, cuyo espesor, aunque variable, no suele exceder de un metro; afectan la posición horizontal alternando con bancos de mucha altura de margas amarillo-rojizas, no desprovistas por completo de arenas. En algunos altos se encuentran depósitos de gravas, cuya profundidad no suele llegar en ninguno á más de dos metros.

Bancos delgados de caliza clara coronan algunos de los cerros más altos, pero son de muy poco espesor y, además, poco abundantes.

Los terrenos de que se trata corresponden al mioceno lacustre; sobre esta formación descansan algunos depósitos diluviales á que probablemente corresponden las gravas altas, y acaso también las del fondo del cauce y las arcillas superiores. Podría ocurrir, no obstante, que la formación cuaternaria se manifestase igualmente por depósito de gravas; pero es lo más probable que, si ha existido, haya sido socavada y arrastrada por la corriente diluvial, como ha ocurrido con gran parte de la miocena.

En todo caso, lo interesante para nuestro estudio es la seguridad que existe de que en el fondo del vaso, á una profundidad no mayor de 12 metros, á partir de los puntos más bajos, se encuentran las margas duras y compactas, tan abundantes en la formación miocena, y que es de suponer alcancen espesores considerables, aunque nosotros sólo hemos llevado la exploración hasta la de 17 metros, por considerar innecesario, para los fines perseguidos, el prolongarla más. Si á mayor profundidad cambia el terreno, será seguramente para presentar bancos, no muy gruesos, de arenisca arcillosa.

En las laderas, la composición no es distinta de la del fondo, si bien hay mayor masa de areniscas; las gravas suelen estar muy altas, siendo, por su composición, muy compactas é impermeables, igual que debe de ocurrir con las del fondo.

Impermeabilidad del vaso.—La constitución mineralógica y geológica del vaso representa una seria garantía de impermeabilidad. Sólo cabe fijar la atención en las capas, ligeramente acuíferas, que los sondeos han revelado, á muy poca profundidad, en los cauces de los ríos Sotón, Astón y barranco de las Vacas, análogas, probablemente, á los depósitos que se ven en algunos parajes altos de las laderas.

Obsérvese, ante todo, que estos depósitos son de corta extensión y de poco espesor, formadas por gravas finas y arenas mezcladas con arcillas, y aprisionados entre bancos de arcillas y margas. Es casi seguro que han de bastar las arcillas superiores para oponerse á las filtraciones: pero aun suponiendo que alguna cantidad de agua pudiera pasar al través de estas capas, el caudal habría de ser en extremo reducido, teniendo luego que continuar la filtración á lo largo de las gravas, es decir, al través de un filtro muy tupido y de espesor considerable; el caudal que de esta suerte podría escaparse habría de ser muy pequeño, por no decir insignificante.

Las gravas de las laderas, que se descubren en muy pocos puntos del vaso, son aún menos peligrosas para la impermeabilidad, por la menor presión del agua, ya que suelen estar muy altas, y porque no se ofrecen en bancos continuos, siendo igualmente muy tupidas.

De suerte que, desde el punto de vista de la impermeabilidad, el vaso de la Sotonera, aun admitiendo la hipótesis extrema á que nos hemos referido, habría de ser prácticamente muy buena; y, en cuanto á los efectos perjudiciales que el paso de las aguas pudiera producir en el macizo de la presa, ya se verá más adelante que son poco temibles, y que podrán, en todo caso, contrarrestarse fácilmente.

Aunque los pequeños embalses que ya existen en el futuro vaso tienen alturas de agua muy reducidas (se calcula que las mayores no pasarán de 3 metros), la completa impermeabilidad que denotan, no obstante la ausencia absoluta de toda precaución, constituye una garantía más de que el agua del pantano de la Sotonera, establecido con las más rigurosas precauciones, prácticamente no podrá abrirse paso, ni filtrarse por parte alguna de las macizas formaciones arcillosas que constituirán sus paredes y fondo.

Clase de presa elegida.—Las condiciones que para cimentar ofrece el terreno, la clase de materiales disponibles, y la misma

longitud de la presa, imponen la elección de una de tierra, sin ningún género de dudas. Una de fábrica sería, en la Sotonera, poco menos que imposible de establecer con las garantías necesarias y costaría muchísimo más cara.

Elección de materiales para la presa.—La elección del perfil y de las principales disposiciones adoptadas ha sido objeto, por nuestra parte, de especialísima atención y de un estudio detenido sobre este género de presas, en que los distintos constructores no siempre aplican iguales principios. Han facilitado especialmente nuestra tarea los numerosos trabajos de investigación y exposición realizados en los últimos tiempos, de los cuales resulta que difieren relativamente poco las opiniones de aquellos Ingenieros que mayor autoridad tienen actualmente por haber estudiado, proyectado y construido obras de esta clase. Por último, sin poderse asegurar que en esta materia se ha llegado definitivamente á la fijación de principios que sirvan de guía y fundamento indiscutible para los proyectos, es indudable que los resultados de la experiencia y los experimentos verificados, proporcionan enseñanzas de alto valor práctico.

No pretenderemos nosotros, alargando los límites de este trabajo, ya de por sí muy fatigoso para el lector y extenso en demasía, presentar aquí el resultado detallado del estudio emprendido, que en parte ha sido expuesto ya en una Memoria sobre las obras de riego en los Estados Unidos, publicada por el Ministerio de Fomento. Nos hemos de limitar en esta materia, como en tantas otras de las que hay que tratar, á presentar los puntos fundamentales y á justificar aquello que pueda creerse que más lo necesita, por separarse algo de la práctica ó de las opiniones más corrientes.

En la actualidad cabe admitir que la construcción de las presas de tierra de gran altura ha de subordinarse á los principios siguientes:

1.º El material elegido debe ofrecer las mayores garantías posibles contra las infiltraciones en el macizo y contra el peligro de la deformación indefinida de sus taludes, una vez embebidas de agua las tierras. Además, han de permitir éstas la fácil evacuación de las aguas que en ellas hayan podido penetrar.

2.º Las tierras en los diques deben quedar tan fuertemente comprimidas que, por este medio principalmente, se consiga la impermeabilidad del macizo.

3.º Debe sanearse, con un sistema perfecto de drenés, la base del terreno sobre que descansa el dique y el terreno mismo, si hay posibilidad de que por él discurran las aguas.

Estas bases fundamentales son aplicables á todos los macizos de tierra, incluso aquellos que entran en las presas mixtas y los que se forman por procedimientos hidráulicos.

Entendemos, por nuestra parte, que los macizos de escollera y tierra no se hallan indicados en la Sotonera porque escasea la piedra en las proximidades de la obra, dado el enorme volumen que de ella se requeriría (lo que conduciría á una solución más cara que la adoptada), y porque conviene dar á la base de tierra una extensión considerable, á fin de evitar toda posibilidad de que al través de las capas de gravas á que se ha hecho referencia puedan establecerse vías de agua de importancia, lo que siempre sería más fácil que ocurriera cuanto menor desarrollo tuviese la superficie de contacto del macizo con el terreno.

Tampoco es posible adoptar el procedimiento hidráulico, pues faltan los dos elementos principales que se requieren para ser aplicable económicamente: caudal adecuado de agua disponible y desnivel suficiente desde el punto en que han de excavar los materiales hasta el de su depósito en la presa.

Por mucho tiempo, sobre todo en Inglaterra y aun en la India y en el Este de los Estados Unidos, han sido las presas con nú-

cleos impermeables las más generalmente empleadas. La tendencia moderna, cada vez más acusada, á emplear diques casi enteramente homogéneos, parece demostrar que los constructores reconocen en éstos mayores ventajas que en los de núcleo. A nuestro modo de ver, esta evolución es consecuencia lógica del empleo de materiales que cumplen con lo establecido en la primera de las condiciones expuestas enérgicamente comprimidos, según en la segunda se previene, pues con ello se adquieren garantías sólidas de impermeabilidad y de que, aun en el caso de que ésta pierda, no quedará comprometida la estabilidad de la obra. La presa entera hace en tal caso el papel confiado al núcleo en las que lo tienen, pero está menos expuesta que en éstas á que, por efecto de asentamientos desiguales, que dan origen al desarrollo de esfuerzos considerables en el interior del macizo, pueda éste debilitarse al favorecerse por tales medios la formación de superficies de deslizamiento.

En esto reside principalmente la superioridad de las presas homogéneas sobre las de núcleo. Aquéllas, en efecto, actúan uniformemente, como una masa solidaria, en el proceso de consolidación á que, independientemente de la compresión artificial, se ve sujeto todo dique de tierra durante algunos años después de construido. Las tierras se apelmazarán sin que diferencias de su composición puedan dar origen á corrimientos ó grietas, cosa que sucede á veces en las presas de núcleo.

Se han empleado también mucho en los Estados Unidos, sobre todo en los pantanos construidos con motivo del abastecimiento de aguas de Nueva York, las presas en núcleo central, constituido por un tabique de fábrica. No cabe duda que, tratándose de fondos de roca, en que es difícil oponerse al paso de las aguas á lo largo de la superficie de unión del macizo y su base, semejante solución podrá considerarse recomendable. Pero en presas de altura muy grande tiene este tipo de presa el inconveniente de que los desiguales empujes del relleno de ambos lados del tabique pueden dar lugar á su agrietamiento, sin contar con que, aun sin esto, el tabique no suele ser muy eficaz para impedir las filtraciones, que acaban por propagarse á la parte de aguas abajo. En nuestro caso, huelga estudiar las presas de esta clase, pues la naturaleza del terreno es poco adecuada para la cimentación del tabique.

Se ha preconizado modernamente el empleo de capas impermeables en la parte anterior de las presas en contacto con el agua, en vez de los núcleos del tipo inglés situados en la parte central de los macizos. Si la impermeabilidad en estos casos trata de obtenerse forzando la proporción de arcilla que entra en las tierras que se empleen, se corre el riesgo cierto de que al bajar las aguas se produzcan, por desecamiento y contracción, grietas que la comprometan, sin contar con que á la larga las arcillas acaban por reblandecerse, tendiendo á deslizarse para formar taludes muy tendidos. Si, por el contrario, la impermeabilidad ha de conseguirse con una compresión enérgica de materiales en que la arcilla no predomine, es evidente que, subsistiendo en este caso los inconvenientes á que da lugar la falta de homogeneidad, para igual resistencia al empuje del agua y las mismas garantías de impermeabilidad y de estabilidad de sus taludes, necesitará el macizo ser de dimensiones mucho mayores que otro que fuera en toda la sección del mismo material que el empleado en la proximidad del embalse, considerado como impermeable. Menos aceptable aún es la solución de confiar la impermeabilidad á revestimientos del talud interior, pues cualquier avería en ellos (y por desgracia no son imposibles), compromete gravemente la estabilidad de la obra.

En resumen, parece que puede admitirse como indudable que la máxima garantía que una presa de tierra puede ofrecer, estri-

ba en adoptar una sección homogénea, constituida toda ella por materiales que, á la par que impidan, hasta donde es posible con los de tierra, el paso del agua, no ofrezcan el peligro de agrietarse cuando se des sequen, ni de aumentar el talud si en ellos llega á penetrar el agua, siendo aptos, una vez que ésta haya penetrado, para darles salida por su base inferior, sin que la superficie de infiltración llegue á tomar, del lado de aguas abajo, taludes tan tendidos que puedan constituir un peligro. Este procederá, en efecto, no sólo de la falta de idoneidad del macizo para oponerse al paso de las aguas, sino también, y muy principalmente, de que, al ser reblandecido por ellas, se deforme, se aplane y pierda casi por completo toda resistencia; un macizo de escollera ó de gravas, por ejemplo, podrá ser invadido por las aguas, dando filtraciones más ó menos abundantes; pero si su espesor es suficiente, resistirá, sin deformarse ni caerse, el empuje que aquéllas le transmitan.

Los estudios verificados en varias presas de los Estados Unidos han revelado que la infiltración invade los macizos hasta cortar la superficie que limita el paramento de aguas abajo, á pesar de lo cual resisten sin que aparezcan signos de movimientos inquietantes; pero es indudable que la seguridad será tanto mayor cuanto más grande sea la parte del macizo que quede por fuera de la superficie de infiltración, lo cual requiere que, con un buen avenamiento de la base, se dé fácil salida á las aguas infiltradas.

En virtud de estas consideraciones, teniendo en cuenta, además, que nuestra presa alcanzará, no sólo una longitud considerable, sino también una gran altura, excedida hasta ahora en poco número de casos, no hemos dudado en adoptar el perfil homogéneo formado por gravas y tierras arcillosas, en las proporciones que recomienda Mr. W. L. Strange, una de las mayores autoridades en la materia, en su tratado titulado: *Indian Storage Reservoirs with earthen Dams*. Ello representa un gasto crecido, porque habrá que traer las gravas de distancias no inferiores á 8 kilómetros, por término medio; pero hemos juzgado que era indispensable que obra de tamaño trascendencia ofreciera las garantías más sólidas que es posible proporcionar á las de esta clase, en cuanto á la seguridad se refiera, aun cuando esto hubiese de representar un aumento de coste de importancia.

Determinación del perfil de la presa. —Al proyectar el perfil, se ha procedido con no menos prudencia, habida cuenta la calidad del material elegido.

Ante todo, debe notarse que los taludes pueden ser tanto más rígidos cuanto menos altos son los macizos correspondientes; los adoptados más frecuentemente del lado de aguas arriba para una parte de altura tienen, á lo sumo, dos de base, cuando la altura de la presa no excede de 4,50 metros, 2,5 si excede de 4,50 metros y no llega á 7,50 metros, y 3,0 para alturas superiores. En el talud de aguas abajo suele admitirse la inclinación de 1,50 de base por uno de altura, para alturas de presa inferiores á 4,50 metros, y el de 2,0 por uno para las de alturas superiores á 4,50 metros. El aumento de talud con la altura dentro de ciertos límites, parece una precaución razonable para tener en cuenta las condiciones muy distintas en que se encuentran las tierras de las partes inferiores y superiores de una presa de altura considerable; las primeras se ven sometidas á mayores esfuerzos; su resistencia, con el tiempo, puede verse más debilitada que las de las partes altas, por efecto de la mayor imbibición que reduce la cohesión y facilita el deslizamiento.

La forma de los macizos naturales, con sus pendientes más suaves al pie (aun descontando el efecto de las erosiones), y el perfil que toman las tierras después de un corrimiento, pueden aducirse en abono de lo justo de esta observación.

En muchas grandes presas, algunas muy modernas, los taludes se han construido con bermas ó banquetas á distintas alturas; lo que, naturalmente, representa para la misma base la adopción de inclinaciones algo más rígidas. Pueden citarse, entre otras, las de Yarrow (30,50 metros de altura), Belle Fourche (20,50 metros) y Tabaud (37,50 metros), en que se ha adoptado semejante disposición. Tienen estas bermas la ventaja de que, con el aumento brusco de sección que proporcionan á la presa, tienden á limitar á la parte alta toda dislocación que, como sucede de ordinario, tenga en ella su origen. Las banquetas del talud exterior impiden que el agua se acumule en gran cantidad en la proximidad de la base, pudiendo producir socavaciones que son siempre temibles. Estas razones nos han movido á sustituir los taludes continuos por otros que, teniendo próximamente la misma inclinación media, ó, mejor dicho, dando para la base el mismo ancho, contengan en el de aguas arriba una banqueta y dos en el de aguas abajo. El talud medio resultante en ésta, es de uno de altura por dos y tres cuartos de base, muy aproximadamente; en el de aguas arriba la inclinación media, á partir del nivel máximo del agua, se acerca mucho á la de uno de altura por tres de base.

Desde este nivel hacia arriba, se reduce el talud á la inclinación del uno y medio de base por uno de altura, con objeto de que las olas puedan reflejarse más fácilmente, á lo que contribuirá el murete vertical que ha de establecerse en la coronación.

Si se comparan estos taludes con los de otras grandes presas construidas, se verá que, con sólo tres excepciones, correspondientes á las de Druid Hill (Mariland, Estados Unidos), Dodder (Irlanda) y San Leandro (California), ninguna tiene talud superior al que proponemos para el lado del embalse; y que para el opuesto, ninguna presa excede del de uno por 2,5, salvo la citada de Dodder y la de San Andrés (California), en que llega á uno por tres, no pasando en muchas de uno por dos.

Resulta, pues, que en el perfil adoptado se acentúa la inclinación generalmente admitida en el talud de aguas abajo: al hacerlo así, hemos tenido en cuenta, como la experiencia demuestra, que los corrimientos en las presas, sobre todo los más peligrosos, se han producido en el talud exterior. El interior contenido por el agua, aunque más empapado por ella de ordinario, conserva su estabilidad con mayor frecuencia.

El ancho que se suele dar á las presas de tierra en la coronación es muy variable, siendo generalmente mayor cuanto más altas son. Entre las más grandes pasa desde 1,80 metros (Waghad, India Inglesa) hasta 18 en la de Dodder; pero, en general, excede poco de 6 á 7,50 metros. En la de Tabaud, una de las más altas, construida hace pocos años, se ha adoptado el de 6 metros. Nosotros lo hemos fijado en 6,30 metros.

El perfil adoptado será, por tanto, algo más robusto que el construido en presas de igual ó mayor altura que la de la Sotomera. Cabe observar á este propósito que, como los materiales que en esta obra se han de emplear, compuestos en toda la extensión del perfil por gravas y tierras arcillosas por partes iguales, tienen un talud natural más rígido que el de las tierras arcillosas utilizadas en muchas de las presas á que se ha hecho referencia, las condiciones de resistencia de la nuestra serán, proporcionalmente, superiores aún á lo que revela el perfil. Con esto la construcción presentará completa garantía de seguridad, si en la ejecución se adopta el plan de drenaje proyectado y los materiales son sometidos á la enérgica compresión que prescribe el pliego de condiciones.

JOSÉ NICOLAU. FÉLIX DE LOS RÍOS.

(Continuad.)