

en servicio regular, los cuadros de marcha están combinados de tal suerte, que las locomotoras de vapor saturado pueden trabajar en condiciones relativamente económicas á su límite de potencia, ó en las proximidades de este límite, mientras que la máquina de vapor recalentado, del mismo peso, pero más potente, haría el mismo servicio con una reserva considerable de potencia. Ahora bien; cuando la máquina de vapor saturado trabaja por encima de una potencia normal, se aproxima al punto en que se agota; el carbón y el agua son expulsados por la chimenea, y el único recurso que queda es la doble tracción. El recalentado no debe, pues, considerarse únicamente desde el punto de vista de la economía de un 25 ó 30 por 100 de carbón; debe mirarse como una garantía segura contra la práctica onerosa é irracional que consiste en enganchar dos locomotoras á la cabeza de un tren.—H.

(Continuará.)

LAS OBRAS DE RIEGO EN LOS ESTADOS UNIDOS

POR

DON JOSE NICOLAU

Y

DON NARCISO PUIG DE LA BELLACASA

SERVICIO FEDERAL DE OBRAS DE RIEGO

(Continuación.)

Presas de escollera.

Clasificación.—El empleo de escolleras para formar el elemento resistente de las presas, puede ser conveniente en los casos en que abunde la piedra, y así ocurre en varios puntos de la América del Norte, donde se han construido ó están en curso de ejecución obras de esta naturaleza. Según el medio á que se recurra para conseguir la impermeabilidad del macizo, se obtienen los distintos tipos de presas de esta clase, que podemos reducir á los dos siguientes:

1.° Presas con muros transversales interiores, de fábrica, ó formados por placas metálicas.

2.° Presas con el paramento interior hecho impermeable mediante un revestimiento de madera, asfalto, planchas metálicas, etc.

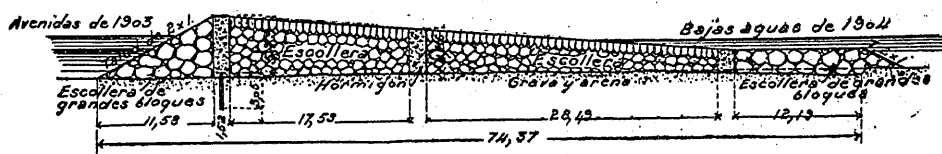
Hay además presas en las que el talud interior de la escollera está protegido por un muro de fábrica ó por un macizo de tierras, pero estas obras las consideramos comprendidas entre las presas mixtas.

Presas de escolleras con uno ó varios muros transversales.—Son análogos á las pantallas de que hemos hablado al tratar de las presas de tierra, y el tipo más conocido entre las de esta clase es el que lleva muros de mampostería ú hormigón, que siempre son más fáciles de ejecutar, de modo que reunan condiciones satisfactorias, que las delgadas pantallas metálicas que se han colocado en algunas presas de escollera.

Citaremos como ejemplo la presa llamada de la Laguna, que está construyendo el Gobierno americano en las inmediaciones de Yuma, Arizona, sobre el río Colorado, con objeto de elevar el nivel de las aguas unos tres metros sobre el estiaje, para derivar las que alimenten los canales de riego que se establecerán á ambos lados del valle. Esta presa

vertedero, que tendrá 1.460 metros de longitud, con una anchura máxima de 78 y 5,80 de altura sobre el fondo del río, corresponde al llamado tipo indio, usado con resultado satisfactorio para casos análogos en la India inglesa, siendo también de esta clase las construídas en el Nilo para refuerzo de la presa del Delta. Su sección, representada por el dibujo, parece justificada, dada la naturaleza socavable del terreno en el cauce, y la necesidad de adoptar un tipo robusto para que pueda resistir satisfactoriamente el paso, por encima de su coronación, de las grandes crecidas de aquel importante río. Los tres muros de hormigón, además de atajar las filtraciones, sirven para sostener bien la escollera, formada por bloques de granito algo descompuesto que constituye las laderas; los taludes de ambos lados están formados por cantos de gran tamaño, y con objeto de evitar socavaciones, el lecho quedará revestido aguas abajo, en unos 15 metros, por bloques aun mayores. El río Colorado lleva siempre una considerable cantidad de arrastres que obstruirían rápidamente los canales de riego; para evitarlo están dispuestas sus tomas en forma adecuada, que describiremos más adelante.

En estas obras, comenzadas por contrata en Julio de 1905, sólo se ha hecho el 34 por 100 por dicho procedimiento, continuándose después por administración. Las crecidas y otras causas han retrasado mucho los trabajos, que cuando los visitamos se hallaban limitados á la margen izquierda. La roca para la escollera procede de las laderas graníticas que se desmontan, previos barrenos practicados con perforadoras de vapor, por medio de explosivos, empleándose cabrias para cargar los vagones de los trenes que llevan la piedra al macizo de construcción. Cuando se trabaja en los puntos próximos al río que contienen agua en alguna cantidad, se forman recintos con ataguías de tierra constituídas por dos malecones en el sentido longitudinal de la presa y un tercero normal á éstos, contiguo á la orilla, dentro de los cuales se agota con bombas hasta dejar la altura conveniente para poder ir construyendo en seco los muros de hormigón y verter la escollera en buenas condiciones. Una draga



Sección transversal de la presa vertedero de la Laguna

de succión prepara el terreno sobre el que ha de insistir el macizo, y la piedra se coloca con el auxilio de cabrias, que también sirven para la construcción de los muros de hormigón. Este se fabrica en una hormigonera instalada en un cobertizo, en el que están los depósitos de piedra y cemento, y se transporta á los puntos de empleo por los trenes de trabajo. El cemento y demás materiales importados se llevan desde Yuma, la más próxima estación del ferrocarril, en barcasas que remontan el río. El combustible empleado es el aceite mineral, que en California es barato por obtenerse con abundancia en los pozos de Los Ángeles y otros puntos. El precio de contrata del metro cúbico de pedraplén colocado en obra, era de 2,15 pesetas.

Las presas con tabique de planchas de acero constituyen más bien una novedad curiosa, que un sistema que, en términos generales, pueda juzgarse recomendable, y del que son poco partidarios la mayoría de los Ingenieros norteamerica-

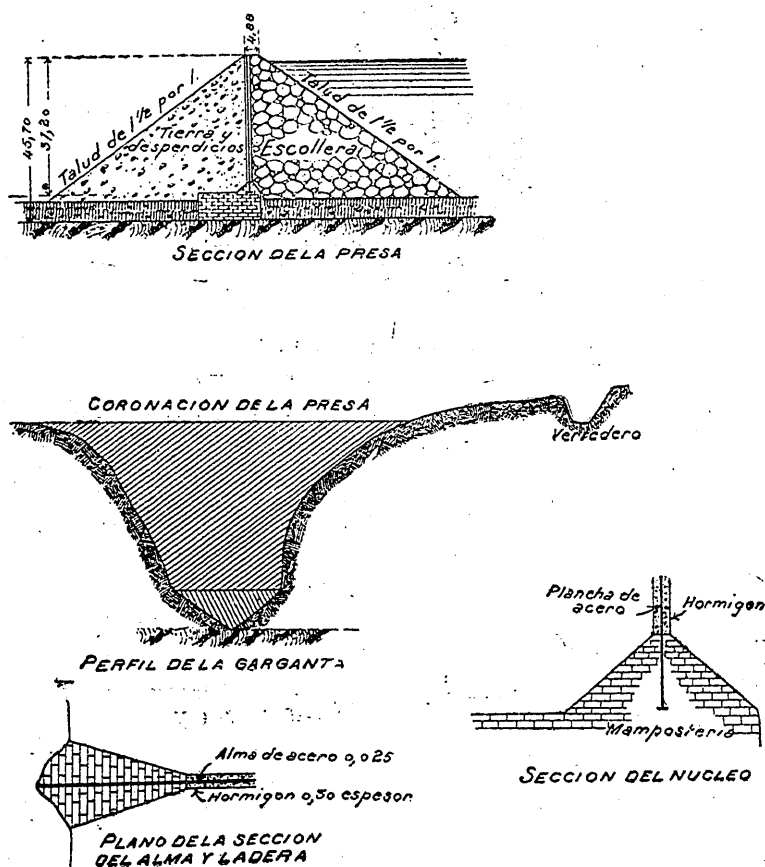
nos. Parece que la idea de obtener la impermeabilidad en una presa de escollera, por este procedimiento, se debe á monsieur Babcock, Presidente de una Sociedad de aguas para riegos y para abastecimiento de San Diego y Colorado, en California, quien la aplicó en 1894 á la presa inferior de Otay, situada á unos 35 kilómetros de San Diego. La circunstancia de estar formado el terreno por roca porfídica, y de que el cemento y demás materiales podían fácilmente transportarse desde el puerto de San Diego, permitían levantar una presa de fábrica en buenas condiciones, y así se proyectó y empezó á construirse; pero cuando se había elevado á unos 8,50 metros sobre la cimentación, se cambió el sistema por creer que la obra de fábrica resultaría demasiado costosa. Los adjuntos

de East Cañon Creek, en Utah, que alcanza 21 metros de altura, en la que la pantalla de acero se halla en el centro de un delgado muro de hormigón de asfalto; pero estando adherida al muro, como éste era arrastrado por fricción, en los movimientos producidos por el asiento de la escollera, se separó de la pantalla y cayó su parte superior, cuando por vez primera se llenó el embalse. Parece que después de reparada la avería, la presa ha dado bastante buen resultado.

Presas con el paramento de aguas arriba impermeable — En las presas de esta clase, es preciso que la impermeabilidad del paramento se obtenga con materiales que tengan la flexibilidad suficiente para no romperse al sufrir los movimientos producidos por los asientos de la escollera en que descansan. Los más usados con este objeto han sido los revestimientos hechos con madera ó con planchas de acero.

La presa de Escondido, en California, puede servir de ejemplo de los primeros. Se halla en una garganta de granito descompuesto, y tiene 116 metros de longitud en la coronación, por 23 de altura, siendo sus espesores 3 metros en la coronación y 43 en la parte más ancha de la base. El talud, de 1 por 1 en la parte alta del paramento exterior, llega al $1\frac{1}{4}$ por 1 en la mitad inferior, mientras que en el interior es tan sólo de $\frac{1}{2}$ por 1, porque está formado por un muro de mampostería en seco, siendo sus espesores de 4,60 metros en la base y 1,50 en la coronación. Antes de arrojar la piedra, que por gravitación se transportó en vagones sobre vías descendentes desde las canteras, se extrajo del fondo el terreno superficial, y delante del paramento interior se abrió una zanja, que se rellenó con mampostería de cemento, para base del revestimiento. Se formó éste, una vez hecho el macizo de escollera, alojando en el paramento del muro en seco maderos del pino rojo de California («redwood»), de madera muy dura, con 15 centímetros de escuadría, colocados, según la máxima pendiente, á distancias de 1,63 metros entre sus ejes, sobresaliendo 5 centímetros respecto al paramento. Sobre ellos se clavaron tablones de la misma clase de madera, con espesores de 8, 5 y 4 centímetros, según correspondían á los tercios inferior, medio ó superior de la altura total, llenando con hormigón apisonado los 5 centímetros del hueco que quedaba entre el entablonado y el paramento, y calafateando con estopa y asfalto caliente las juntas. Estas no eran continuas, y se colocó un segundo entablonado de modo que resultaran encontradas, tanto las horizontales como las verticales. La presa, construída, al parecer, con esmero, presenta, sin embargo, filtraciones que llegan á ser de 1.700 metros cúbicos por día cuando el embalse está lleno, y que no se sabe si proceden de las juntas del entablonado ó si son debidas al granito descompuesto del lecho del arroyo. Mientras que estas filtraciones serían peligrosas en una presa de tierra, porque irían arrastrando las partículas del relleno, y aun en una de fábrica, en la que podrían atacar los morteros y engendrar subpresiones que tal vez comprometiesen su estabilidad, en las de escollera, como el drenaje á través de los intersticios es tan amplio, no modifican la distribución de esfuerzos y la estabilidad no se altera sensiblemente.

Semejante á la presa de Escondido, es la construída en el río South Platte, á unos 80 kilómetros de Denver, de 180 metros de longitud en la coronación y 36 de altura, formada por escollera de granito, con el talud interior revestido por planchas de acero. El exterior es de $1\frac{1}{2}$ por 1, y el interior de $\frac{1}{2}$ por 1, formado, como en la de Escondido, por un muro en seco de 4,60 metros en la base y 1,50 en la coronación. Las planchas de acero, roblonadas á viguetas de sección de T



Secciones transversales, perfil longitudinal y detalles de la presa inferior de Otay.

dibujos, relativos á esta presa, que nos fueron galantemente facilitados por la Sociedad que utiliza el pantano, dan idea de cómo está constituida. La unión de la pantalla de acero con la fábrica se hizo colocando en ésta una pieza en forma de T invertida, á la que se roblonaron las planchas, cuyo espesor, igual en la parte baja á 8,5 milímetros, va decreciendo con la altura. Para proteger y dar impermeabilidad á la pantalla, se le aplicó primero una capa de asfalto, mezclado con borra, que evitaba que el asfalto blando tendiese á descender á lo largo de las planchas, completándose la operación con otra capa de asfalto y borra. Esta pantalla quedó luego encerrada entre dos muros de hormigón, uno por cada lado, con espesores de 30 centímetros, á los que se dejaron sus moldes de madera, y cuya misión consiste en proteger aquélla, de la que son independientes, contra las presiones y daños que pudiera producir la escollera al verse y asentarse. La piedra se arrojó sin precaución ninguna, transportándose por medio de cables aéreos de la casa Lidgerwood Manufacturing Co, Nueva York. Observamos algunas filtraciones por el fondo, pero no parecían de importancia.

Posteriormente se ha construído otra presa análoga, la

colocadas según la máxima pendiente, á distancias de 1,50 metros, tienen espesores de 9,5, 7,9 y 6,3 milímetros. Antes de poner las planchas se bañaron en asfalto, y al colocarlas se llenó de hormigón el espacio comprendido entre ellas y el muro en seco: además, se recubrieron de hormigón las que quedaron, desde el fondo hasta 3 metros por encima del túnel de desagüe, conservándolas superiores por medio de la pintura. La pantalla se une á las laderas mediante pasadores embutidos unos 30 centímetros en la roca, rellenándose con hormigón las cajas abiertas al efecto. Las condiciones del sitio donde se ha establecido esta obra eran muy á propósito para construir una de fábrica; pero se halla en un lugar con comunicaciones tan difíciles, que hubiera resultado muy caro el cemento y demás materiales que hubiese sido necesario traer de otras procedencias.

Examen crítico de este sistema de presas.—Desde luego las presas-vertedero del tipo indio reúnen condiciones muy satisfactorias, y están indicadas cuando no se dispone de terreno sólido para cimentar, como sucede en el ejemplo descrito. Refiriéndonos á las de embalse, de acuerdo con la opinión de varios Ingenieros norteamericanos, creemos que, en general, las presas de escollera tienen el inconveniente de no resultar suficientemente impermeables, lo que contrarresta las innegables ventajas de que, aun con menores espesores, sus condiciones de resistencia son más satisfactorias que en las de tierra, y que las filtraciones no alteran de ordinario las condiciones de estabilidad del macizo.

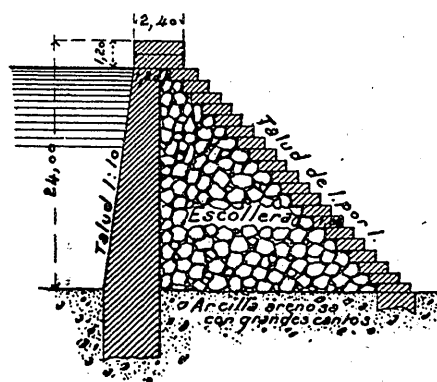
En las gargantas rocosas de ciertas montañas situadas en puntos alejados y de difícil acceso, en los que sería muy costoso el transporte del cemento y demás materiales necesarios, pueden á veces resultar mucho más económicas que las presas de fábrica, y en estas circunstancias tal vez sea conveniente su adopción en algunas ocasiones. La principal dificultad que hay que vencer, consiste en conseguir que sean impermeables de un modo permanente y eficaz. Para obras de poca importancia, y en climas adecuados, podrá en casos especiales bastar un entablado de madera; pero todos los revestimientos del talud interior nos parecen soluciones poco recomendables. Lo mismo ocurre con las pantallas metálicas; y únicamente entendemos que podrá resultar eficaz la formada por un muro de fábrica, ó mejor de hormigón armado, con espesores y resistencia suficientes, dirigiendo su construcción y la de la escollera de modo que se eviten los asientos y los empujes bruscos durante la ejecución. Claro es que esto exige una mano de obra algo costosa, que habrá que tener en cuenta, al comparar el precio de la presa de escollera, con los de otras soluciones posibles.

Presas mixtas.

Combinando las fábricas y materiales usualmente empleados en la formación de presas, se han obtenido tipos en los que se aprovechan del modo más conveniente las condiciones de unas y otros, lo que puede constituir en muchos casos la solución preferible.

El empleo de las presas mixtas está bastante extendido en los Estados Unidos para resolver el problema de la impermeabilidad de las de escollera, y es, á nuestro juicio, uno de los casos en que se halla más indicado. Generalmente se adopta el sistema de formar una presa de tierra, á la que se adosa por detrás el macizo de la escollera; pero también se ha constituido en algún caso la parte de aguas arriba con un muro de fábrica.

Dicha combinación de muro de mampostería con escollera, se ha llevado á efecto en la discutida presa de Castlewood, situada cerca de Denver, en Colorado, construida por una Compañía porticular, en el año 1890, para formar un pantano destinado á riegos. Tiene 183 metros de longitud y 24 de altura máxima. Su sección primitiva, representada en el dibujo, estaba formada por un muro de mampostería de grandes bloques, con un mortero de cemento, detrás del cual se había vertido la piedra sin precaución alguna, y un paramento posterior escalonado, que se formó con piedras de 60 centímetros de grueso, descansando sobre la escollera.



Sección transversal de la presa de Castlewood.

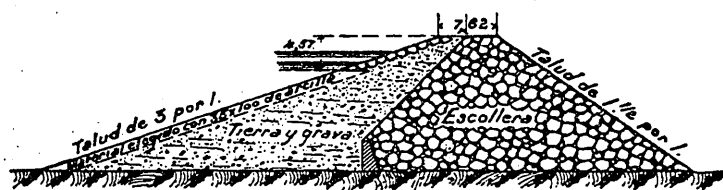
Los cimientos de los muros se hicieron con hormigón, y el macizo se apoya sobre arcilla arenosa, de la que se quitaron algunos cantos gruesos.

Durante la construcción se formularon varias quejas por los propietarios de fincas situadas aguas abajo, que creían que la obra no reunía condiciones de estabilidad satisfactorias, y al terminarse, aparecieron filtraciones importantes, que aumentaron la inquietud y alarma. Nombróse entonces una Comisión, que declaró que la obra no estaba bien construida, proponiendo como medio de reforzarla y proporcionar mayor impermeabilidad, colocar delante del muro de fábrica un macizo de tierras revestido con piedra. Esta presa no ofrece apariencia satisfactoria, y constantemente ha sido preciso hacer en ella reparaciones.

La combinación de tierra y escollera para formar presas mixtas, en las que la impermeabilidad está confiada á la primera, y la resistencia al empuje del agua á la segunda, está dando en la práctica muy buenos resultados. El principal inconveniente de las presas de escollera es, según hemos visto, que no suelen resultar impermeables de un modo completo y duradero cuando se trata de conseguir dicha cualidad por la interposición de un tabique rígido. En cambio, un macizo de tierra colocado delante del de piedra, amoldándose fácilmente á las deformaciones debidas al asiento de ésta, puede proporcionar una impermeabilidad comparable á la de las construidas exclusivamente con tierras, consiguiéndose, además, la ventaja de reducción en el volumen total, y también la muy importante de que, si llega á iniciarse una filtración á través de las tierras, podrá, quizá, irse agrandando el boquete formado en ésta mientras no se repare el desperfecto, pero no es fácil que llegue á producirse la ruina de la obra, como suele ocurrir en tales casos, cuando los macizos están constituidos exclusivamente por tierras, pues al llegar el agua al pedraplén, como tiene fácil salida por los intersticios que entre sí dejan las piedras, y éstas presentan gran resistencia á su remoción, quedarán limitados los efectos erosivos á la parte térrea del macizo, del que se conservará

por lo menos, el pedraplén, si tiene el espesor adecuado. Creemos, por consiguiente, que cuando puedan obtenerse con facilidad ambos materiales, esta clase de presa constituirán soluciones muy satisfactorias y acaso las preferibles en muchos casos. Los Ingenieros norteamericanos las adoptan con frecuencia, haciendo el relleno de tierras por el procedimiento ordinario, ó por el hidráulico, de que trataremos más adelante.

Entre las de este tipo ejecutadas por el Servicio federal de obras de riego, puede citarse la importante presa de derivación sobre el río Snake, cerca de Minidoka, Idaho, que cruza el río citado en recta de unos 321,50 metros de longitud, en la que se encuentran, á contar de la margen derecha, la obra de toma del canal, otra obra de fábrica con aberturas reguladas por compuertas (que sirvió para dar paso á las aguas del río durante la construcción en el lado izquierdo) y el cuerpo del macizo de la presa, que tiene unos 185 metros. Á continuación viene el vertedero, que sigue una línea que brada, buscando la mejor cimentación sobre la roca del fondo, y que consiste en un sólido muro de hormigón, que es también el material con que están construídas las otras dos obras de fábrica. El terreno está formado por basalto más ó menos descompuesto, y sobre él se apoya la presa. Ésta, como



Sección transversal de la presa de Minidoka.

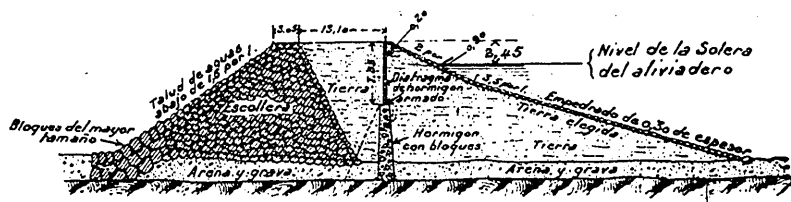
indica la sección dibujada, consiste en un macizo de escollera, limitado con un murete de hormigón, por el lado de aguas arriba, que lleva delante otro macizo de tierras. El muro de hormigón, cimentado sobre la roca sólida, tiene por objeto atajar las filtraciones que tiendan á correr por debajo de la obra, siguiendo el lecho del río.

Los trabajos, ejecutados por contrata, principiaron á fines de 1904, terminándose en Julio de 1906. Se comenzaron arrojando por medio de un cable transportador la escollera, constituida por bloques de basalto procedentes de las laderas y del canal excavado para desviar las aguas, empleándose hasta de dos toneladas para cerrar la canal más profunda del río, siendo muy variable el tamaño de las demás piedras, entre las que había bastantes cantos pequeños. Se tenía cuidado de que éstos rellenasen los intersticios entre los grandes, y que la gravilla se alojase en los huecos menores, con lo que se aumentaba la densidad, procurando también que las piedras fuesen de tamaño decreciente desde el talud de aguas abajo al de aguas arriba, con el fin de que las tierras estuviesen en contacto con la parte menos porosa de la escollera. En 1906 quedó cerrada por ésta la canal del río Snake, dándose salida al agua por la obra de hormigón, citada precedentemente, que con el auxilio de ataguías se había construído el año anterior, por la que llegó á pasar un volumen de 688 metros cúbicos por segundo en la crecida del 20 de Junio de dicho año. Se creía que el agua, durante esta avenida, había de saltar por encima del vertedero, pero no pasó de un metro por bajo de su coronación, terminándose durante aquel período el relleno de escollera, que queda á cuatro metros por encima del nivel de máximas avenidas.

Mientras duró la que hemos citado, el agua pasaba libremente á través de la piedra, estimándose las filtraciones en unos 28 metros por segundo, distribuídos uniformemente á lo largo de la presa. Una vez formado el macizo de la escollera, se tendió sobre su coronación una vía, desde la que se vertieron, por medio de vagones-volquetes, las tierras, compuestas de arena y gravilla con una porción de arcilla variable entre el 35 y el 50 por 100. Al principio, una cantidad considerable de tierra se introdujo por entre los intersticios de la piedra, pero éstos fueron pronto rellenos, consiguiéndose la impermeabilidad. Cuando visitamos esta obra pudimos observar que no daba paso á filtración alguna, sin que tampoco se notaran en el terraplén asientos de importancia.

Según los precios de la contrata, se pagó por metro cúbico de tierra colocado en la presa 1,05 pesetas y 1,18 por el de escollera.

Otra presa de tierra y escollera, que está construyendo el Gobierno federal en nuevo Méjico, es la que cerrará el embalse de Avalon, en el valle del río Pecos. Anteriormente se había construído una en el mismo sitio, de 15 metros de altura y 420 metros de longitud en la coronación, formada también con tierras y escollera, por una Compañía particular de riegos, pero en Octubre de 1904 fué destruída por una crecida del arroyo, que abrió una brecha de unos 135 metros. El proyecto, cuya ejecución comenzó en Junio de 1906, consiste en reconstruir la obra derruída, aprovechando y reforzando las partes existentes, trabajos que se ejecutan por administración en vista de haber quedado desierta la subasta. Como expresa el dibujo, se ha juzgado conveniente en este caso establecer una pantalla, destinada á asegurar por completo la impermeabilidad, formada en la parte que se ha hecho de nuevo, por un muro de hormigón que llega hasta 4,20 metros por debajo de la coronación, prolongado vertical-



Sección transversal de la presa de avalon.

mente por un diafragma de hormigón armado de 7,30 metros de altura, 30 centímetros de espesor en la base y 20 en la parte alta. En la porción aprovechada, como la construcción del muro que forma la parte inferior de la pantalla, requiere costosas excavaciones en el macizo de la presa, se pensó sustituirlo por un tablestacado, formado, como es muy usual en Norte América, de barras de acero unidas lateralmente á ranura y lengüeta, que se hincarían á través de la tierra hasta llegar á la roca de fondo; pero se han encontrado bloques sueltos que dificultaban tanto la hinca, que se ha juzgado preferible renunciar al tablestacado y adoptar en su lugar el muro de hormigón.

(Se continuará.)

