

EL CANAL Y LA PRESA DE ESTREMER A

Por BENITO JIMENEZ APARICIO, Ingeniero de Caminos.

A continuación presentamos el final de la descripción del canal y la presa de Estremera, que iniciamos en nuestro número anterior. El presente artículo se refiere exclusivamente a la presa, que, como podrán apreciar los lectores, presenta algunas particularidades de interés.

La presa.

En el emplazamiento de la presa, el terreno está constituido de arriba abajo como sigue: una capa superior de arenas, que sólo alcanza a las márgenes; una capa de acarreo inferior, que forma el fondo del cauce; debajo, una capa de arcillas arenosas sin yeso, que en las márgenes está sustituida por conglomerado o alterna con él, formando entre ambos una capa de unos 3 m. de espesor, protectora contra los yesos que existen en la capa inferior, y, por último, como *substratum* general y con espesor prácticamente indefinido, arcillas margosas con yeso distribuido en su masa, de manera irregular, con oquedades hasta de 1 m. de altura, debidas a disolución del yeso, pero que es de suponer no comuniquen con el exterior, dada la profundidad a que se encuentran y dentro de una masa de arcilla impermeable. Las arcillas flojas que alternan con los conglomerados no admiten cargas de más de 2 Kg./cm.², admitiéndose en el informe de Sondeos que, con esta limitación, puedan servir de asiento de la presa; y como otra posible solución se indica el restablecimiento con hormigón de cemento aluminoso o puzolánico de la capa de conglomerado donde haya sido destruida. Se agrega en dicho informe que la disolución y entumecimiento de los yesos pudieran producir deformaciones sobre la capa aislante antes indicada, principalmente por asientos, que al no estar la obra dispuesta para ello comprometerían su estabilidad, por lo que prescribe la presa rígida; y que, dada la clase de terrenos, deben reducirse al mínimo las filtraciones por debajo de la presa.

Resulta, pues, que la presa que se proyectase habría de reunir tres condiciones fundamentales: no ser rígida para que permita deformaciones del terreno de apoyo y en caso de avería afecte sólo a una parte, lo más pequeña posible, de la obra; que la carga sobre el terreno (arcilla arenosa floja) sea pequeña (menos de 2 Kg./cm.²), y, por último, que esté dispuesta para evitar filtraciones por debajo, o sea del tipo llamado "azudes sobre el terreno permeable". Caben, pues, los dos tipos generales siguientes, como dignos de te-

nerse en cuenta, para altura de unos 6 m. y como solución definitiva: de material suelto (escollera, mampostería en seco o gaviones) y de elementos rígidos independientes o articulados entre sí (Ambursen o similares). Pero como aún la de gaviones no tiene las debidas garantías de permanencia para la seguridad del servicio y exige esmerada conservación y frecuentes y costosas reparaciones, especialmente en un río importante y de difícil desviación o ataguamiento como éste, y para escollera natural o mampostería no existe piedra, se compararon solamente la de escollera artificial colocada a mano y la Ambursen proyectada, resultando, en aquella época, más barata la Ambursen, lo que tal vez hoy no ocurriría, a causa de la escasez del hierro.

En la figura 19 se dibujan, a la misma escala, los dos tipos comparados, cuyo estudio comparativo se elevó a la Superioridad, y por no alargar más este artículo, hacemos gracia al lector de los cálculos y razonamientos que nos sirvieron para la obtención detallada del perfil de escollera de bloques de hormigón: espesor de coronación y taludes; losas del paramento de aguas abajo, de dimensiones calculadas al empuje y succión del agua, para evitar el peligro mayor de estas presas: que levantado un mampuesto de ese paramento se abra la brecha que destruya gran parte de la misma; zampeado de defensa del cauce, y tabique central con tablestacado para que, con arreglo a la ley de Bligh, la velocidad de las posibles filtraciones no tenga potencia de arrastre del terreno, con el consiguiente asiento y dislocación de la escollera.

La presa tipo Ambursen. — La presa proyectada, de pantalla plana dividida en placas independientes con simple apoyo en los contrafuertes, descansando éstos empotrados sobre sendas losas armadas y articuladas entre sí, formando una solera general flexible que reparte las presiones sobre el terreno, resuelve las cuestiones referentes a flexibilidad y mínima carga, inferior a los 2 Kg./cm.² que tenemos de tope sobre la arcilla floja utilizada como aislante de los yesos inferiores. Esta solera general se continúa hacia aguas

abajo, formando colchón, y se limita por dos rastrillos de tablestacas metálicas encapadas en el hormigón: el de aguas arriba, profundo, para que alcance a la arcilla impermeable o para que con su longitud, sumada a la total de la solera y colchón, anule prácticamente las filtraciones debajo de la presa, y el de aguas abajo, que tiene drenes en su parte superior por debajo de la solera, para evitar la posibilidad de sub-presión total en ésta, no cuenta a los efectos de las filtraciones, y es superficial para defender solamente contra la socavación regresiva de aguas abajo.

Estos rastrillos, armados en su parte superior de hormigón, contribuyen a la resistencia al deslizamiento; que es el punto peligroso en este tipo de presas

de poco peso, por lo cual se inclina la pantalla de aguas arriba, no sólo para centrar la resultante en la base de los contrafuertes, sino también para que su inclinación sea aceptable en relación con la estabilidad de la presa en aquel aspecto.

Las juntas de la pantalla se hacen sencillamente con relleno de asfalto, que estimamos suficiente, incluso en la de apoyo contra la solera, en donde ayudarán los cienos que allí se depositen, porque si algunas pequeñas fugas se presentaran, ni influyen en la estabilidad de la presa ni tienen importancia por el caudal que se pierde. Más importancia tendrían las de la solera, en el supuesto pesimista de que el tablestacado de aguas arriba no impida las filtraciones por debajo, que al

PLANTA DE LA PRESA
(CON TOMA SOLO PARA RIEGO)

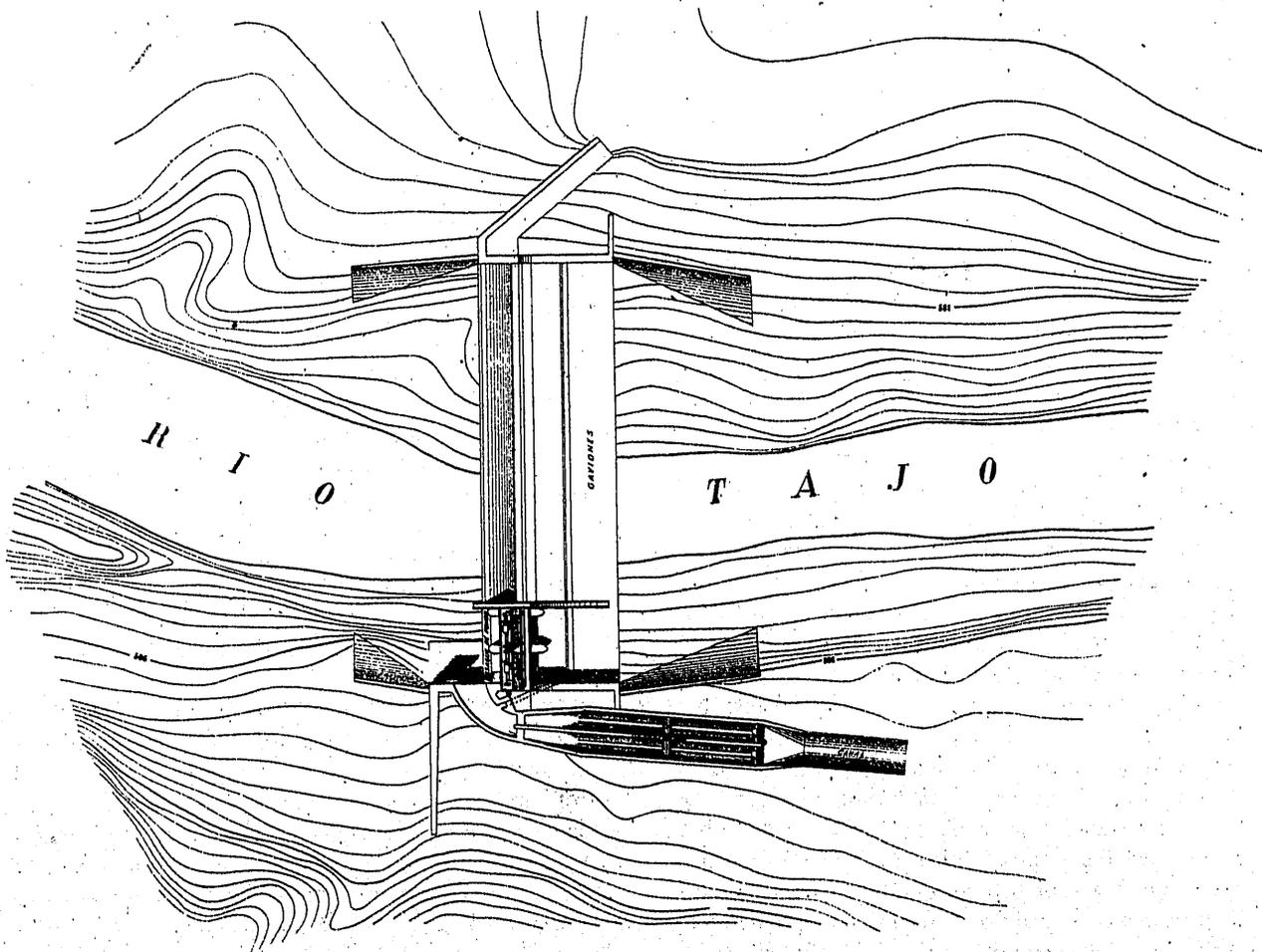


Figura 16.

ALZADO DE LA PRESA/A

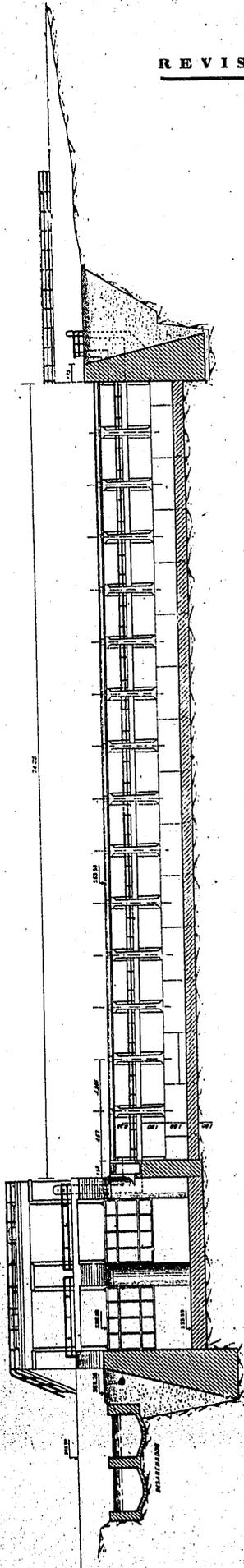


Figura 17.

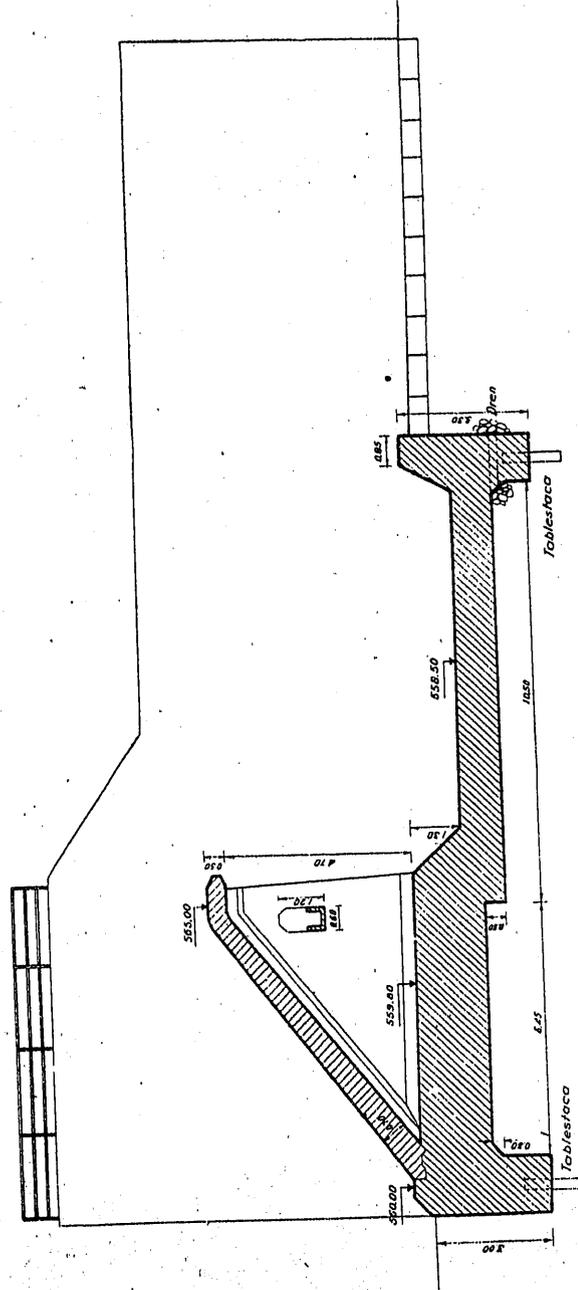


Fig. 18. — Presa. Sección del proyecto.

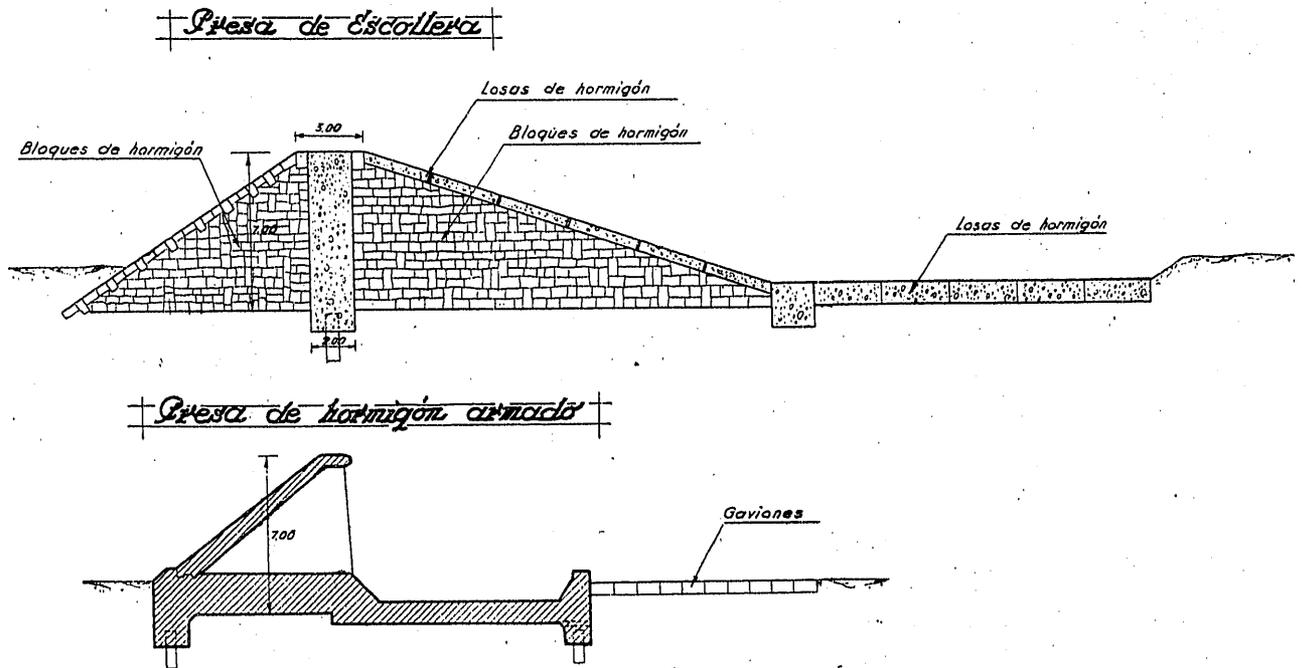


Fig. 19. — Las dos soluciones comparadas.

acortar así su recorrido podrían resultar peligrosas; pero con la disposición de esas juntas articuladas y la cuña de asfalto que las cierra, queda asegurada la necesaria impermeabilidad, comprobada con disposición análoga en la presa Temiscouata (E.E. UU.).

Previos tanteos para que los espesores mínimos no bajen de unos 50 cm. por conveniencias constructivas, se fijó la separación de los contrafuertes en 4,90 m., que da un número exacto de vanos, resultando aqué-

llos con altura de 4,7 m. y espesores de 45 cm. en la coronación y 55 cm. en la base, hacia el 1/10 de la luz, con talud de 1/100 aproximadamente. La pantalla tiene espesores variables desde 50 cm. en la coronación a 70 cm. en la base.

A través de los contrafuertes se dispone una pasarela para inspección del interior de la presa, y se descende a ella por dos pozos practicados en el estribo izquierdo y en la pila-estribo del desagüe de fondo,

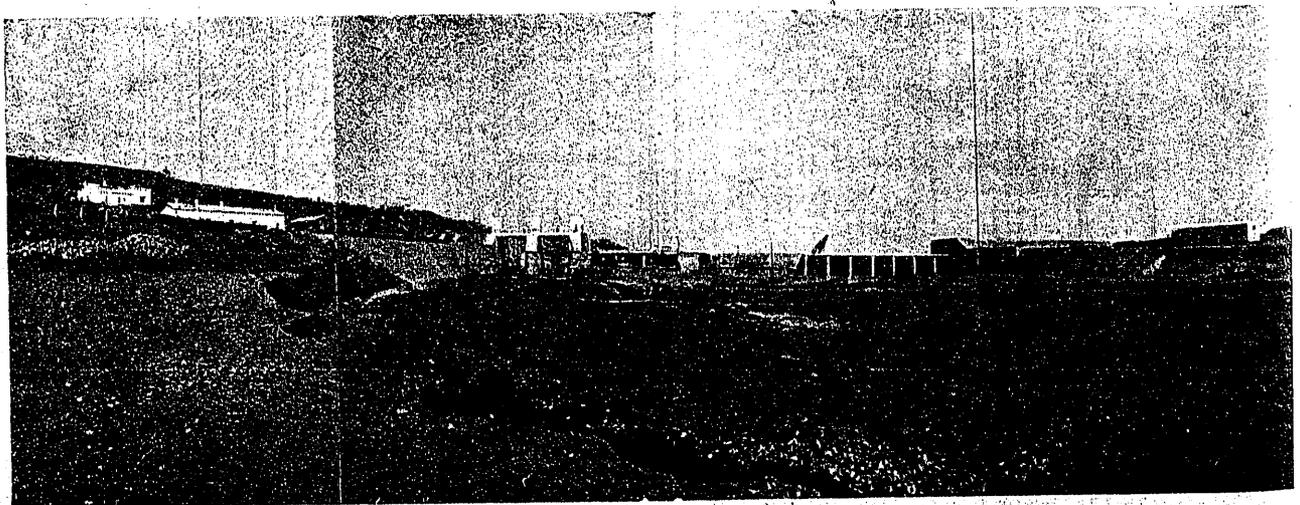


Fig. 20. — Vista general de las obras de la presa.

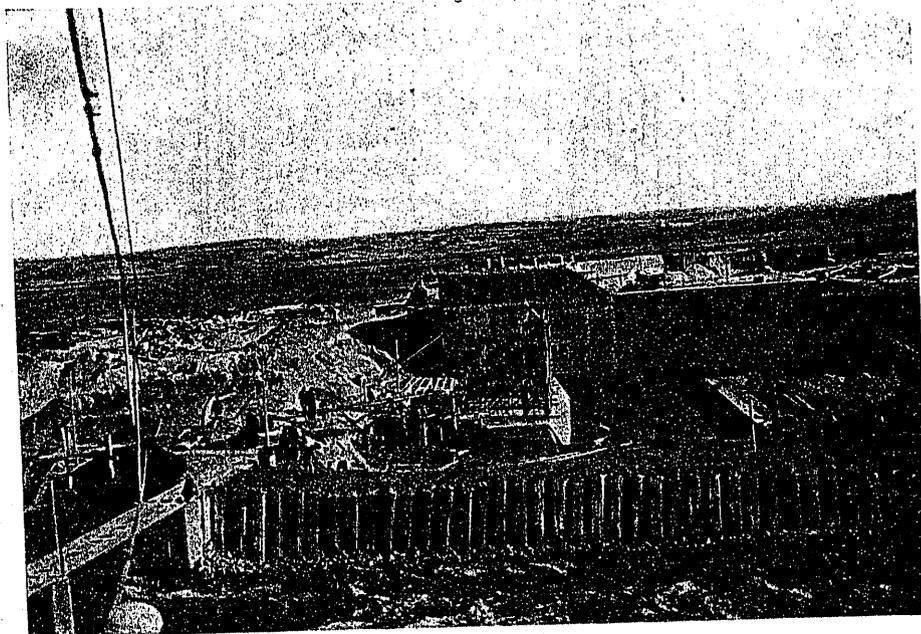


Fig. 21.— La presa en construcción, con las armaduras de varios contrafuertes colocadas.

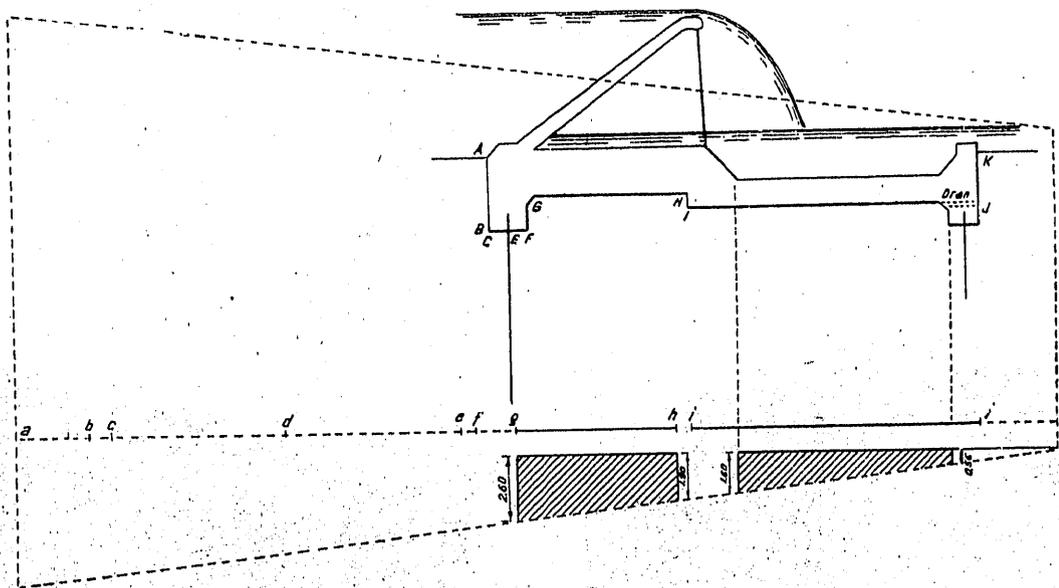


Fig. 22.— Estudio de la subpresión.

trafuertes, y entre 1,6 m. y 0,56 m. en la zona del colchón; de modo que, aun supuesta sumergida, lo que equivale a aumentar la subpresión en el espesor de la solera, basta con espesores respectivos de 1,80 y 1,00 m., supuesta la densidad de la fábrica sumergida de 1,40.

Este fué el proyecto; pero a la hora de construir, por razones que no son del caso, tuvimos que elevar la coronación del vertedero 50 cm., lo que se consiguió aumentando otro tanto el espesor de la solera en la zona de los contrafuertes y se alargó algo el colchón. Además, en la zona próxima al estribo izquierdo, por lo flojo del terreno de apoyo, suprimimos el escalón inferior de la solera, haciéndola plana en toda su extensión. El resto de la estructura ha quedado exactamente con arreglo al proyecto.

Armado de la solera y el colchón. — La carga del contrafuerte sobre la solera produce en ésta una flexión normal a aquél, y en sentido longitudinal en la solera del colchón, que es continuación de la anterior, todo lo cual exige el correspondiente armado.

En cuanto al deslizamiento, la resultante en la base de los contrafuertes tiene una inclinación correspondiente a $\text{tag } \varphi = 0,59$, y en la base de la solera, sumado el peso de ésta y la carga de agua sobre la misma $\text{tag } \varphi = 0,40$. No obstante, por ser éste el punto delicado de la estabilidad de la obra, como hemos dicho, se han armado los rastrillos y soleras para resistir la componente horizontal de deslizamiento: en el rastrillo superior, por su empotramiento en el terreno, y en la solera, aun para el caso extremo, difícil de imaginar, de que habiendo fallado el rastrillo superior se hubiese de transmitir todo el esfuerzo al inferior, con la consiguiente flexión compuesta.

Normas de cálculo de la presa. — Se empezó por calcular la inclinación de la pantalla, como hemos dicho, para que la resultante pase por el tercio central de la base de los contrafuertes y su inclinación sea aceptable en relación con el deslizamiento.

En cuanto a la carga a considerar, examinadas las situaciones para distintos caudales y habida cuenta de la acción de los cienos que se depositarán del lado de aguas arriba, hemos prescindido del empuje favorable del nivel de aguas abajo, a pesar de que la ventilación que se dispone en la parte inferior de la lámina evita el vacío, y que, por el cambio rápido de dirección de la lámina al caer, el nivel inferior debajo de la pantalla será incluso algo superior al inmediato del río (Schocklistch). Tomamos, pues, la máxima carga de agua del lado de aguas arriba, sin nada aguas abajo, y siguiendo las normas de Gómez Navarro (*Presas de*

embalse), calculamos la pantalla y las ménsulas de los contrafuertes, que no ofrecen nada de particular.

Contrafuertes. — Con las cargas de agua que sirvieron de base al cálculo de la pantalla y el peso propio de ésta y de los contrafuertes, se han determinado las cargas verticales en varias secciones horizontales, entre ellas la base, por las fórmulas de la flexión compuesta, suponiendo, desde luego, ley de variación lineal. Se han determinado, asimismo, los esfuerzos horizontales Π y los desgarramientos τ en los paramentos de aguas arriba y aguas abajo, para de ellos deducir las correspondientes leyes de variación a lo largo de cada sección, leyes que suponemos también lineales, lo cual no es cierto pero sí suficientemente aproximado (Zafra: *El hormigón armado y los grandes embalses*; Romera: *Presa del Burguillo*), salvo la perturbación que en esa variación lineal supone la presencia de la ménsula, por lo que se ha hecho el estudio con y sin ménsula, tomando fuera de ella las líneas representativas con los puntos correspondientes en el paramento aguas arriba a con ménsula, tanto en compresión como tracción y desgarramiento (véase fig. 28). Con las $p - \pi - \tau$, deducidas en cada punto de cada sección, se han obtenido las cargas

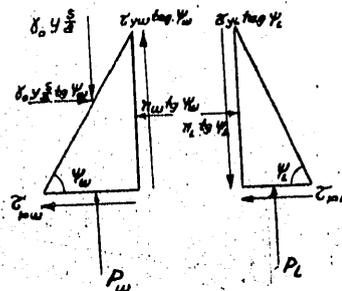
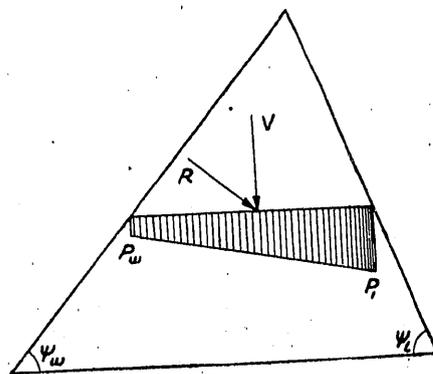


Figura 26.

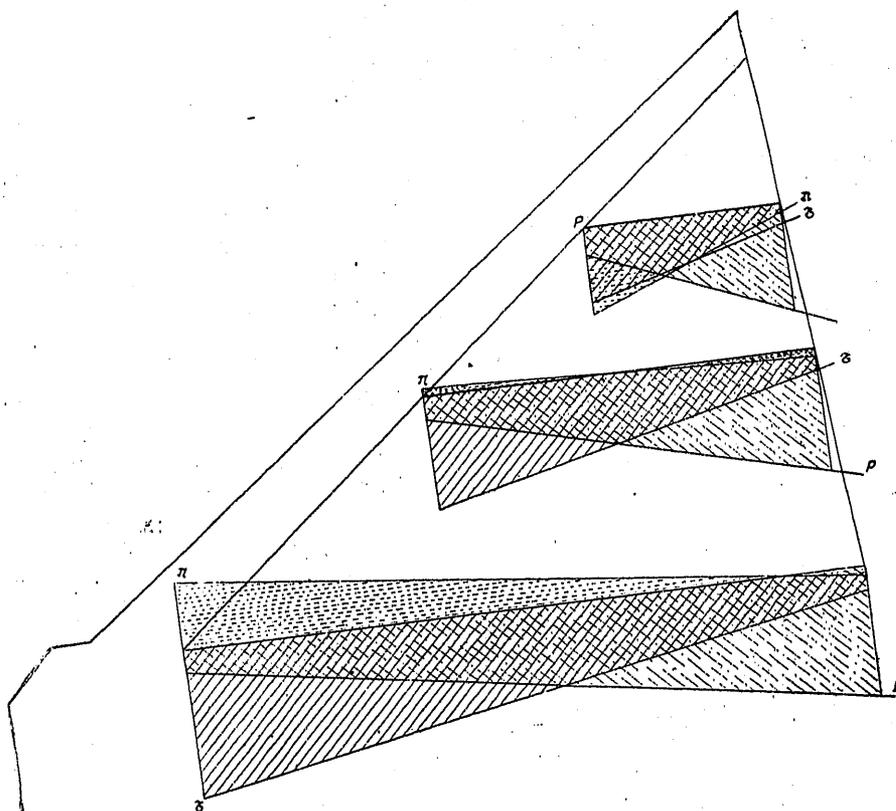


Fig. 27.— Líneas de esfuerzos sin la ménsula.

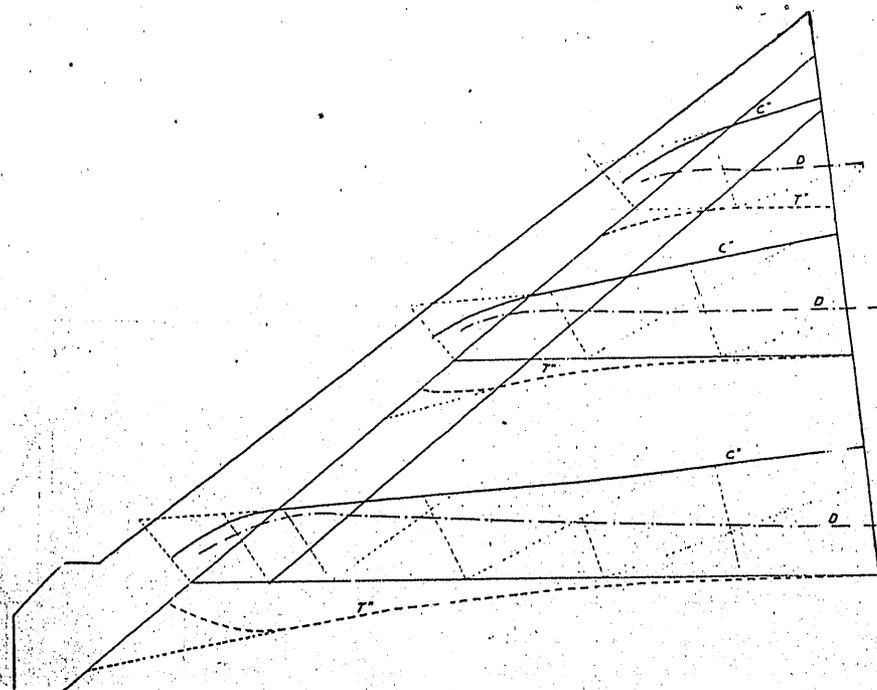


Fig. 28.— Cargas principales para el cálculo.

principales C y T y el desgarramiento máximo D , así como sus direcciones, empleando las fórmulas siguientes:

$$P = \frac{V}{S} \pm \frac{M}{I} \frac{1}{h}$$

$$\tau_{xw} = -\tau_{yw} = \left(\gamma_0 y \frac{s}{a} - p_w \right) \cot \psi_w;$$

$$\tau_{xL} = -\tau_{yL} = p_L \cot \psi_L;$$

$$\pi_w = \gamma_0 y \frac{s}{a} + \left(p_w - \gamma_0 y \frac{s}{a} \right) \cot^2 \psi_w;$$

$$\pi_L = p_L \cot^2 \psi_L;$$

prescindiendo del efecto en el contrafuerte del nivel de aguas abajo.

En cuanto a las cargas principales en cada punto:

$$(C, T) = \frac{1}{2} (p + \pi \pm \sqrt{(p - \pi)^2 + 4 \tau^2}),$$

con dirección dada por $\text{tg } 2 \varphi = \frac{2 \tau}{\pi - p}$.

El desgarramiento máximo

$$D = \frac{1}{2} (C - T) = \sqrt{\frac{(p - \pi)^2}{4} + \tau^2},$$

con $\text{tg } 2 \varphi_1 = \frac{\pi - p}{2 \tau}$.

Resultan esfuerzos máximos de: 13,18 Kg./cm.², para la compresión aguas abajo; 5,5 Kg./cm.² de tracción, aguas arriba, y 7,6 Kg./cm.², también aguas arriba, de desgarramiento, con deslizamiento efectivo mucho menor a causa de la compresión. Se ha calculado por el mismo procedimiento la influencia de los vanos que se dejan en los contrafuertes para el servicio de la pasarela, y su influencia es insignificante (la compresión pasa de 12,18 a 15,84 Kg./cm.²), y como refuerzo se rodea de un cerco de armaduras.

El armado del contrafuerte se calcula, por una parte, para las tracciones antes indicadas, disponiendo las armaduras siguiendo sensiblemente la dirección de los esfuerzos principales, y por otra, para la flexión lateral en el caso en que falte una de las lesas que se apoyan en él, lo que, por descentramiento de la carga, produce una insignificante torsión y una flexión compuesta, con arreglo a la cual se calculan y disponen armaduras verticales, dividiendo idealmente el contrafuerte en pilares para este cálculo.

Desagües de fondo. — Tratándose de un río de fuertes pendientes, muy encajonado y de grandes acarreos, de acuerdo con esas circunstancias y con su largo recorrido en terrenos terciarios, se precisa un amplio desagüe de fondo, por lo que tomamos de base para calcularlo el caudal de crecidas ordinarias, además de la circunstancia fundamental de que en la

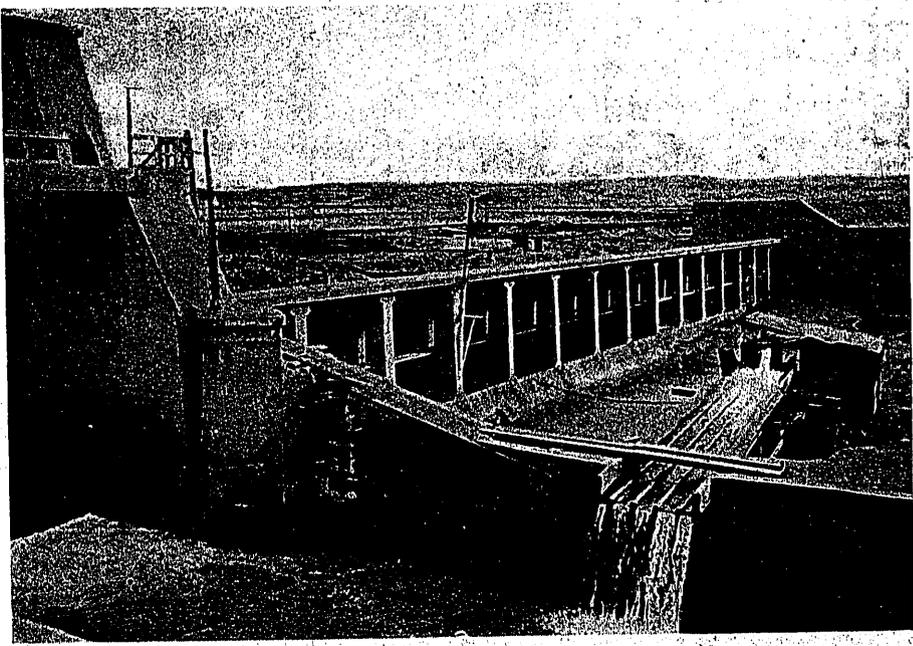


Fig. 29. — La presa terminada.



Fig. 30. — Otra vista de la presa.

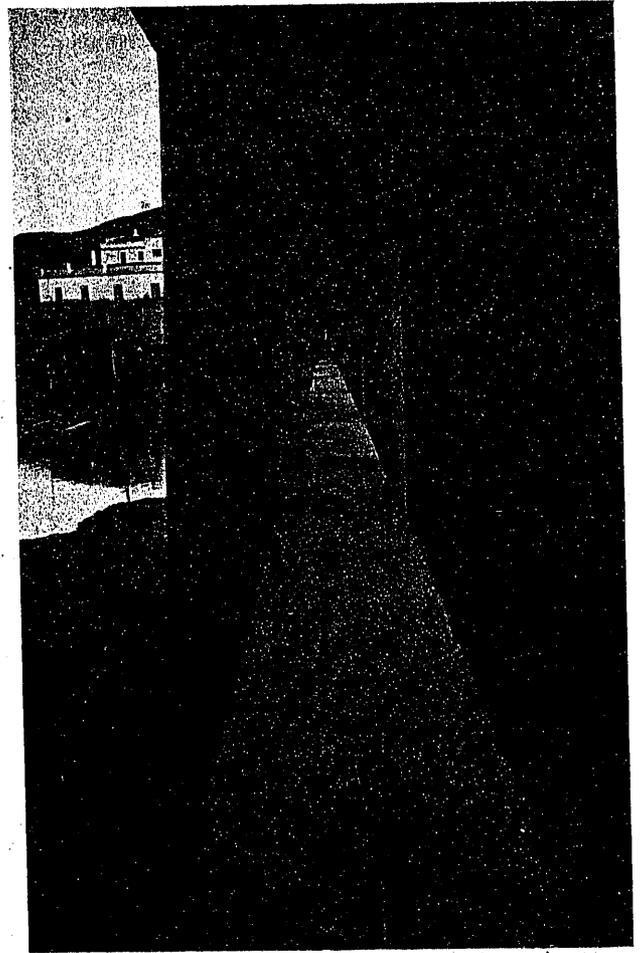


Fig. 31. — Pasarela interior.

zona del bocal se produzca una velocidad capaz de conseguir el arrastre de los sedimentos que allí se depositen. Se consigue con el proyectado en la superficie isotaquia que pasa por el extremo de dicho bocal la velocidad de 1,73 m./s., suficiente a este objeto.

Para su cierre se proyectaron dos compuertas Stoney, de 7 m. de luz, que redujimos a 6 a la hora de construir, por 4 m. de altura total; después, 4,35 para una útil de 3,85 m., con lo que podrán saltar por el vertedero, sin levantar las compuertas, hasta 50 metros cúbicos/seg. La pila intermedia, de 2 m. de espesor, comprobada y armada para todos los esfuerzos que debe resistir en todas las hipótesis posibles de situación de ataguías y compuertas.

Obras de toma. — Para proyectar el bocal se ha tenido en cuenta, por una parte, la conveniencia de que quede lo más cerca posible del desagüe y sea corto, para facilitar el arrastre de sedimentos en sus

inmediaciones, y por otra, que la velocidad de entrada del caudal derivado sea pequeña para evitar la entrada del arrastre grueso; sin olvidar que nada se consigue con longitud excesiva, porque no disminuye la velocidad en la misma proporción, ocurriendo, a veces, que el caudal que entra vuelve a salir, en parte, si no va bien guiado por la forma e inclinación del antecanal y las pilas del bocal. Aquí la velocidad de entrada se ha fijado en 0,32 m./s., y como hay una rejilla de pletinas de 7 mm. separadas 7 cm. y una pila de 70 cm., resultan en total 8 m. de longitud de bocal. El umbral queda 2 m. más alto que el de desagüe de fondo, y sobre la rejilla se dispone una pantalla de hormigón armado.

Por la razón dicha, y teniendo en cuenta que el antecanal conviene que arranque tanto más inclinado respecto a la corriente cuanto menor sea el caudal relativo derivado, se le da una inclinación de 30°, y su ancho se va reduciendo paulatinamente hasta el

regulador, con pendiente rápida de su solera hacia la compuerta de desagüe situada junto a aquél.

Al regulador se le da doble capacidad de la necesaria, porque va seguido inmediatamente del desarenador con dos compartimientos, cada uno servido por una compuerta del regulador; de modo que estas compuertas estarán normalmente en su posición media de cierre, y sólo cuando uno de aquellos compartimientos

del desarenador se esté limpiando y por el otro se alimente el canal, estarán ambas completamente abiertas. Estas compuertas son para vano de $2 \times 1,1$ m., calando la pantalla superior 15 cm. en el nivel de aguas abajo, con lo que resulta una velocidad de entrada de 1,10 m./s.

En cuanto al desarenador, por el bocal sólo podrá entrar gravilla menuda que se depositará en el ante-

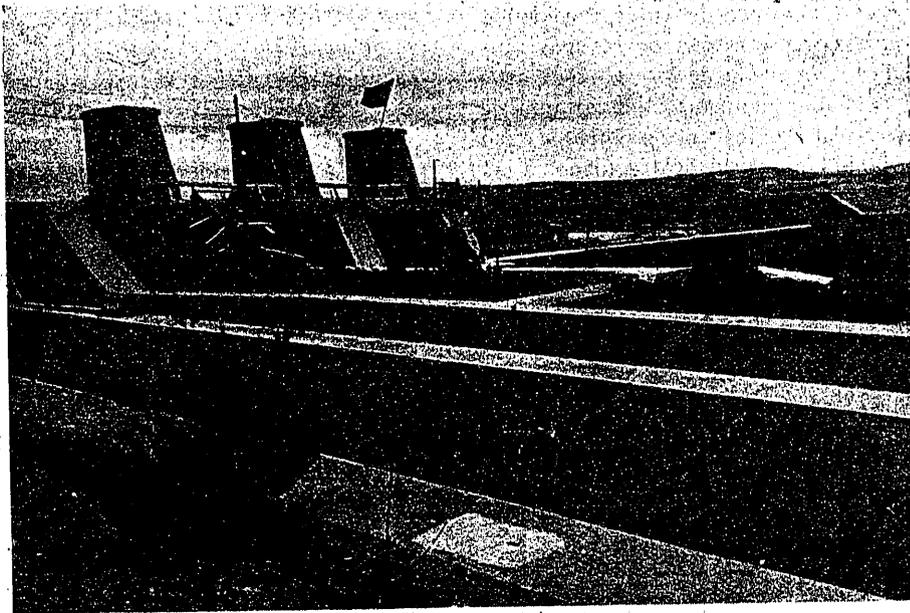


Fig. 32. — Desarenador, desagüe de fondo y vertedero.

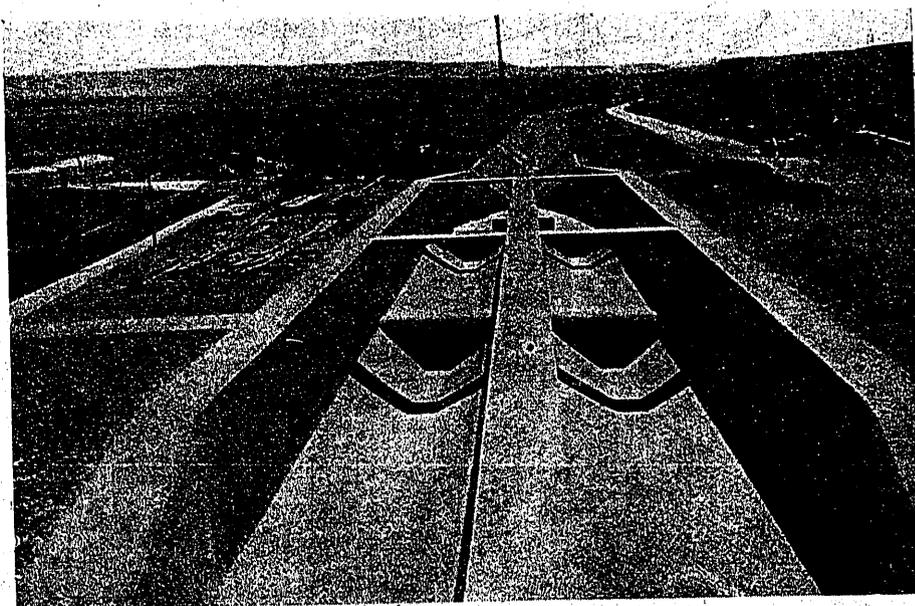


Fig. 33. — El desarenador, el canal y el camino de servicio.

canal, quedando sólo en suspensión la arena gruesa y fina, que puede pasar por el regulador y habrá que depositar en el desarenador, para evitar que pasen al canal, con el consiguiente gasto de limpieas y reducción de sección, procurando, en cambio, que quede el limo fino, de gran valor fertilizante. Por esta razón se proyecta el desarenador con 40 m. de longitud y 8 m. de anchura, con sección útil para 0,25 m.³/s., más el 25 por 100 de la misma por los sedimentos, algo escasa por economía; pero al final termina en un aliviadero que vierte al origen del canal, recogiendo el agua de las capas superiores, que son las más limpias. Ya se ha indicado la razón de los dos compartimientos para, en cualquier momento, limpiar uno de ellos derivando el caudal de riego por el otro, a cuyo fin se dispone la doble compuerta del regulador y se

establecen dos desagües en cada desarenador: uno, en la mitad, y otro, al final, para poder aumentar la pendiente longitudinal de la solera. En las figuras 16, 17 y 33 se ven planta, sección y detalles.

Por último, el aliviadero de origen del canal se dispone a 1 Km. de la toma, porque el nivel de las mayores crecidas del río sería superior al del umbral si se colocara junto a la presa. En ese tramo hasta el aliviadero, el canal tiene más calado (2,24 m. hasta banquetas).

Canalillo de flotación. — Con profundidad de 60 centímetros, ancho de 1 m. y pendiente de 1/5, se dispone pegado a la pila-estribo del desagüe de fondo, suficientemente alejado de la toma, con fácil acceso y salida de las maderas y aislando el desagüe de fondo

PLANTA GENERAL DE LA PRESA
(CON LA DOBLE TOMA)

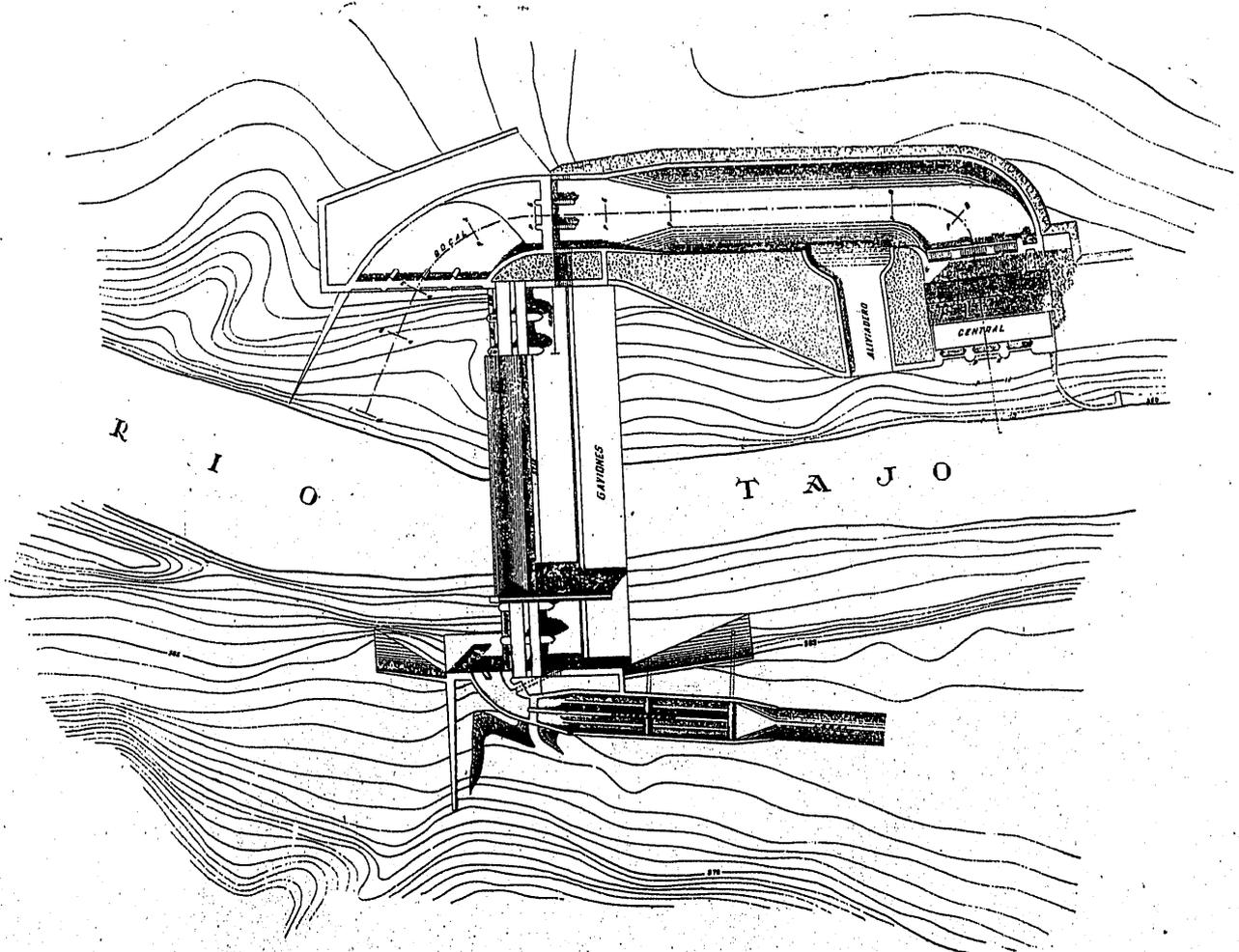


Figura 34.

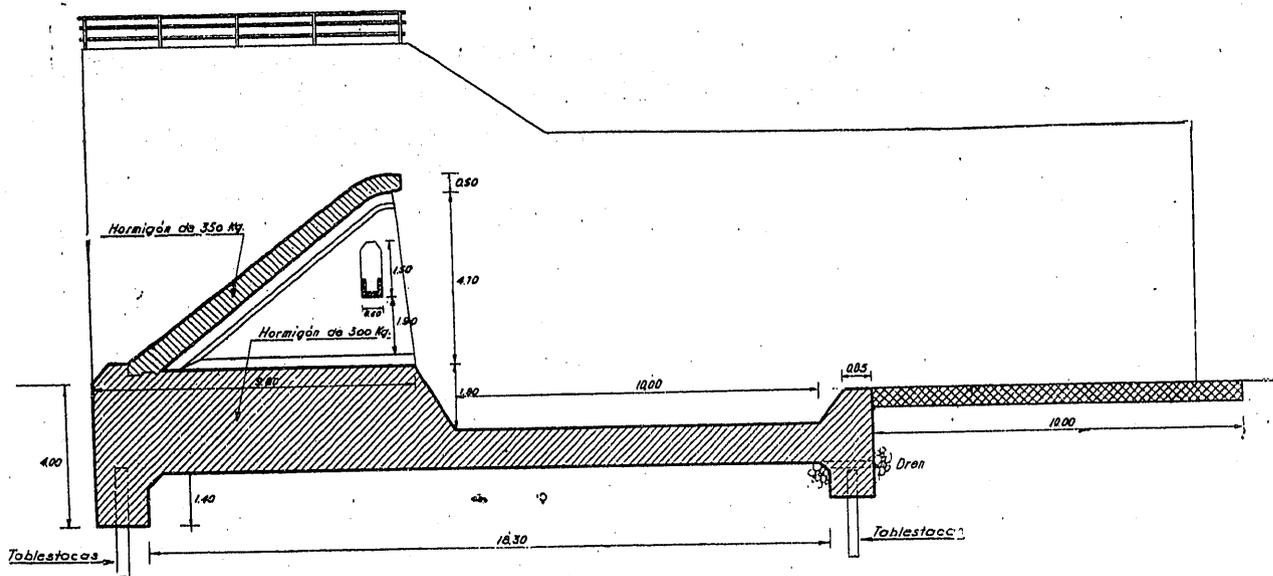


Fig. 35. — Presa. Sección construida.

del resto del vertedero, que tiene distinto régimen de desagüe.

El salto de la margen izquierda.— El salto proyectado en la margen izquierda, para mejor aprovechamiento de la presa, se indica en la planta de conjunto que se acompaña (fig. 34), y sus detalles no son de este lugar; máxime yendo su tramitación tan retrasada que ni siquiera se ha previsto su ejecución en la parte común con la obra del Estado.

La construcción.— En los dos trozos primeros del canal, que dejamos prácticamente terminado el primero y muy avanzado el segundo, a falta de los acueductos y parte del revestimiento, no se presentaron dificultades especiales ningunas, teniendo únicamente que vigilar la naturaleza del terreno en relación con el revestimiento especial con forro de arcilla en la zona de yesos, y las naturales precauciones en los túneles.

En la presa, en cambio, especialmente en la ejecución de estribos y el desagüe de fondo, las hubo de relativa importancia, a causa de fallos del terreno yesoso, al que hubo que llegar con la cimentación, y

de corrientes importantes de agua procedentes de las laderas que hubo que aislar, agotar y drenar para el relleno de los cimientos, forrando éstos con arcilla y ladrillo. Como precaución se dejaron embutidos en los estribos tubos metálicos para hacer inyecciones de arcilla durante la conservación.

En la parte del vertedero, tanto en lo ejecutado por nosotros como en el resto, no ha habido nada anormal, salvo las naturales dificultades de ataguamiento por tramos (dos laterales primero y el central después) y encauzamiento del río, y la lucha con las crecidas, hábilmente resuelto todo por el contratista, D. Antonio Herrera Cazorla, que ha demostrado en estas delicadas obras su gran solvencia técnica como constructor. Por cierto que, según referencias que se nos han dado, cuando sólo faltaba por ejecutar parte del tramo central, una fuerte crecida, que incluso saltó casi dos metros sobre la parte ejecutada de la presa, pasando sobre el portillo, socavó algo el terreno, sin que en los contrafuertes contiguos, con pantalla sólo por un lado y actuando sobre ellos la impetuosa corriente central, se notase la más ligera consecuencia de ese trabajo anormal, previsto en el cálculo, como antes dijimos.