

PRESA DEL TAMBRE

Por LUCIANO YORDI DE CARRICARTE,
Ingeniero de Caminos.

El presente trabajo, que se divide en dos artículos, describe la ampliación del aprovechamiento hidroeléctrico del río Tambre, de la Sociedad General Gallega de Electricidad. En este primer artículo se reseñan las características de la presa y se da cuenta de las normas de cálculo seguidas en el Proyecto, así como de algunas interesantes particularidades de la construcción.

I

Descripción general.

Desde el año 1927, la Sociedad General Gallega de Electricidad, S. A., poseía en el río Tambre un aprovechamiento hidroeléctrico constituido por un azud de derivación de 7 m. de altura, un canal de conducción de 7 Km. de longitud y una central que, situada bajo el salto de 100 m. de altura creado por dicho canal, tenía una potencia instalada de 13 500 CV., distribuidos en tres grupos de 4 500 CV. cada uno.

Este aprovechamiento, que fué durante muchos años el principal de toda la zona gallega, hizo que el río Tambre popularizase su nombre y adquiriese abolengo dentro del mercado eléctrico regional, no siendo, por consiguiente, extraño que, planteada después de la guerra la situación hidroeléctrica por todos conocida, la General Gallega de Electricidad tratase de llevar a cabo un mejor aprovechamiento de las posibilidades de este río mediante una ampliación de las obras existentes en el mismo.

Realizados los estudios correspondientes, se llegó a la conclusión de que la obra, que se llamaría "Ampliación del Tambre", más adecuada para llevar a cabo era la instalación en la central de 12 000 CV., además de los ya existentes, y de la construcción de una presa que crease un embalse regulador de la futura potencia instalada. Esta obra llevaba aneja el recrecimiento de los cajeros del canal de conducción, con el fin de aumentar la capacidad de transporte del mismo, y poder así abastecer las nuevas instalaciones de la antigua central.

Terreno. — El emplazamiento de la presa de embalse que se iba a construir no ofreció dudas en ningún momento, ubicándose a la entrada de una especie de garganta próxima a los lugares de Cornanda y Liniayo, por la cual el río, con declive pronunciado, recorre el último tramo de su curso hasta su desembocadura en la ría de Noya.

Esta cerrada era prácticamente la misma donde estaba construido el antiguo azud de derivación, situándose la presa 30 m. aguas abajo del mismo, con el fin de que aquél sirviese de ataguía a la obra a realizar.

De esta forma, por hacerse la toma de agua al principio del canal, el embalse útil coincidiría sensiblemente con el embalse total, por estar los desagües de fondo situados en una cota próxima a la del cauce del río.

El pantano propiamente dicho se creaba así con la inundación de la cuenca ancha del valle del Tambre, que empieza inmediatamente aguas arriba de la cerrada de la presa.

La roca de la garganta se presentó mucho más compacta que la de la cuenca del embalse, siendo un gneis de composición mineralógica y de compacidad similar a la de un granito. La particularidad más notoria de las dos laderas que constituían la cerrada era su estructura en forma de losas, con inclinación aproximada a la de las respectivas vertientes, temiéndose en principio que hubiese entre ellas separaciones importantes.

Además de estos despegues, la roca se hallaba fracturada, en primer lugar, por un fraccionamiento general de "diacласas", y en segundo lugar, por fracturas en las que los esfuerzos provocaron desplazamientos en el sentido del plano de la falla. Los sondeos efectuados demostraron que la roca, en cuanto a dureza, era de calidad excelente, y que las pérdidas señaladas en los diagramas de permeabilidad no eran fuertes, por lo que no había peligro alguno para la cimentación de la presa.

Presa. — La altura de la obra, y por consiguiente la capacidad del embalse, fueron fijados de forma que no se inundase la vega de la villa de Negreira, situada 18 Km. aguas arriba, ya que, de hacerlo, se crearía un verdadero problema social en aquella villa, por lo que la Superioridad fijó una altura máxima que implicó las siguientes características de la presa:

Tipo gravedad, de planta recta, con vertedero en coronación.

Altura máxima, 48 m.

Altura sobre el cauce del río, 45 m.

Longitud de coronación, 160 m.

Talud de aguas arriba, vertical.

Talud de aguas abajo, 0,78.

Vertedero, dos vanos de 14×7 , cerrados por compuertas Stoney.

Desagües de fondo, dos de 1,40 m. de diámetro, con dos compuertas cada uno de tipo americano.

Volumen de hormigón, 70 000 m.³.

Capacidad de embalse, 30×10^6 m.³.

Longitud de embalse, 18 Km.

Cálculo. — En los cálculos sobre la estabilidad de la presa del Tambre no se respetó por completo la conocida condición de Levý. Esta condición, obedecida por muchos Ingenieros desde 1897 en que fué publicada por el Ministerio de Agricultura francés, fué reducida según la Circular, también francesa, de octubre de 1923.

En Italia, la Comisión encargada de estudiar la cuestión aceptó para presas de menos de 50 m. de altura que la condición de Levy pudiese afectarse de coeficientes de reducción que variasen entre 1/3, para terrenos perfectos, y 2/3, para terrenos buenos con pequeñas deficiencias. En el Tambre, el coeficiente adoptado fué 1/2, aunque el terreno del cauce del río permitiese ir más lejos.

Complementando este terreno, dispusimos en la presa un plano de drenes, consistentes en una serie de pocillos de 40 cm. de diámetro y separados 4 m. unos de otros. Estos pocillos arrancan de la junta roca-cimientos y llegan hasta la coronación de la presa, desembocando en una galería visitable de $1,50 \times 1,25$, terminada por una bóveda de medio

punto de 1,50 m. de diámetro. Esta galería sirve, además, de colector, de galería de inspección, estando situada a 15 m. sobre el cimiento de la obra.

Los pocillos se proyectaron con el fin de disminuir la subpresión, crear corrientes de aire que beneficiasen la masa de la presa y mejorar el grado de sequedad, evitando así que en el paramento de aguas abajo se formen heladas, con peligro para el hormigón que lo integra.

El factor desfavorable relativo a que estos drenes puedan aumentar el caudal filtrante, con peligro de deslavar el hormigón si su cuantía fuese excesiva, fué tanteado según fórmulas de Tölke, que dieron un aumento de 3,60 veces el caudal que filtraría en caso de que no hubiese habido ningún sistema especial de drenaje.

Esta cifra no fué excesiva, teniendo en cuenta las ventajas y la facilidad de construcción de estos pocillos con encofrados llevados por delante del hormigonado general.

En la *Revista da Ordem dos Engenheiros*, de febrero de 1949, el Ingeniero Baptista Junior resume las conclusiones obtenidas en el Congreso de Grandes Presas, celebrado en Estocolmo en junio de 1948, o sea un año más tarde de haberse comenzado la obra del Tambre.

En la cuestión relativa a subpresiones, se planteó el dilema respecto de los dos factores: el primero, de qué intensidad por unidad de superficie tiene la subpresión en cada sección de la obra, y el otro, que se refiere a qué secciones están en realidad sometidas a esta influencia.

La citada revista resume los resultados obtenidos en dicho Congreso de esta forma:

a) Las subpresiones actúan sobre toda la superficie considerada, cualquiera que puedan ser los valores específicos en puntos particulares, tanto en una sección de la presa como en la superficie del cimiento.

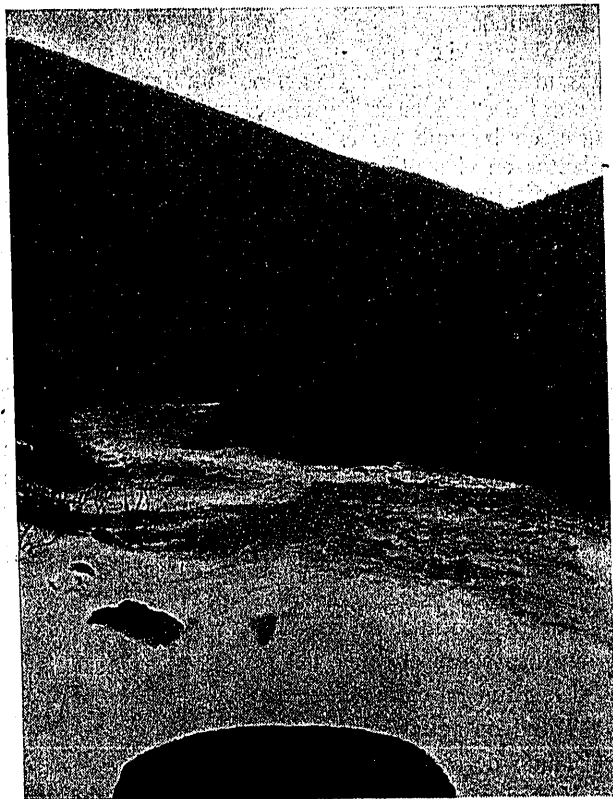
b) En el paramento de aguas arriba, la intensidad de la subpresión es igual a la presión hidrostática del agua en el embalse; en el paramento de aguas abajo, nula, salvo condiciones particulares. En este caso está determinada por esas mismas condiciones.

Entre estos dos extremos de la sección, varía en general linealmente, salvo el efecto de medidas constructivas especiales destinadas a disminuir la intensidad.

c) Deben ser adoptadas medidas constructivas apropiadas, a fin de evitar, dentro de lo posible, que aparezcan subpresiones en el cuerpo de la obra y en la superficie de apoyo, disminuyendo así los efectos mecánicos y químicos del agua intersticial y su influencia en la resistencia de los materiales.

d) Una conservación y vigilancia continua debe asegurar de manera duradera la eficacia de las referidas medidas constructivas.

Después de estas conclusiones, se consideró como influencia favorable sobre las subpresiones, los drenes, pozos e inyecciones, teniendo en cuenta el incon-



Tramo de río afectado por las obras.



Uno de los desagües de fondo trabajando a plena carga de embalse.

veniente de aumentar las filtraciones con el peligro de deslavamiento del hormigón. Otra solución indicada fué también la de ir a tipos de obras en que el fenómeno tenga poca importancia, por ejemplo, presas de contrafuertes.

Terminada la presa del Tambre y lleno el embalse, se observaron todos los drenes, viéndose su influencia favorable, ya que el agua que venía del cimientó de donde ellos arrancaban, no tenía consideración, salvo en tres de ellos, que arrojaban a la galería de visita, situada a 15 m. del cimientó, del orden de los 3 litros por minuto. Los demás drenes permanecen sin soltar caudal en la citada galería. Esta agua que llega a la galería, parece ser, a primera vista, que viene de filtraciones originadas por alguna junta de contracción.

Para experiencia se hicieron, desde la galería, sondeos que atravesaban la roca entre el paramento de aguas arriba y el plano de drenes, profundizándose 10 m. por debajo de la superficie de apoyo. Estos taladros dieron resultados francamente optimistas, ya que por ninguno de ellos salió una sola gota de agua.

He expuesto esto por creer que, por lo menos en el caso concreto del Tambre, las conclusiones que cité antes son excesivamente pesimistas, ya que la impresión particular es que, en terrenos del tipo del cauce

de este río, aún sin medida preventiva, similar a las preconizadas, las subpresiones son inferiores a la ley lineal que antes se expuso.

La presa del Tambre se calculó por el método clásico de Pigeaud y por el método de hiladas horizontales en los dos casos: de embalse lleno y vacío.

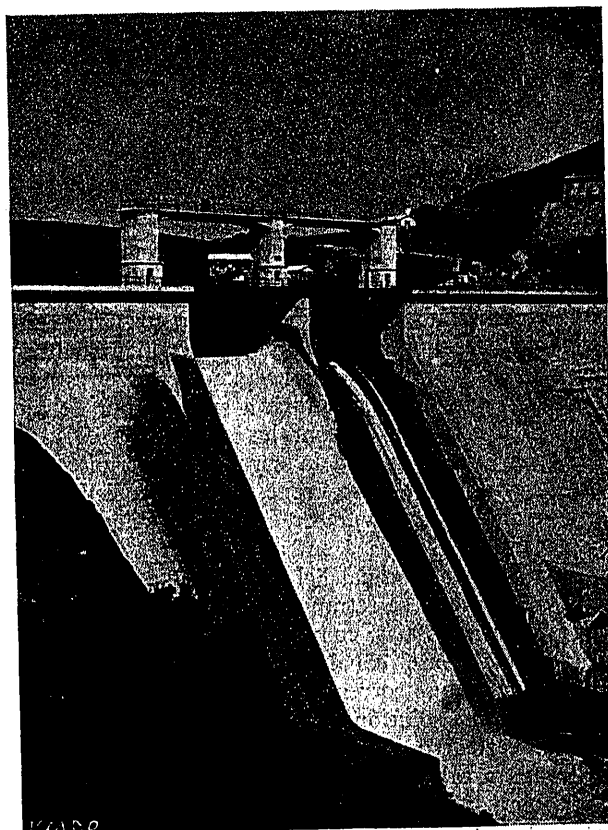
Vertedero. — Para dimensionar el ancho y altura del vertedero, de acuerdo con el criterio fijado por la Superioridad, de considerar un metro cúbico por segundo y kilómetro cuadrado de cuenca, hemos partido de la superficie de ésta valorada en 1 300 Km.².

Para ello hemos tenido en cuenta los últimos estudios realizados sobre posibles coeficientes de gastos de vertederos, no olvidando la forma de la coronación de los mismos y de las alturas de la lámina vertiente.

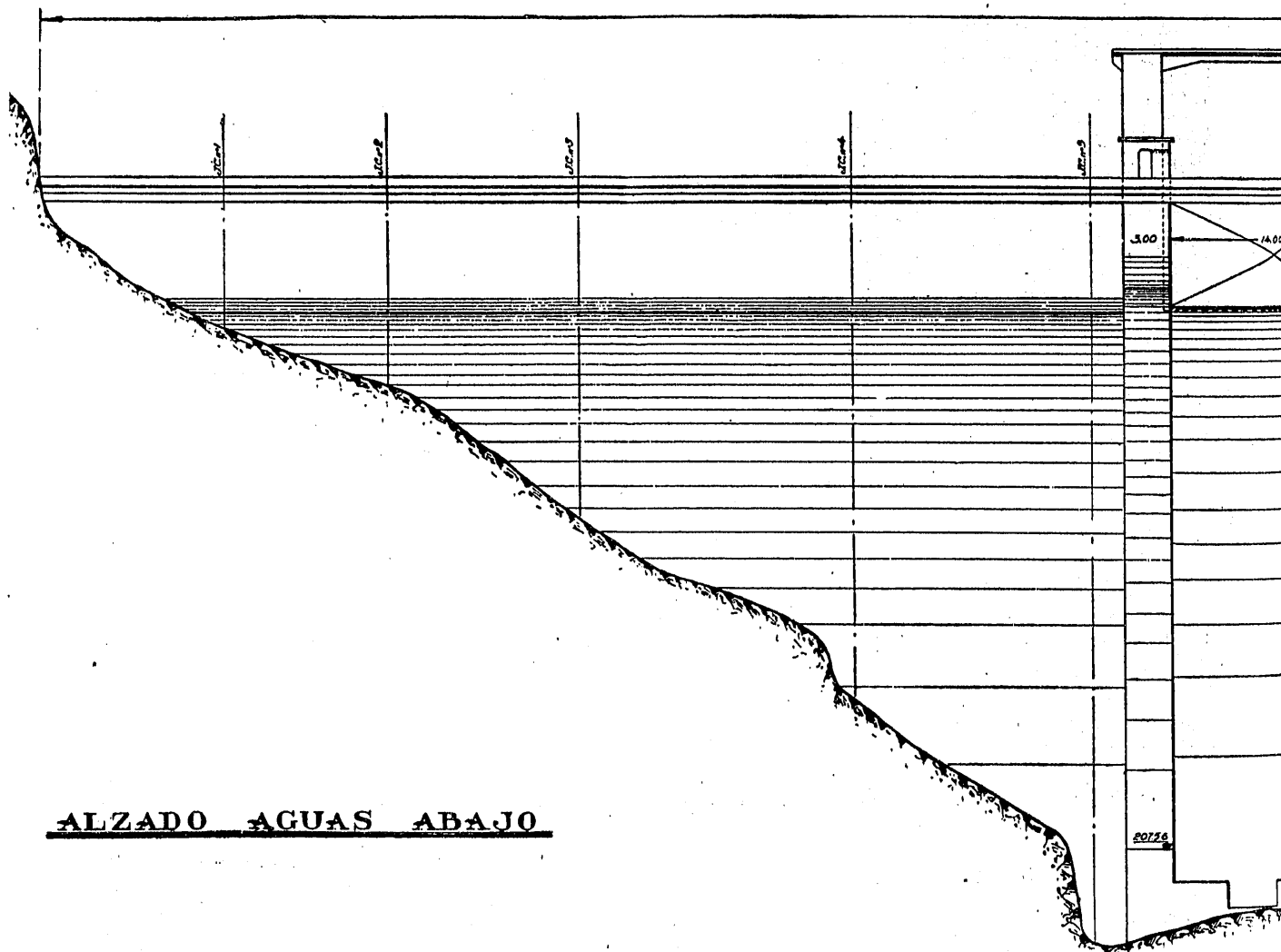
Siguiendo el criterio de Escande, se fijó para el coeficiente m de la fórmula $Q = m \sqrt{2g h^3} \cdot l$, el valor 0,475.

Después de tanteos, se dimensionó el vertedero en dos vanos simétricos de 14 X 7 m., divididos por una pila intermedia cuidadosamente perfilada.

Este vertedero puede evacuar 1 100 m.³/seg., que es la avenida máxima que, según nuestro criterio, puede tener el Tambre; para completar el caudal de máximas avenidas fijado por la Superioridad, se cuenta como reserva con el metro de resguardo que



Vertedero de la presa con una compuerta elevada 20 cm.



ALZADO AGUAS ABAJO

lleva la coronación de la presa sobre el nivel del embalse. Reduciendo este resguardo a 0,10 y aumentando, por consiguiente, la lámina a 7,90 m., altura que permiten las compuertas levantadas por el estrangulamiento que sufre la lámina a su paso por debajo de ellas, se consigue evacuar los 1 300 m.³/seg.

El sobreancho dado a la coronación permite esta sobreelevación, en el caso límite, y muy problemático, que se plantee, por favorecer, según se comprobó, la estabilidad de la presa a embalse lleno.

Para formar el canal del vertedero situado en el centro de la presa, se retranqueó el macizo del mismo con respecto a las alas, completándose la profundidad así adquirida por el canal con pilas rectangulares de 3 m. de ancho, que corren a lo largo de toda la altura de la obra. Esta solución intermedia de pilas y retranqueo del vertedero para formar el canal del mismo, fué llevada a cabo con objeto exclusivamente estético para la obra.

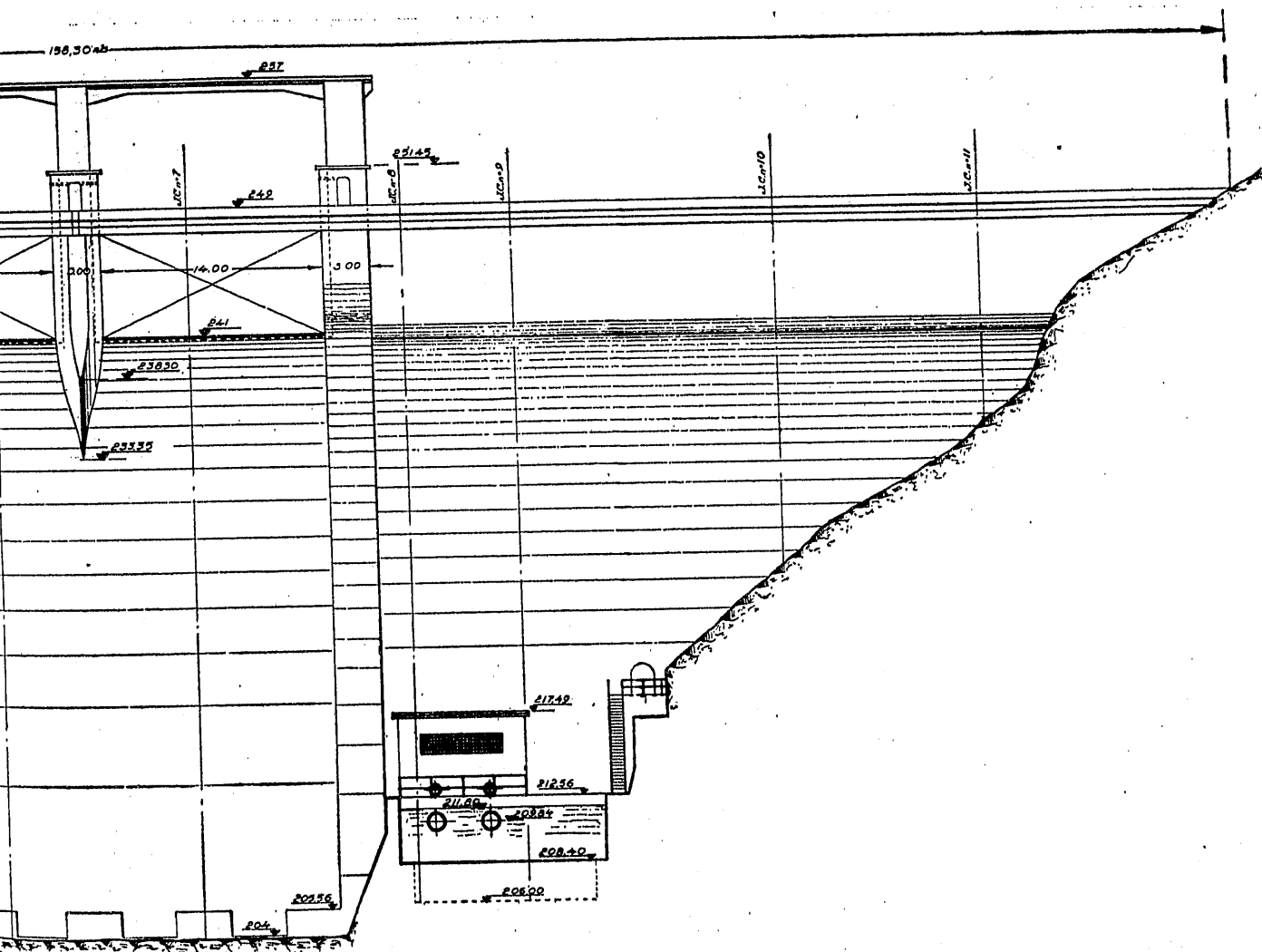
La fórmula $Q = 30 \sqrt{S}$, da un caudal de avenidas igual al fijado.

Amortiguador de energía al pie del vertedero. —

Por proyectarse la nueva presa inmediatamente aguas abajo del antiguo azud de toma, se ocupó con ella la parte correspondiente al antiguo desarenador del canal, dejando, no obstante, libres los 20 m. finales de éste, así como la entrada al canal de la central del Tambre y la totalidad del mismo que, mediante un recrecimiento de 70 cm. en sus cajeros, realizado con mampostería hormigonada hecha con encofrados prefabricados, sigue prestando servicio por medio de la alimentación que llevan a cabo las tuberías de los desagües de fondo de la obra.

La disposición definitiva del amortiguador de energía al pie del vertedero de la obra y la anulación de energía a la salida de los desagües de fondo, con plena carga del embalse para suministrar agua en régimen lento al canal, se escogió mediante ensayos en los que se buscó, como es natural, la solución más económica y sencilla y que al mismo tiempo proporcionase la seguridad necesaria a las obras.

Dos soluciones, ya clásicas, fueron tanteadas para



el pie del vertedero: primera, la formación del resalto hidráulico mediante la creación de la profundidad conjugada de la velocidad al pie de la presa, y segunda, la adopción de una solera corta o trampolín de lanzamiento.

La primera solución era la más segura y la más costosa, sobre todo teniendo en cuenta el río Tambre, en que la pendiente inmediata aguas abajo de la presa casi llega al 2 % y, por consiguiente, el agua lleva gran velocidad y, por tanto, los calados necesarios para el cambio de régimen sólo podrían conseguirse con fuertes excavaciones o con una represa alta, ya que se necesitaban 15 m. de agua al pie del vertedero.

Tenía la ventaja esta solución de que, represada el agua en el contraembalse formado aguas abajo de la obra, la toma en el antiguo canal se haría a régimen lento sin mayores dificultades.

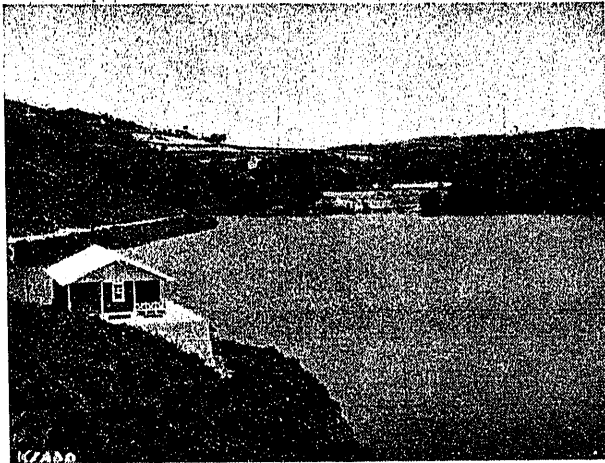
No obstante, después de tanteada esta solución, fué desplazada por la segunda, en la que se limitan las erosiones prudentemente y se llevan a zonas no peligrosas para la estabilidad de la obra. Favorecía

a esta solución la excelente calidad de la roca y la pendiente del río.

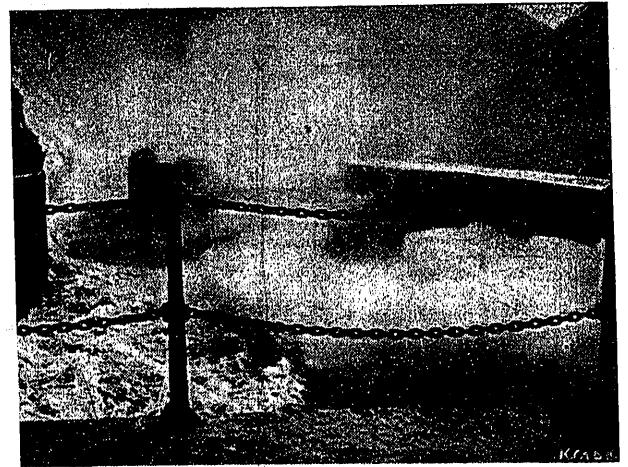
La solución consistió en un trampolín de doble lanzamiento, semisumergido, integrado por una solera de 12 m. de longitud y contrapendientes del 35 % en los trampolines elevados y del 15 % en los rebajados. El acuerdo de los trampolines con el paramento de la presa se efectuó por medio de una curva circular de 5 m. de radio, siendo la diferencia de altura de los dientes de 1,56 m., coincidentes con el máximo espesor previsto para la lámina vertiente. El ancho de cada uno de los trampolines es de 3,444 m.

Esta disposición es bastante similar a la llamada por los americanos "Angostura". empezando ahora a realizarse en España, aunque creo, en principio, que en nuestro país no hay experiencia práctica sobre ella.

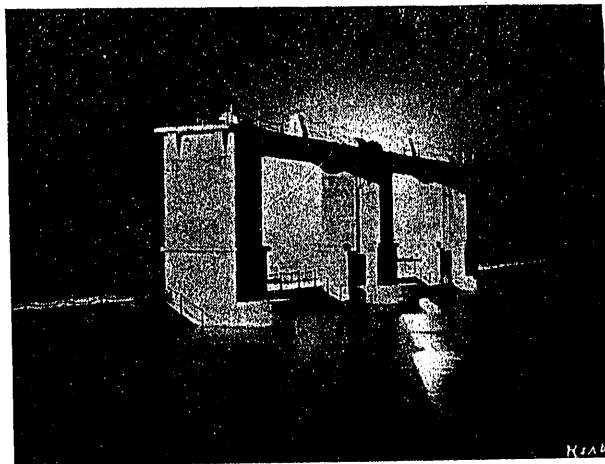
En mayo de 1950, fecha en la que se llenó por primera vez el embalse, vertió por un solo vano una lámina de 3,25 m. de altura. Con este vertido disimétrico se definió una cubeta en el cauce del río, antes lleno con productos de excavación, sin que se



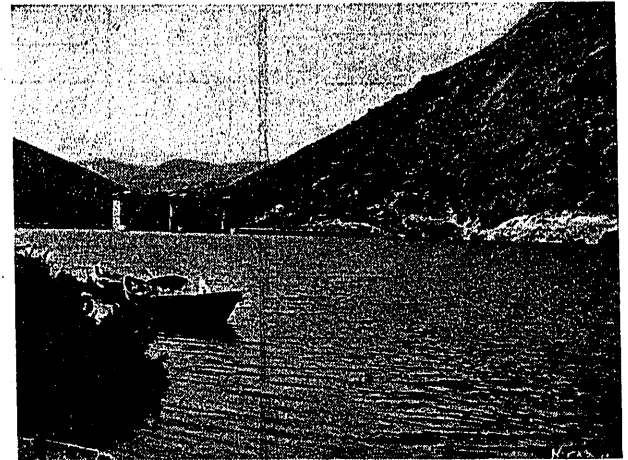
Tipo de construcción de madera que constituía parte del campamento auxiliar de las obras.



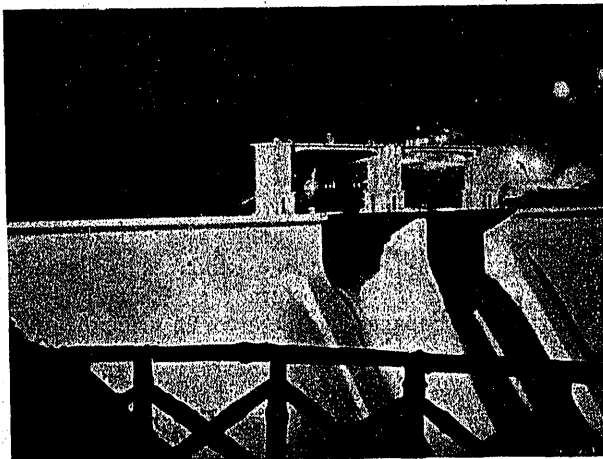
Otra vista del mismo desagüe de fondo.



Pilas y puente de servicio de elevación de las compuertas del vertedero.



Comienzo del embalse.



Vista parcial de la presa desde aguas abajo.



Presa vista lateralmente.

modificase prácticamente el nivel del terreno contiguo a los dientes del trampolín.

A medida que aumentaba la altura de la lámina vertiente, se pudo observar que las diferencias de alturas de agua sobre los dientes altos y bajos tendía a desaparecer, llegando un momento de equilibrio en toda la lámina sobre los diferentes trampolines.

Posteriormente se observó todo el zampeado, sin que se notase ninguna anomalía en todo él.

Desagües de fondo. — Estos desagües, en número de dos, van emplazados en el ala izquierda de la presa, en la cota 210 (cota de fondo del río, 203), y tienen un diámetro de 1,40 m., abocinándose a su entrada para reducir pérdidas de carga.

A su terminación existe una caseta donde se alo-

jan cuatro compuertas de fondo, que se distribuyen en dos para cada desagüe: una, como cierre de seguridad, y otra, como cierre de regulación.

Estos desagües de fondo tienen, además, la finalidad básica de alimentar el canal de conducción de la central, por lo que las compuertas de los mismos se han escogido teniendo en cuenta, principalmente, el factor de robustez, siendo similares a las adoptadas por el Bureau of Reclamations Dams, o sea las llamadas de tipo "Americano".

El inconveniente que podemos temer en estas compuertas es que en una regulación llevada al límite, en aberturas parciales, se creasen remolinos y circulaciones secundarias y, por tanto, fenómenos de cavitación, debidos a un régimen de circulación con fuertes gradientes de velocidad y posibles vibraciones que llegasen a agotar la compuerta.

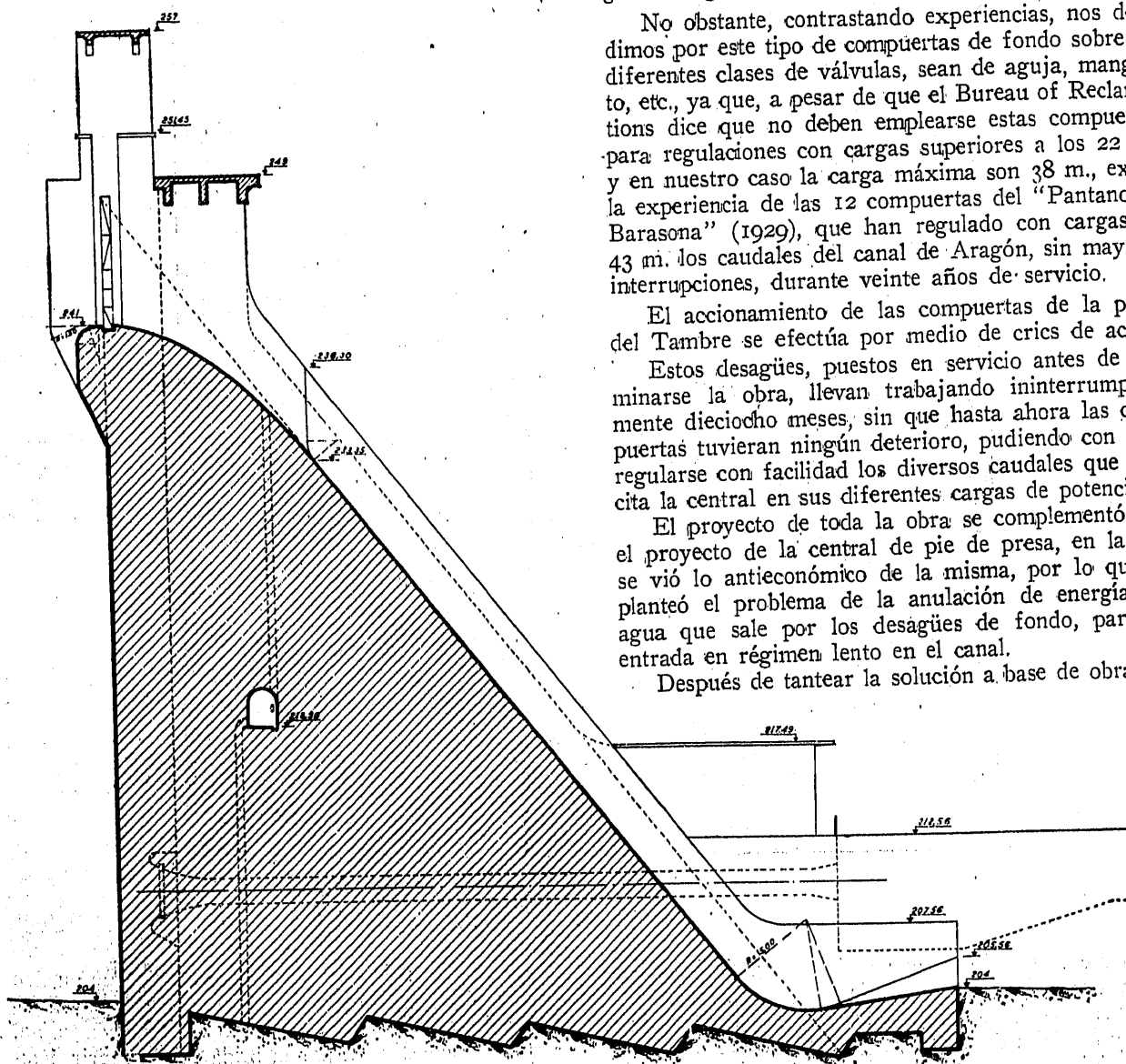
No obstante, contrastando experiencias, nos decidimos por este tipo de compuertas de fondo sobre las diferentes clases de válvulas, sean de aguja, manguito, etc., ya que, a pesar de que el Bureau of Reclamations dice que no deben emplearse estas compuertas para regulaciones con cargas superiores a los 22 m., y en nuestro caso la carga máxima son 38 m., existe la experiencia de las 12 compuertas del "Pantano de Barasona" (1929), que han regulado con cargas de 43 m. los caudales del canal de Aragón, sin mayores interrupciones, durante veinte años de servicio.

El accionamiento de las compuertas de la presa del Tambre se efectúa por medio de crics de aceite.

Estos desagües, puestos en servicio antes de terminarse la obra, llevan trabajando ininterrumpidamente dieciocho meses, sin que hasta ahora las compuertas tuvieran ningún deterioro, pudiendo con ellas regularse con facilidad los diversos caudales que solicita la central en sus diferentes cargas de potencia.

El proyecto de toda la obra se complementó con el proyecto de la central de pie de presa, en la que se vió lo antieconómico de la misma, por lo que se planteó el problema de la anulación de energía del agua que sale por los desagües de fondo, para su entrada en régimen lento en el canal.

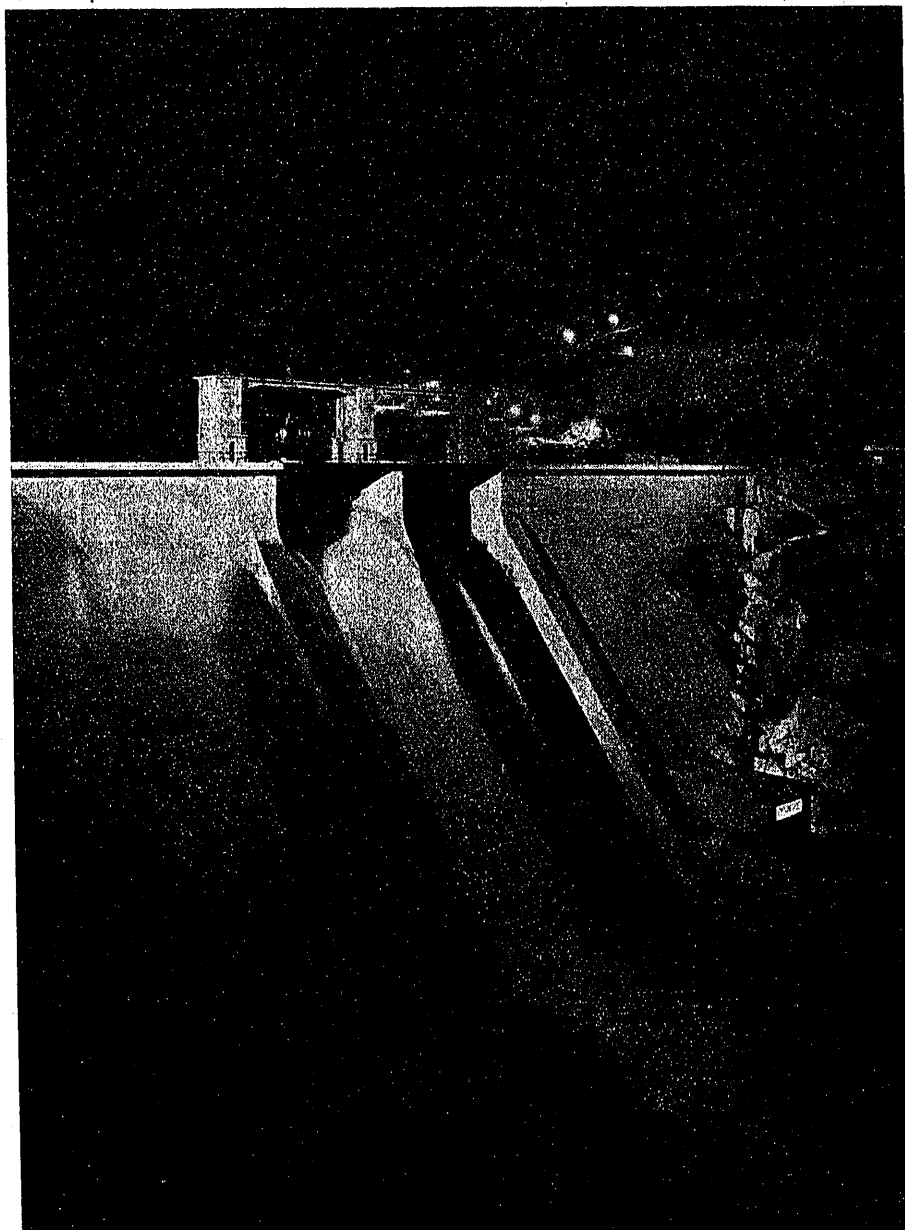
Después de tantear la solución a base de obras de



Sección por el vertedero de la presa.

fábrica en el arenero que hay a la salida de los desagües, nos decidimos por ir al establecimiento de amortiguadores cónicos, consistentes en conos de chapa agujereada, sujetos por una brida exterior a una

exterior mediante su paso por los agujeros de la chapa, que la hacen entrechocar en su salida, desapareciendo a pocos metros de ésta toda señal de turbulencia.



Vista nocturna de la presa.

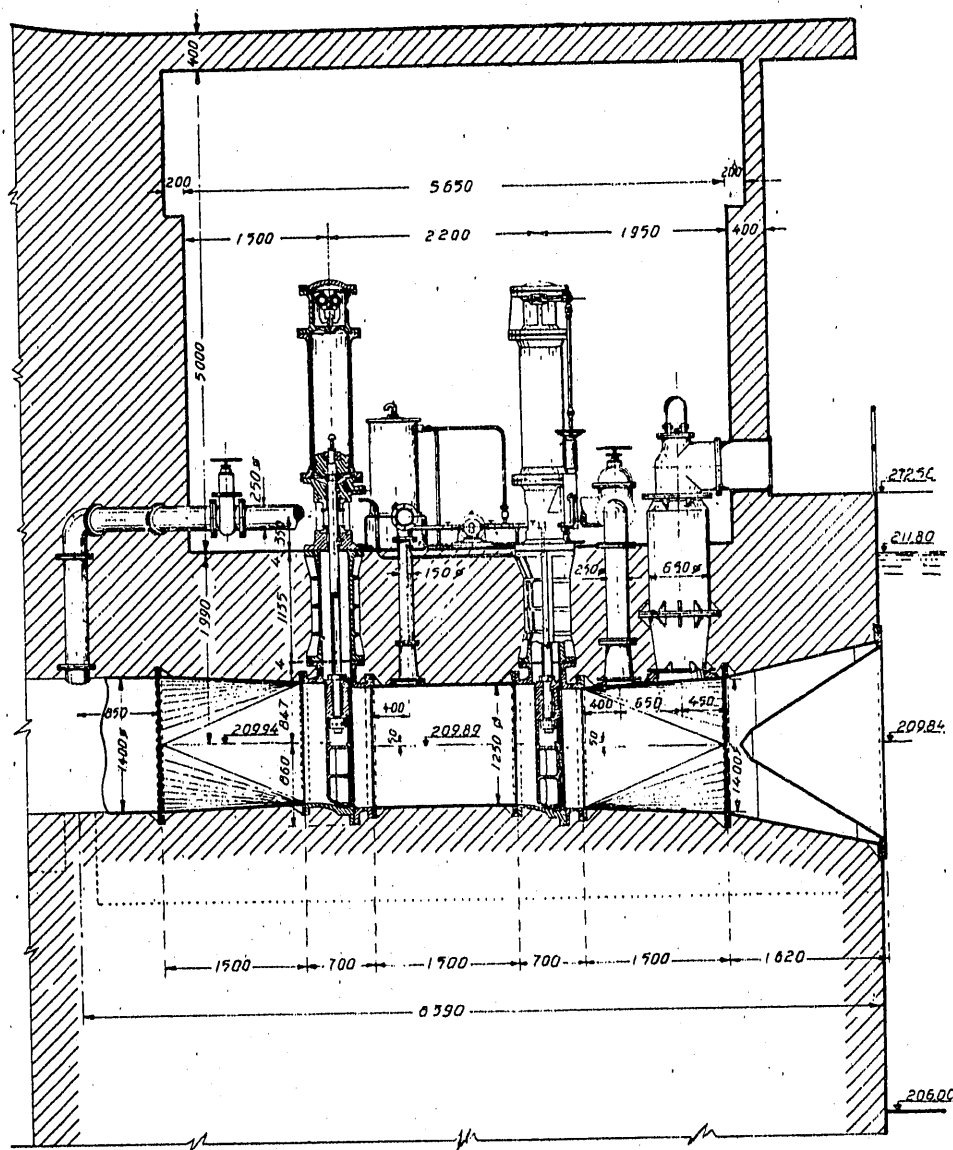
envolvente troncocónica, que es la forma de los desagües a la salida de la segunda compuerta.

Estos amortiguadores han trabajado con 38 m. de carga y caudales de 12 m.³/seg., comportándose bien en principio, ya que el agua sale por entre las paredes del envolvente y la superficie del cono, llegando al

Ahora bien: tienen el inconveniente de que pueden atascarse y que, al cabo de algún tiempo, por vibraciones de los mismos por el paso del agua en carga, la sujeción constituida por la brida pueda sufrir deterioros en los espárragos que unen el cono con la envolvente citada.

Juntas de contracción. — La presa lleva una serie de juntas, distanciadas de manera diferente, para acoplarse así a las necesidades del plan de trabajo de la obra, cerrándose todas ellas por la clásica barra de hormigón armado, a continuación de la cual existe un

El puente de paso, con dos tramos rectos de 14 m. de luz, tiene por objeto enlazar las dos calzadas de 6 m. de ancho de las alas de la presa, con el fin de dar paso, en su día, a los vehículos que irán de Noya a Negrreira, evitando así un recorrido de 7 Km., en



Casetas de los desagües de fondo.

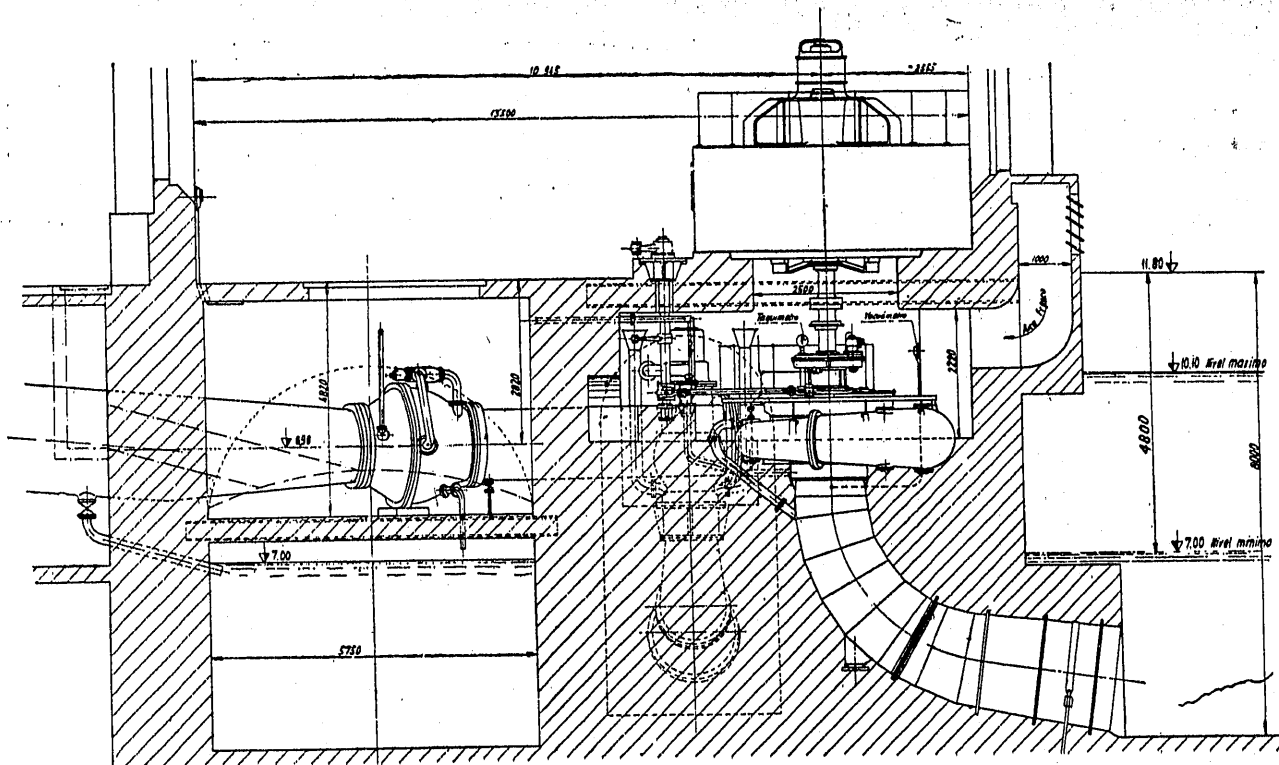
pocillo, que se rellenó posteriormente al hormigonado general de los bloques que lo forman.

Puentes de servicio. — Las pilas que limitan el vertedero sirven, en unión de la pila central, para guía de las dos compuertas del mismo, accionadas por cables, y para apoyo de los cuatro tramos rectos que constituyen un puente de paso y el puente de maniobra de dichas compuertas.

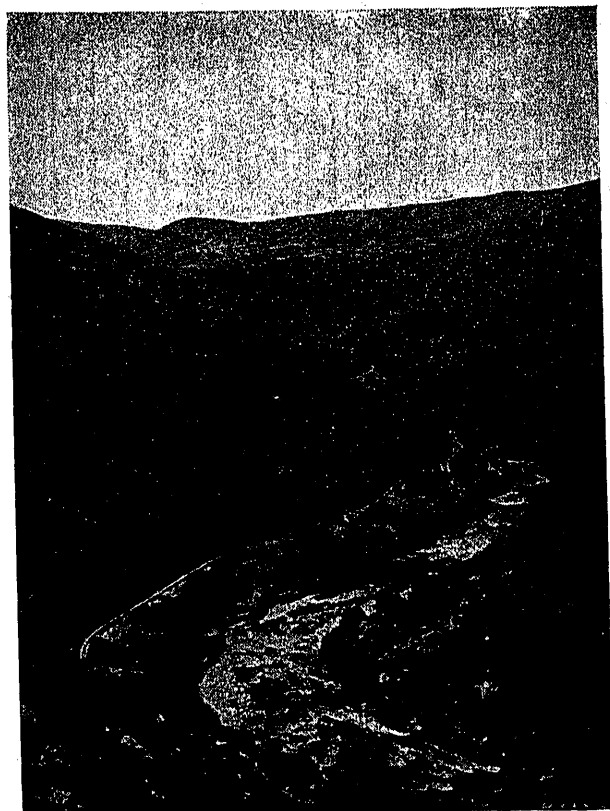
la actual distancia de 35 kilómetros que separa ambas villas:

El puente de maniobra, que forma el dintel del pórtico donde se alojan las compuertas en posición elevada, está constituido por cuatro ménsulas que soportan los cables y dos tramos intermedios colgados de las mismas.

La luz total de cada tramo es de 15 m. y el canto de los tramos colgados 70 cm.



Sección del nuevo grupo instalado en la central del Tambre.



Comienzo del canal de conducción

Con esta disposición, la ejecución del puente pudo hacerse mediante la construcción de las ménsulas, con andamios sujetos a las pilas, y, posteriormente, por medio de una cimbra rígida colgada de los voladizos ya hormigonados, se construyeron los tramos intermedios que completaban el tablero del puente.

Hubo que ir a esta solución porque, para adelantar el montaje de las compuertas del vertedero, se construyó el puente de servicio de las mismas, antes de terminar el hormigonado, por lo que era imposible hacer una cimbra fija para construir dicho puente.

El pórtico de estas compuertas de suspensión superior favoreció la vista del conjunto de la obra.

Nuevo grupo.— Como se dijo en principio, la antigua central del Tambre tenía instalados tres grupos de 4 500 CV. cada uno.

En el proyecto de ampliación se fué al establecimiento de un cuarto grupo de 12 000 CV., en lugar de otro similar a los primeros, para lo cual estaba prevista la central.

No obstante, la central no se modificó en sus muros de cierre, desaguando este cuarto grupo por canal independiente a los otros tres.

Quedaron así instalados 25 500 CV., que absorben los 21 m.³/seg. de la concesión, regulando el embalse constituido por la presa del Tambre, 11,40 m.³/seg., lo que permite pasar de 45 000 000 de Kw.-h. de producción a 95 000 000 de Kw.-h. anuales.