

LOS PANTANOS DE ENTREPEÑAS Y BUENDIA, Y SU TUNEL DE ENLACE

Por BENITO JIMÉNEZ APARICIO, Ingeniero de Caminos.

Como continuación del importante trabajo iniciado en nuestro número anterior con un estudio general de la regulación de cabecera del Tajo, se publica a continuación una descripción completa del Pantano de Entrepeñas, en la que el autor del artículo y del proyecto da cuenta de las principales características de tan notable obra.

II

El Pantano de Entrepeñas.

Por el estudio de la regulación de las aportaciones de la cabecera del Tajo, siguiendo las normas indicadas en el artículo anterior, se obtuvieron los volúmenes de los vasos y, por consiguiente, las alturas de las presas de ambos pantanos, así como los caudales que habrá que transvasar por el túnel de enlace; y sobre estas bases se han proyectado las obras, en la forma que ahora vamos a indicar, empezando por el Pantano de Entrepeñas. Pero antes diremos algo sobre las características generales de la cuenca y el vaso.

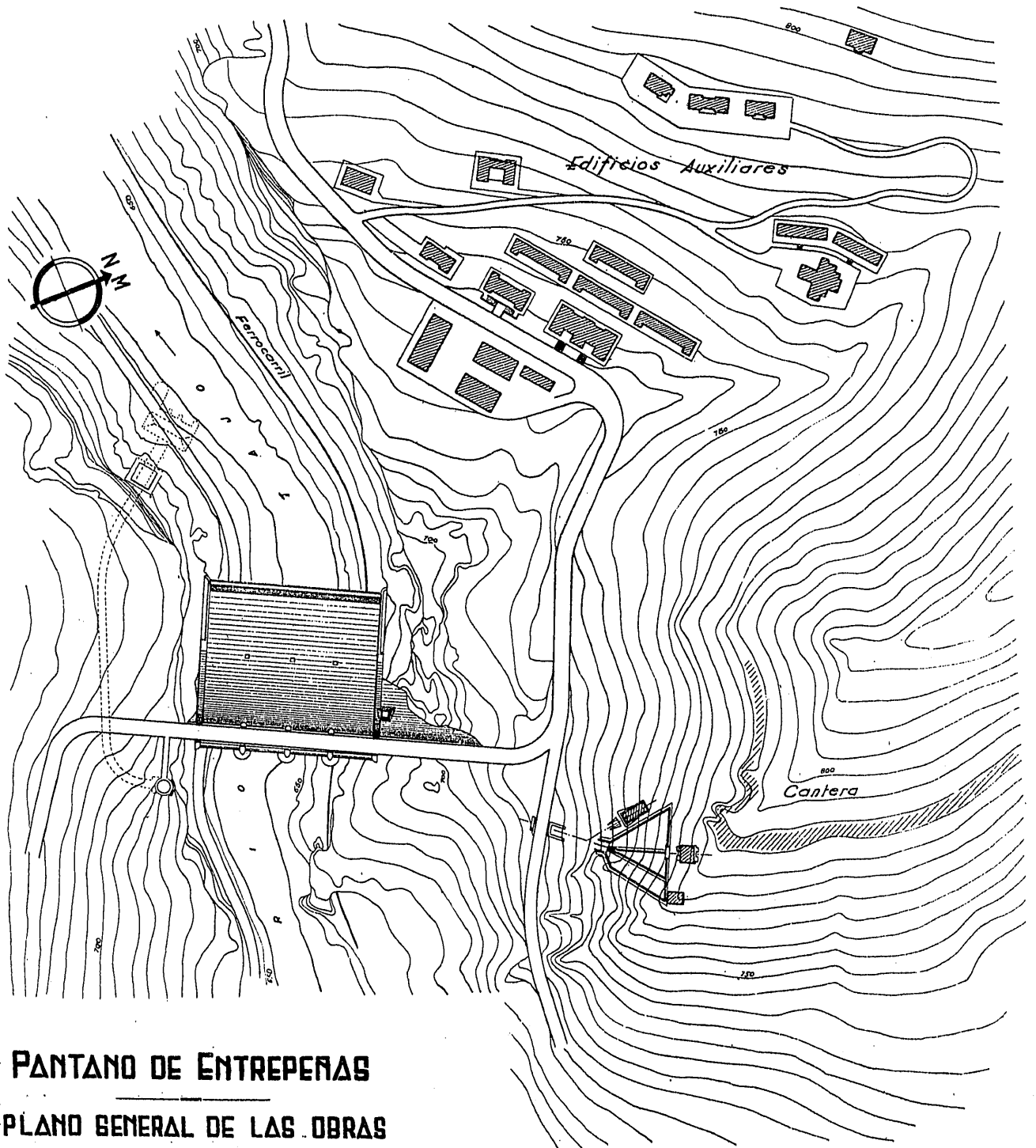
El Pantano de Entrepeñas.

El río Tajo tiene, desde su nacimiento en la Sierra de Albarracín hasta el Estrecho de Entrepeñas, un recorrido de unos 170 Km., con una extensión de cuenca alimentadora de unos 4 060 Km.², comprendida en altitud entre las cotas 646 del emplazamiento de la presa y más de la 1 800 en los puntos más altos, la mayor parte de la misma entre las 1 000 y 1 500. La lluvia media varía entre menos de 600 mm., en la zona de la presa, y más de 1 000 mm., en algunos puntos de la parte alta, con una aportación media anual para el embalse de unos 800 millones de metros cúbicos. Geológicamente, casi toda la cuenca pertenece al secundario, principalmente, Jurásico y Liásico, hasta las inmediaciones del vaso, que es terciario, y paralelamente a él corre un manchón cretáceo que cruza el curso del río en dirección a Buendía, formándose en este cruce el Estrecho de Entrepeñas, en donde se ubica la presa.

El vaso, Mioceno principalmente, formado como está por terrenos arcillomargosos, areniscas y calizas, no ofrece dudas respecto a su impermeabilidad. Y topográficamente es bastante bueno, puesto que con 73 m. de calado máximo cubica 750 millones de metros

cúbicos, debido, en gran parte, a la relativamente escasa pendiente del río, que da una cola de 51 Km. para esa altura, y a los ensanchamientos que el valle tiene en su mitad inferior, separados por estrechamientos que hubieran podido servir para cierres si no hubiera pérdida de vaso, a lo que se une, en el más próximo, la existencia de una falla en dirección paralela al río.

El Estrecho de Entrepeñas resulta al cortar el río, previo cambio de su dirección, normalmente, el manchón cretáceo antes indicado, en una formación con alternancia de calizas, areniscas y margas en bancos potentes, de fuerte buzamiento hacia aguas arriba; y precisamente la parte más angosta, de paredes verticales en acantilados de más de 100 m. de altura en algún sitio, queda protegida aguas arriba y aguas abajo por materiales margosos que suman gran espesor y forman dos magníficas pantallas impermeables. Este tramo, como más indicado para el cierre, ha sido cuidadosamente estudiado por medio de sondeos, en un perfil longitudinal y dos transversales, más un tercero unos 170 m. aguas arriba, ya fuera de los acantilados. En todo el tramo, la roca de las laderas es la misma: caliza arenácea y blanquecina, consistente y homogénea, de tonos más oscuros y más dura hacia el pie; pero debajo del cauce varía mucho de uno a otro de los perfiles indicados, como consecuencia del fuerte buzamiento de los bancos, siendo esa misma caliza de las laderas para el perfil de aguas arriba; arenisca calcárea, gris, algo margosa, homogénea y de mediana consistencia, en el intermedio, el elegido para el proyecto primitivo, y areniscas arcillosas flojas, en el perfil inferior, desechado por esta causa. Se deduce, pues, que si topográficamente conviene el emplazamiento entre los perfiles inferiores, geológicamente, en cambio, conviene subirlo entre los dos superiores, pero sin llegar al último, porque allí el valle ensancha ya mucho y además existen en él tres grandes diaclasas sobre la ladera derecha, cuyo relleno es operación cara y delicada. Por esto hemos elegido como definitivo un perfil situado unos 70 m. más arriba que el intermedio, disponiendo la presa a la entrada



PANTANO DE ENTREPEÑAS
PLANO GENERAL DE LAS OBRAS

del acantilado, con lo que toda la obra queda aguas arriba de la curva que allí tiene el río, circunstancia conveniente con nuestra presa-vertedero, por el buen encaje del colchón.

La presa.

El proyecto primitivo, redactado por los Ingenieros D. Longinos Luengo y D. Rafael Urefia, se componía, de acuerdo con la topografía del emplazamiento intermedio citado, de una presa-bóveda de 80 m. de altura; un aliviadero independiente en la ladera izquierda, con dos largos túneles de desagüe, aun cortando la marcada curva del río; desagües de fondo en otros dos túneles abiertos en la misma ladera izquierda, y tomas con cinco tuberías de 0,90 m. de diámetro a través de la presa misma y con capacidad calculada exclusivamente para los riegos, por no haberse estudiado en dicho proyecto el salto de pie de presa.

La presa encajaba perfectamente en el terreno, si bien su buena disposición y esbelto perfil quedaban compensados con los inconvenientes inherentes al aliviadero y desagües, a menos que se hubiese perfeccionado con una disposición del tipo de las francesas de Aguila y Ste. Etienne, proyectadas por A. Coyne: presas bóveda-vertedero con central adosada y sobre su cubierta el trampolín de lanzamiento de la lámina vertiente. Pero esta solución, que nosotros hubiéramos intentado al encargarnos del reformado, era indudablemente atrevida en el río principal y con importantes poblaciones y gran riqueza agrícola e industrial aguas abajo, por una parte, y por otra, quedó desechada de antemano por la Superioridad al ordenar se estudiara "un nuevo proyecto de presa de gravedad de planta curva adaptada a la forma de las laderas u otro sistema adecuado, pero desechando la solución de arco grueso". Con este pie forzado y el propósito de mejorar las disposiciones de aliviadero y desagües y de estudiar el importante aprovechamiento hidroeléctrico

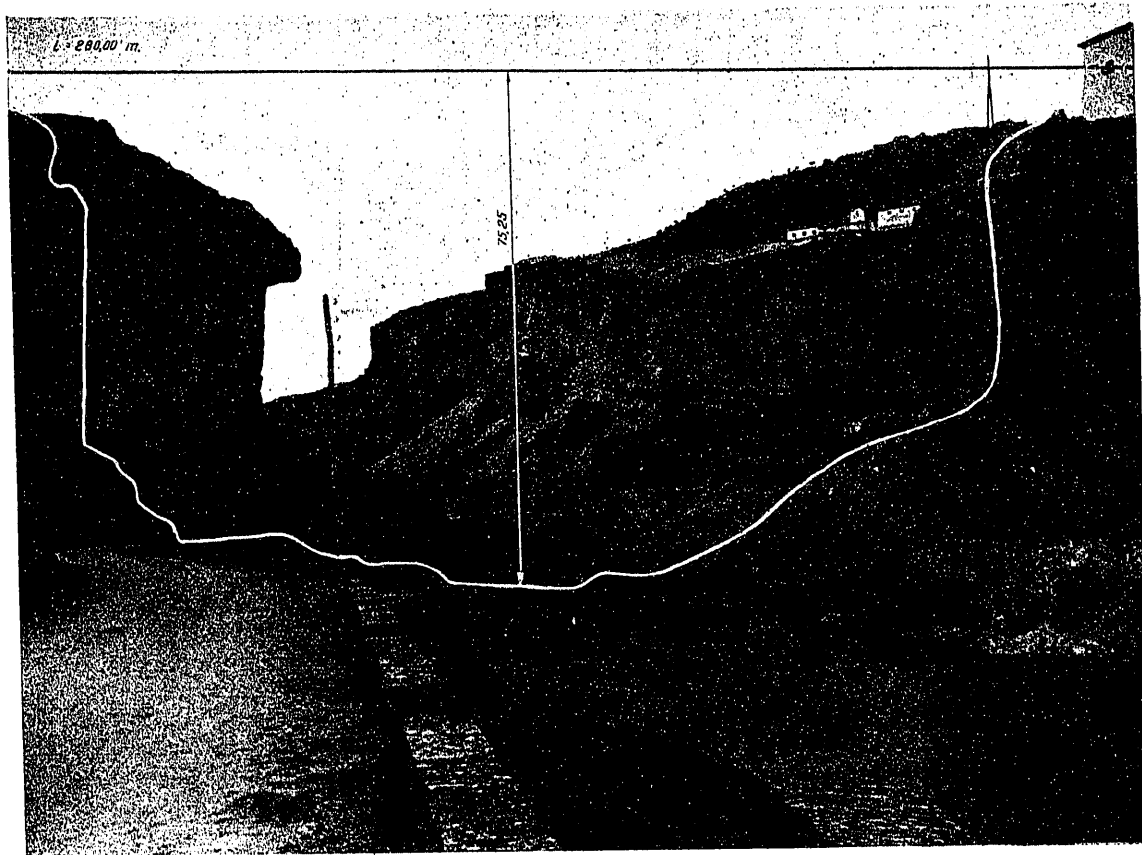
posible de pie de presa, nos dispusimos a estudiar el proyecto reformado que se nos había encargado.

El examen de las condiciones topográficas de la cerrada de Entrepeñas, en el tramo estudiado, nos llevó en seguida a las siguientes consideraciones: La sección del valle es en U en casi toda la altura que debe tener la presa, y relativamente estrecho en relación con esa altura; por consiguiente, está muy indicada la solución presa-arco desechada; pero cualquier solución con aliviadero independiente obligaría a una disposición cara y peligrosa para este importante elemento de la obra, con desagüe en túneles largos y en mal terreno, especialmente en su final, al llegar al río, y con peligro para el inmediato salto de Eléctrica de Guadalajara, exigiendo por ambas razones dispositivos de defensa caros y de resultado dudoso. Se imponía, pues, la presa-vertedero, solución facilitada también por la forma del perfil transversal del cauce, que permite disponer de más de 100 m. de anchura en el fondo, con lo que si esa especial topografía del terreno no se aprovecha en la elección del tipo de presa, se utiliza, en cambio, para resolver satisfactoriamente el problema del aliviadero, elemento importantísimo de estas obras, tanto por su coste como por la necesidad de asegurarle gran capacidad y seguro funcionamiento. Con presa de gravedad ello es perfectamente factible con gran seguridad y se economiza a la vez en los desagües de fondo, que de este modo pueden disponerse en la presa misma.

En la época en que redactamos este proyecto, año 1941, aun no se habían proyectado en España presas-vertedero de gran altura; pero con algunas realizaciones alemanas, y sobre todo con las americanas de Madden (66 m. de altura y 0,45 m. de lámina), Norris (80 m. de altura y 8 m. de lámina) y Gran Coulee (125 m. de altura y 9,3 m. de lámina), quedaba consagrada esta solución de presa-vertedero para cualquier altura, como lo demuestra la gran aplicación que después ha adquirido, incluso en España; porque perdido el miedo a las grandes velocidades del agua

Camino de servicio, edificios auxiliares y excavaciones para la presa, vistos desde la ladera izquierda.





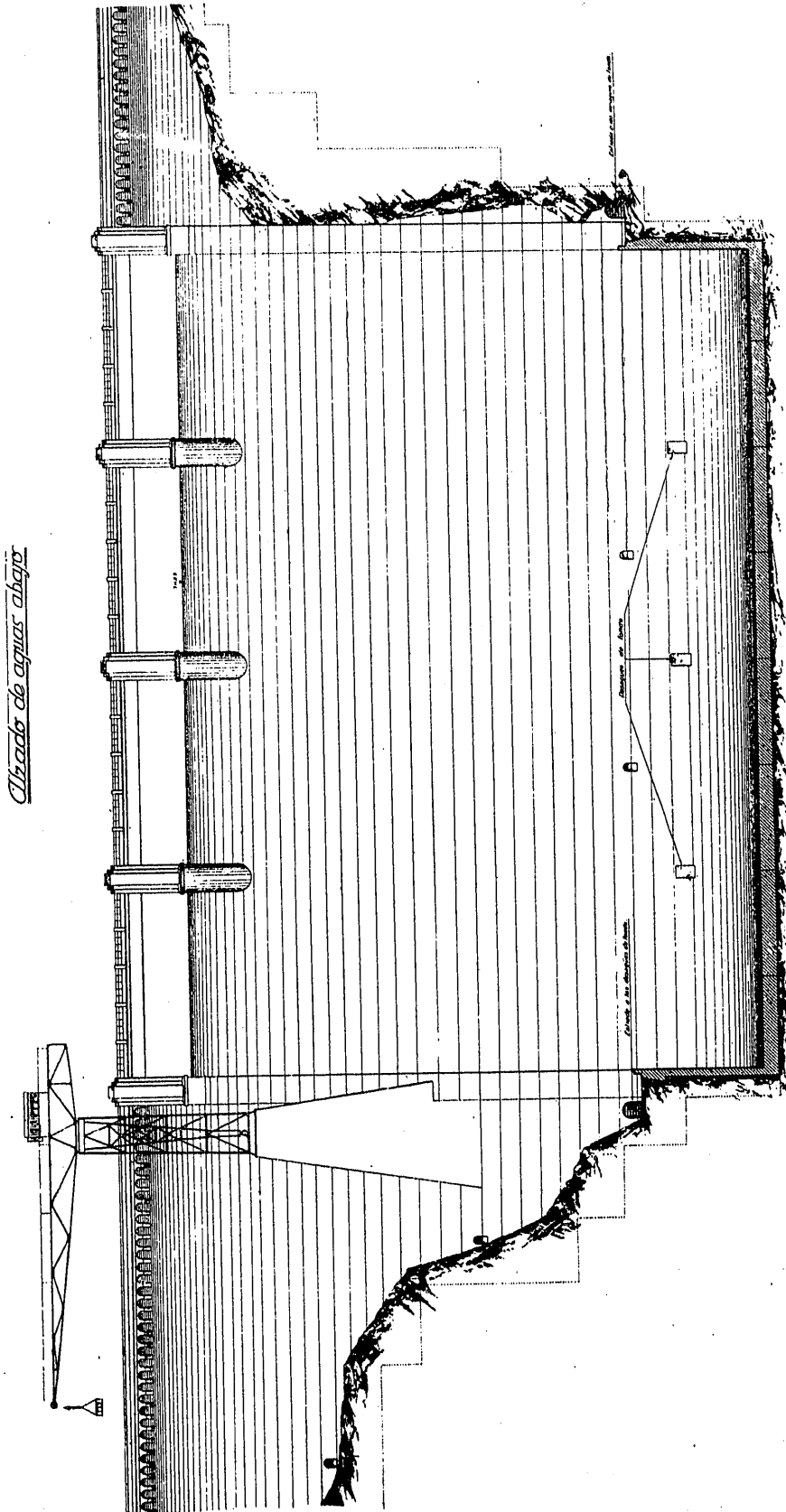
La cerrada, vista desde aguas arriba.

sobre el paramento inferior de las presas, como sobre cualquier clase de conductos convenientemente revestidos, y dominadas las defensas necesarias para el terreno al pie de las mismas contra la energía cinética del caudal vertiente, es la solución indicada en muchos casos por economía, seguridad y ser la que menos perturbación produce en la marcha secular de los ríos en que se instala, evitando soluciones artificiosas, caras y delicadas sobre las laderas para aliviaderos y desagües.

Decidida la solución presa gravedad-vertedero, y fijado su emplazamiento por las razones geológicas y de encaje del colchón antes indicadas, se hizo necesario prescindir de la curvatura que la Superioridad prefería para la presa, porque el tramo del aliviadero debe ser recto para el mejor funcionamiento del colchón, que en rigor exige filetes líquidos paralelos, y fuera de él nada se consigue con la curvatura para el encaje en las laderas, complicando y encareciendo, en cambio, la construcción. Se ha proyectado, pues, de planta recta, con un tramo central de 102,5 m de longitud total para el aliviadero, y dos cuerpos laterales o estribos de 65,5 m. de longitud de coronación, el izquierdo, y 112 m., el derecho. En total, 280 m. de longitud de coronación de la presa a la cota 719,25.

Perfil, juntas, drenaje, etc.

Al hablar anteriormente del estudio hecho por la Jefatura de Sondeos del tramo de emplazamiento, hemos dejado de indicar que en el correspondiente informe, previos cálculos un tanto artificiosos y bastante pesimistas, fundados en la cantidad y calidad de los testigos extraídos, se daba como carga máxima admisible, en la zona del perfil intermedio de los tres estudiados, la de 12 Kg./cm.², circunstancia muy desfavorable para este tipo y altura de presa, porque exigiría ensanchar mucho la base de apoyo, con gran aumento de coste. Pero nosotros la hemos desplazado unos 70 m. aguas arriba de ese perfil, con lo que es ya de esperar un marcado mejoramiento del terreno por la inclinación de sus bancos, y, además, la repetición cuidadosa de esos mismos cálculos, con un criterio menos pesimista, nos llevó al convencimiento de que se podría llegar sin inconveniente a los 17 Kg./cm.² que tenemos de máxima carga al pie del paramento de aguas arriba y a embalse vacío. Así lo propusimos a la Superioridad, y ha sido aprobado sobre la base, claro es, de efectuar ensayos directos de resistencia sobre la roca del cimiento. Aun así, esta circunstancia



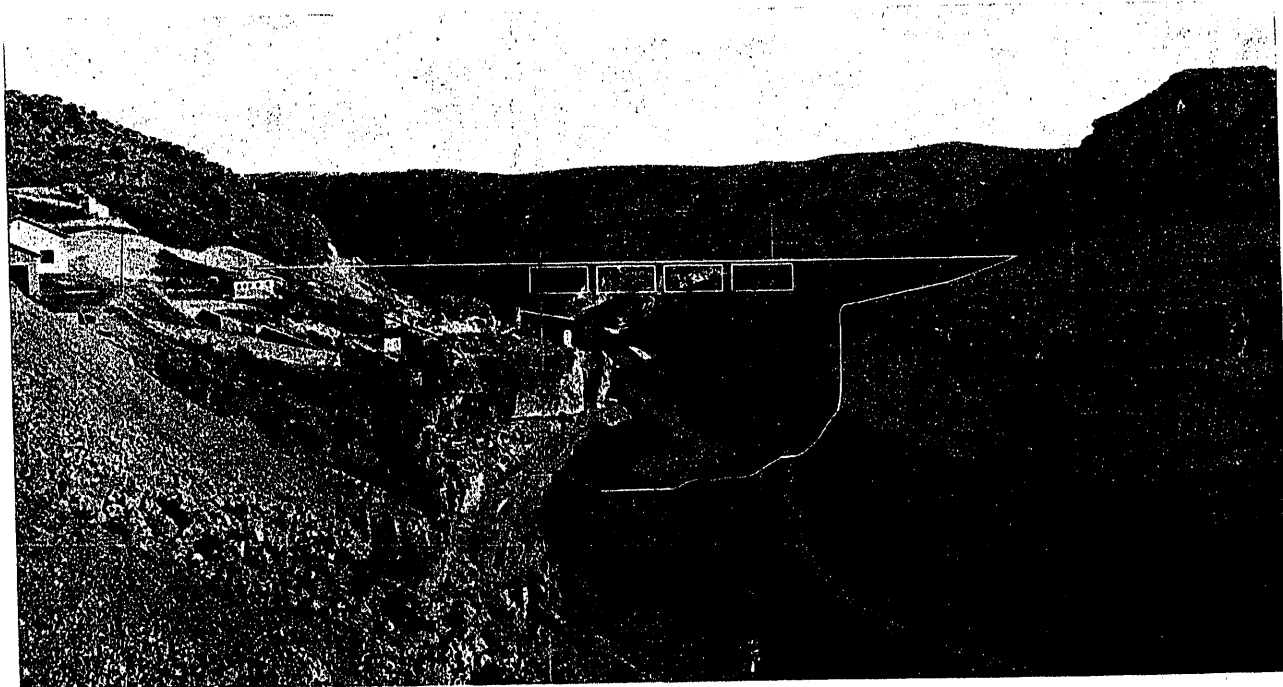
ha influido algo en el perfil adoptado, como después veremos.

El perfil de los estribos, que tienen bastante menor altura que el centro y además cargan sobre la roca de las laderas, mucho mejor, es el corriente triangular con taludes de 0,05 aguas arriba y 0,75 aguas abajo, correspondientes a subpresión 0,75 con densidad 2,3 para el hormigón. Pero en la parte central, con mayor altura, con esa limitación de cargas y con la influencia de la lámina vertiente por el aliviadero, no ha sido suficiente ese perfil para mantener la carga por debajo de los 17 Kg. que nos habíamos fijado como tope, y ha sido preciso recrecer el espesor en 2 m. en toda la altura y dar el indicado talud de 0,05 aguas arriba. Así se obtienen cargas máximas de 15,43 Kg./cm.² al pie del paramento de aguas abajo, a embalse lleno, y de 17,31, a embalse vacío, en el de aguas arriba. Resulta, inevitablemente, un perfil muy robusto por la naturaleza del terreno, y se aprovecha esa circunstancia para disponer unos amplios desagües de fondo en el cuerpo mismo de la presa y con cómodo acceso por galería desde las laderas.

La dosificación de hormigones en el cuerpo de la presa se ha hecho sobre la base de las cargas resultantes, como es corriente, entre 180 y 220 Kg. de cemento, y de 300 Kg. en la coronación del aliviadero, en el revestimiento de su paramento inferior y en la pantalla; ésta, con espesor variable entre 2 y 4 m. Detrás de esa pantalla, y a distancia mínima de 4 m. del paramento, se dispone una red de drenaje con tubos

de 30 cm. de diámetro, separados 3 m. entre sí, combinada con galerías de inspección que, a la vez que recogen las aguas filtradas, permiten observar su importancia en los distintos puntos de la presa e incluso efectuar inyecciones, y tanto en estas galerías longitudinales como en las de desagüe y acceso se acusarían las fisuras que pudieran producirse en el cuerpo de la obra. Para evitar la formación de grietas con motivo del fraguado y variaciones de temperatura, se disponen juntas, separadas 26,5 m., con una de las disposiciones corrientes en este tipo de obras: chapa impermeabilizadora de cobre próxima al paramento mojado, que es doble en la cámara de flotación de las compuertas del aliviadero para contornearla; un pozo que, después del fraguado, se rellenará de hormigón; otro pozo de inspección y drenaje, a continuación, y después, la junta con redientes. Por último, en cuanto al cimiento, escalonado en sentidos longitudinal y transversal a la presa, en éste con planos normales y paralelos a las direcciones de los esfuerzos principales, inyecciones de cosido de todo el cimiento, con taladros de 3 a 4 m. y esa misma separación, rastrillo al pie del paramento de aguas arriba y cortina de inyecciones con taladros de 8 a 10 m. de profundidad sobre el fondo del rastrillo, aunque esta pantalla impermeabilizadora de inyecciones no se estimaba indispensable en el informe de Sondeos.

Referidas las cotas del proyecto al nivel medio del mar, en Alicante, resultan: fondo del cauce actual de río en el emplazamiento, 644; superficie del cimiento,



El cierre, desde aguas abajo.

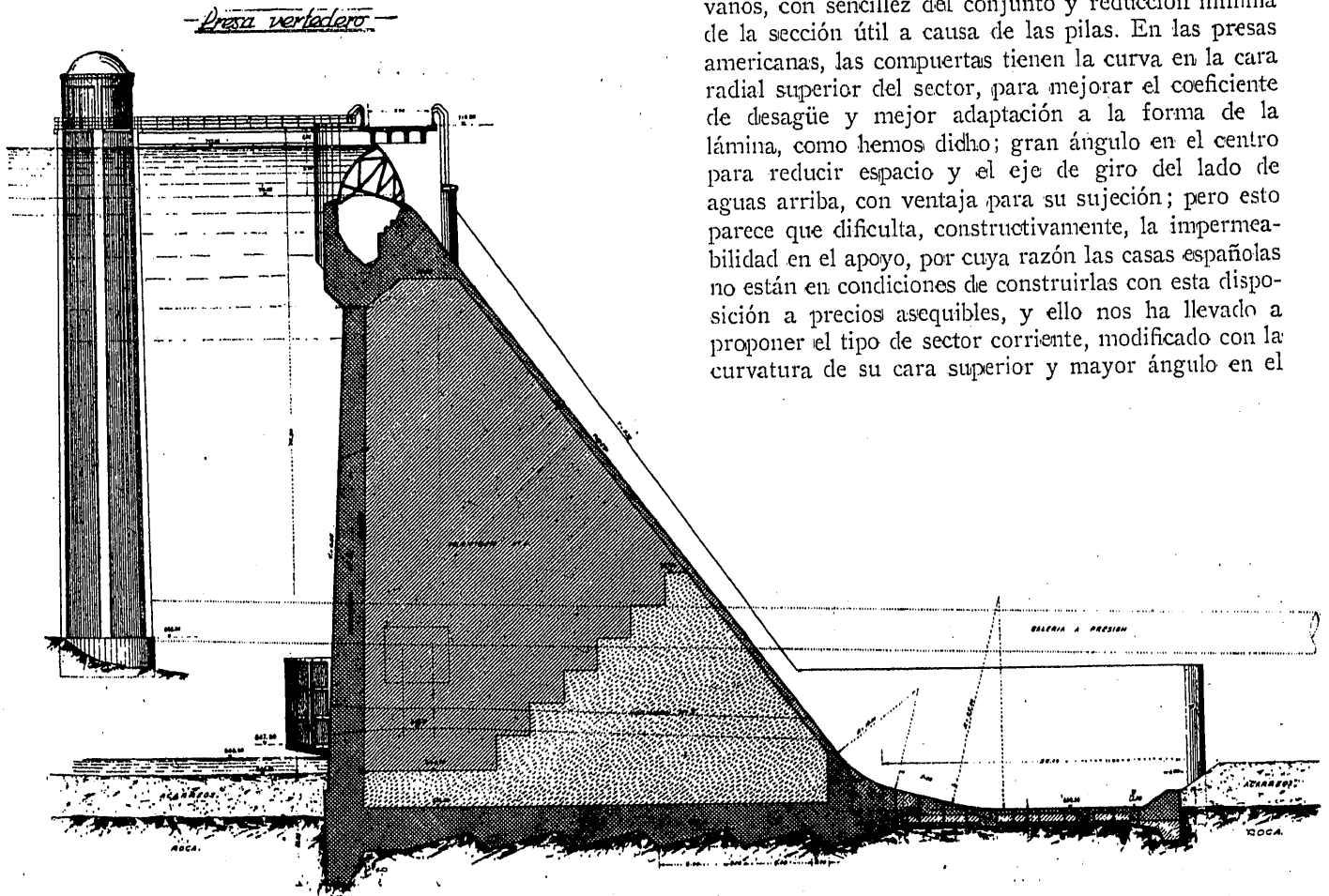
637; solera del colchón, 639; coronación del vertedero, 711,25; de máximo embalse, 717, y coronación, 719,25, o sea con 2,25 m. de resguardo por exigencia de los tramos de paso sobre el aliviadero para la carretera desviada de Albacete a Guadalajara, por Cuenca. Por consiguiente, una altura total de presa, de cimiento a coronación, de 82,25 m.; máximo embalse desde el fondo del cauce, 73 m.; espesor de lámina en el aliviadero, 5,75 m., y altura del umbral de éste sobre el colchón, 72,25 m.

Aliviadero.

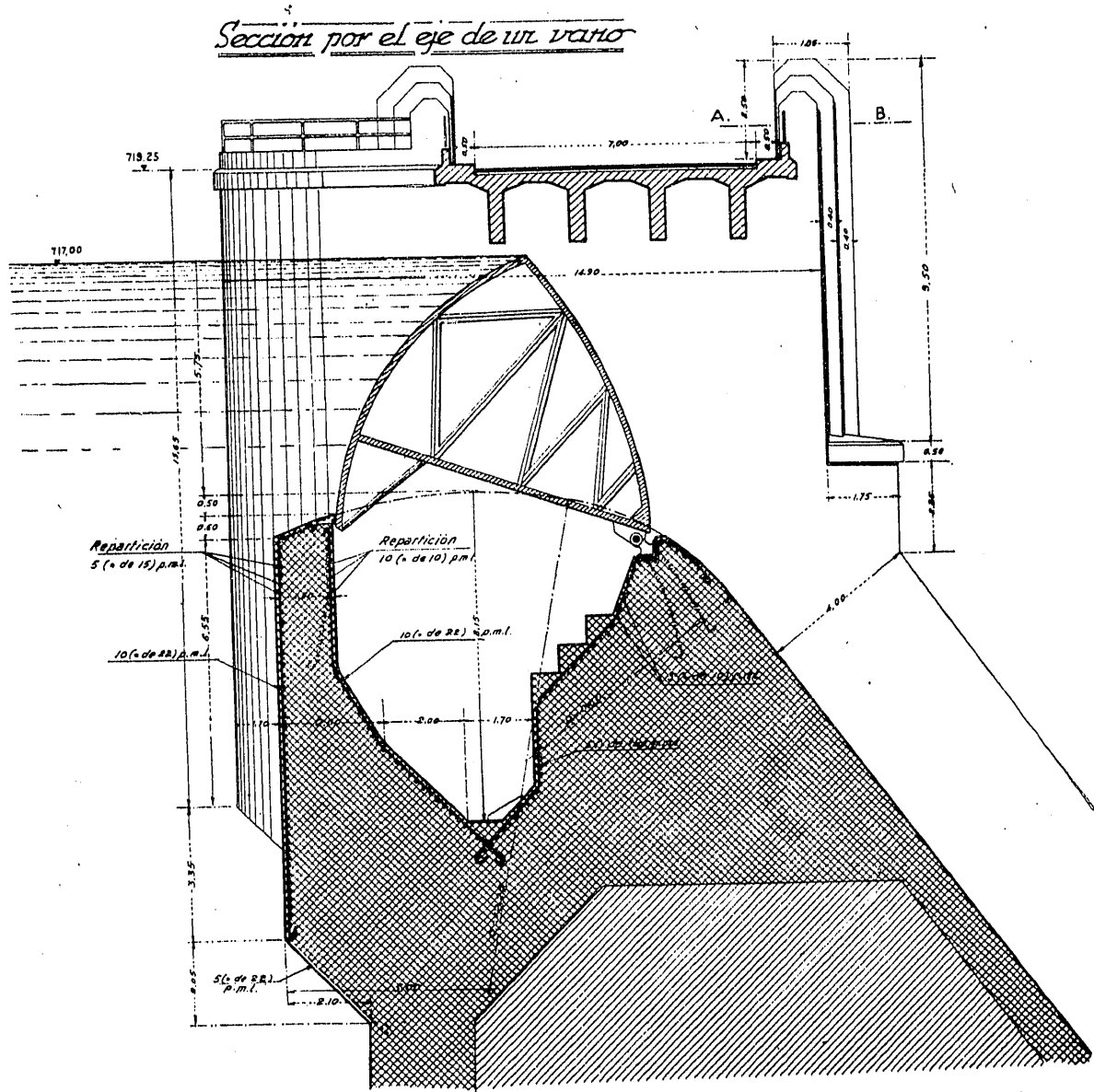
Fijada por la anchura del cauce la longitud disponible para el aliviadero, viene ya obligado el espesor de la lámina vertiente para el caudal previsto como de máximas crecidas extraordinarias (en nuestro caso, de 2 500 m.³/s.), y ya veremos después que, llevada la solera hasta la roca del cauce, resulta profundidad suficiente para el colchón, con lámina vertiente exten-

dida a todo el ancho del vertedero; pero si con el máximo espesor de lámina se abren sólo una o dos compuertas, resulta escasa y sería preciso excavar parte del colchón en la roca; por consiguiente, es necesario asegurarse, en todo caso, del reparto uniforme del caudal vertiente, lo que se consigue con el movimiento automático de las compuertas, que es precaución conveniente tratándose de esta altura de presas, para no dejar todo pendiente del mayor o menor celo del personal encargado de su manejo.

Compuertas automáticas caben de varios tipos, incluso Stoney; pero estimamos preferibles las de sector, tipo empleado también en las grandes presas americanas citadas, por el poco espacio disponible en la coronación, porque se adaptan mejor a la forma de la lámina vertiente con apertura parcial, sobre todo si su cara superior es curva, evitando vibraciones por vacío, y sus mecanismos de maniobra son sencillos, sensibles y de fácil conservación; y lo mismo ocurre con las compuertas, que pueden ser de hormigón armado, con su coste independiente de la longitud, y su empuje se distribuye uniformemente sobre toda la longitud del aliviadero, lo que permite grandes vanos, con sencillez del conjunto y reducción mínima de la sección útil a causa de las pilas. En las presas americanas, las compuertas tienen la curva en la cara radial superior del sector, para mejorar el coeficiente de desagüe y mejor adaptación a la forma de la lámina, como hemos dicho; gran ángulo en el centro para reducir espacio y el eje de giro del lado de aguas arriba, con ventaja para su sujeción; pero esto parece que dificulta, constructivamente, la impermeabilidad en el apoyo, por cuya razón las casas españolas no están en condiciones de construir las con esta disposición a precios asequibles, y ello nos ha llevado a proponer el tipo de sector corriente, modificado con la curvatura de su cara superior y mayor ángulo en el



Corte-proyección por el eje de un vano.



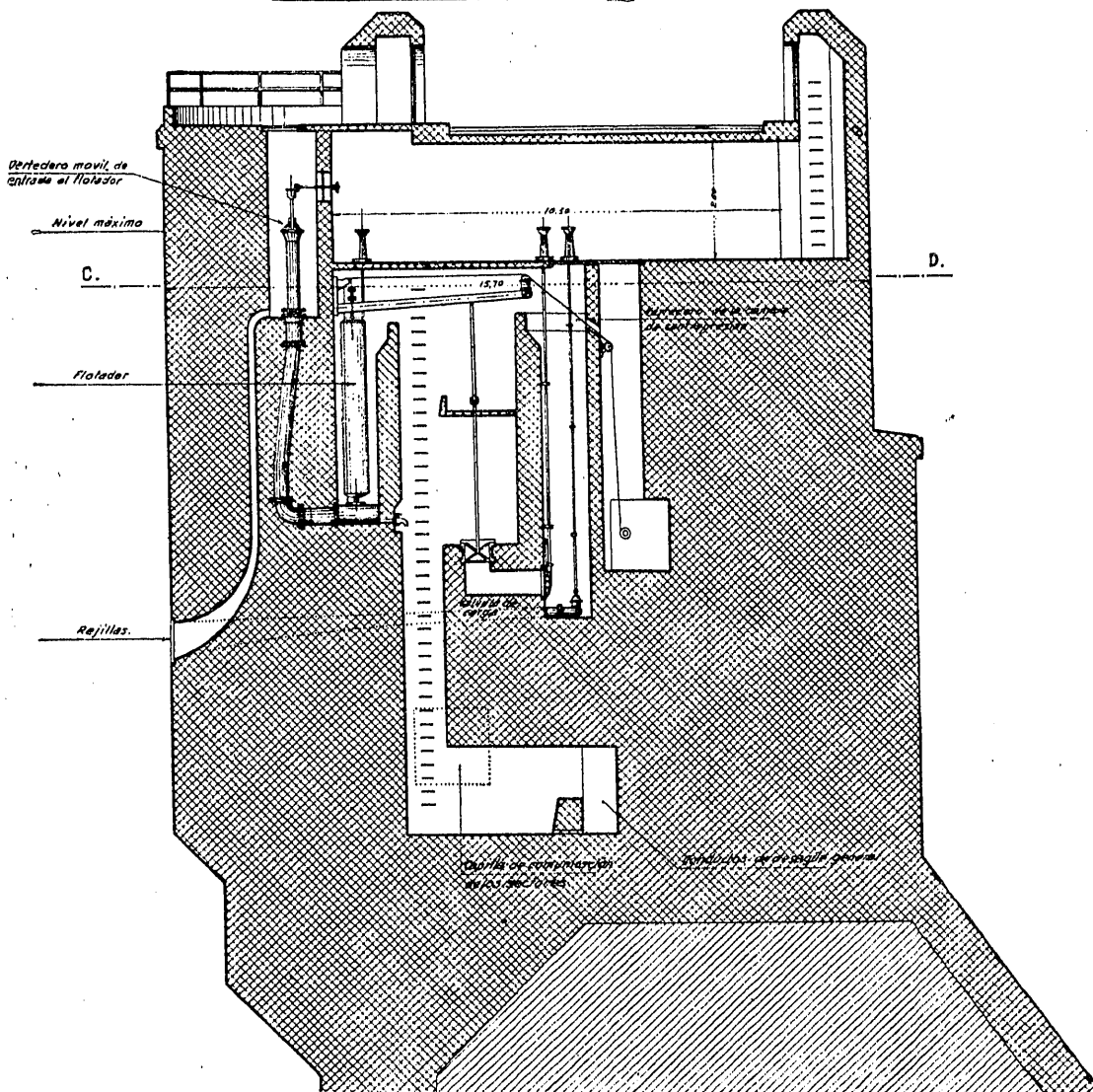
Detalle de la coronación.

centro, dejando el eje de giro del lado de aguas abajo y asegurando la sujeción mediante el correspondiente armado en la zona de amarre. Así todo, la cámara de flotación de las compuertas exige un sobreancho en la coronación de la presa, del lado de aguas arriba, y como establece en su interior un aligeramiento, se ha precisado otro armado en su contorno, sobre el indicado de amarre, todo ello calculado sobre la base de los empujes que el agua producirá en los casos más desfavorables.

Disponemos cuatro compuertas de 23 m. de longitud, fijada con tendencia a la mayor luz posible de vanos, pero teniendo en cuenta que sobre el alivia-

dero ha de cruzar la carretera nacional de Albacete a Guadalajara por Cuenca, y ni conviene emplear arcos para este cruce, por el mayor resguardo que exigen para la coronación de la presa sobre el máximo embalse, ni tramos continuos, que dificultarían el acceso al interior de las pilas, en donde se alojan los mecanismos de maniobra. Adoptamos tramos independientes de hormigón armado y la indicada luz libre, formados con un forjado y cuatro nervios, para un ancho de 8,50 m. entre barandillas, salvando el hueco interior de las pilas por losas de 1,5 m. de luz apoyadas en los tabiques que arriostran los extremos de los tramos.

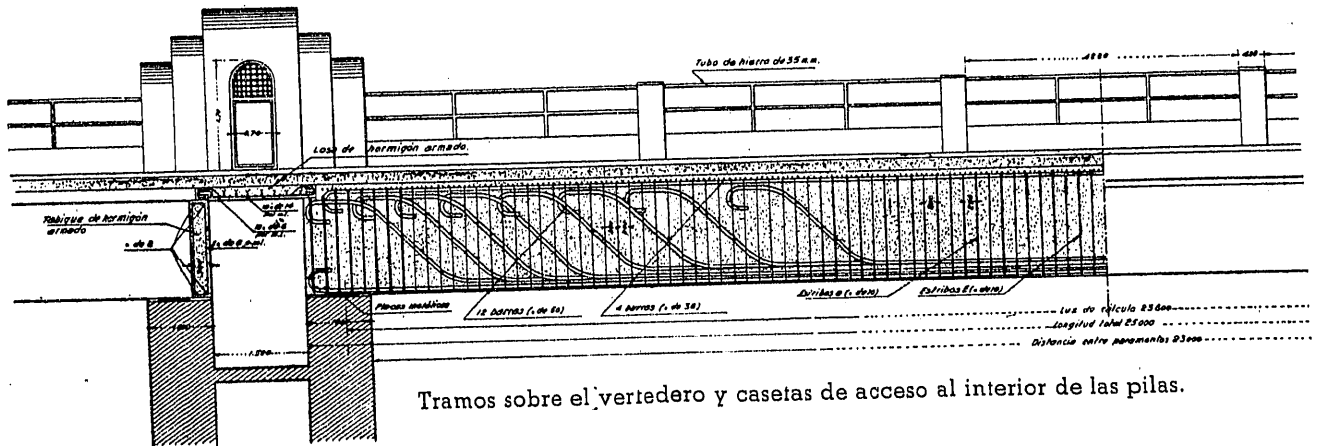
Sección por el eje de una pila



Detalle del interior de una pila.

La disposición interior de las pilas ha sido dada por las casas constructoras de este tipo de compuertas, y hemos dado al muro de contorno 1 m. de espesor para el apoyo de los tramos que salvan los vanos, resultando así las pilas con espesor total de 3,5 m. y con la longitud mínima indispensable para el paso de la carretera de coronación, más los dos tajamares, sin la forma hidrodinámica, ahora tan en boga, porque con el mínimo espacio necesario en su interior se precisaría alargarlas sin sensible ventaja. Sobre los tajamares inferiores van unas pilastras, terminadas

sobre la coronación en unas casetas que, a la vez que ornamentan el conjunto, permiten el cómodo acceso desde aquella al interior de las pilas. En prolongación de las pilas extremas o estribos se disponen los muros de encauzamiento de la lámina sobre el paramento inferior de la presa, conservándose en ellos el espesor mismo de las pilas para mejor efecto del conjunto, haciéndolos, en cambio, de hormigón pobre, y en altura van disminuyendo algo más lentamente que la lámina vertiente teórica, para tener en cuenta el efecto de frenado que la mezcla de aire producirá en aquella.

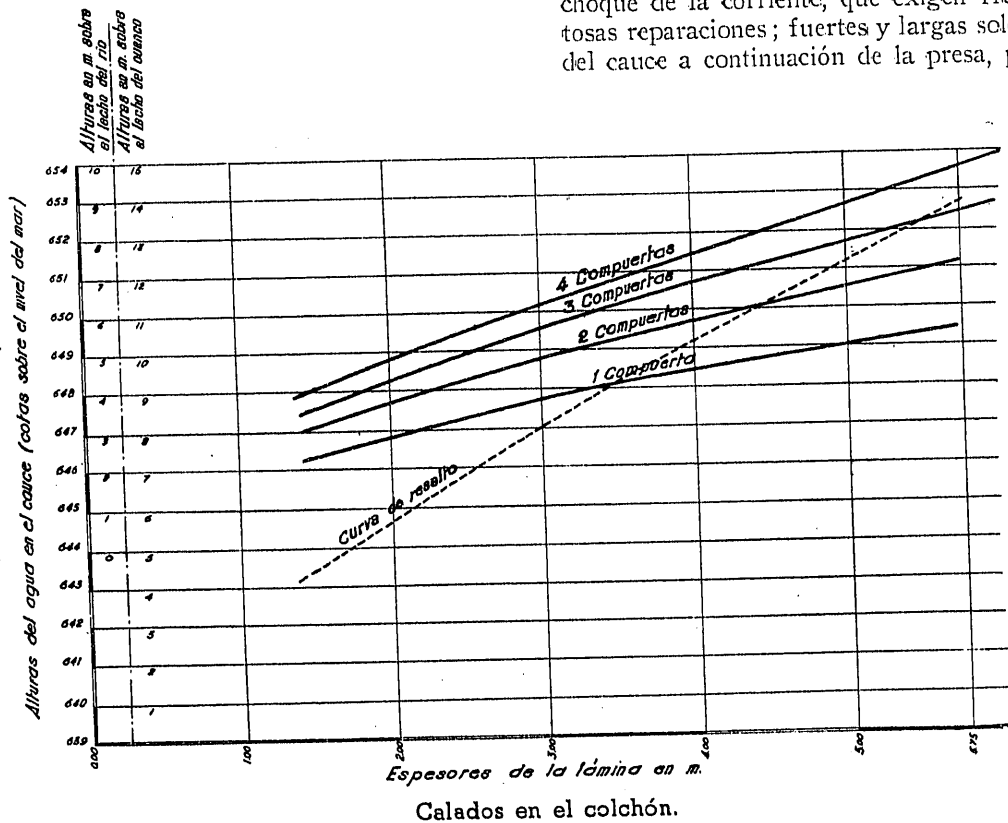


El colchón.

Es inútil encarecer la importancia de este elemento como defensa del pie de la presa contra la enorme energía del caudal vertiente por el aliviadero y cayendo desde la altura del embalse. Peligraría la estabilidad

hubiesen de alcanzar aquéllas, solución absurda por antieconómica.

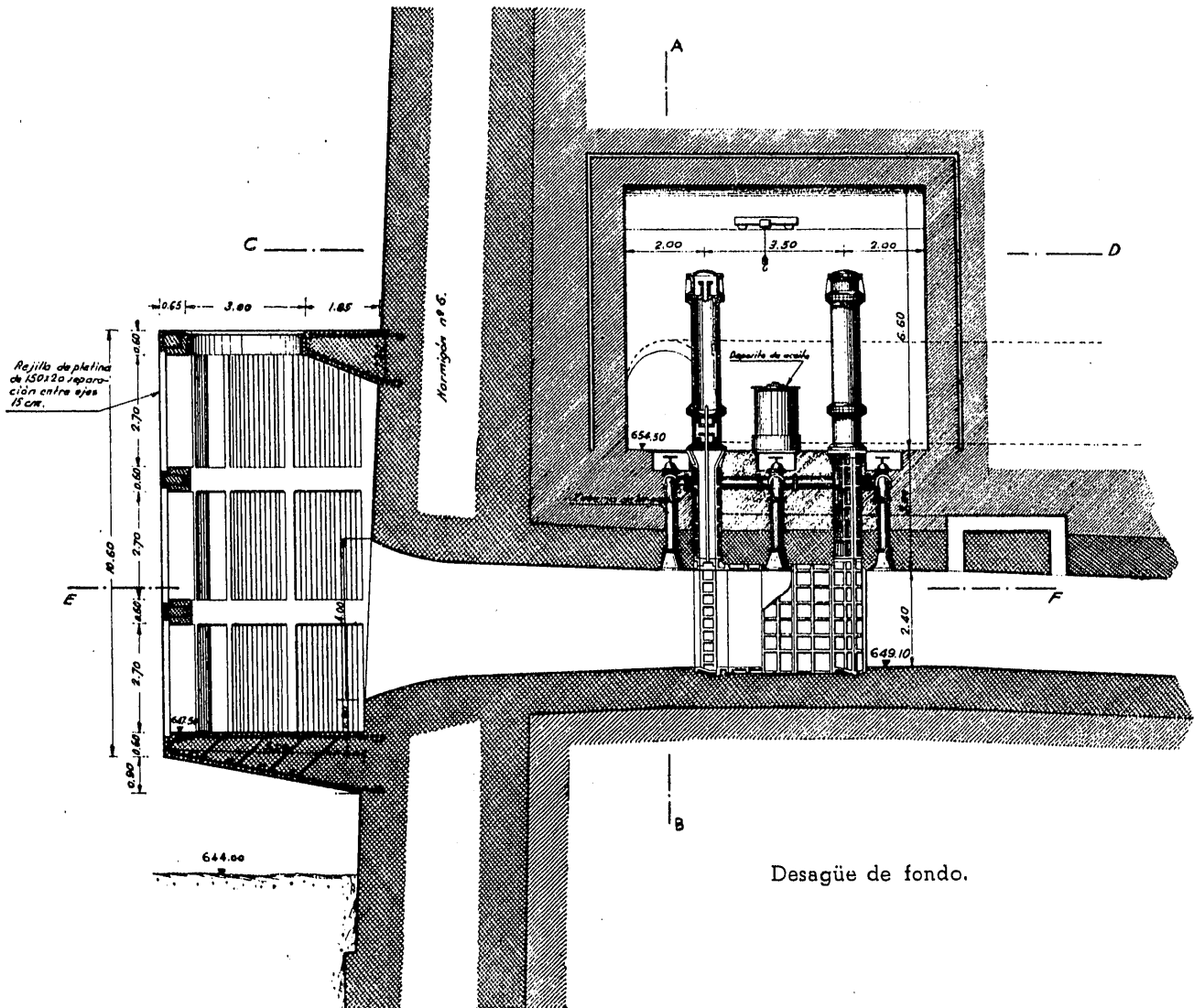
Es sabido que este problema del amortiguamiento de la energía de los caudales vertientes a gran velocidad, por cualquier tipo de desagües, tratado desde muy antiguo, han sufrido continuos perfeccionamientos: obras especialmente dispuestas para recibir el choque de la corriente, que exigen frecuentes y costosas reparaciones; fuertes y largas soleras de defensa del cauce a continuación de la presa, para que en su



Calados en el colchón.

de aquélla por las grandes socavaciones que se producirían, cualquiera que fuese la naturaleza del terreno, sin defensa o con defensa inadecuada, a menos que se llevase el cemento a profundidad mayor que la que

recorrido el agua perdiese la mayor parte de su energía por choques, remolinos y rozamiento; para aumentar su eficacia, superficies rugosas en las mismas, incluso dados salientes para recibir el choque; perfecciona-

Sección longitudinal por el eje de un desagüe

miento de estas soleras, terminándolas en resaltes o redientes, continuos o dentados, o en rampa para levantar la corriente de fondo hacia la superficie o lanzarla, a modo de trampolín, lejos de la parte defendida, y, por último, los clásicos colchones cerrados aguas abajo y que, en su dimensionado, llevan implícita la intervención de un cierto calado de agua.

Actualmente es asunto prácticamente resuelto sobre las bases lógicas fundamentales de intervención de la propia masa de agua circulante con suficiente calado, para que sea ella misma la que destruya su energía, y producción de cambios convenientes de dirección en la misma por medio de redientes o rampas termi-

nales de la solera con el mismo objeto de pérdida de energía y de alejamiento de las socavaciones que no se eviten. En una palabra: o dispositivos especiales que disminuyan y alejen las socavaciones, o procurando que dentro de la zona defendida se produzca el resalto, paso del régimen rápido de la corriente que llega al pie de la presa al lento propio del río, con la anulación de la energía en exceso, a lo que contribuye en la mayor parte de los casos la formación de un rulo superficial aguas arriba y otro inferior aguas abajo, éste de sentido contrario y que, por lo mismo, defiende el final del revestimiento con su velocidad de fondo contraria a la corriente.

La formación del resalto exige, con solera horizontal y sin ningún dispositivo especial, un calado mínimo en el río:

$$t_2 = \frac{t_1}{2} \left(\sqrt{1 + \frac{8q^2}{3t_1^3}} - 1 \right);$$

siendo: q , el caudal vertiente, por unidad de longitud, del vertedero; g , la aceleración de la gravedad, y t_1 , el espesor de la lámina al pie de la presa, dada a su vez por la ecuación:

$$t_1^3 - H_0 t_1^2 + \frac{q^2}{2g\varphi^2} = 0;$$

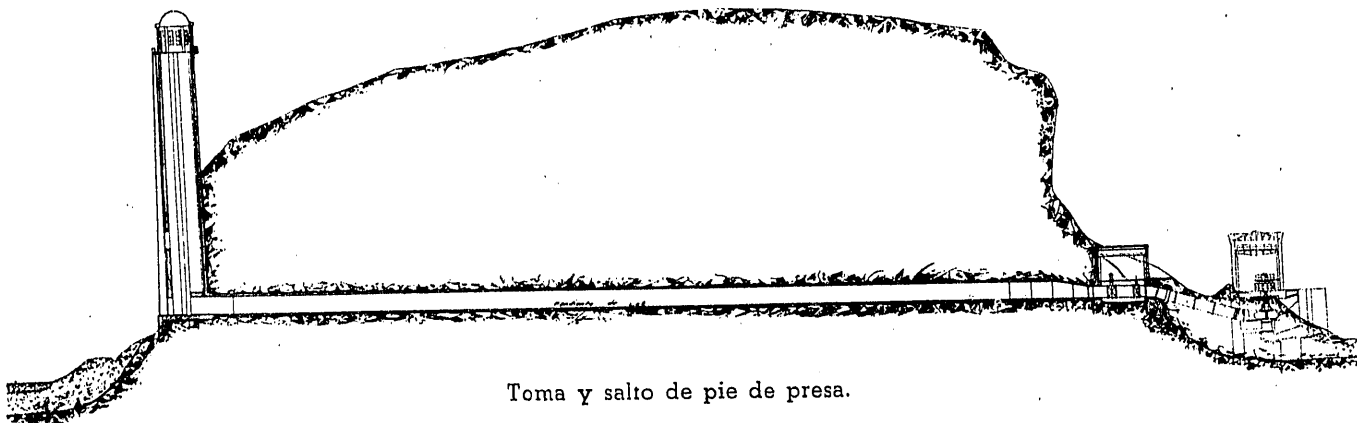
en donde H_0 es la altura del embalse sobre la solera del colchón, y φ , un coeficiente de corrección que

En nuestro caso, aumentando la profundidad del colchón en el espesor de los acarrees del río, o sea llevando la solera a apoyarla en la roca, precaución constructivamente indispensable aquí, disponemos de calado suficiente, como puede observarse en la figura correspondiente, en donde se comparan las curvas de calados sobre el colchón así dispuesto y la curva de resalto.

La longitud en la cual se forma el resalto, la necesaria para que tenga lugar la pérdida del exceso de energía sobre la correspondiente al régimen lento, también precisa de experimentación, habiendo, sin embargo, fórmulas prácticas, tantas como experimentadores, y es bien conocida la de Safranez:

$$L = \frac{6 t_1 v_1}{\sqrt{g t_1}}$$

— Perfil longitudinal —



Toma y salto de pie de presa.

depende de las condiciones de evacuación del agua sobre la presa, rugosidad e inclinación de su paramento inferior y de la solera misma, altura de caída, etc., y que sólo cabe determinar experimentalmente en cada caso; pero para presas de esta altura es inferior y muy próximo a 0,90.

El primer problema que se presenta es, pues, el del estudio del calado disponible en el cauce, en relación con el necesario para la producción del resalto, porque si no es suficiente a este efecto, hay que aumentarlo bajando la solera en la longitud necesaria, o acudir a las disposiciones especiales indicadas: redientes que faciliten su formación, o trampolines; pero éstos, con el inconveniente de la inestabilidad de su funcionamiento, deprimiéndose, a veces periódicamente, la lámina, con producción de fuertes socavaciones, defecto corregido últimamente con la solución de doble lanzamiento ideada por el Profesor de la Escuela Sr. Becerril.

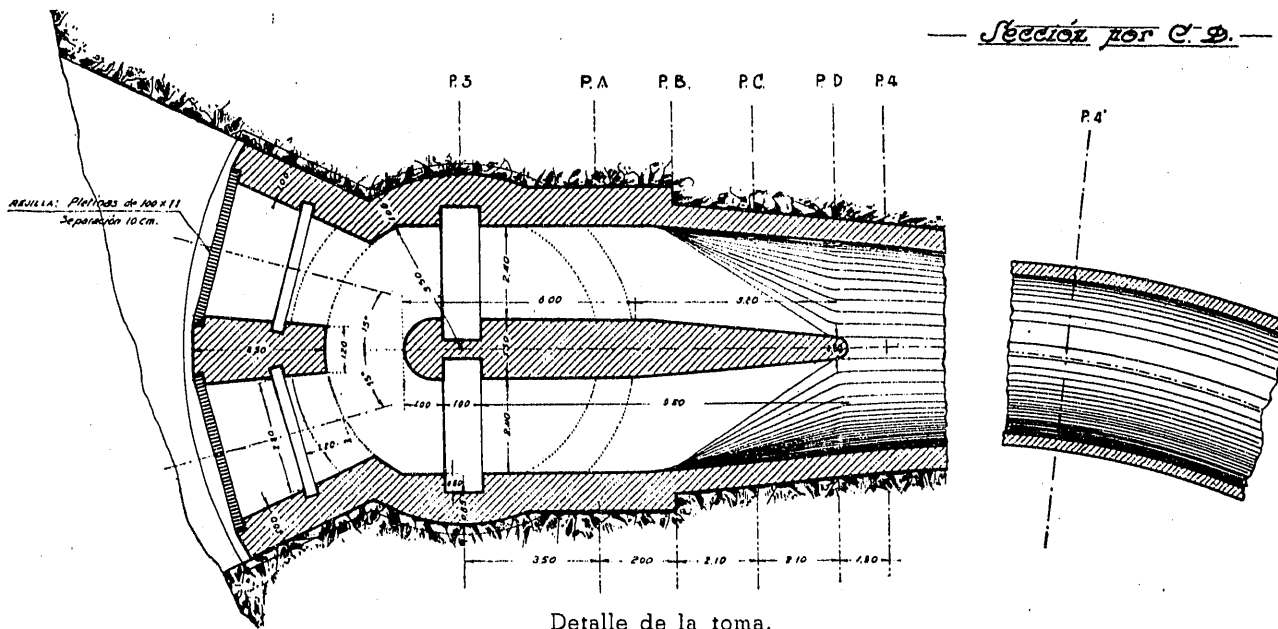
Pero también los redientes finales, al reducir la velocidad del agua inmediata a la solera, que es la menos influenciada por la disipación de energía del rulo superficial, producen reducciones de más del 50 por 100 en la longitud necesaria. Por eso nosotros, aun necesitando 59 m. de longitud de colchón por la fórmula de Safranez, hemos fijado en el proyecto 35 m., seguramente por exceso, a juzgar por lo ocurrido en casos similares, y así esperamos resulte de los ensayos que sobre este caso se van a hacer en el Laboratorio de la Escuela, incluso con el trampolín de doble lanzamiento, ya adoptado para la presa de Cijara.

Provisionalmente hemos fijado en el proyecto las dimensiones del rediente, teniendo en cuenta que, según ha resultado de numerosos ensayos, su altura, relativamente pequeña siempre, es característica de cada caso, sin que se consiga nada con aumentarla, y así hemos adoptado, también por exceso, 2 m. por compa-

ración con otros casos análogos. Su sección es trapezoidal, con talud vertical aguas abajo y con inclinación de 3 m. de base por 2 de altura aguas arriba; pero la más conveniente para su objeto, tanto por el choque y desviación de la corriente cuanto para la evacuación de posibles arrastres, resultará de los ensayos, si se conserva este tipo de solera después de efectuados.

unida a los cambios de presión que origine el régimen hidráulico especial del colchón, incluso con verdaderas succiones en algunas zonas, podrían levantar la solera.

Para evitar su agrietamiento por el fraguado y variaciones de temperatura, se divide en losas de $13,25 \times 11$ m. por juntas normales y paralelas a la presa. Las juntas van al tópe, en el sentido de la



Para terminar con este punto, indicaremos que parece que el resalto tiende a formarse en el punto en que el calado es justamente el necesario, en tal forma que, cuando éste es bastante superior, se desplaza aguas arriba hasta que aquello ocurre, pudiendo llegar hasta la presa, y de ahí la solera inclinada de algunas de las presas americanas citadas, por cuya razón, y puesto que sirve a la vez de refuerzo en su origen, también nosotros le damos talud.

La solera.

Así, pues, la solera tiene, en el tercio inmediato a la presa, la inclinación 4:1, en su superficie, y en el resto es horizontal, con espesor de 2 m., de los cuales son de hormigón poroso los 0,50 m. inferiores; encima, 1 m. de hormigón corriente de 180 Kg. de cemento, y en la superficie, expuesta a la acción del agua, hormigón de 300 Kg. en espesor de otros 0,50 m. La capa porosa, cuyo objeto es servir de drenaje, se comunica a través de las otras con el colchón por medio de tubos verticales de 10 cm. de diámetro, distribuidos a distancia de 3 m. entre sí, a fin de dar paso a las posibles filtraciones y evitar la consiguiente subpresión, que,

corriente, y solapadas las normales, éstas reforzadas con armaduras, lo mismo que el rediente final contra el choque del caudal circulante.

Los desagües de fondo.

Habiéndose proyectado la desviación del río en canal, aprovechando la gran anchura del cauce en su fondo, y en vista del robusto perfil que resulta para la presa, era obligado situar los desagües de fondo en la presa misma, con economía y facilidad de manejo, conservación e inspección sobre la de túnel en la ladera.

Se disponen tres amplios conductos en la vertical de las tres pilas del aliviadero, con sección mínima de $1,5 \times 2,4$ m. en la zona de las compuertas, en donde esos conductos son horizontales por conveniencia del cierre, y la misma sección con pendiente del 4 por 100 hacia aguas abajo; pero hacia aguas arriba se abocinan hasta llegar al paramento, con la sección de 3×4 m., para disminuir la contracción y aumentar, por consiguiente, el coeficiente de desagüe. El cierre se hace para cada conducto por dos compuertas deslizantes, manejadas por crics de aceite, a cuyo fin se disponen

cámaras de maniobra de 3,5 X 7,5 m. de planta y 6,6 m. de altura máxima, a distancia mínima de 6 m. del paramento, contorneadas por drenes que recogen las filtraciones para conducir las aguas abajo, disponiéndose también una eficaz aireación para evitar peligrosas zonas de vacío sobre los revestimientos metálicos. Sobre el piso de las cámaras ruedan puentes-grúas para montaje y reparaciones, y el acceso a las mismas se hace por amplias galerías desde ambas laderas.

Del lado del embalse terminan estos desagües en amplias rejillas en saliente sobre el paramento, sostenidas por estructura de hormigón armado, formando en conjunto un linternón semicilíndrico para aumentar la superficie.

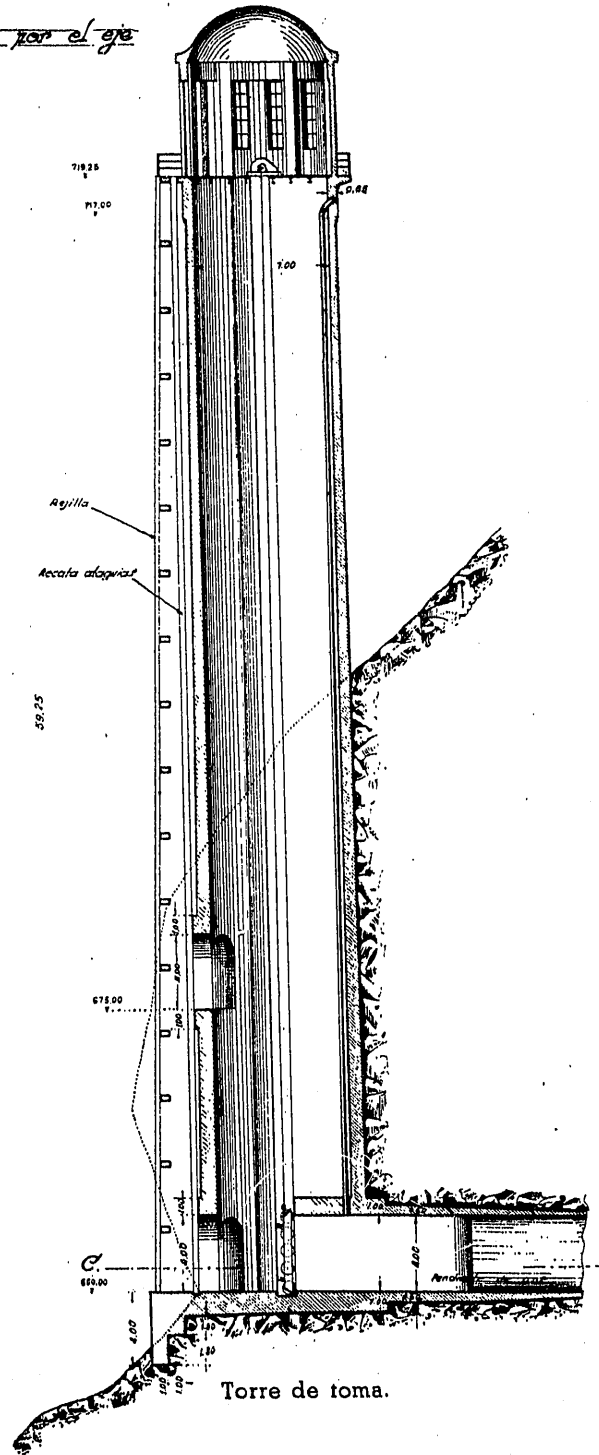
Las tomas.

En su proyecto se ha tenido en cuenta, por ser circunstancia decisiva para su disposición y dimensionado, la conveniencia del establecimiento inmediato del salto de pie de presa, conveniencia clarísima por las razones indicadas en el artículo anterior: importancia de estos saltos, mejor utilización de las obras, retraso de la puesta en riego, compatibilidad de saltos y riegos e incluso interés nacional, especialmente acusado en esta época de restricciones. Y como prueba decisiva de su conveniencia, está el resultado del concurso celebrado para su adjudicación, del que ha resultado que sensiblemente el 50 por 100 del rendimiento económico de estas obras se obtendrá en aprovechamientos hidroeléctricos.

Dada la topografía del terreno en el emplazamiento, la mejor solución hubiera sido la de central adosada a la presa, necesariamente debajo del aliviadero, y sobre ella el trampolín de lanzamiento de la lámina vertiente. Sin embargo, no deja de tener inconvenientes esta solución, por el efecto de los grandes caudales vertientes, aunque en raras ocasiones, sobre la central misma y la presa, por vibraciones y socavaciones; efectos, por otra parte, difíciles de estimar *a priori* en toda su integridad y que, enjuiciados por la Superioridad, hubieran podido motivar retrasos en la aprobación de los proyectos y comienzo de las obras. Desechada ésta, y no habiendo en el fondo del cauce espacio para la central lateral, no queda más solución que la proyectada: galería de presión en la ladera izquierda, cortando la pronunciada curva que allí tiene el río inmediatamente a la presa, y así la central queda lejos del coldhón y de sus efectos perturbadores en la aspiración de las turbinas y con fácil emplazamiento y acceso por la actual carretera.

En planta se dispone la galería en forma que quede a distancia de 40 m., como mínimo, de la superficie del terreno, con vistas a las posibles filtraciones que pudieran producirse, y en alzado, con pendiente del 2 por 100, teniendo en cuenta la situación de la

Sección por el eje



Torre de toma.

central, disposición más conveniente para las tuberías de presión, su mejor situación en la ladera por mejor calidad de la roca, punto de salida aguas arriba, y aun su construcción y conservación, que resultarían dificultadas con una pendiente mayor. No se precisa chimenea de equilibrio por la poca longitud de la con-

ducción, aunque sería fácil de establecer, bastando armar la galería para la carga estática, más la debida al golpe de ariete por rápido cierre del distribuidor. Estos cálculos se han hecho con intervención de la resistencia de la ladera, con arreglo a las normas de Koechlin. Para el caso de rápida apertura se ha procurado que la línea de carga para el golpe de ariete negativo no alcance al conducto, previéndose, además, para este caso, válvulas limitadoras de velocidad, que son, a la vez, ventosas, en el arranque de las tuberías de presión.

En cuanto al origen de la galería del lado del embalse y disposición de sus cierres, es corriente ensanchar la sección en la embocadura para disponer una amplia rejilla sin dispositivo de limpieza, o con éste por medio de un aparato que desliza por un plano inclinado sobre la ladera, y ya en el comienzo de la sección normal, el cierre de seguridad en pozo; disposición ésta especialmente indicada para las tomas en lagos o embalses de ríos con pocos arrastres, porque esta toma ha de quedar siempre sumergida. Pero en nuestro caso, de aportaciones con grandes arrastres, en que la ladera no se presta bien al establecimiento de ese plano inclinado y puesto que de todos modos el pozo habría de terminar en torre con pasarela de acceso desde la carretera o desde la presa, a menos de desviar mucho la galería, hemos preferido disponer la toma, cierre y rejilla, todo reunido, en una torre con acceso desde la coronación de la presa. De este modo, se encuentra el manejo de todos los elementos de la embocadura en la coronación de la torre; las rejillas pueden hacerse todo lo amplias que se quiera, con lo que ni siquiera necesitarán limpiarse, y móviles para prever su necesidad de reparación; se pueden disponer tomas a distintas alturas, como garantía contra la elevación de los depósitos en el embalse, por si alcanzaran a la inferior; fácilmente se disponen ataguías en las entradas de aguas a la torre, que permitirán que ésta se pueda vigilar y reparar en su interior, así como la instalación de compuertas y toda la galería; es decir, plena garantía y comodidad contra todas las eventualidades previsibles durante la explotación.

Consta, pues, la toma de los siguientes elementos hasta la Central del Salto: una torre circular de 7 m. de diámetro interior, necesario para disponer como-

damente las dos compuertas-vagón que cierran los dos conductos en que la galería se divide en su arranque y la pila de separación para guiarlas en su movimiento; del lado del embalse tiene esta torre tres muros en forma de aletas, que llevan dos rejillas corridas cerrando los espacios intermedios, en cada uno de los cuales se disponen dos entradas de agua a la torre: las inferiores, a la misma altura que la galería, y las superiores, 15 m. más altas, a la cota mínima prevista para explotación del embalse, dejando por debajo un volumen de vaso de 60 millones de metros cúbicos, que suponen amplia garantía contra los aterramientos y escasa pérdida en los 750 millones del vaso. Aunque bastaría con la toma superior, se dispone la inferior también, que nada cuesta, por facilidad durante la construcción y como garantía contra una excepcional sequía, que exija apurar el embalse más de lo previsto, como ha ocurrido recientemente con casos análogos de embalses alimentadores de saltos. En la coronación de la torre se dispone una caseta para cubrir su interior y encerrar los mecanismos de maniobra de las compuertas.

La sección de la galería se ha calculado partiendo del caudal máximo que ha de conducir, fijado, por consideraciones que se indicarán al tratar de los saltos, en unos 50 m.³/s., con lo que el diámetro resulta de 4 m. para velocidad máxima de 4 m./s. Y se continúa al exterior por dos tuberías metálicas de 2,5 m. de diámetro, que alimentan otros tantos grupos en la Central, haciéndose el empalme suavemente mediante abocinamiento metálico y fuerte espesor de revestimiento de hormigón. En el origen de las tuberías se disponen las válvulas de regulación: una, de mariposa, para apertura total, y otra, de aguja, y las de limitación de velocidad, antes indicada; todo encerrado en una caseta provista de su correspondiente puente-grúa.

Con lo dicho sobre los elementos fundamentales tratados y los dibujos y fotografías que se acompañan, estimamos suficientemente descrito lo que pueda interesar del proyecto de este pantano, porque el estudio en detalle de estas obras, con sus correspondientes cálculos, haría interminable este trabajo. En otros artículos trataremos de los saltos de pie de presa y de las obras auxiliares y complementarias de ambos pantanos.