

Obras del salto de Millares, de la Sociedad Hidroeléctrica Española¹

II

Ejecución de la presa

Para efectuar la cimentación de la presa se proyectó construir en la margen izquierda, aguas arriba de su emplazamiento, un túnel, para, mediante una fuerte ataguía, desviar el río por el mismo, teniendo su des-

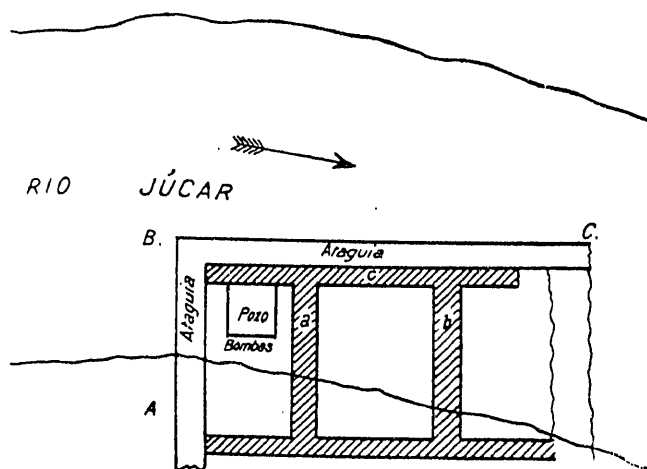


Fig. 20. Croquis de la ataguía

agüe aguas abajo de dicho emplazamiento, y con este objeto se empezó su construcción. Pero como no se iba a terminar su perforación a tiempo de aprovechar el estiaje del pasado año de 1930, para efectuar la cimentación, se decidió, sin dejar de proseguir los trabajos de dicho túnel, empezar la excavación en la mitad del río correspondiente a la margen derecha, y para ello fué preciso aislar un recinto rectangular correspondiente a la mitad de la presa (fig. 20), uno de cuyos lados longitudinales fué la roca de la margen derecha, y los otros tres se formaron por medio de una ataguía hecha como indicamos a continuación, aprovechando material viejo que había adquirido esta Sociedad para la construcción del salto de Cortes y que procedía de la Canadiense, de Cataluña.

Se construyen unos cajones con dos tableros de palastro verticales y paralelos, reforzados con una cuadrícula de hierros perfilados para darles mayor rigidez, enlazándose entre sí los dos tableros con cuatro hierros en U; forman, pues, como el encofrado de un muro de 3,50 m de espesor, 3 m de altura y 4,50 m de longitud. Este cajón se suspende por medio de una pala Bucyrus, destinada a la excavación, pero utilizada en este caso como grúa, que lo deposita en el agua hasta que se apoya su borde inferior sobre el lecho del río; se le fija colocando algunas tablestacas y pilotes, y se rellena de piedras y tierra, apisonándolas bien; avanza la grúa sobre la parte ya construida (fotografías 21 y 22) por medio de sus llantas articuladas (tipo de oruga) y coloca el cajón siguiente, y así sucesivamente. Para que el enlace entre cada cajón y el anterior sea perfecto, llevan en sus cuatro

bordes verticales unos hierros de forma parecida a la de las tablestacas metálicas, de modo que puedan encajar exactamente los de cada cajón con los del anterior. La capa superior de la ataguía se hizo de hormigón con objeto de que si una crecida extraordinaria desbordaba sobre ella no la destruyese.

De este modo se construyeron los dos lados de la ataguía correspondientes al transversal de aguas arriba AB y al del eje del río BC; el tercer lado bastó hacerlo sólo de tierra, pues ya estaba resguardado del empuje del agua por los otros dos.

Aislado así el recinto, de unos 42 m de longitud y la semianchura del río, se procedió a excavar el lecho del río, dándole inclinación hacia la parte de aguas arriba, donde se hizo un pozo para colocar las bombas del desagüe (fotografía 23). Aunque se tenían prepa-



Fot. 21. Recinto y construcción de la ataguía (vista desde aguas arriba)

radas cinco bombas, bastó con una sola de 2 000 litros por minuto.

Naturalmente que al excavar, aunque se dejase un macizo de protección para la ataguía, existía el peligro de que cediese toda ella, y para evitarlo se colocó paralelamente a la ataguía y por la parte in-

¹ Véase el número anterior, página 267.

terior del recinto una serie de tablestacas metálicas (fotografía 24), que se clavaron con un martillo

hemos indicado y casi acabado el relleno del muro hasta el nivel del lecho del río. Para fabricar el hormigón se dispusieron en la margen derecha, junto a la presa, una quebrantadora para la piedra, una trituradora para fabricar la arena y una hormigoneira, todas movidas por motores eléctricos, así como las bombas de desagüe y compresores para la línea de tablestacas. La energía procede del salto de Cortes de Pallás, a cuyo efecto se construyó una línea de transporte de energía eléctrica a 6 000 voltios, tanto para estos servicios como para accionar los compresores que suministran el aire comprimido para las perforadoras en el túnel de desviación y en los túneles del canal.

En la presa se trabaja día y noche, empleando dos turnos de obreros e iluminando las obras por medio de potentes focos eléctricos.

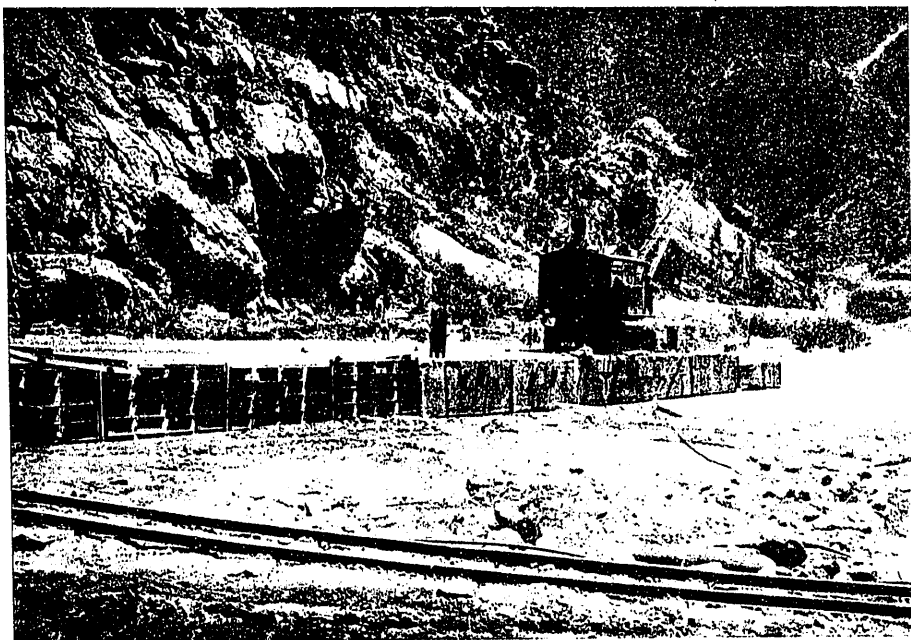
Tanto para la extracción de los productos excavados como para la colocación de materiales

se dispone de una grúa de pórtico sobre carriles, aparte de un plano inclinado (fotografía 25) y la grúa

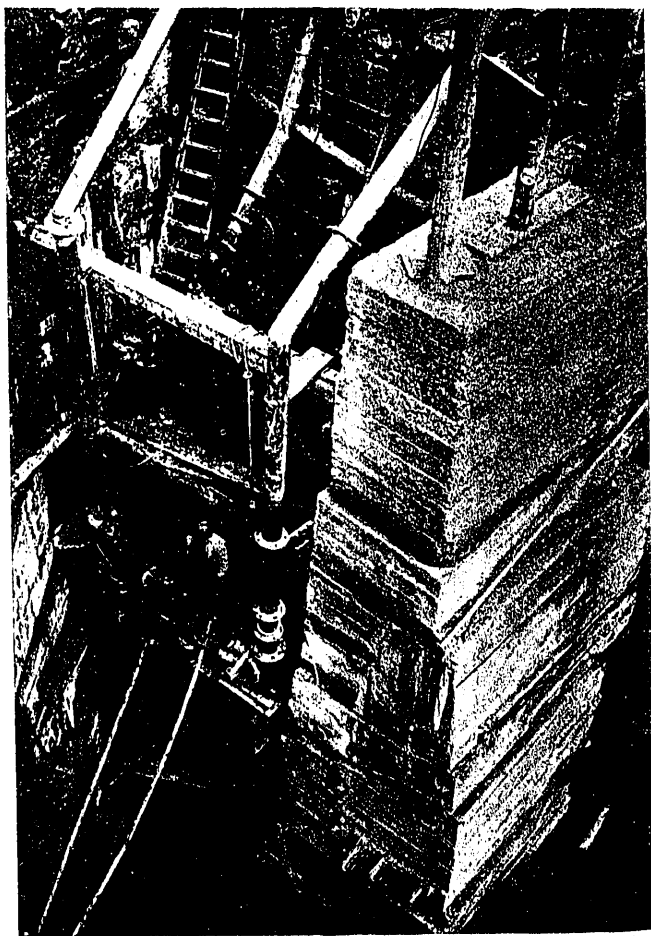
de aire comprimido. A medida que bajaba la excavación se iban profundizando más las tablestacas de modo que siempre estuviesen empotradas dos o tres metros por bajo de aquélla, y además se sujetaban por sus cabezas a la ataguía, atirantándolas con alambres para mayor seguridad.

Como la longitud de las tablestacas sólo era de 12 m y la excavación había de tener próximamente esa misma o algo mayor profundidad, según habían indicado los sondeos, para encontrar la roca firme, pudiera darse el caso de que toda la parte lateral cediese, y para prevenirlo, antes de excavar la última parte, se construyeron dos vigas de hormigón en masa *a* y *b* (fotografías 24 y 25 y figura 20), pero armadas inferiormente con carriles, dispuestas transversalmente al eje del río, de modo que se apoyasen por un lado en la roca de la margen derecha y del otro en otra viga longitudinal *c* adosada al paramento de las tablestacas. Las dimensiones de estas vigas, que han de quedar después embebidas en el cuerpo de la presa y formando parte de la misma, son de 4 m de anchura por 3 de espesor. Ya con esta disposición pudo seguirse la excavación sin temor hasta llegar a la roca firme, empezándose después el relleno de hormigón ciclópeo de lo que ha de ser el muro de la presa, que comprende una longitud de 29 m en el sentido del eje del río, dejando un espacio de 8 m entre el paramento de aguas arriba y la ataguía de dicho lado y otro de 5 m entre el paramento de aguas abajo y la ataguía respectiva. En el lado correspondiente al eje del río el muro se levanta lo más próximo posible a la ataguía, pues se ha de enlazar con la otra mitad de la presa. El pozo se dispuso en el espacio de aguas arriba y muy próximo al eje del río, con el fin de que sirva también para el desagüe cuando se construya el resto de la presa.

Actualmente está terminada la excavación de la primera mitad, colocadas las vigas de hormigón que



Fot. 22. Construcción de la ataguía



Fot. 23. Pozo de desagüe de la excavación para la presa del salto de Millares

de vapor montada sobre orugas, antes mencionada.

En el próximo estiaje se desviará el río por el túnel que ya está completamente terminado y cuyas dimensiones son 7,80 m de anchura y 4 m de altura en



Fot. 24. Atagüla, tablestacado y vigas de hormigón para la cimentación de la presa

los arranques, teniendo el techo forma de bóveda rebajada al $\frac{1}{5}$, o sea una altura en la clave de 5,56 m y una pendiente en la solera de 1 por 100. Empieza unos 50 m aguas arriba del emplazamiento de la presa y desagua en el río próximamente a los 70 m aguas abajo de la misma; su longitud es, pues, de 200 m.

Aplicando la fórmula de Bazin y adoptando el coeficiente medio entre los que corresponden a paredes lisas y a paredes de mampostería, se obtiene un gasto de 312 m³, suponiendo que la lámina de agua sólo llegue hasta el arranque de la bóveda. Como el coeficiente aplicado es excesivo, pues casi podría aceptarse el de paredes lisas, no es aventurado afirmar que el gasto puede llegar a 350 m³, cantidad superior a las crecidas ordinarias.

Con el fin de poder cerrar fácilmente este túnel, una vez terminada la presa, y al propio tiempo para que después sirva como un elemento más de desagüe de las crecidas extraordinarias, si hubiese necesidad de ello, se han colocado cuatro compuertas de 2 m de anchura y 4 m de altura (fotografía 26), que se pueden manejar fácilmente por maniobra eléctrica. En esta fotografía se ve la entrada B del desagüe de los sifones en el túnel de desviación.

Toma de agua

Está situada en la margen derecha, por desarrollarse la traza del canal en esta margen, según luego indicamos.

La rasante del canal en la entrada estará a 3 m sobre el nivel del umbral de las compuertas de la presa, con objeto de que al abrir éstas las aguas arrastren los materiales depositados, evitando que puedan entrar en el canal.

En la entrada del canal se colocarán otras dos compuertas también del tipo Stoney, de 5 m de luz y 7 m de altura, con maniobra eléctrica no automática. Delante de cada compuerta habrá una fuerte rejilla de hierros perfilados separados entre sí 20 cm, con objeto de que sin estorbar el paso del agua detengan los ramajes y cuerpos gruesos arrastrados por la misma.

Como el agua entrará a presión en el canal, para regular su velocidad se instalarán, unos 300 m aguas abajo de la toma, donde ya adquiere el agua una velocidad de régimen, sin los remolinos de la entrada, dos sifones para un gasto máximo de 20 m³, los cuales entran en servicio tan pronto como el nivel de la lámina de agua exceda del correspondiente al gasto máximo calculado.



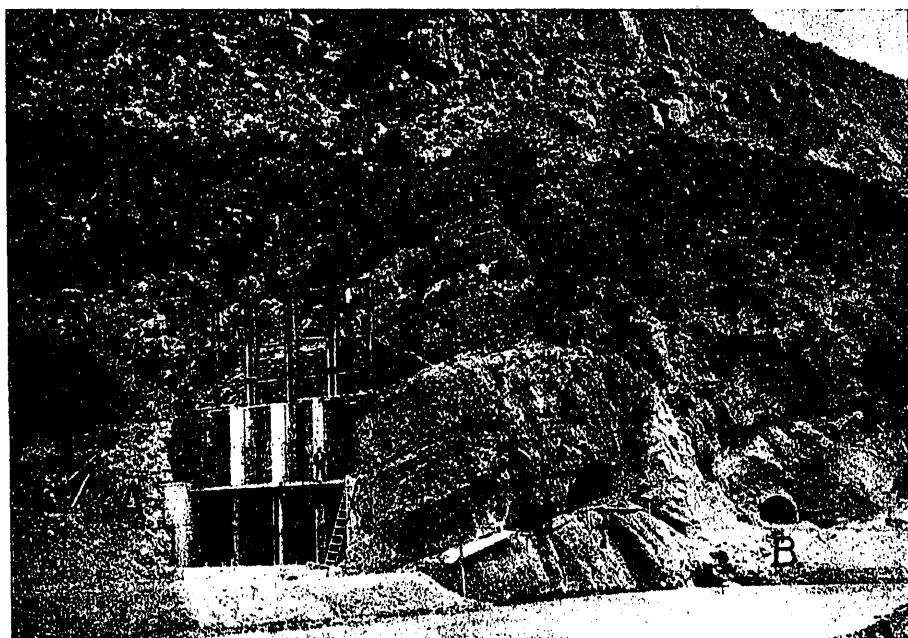
Fot. 25. Vigas de hormigón en la excavación de la presa

Se ha aprovechado para colocar estos sifones una vaguada que está a poca distancia del canal y serán del mismo tipo que los indicados al hablar de la presa.

Canal de derivación

Al tratarse ya de utilizar como nuevo salto lo que restaba del aprovechamiento concedido por la Real orden de 7 de julio de 1922, el nuevo canal tenía que desarrollarse a un nivel de 81 m más bajo que el primitivamente proyectado, y por disponerse ya de más tiempo para su estudio y conocerse mejor las sendas y caminos, que por otra parte habían aumentado de número y calidad, se hizo un examen detenido de ambas márgenes, y como resultado del mismo se adoptó la margen derecha para la traza del nuevo canal por una serie de razones, entre las cuales pueden citarse como principales las siguientes:

1.^a Al principio del canal, la margen izquierda está formada por margas irisadas y calizas quebrantadas, entrando luego en una zona de yesos con margas muy deleznales en una longitud de unos 6 km, en la que la solidez del canal dejaría mucho que desear y exigiría obras de importancia.



Fot. 26. A. Entrada del túnel de desviación para la construcción de la presa.
B. Desagüe de sifones al túnel citado.

2.^a El resto de dicha margen, en la parte correspondiente a la traza del canal, no ofrece condiciones tan malas, pero tampoco son muy recomendables, pues casi toda la ladera está muy descompuesta y surcada por profundos barrancos que obligarían a conservar los sifones del primitivo proyecto, aunque, naturalmente, de menor altura, o a dar grandes rodeos.

3.^a Subsistía igualmente el inconveniente de la Central subterránea y su correspondiente túnel de desagüe, o el aumento de un nuevo sifón de gran altura para el cruce del barranco Falón.

4.^a La margen derecha está formada toda ella, según dijimos al tratar del emplazamiento de la presa, por potentes bancos de caliza cretácea que buzan hacia el monte. Su solidez es, pues, indudable para servir de asiento al canal; tiene, sin embargo, el inconveniente de ser esta ladera sumamente escarpada, con abundancia de acantilados casi verticales que hacen muy difícil la construcción del canal a cielo

abierto y aconsejan la solución de llevarlo todo él en túnel.

Esta solución, que a primera vista pudiera parecer inaceptable por el aumento de coste, es en realidad muy conveniente, porque se acorta el canal en 8 km, porque la solidez de la roca hace inútil el revestido en la mayor parte de su recorrido, porque se evitan costosas obras de muros de sostenimiento y acueductos, los sifones, la central subterránea y el túnel de desagüe a un nivel muy inferior al del río, y finalmente, y sobre todo, por la seguridad de la obra, que aleja todo peligro de averías y que, a más de resultar de una conservación económica suprime casi en absoluto las interrupciones en el servicio una vez que esté el salto en explotación.

Características del canal

La longitud del canal es de 17 km, repartida en veinticuatro túneles; esto no quiere decir que haya

veinticuatro trozos de canal a cielo abierto para el enlace de los túneles, pues, al contrario, no existe ninguno de esta clase, y la división de los túneles se refiere a los puntos de ataque, situados de modo que la longitud de cada uno no sea excesiva, a cuyo efecto se ha estudiado la traza del canal de modo que de trecho en trecho pase muy cerca de los barrancos o vaguadas que puedan aprovecharse para dar salida a los materiales excavados, pero sin que el canal llegue a salir al barranco, para evitar las obras, siempre costosas y expuestas a averías, de los acueductos necesarios para su cruce o de las obras especiales indispensables para el paso de las aguas del barranco. El fin perseguido con esta multiplicación de los puntos de ataque es la rapidez en la ejecución de la obra y la facilidad de ésta evitando las costosas instalaciones

de ventilación que los túneles muy largos exigen.

Como puede apreciarse en el croquis (fig. 27), hay siete túneles mayores de un kilómetro, y de éstos el mayor es el número 20, que tiene 1 700 m.

En la elección de la forma de la sección del túnel se han tenido en cuenta tanto la conveniencia de que el radio medio de la sección mojada sea el mayor posible, cuanto que la bóveda no necesite revestimientos. En la figura 28 pueden verse las formas y dimensiones de la sección, que tiene 5,50 de anchura y 5,95 de altura en la clave.

La pendiente del canal es de 0,0005.

Para calcular el gasto del canal se ha aplicado la fórmula de Bazin

$$V = \frac{87\sqrt{Ri}}{1 + \frac{Y}{\sqrt{R}}}$$

siendo V la velocidad media del agua.

R el radio medio de la sección mojada.

γ el coeficiente dependiente de la naturaleza de las paredes.

i la pendiente = 0,0005.

En cuanto al coeficiente γ el valor que le asigna Bazin para paredes de mampostería es 0,46.

Hechos los cálculos para una lámina de agua de 3,80 m de altura, resulta:

$$S = 20,90 \text{ m}^2 \quad R = 1,59 \text{ m} \quad V = 1,79 \text{ m} \quad Q = 37,40 \text{ m}^3$$

Para una lámina de agua de 4,95 m se obtiene:

$$S = 27,23 \text{ m}^2 \quad R = 1,76 \text{ m} \quad V = 1,91 \text{ m} \quad Q = 52 \text{ m}^3$$

Depósito de carga

Está proyectado de forma pentagonal simétrica con respecto al eje del canal, cuya llegada tendrá lugar por uno de los vértices del pentágono, así como las tuberías arrancarán del lado opuesto; pero claro es que la simetría será sólo aproximada, pues naturalmente habrá que adaptar su forma a lo que permita la colina sobre que irá emplazado. Se construirá todo excavado en la roca, y como los bancos buzcan hacia el monte, ofrecerá inmejorables condiciones de estabilidad. Se revestirá de hormigón, enluciendo después con mortero rico en cemento, dándole al fondo una forma adecuada para extraer fácilmente las arenas arrastradas por el agua y que se depositarán al disminuir su velocidad en el depósito, a cuyo efecto se le darán a éste dimensiones amplias, tanto con este objeto, ya que si las arenas pasasen por las turbinas desgastarían a las paletas y directrices con gran rapidez, cuanto para que sirva de regulador para suplir las variaciones de cargas rápidas que sufran las turbinas o las variaciones que puedan ocurrir en la llegada de agua por el canal.

Se proyecta un aliviadero de superficie de 50 m de longitud que, con un espesor de lámina de agua de 52 cm, daría salida al caudal máximo que puede llevar el canal; desde el vertedero seguirán las aguas por una vaguada para precipitarse en el río por un acantilado aguas abajo de la Central.

Tuberías y altura del salto

Las tuberías arrancan del lado opuesto a la llegada del canal, en un pozo de 5 m practicado en el depósito y a 14 m por debajo del nivel normal del agua. Serán cuatro de diámetro decreciente desde 2,50 m en el arranque hasta 2 m en la parte inferior, pudiendo gastar cada una 17,5 m³ por segundo.

Aunque de momento sólo se instalarán dos tuberías, se hará ahora la explanación para las cuatro, pues una vez construida la Central, que irá al pie de las mismas, sería casi imposible ejecutar dicha explanación sin que las piedras lanzadas por los barrenos produjesen serias averías en la Central, dada la gran pendiente del terreno.

Las tuberías serán de chapa de acero, oscilando sus espesores entre 8 y 28 mm, y cuyo cálculo, en el cual se han tenido en cuenta los golpes de ariete, no detallamos por ser de sobra conocido. Las juntas longitudinales irán soldadas con gas de agua, en vez de roblonarlas, con el fin de disminuir las pérdidas de carga.

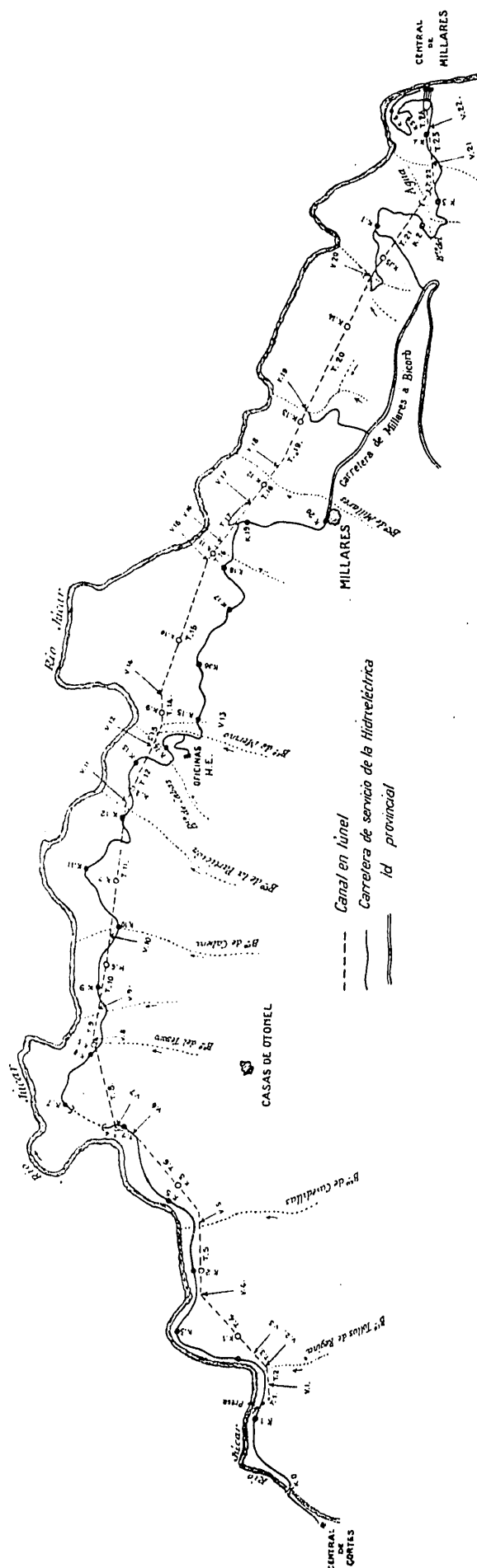


Fig. 27. Salto de Millares. Croquis general de las obras. Longitud de los principales túneles: Núm. 20, 1 698 m; Núm. 11, 1 574 m; Núm. 15, 1 560 m; Núm. 6, 1 374 m; Núm. 8, 1 086 m; y Núm. 4, 1 047 m.

En la fotografía 29 puede verse el sitio en que se construirá el depósito, habiéndose señalado por una línea de puntos blancos la parte que hay que desmontar y la situación del principio de la tubería.

próximos, que son pequeños y además están bastante alejados de gran parte de las obras, habrá que edificar pabellones para obreros y algunas viviendas familiares.

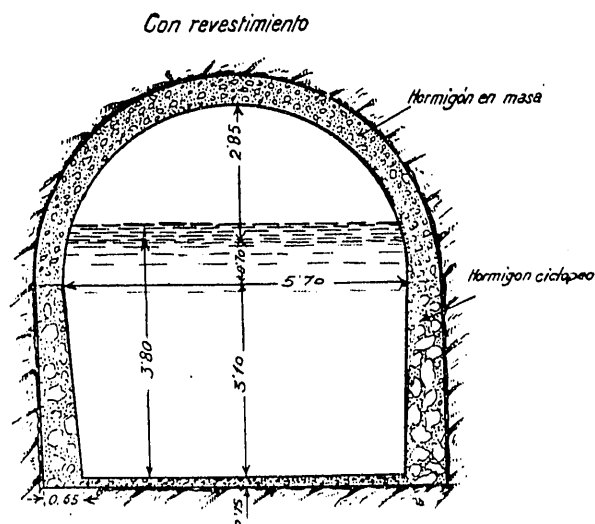
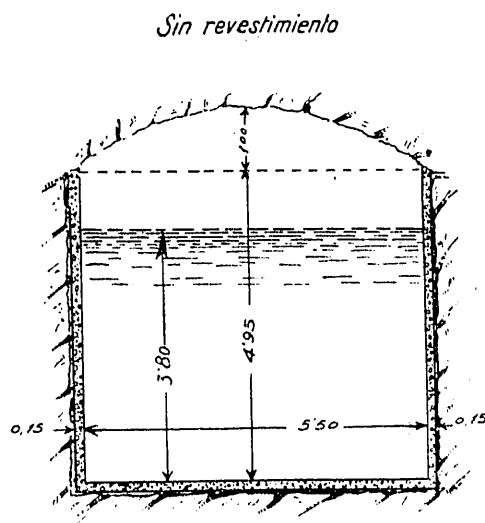


Fig. 28. Secciones tipo del canal

La diferencia de nivel entre el depósito de extremidad y el desagüe es de 140 m.

Es indispensable igualmente la existencia de un puesto de la Guardia civil inmediato a las obras,

Casa de máquinas

Siendo las laderas en que se situarán las tuberías muy escarpadas, y llegando la roca hasta la misma orilla, hay que reducir en lo posible el espacio que ha de ocupar la Central, pues su explanación será preciso hacerla en parte sobre el terreno sostenido por muros construídos sobre la misma orilla y en parte desmontando la roca de la ladera.

En la fotografía número 30 puede verse el sitio en que se emplazará la Central, que es el que ocupa la escombrera formada por los materiales arrancados para el asiento de las tuberías, que ya está hecho.

Están proyectados cuatro grupos de 25 000 caballos, pero por ahora sólo se instalarán dos. Las turbinas y alternadores serán del tipo vertical.

Organización del trabajo

Las obras más importantes, por el tiempo que requieren, son: la fundación de la presa y la perforación de los túneles del canal, sobre todo los de mayor longitud. Era, pues, indispensable, ante todo, disponer de caminos de acceso al emplazamiento de la presa y a las entradas de los túneles, para el transporte del material necesario y del personal. En segundo lugar, habría que construir almacenes en puntos convenientemente situados, para disponer siempre de la cantidad de cemento y demás materiales necesarios para las obras, evitando tener que interrumpir éstas por cualquier demora o entorpecimiento en los transportes.

Era preciso también construir un edificio para oficinas en un punto intermedio con viviendas para el personal que haya de haber allí, así como para los encargados de la dirección e inspección de los trabajos.

Siendo necesario para las obras un núcleo de obreros mayor del que puede obtenerse de los pueblos



Fot. 29. Emplazamiento del depósito de carga y tubería del salto de Millares

para la seguridad y mantenimiento del orden, que no podría estar bien garantido con los reducidos y ale-

jados puestos de los pueblos. Consecuencia de ello será la construcción de una Casa-cuartel para ocho guardias, un cabo y un sargento.

Por último, otras obras auxiliares necesarias son



Fot. 30. Sitio de la casa de máquinas del salto de Millares

las de un hospital-enfermería, talleres de carpintería y de forja e incluso un cementerio, pues los que existen en Millares y Cortes son tan reducidos que no bastan ni aun para las necesidades propias de los mismos, habiéndose dado el caso de tener que desenterrar cadáveres para enterrar otros. Al triplicarse la población obrera se agravaría aquella insuficiencia, y aunque no se triplicarían las defunciones, porque a los trabajos no acudirían viejos, niños ni enfermos, serían desde luego mayores que las ordinarias.

Parte de las viviendas provisionales podrían evitarse construyendo lo antes posible las que han de quedar como definitivas para el personal encargado de la explotación de la Central, la Capilla-escuela y la casa del cura.

Enumeradas así, a la ligera, las principales obras auxiliares que es preciso prever para evitar contratiempos, vamos a examinar sólo la principal y más urgente, que es la carretera de servicio.

Camino de servicio

Como puede apreciarse en el croquis adjunto (fig. 31), las carreteras de acceso a las obras son las siguientes:

En la margen izquierda del Júcar, la carretera de Buñol a Cortes, de la cual arranca otra propiedad de la Hidroeléctrica, que llega hasta la central de Cortes, o sea a kilómetro y medio del emplazamiento de la nueva presa, y que en Buñol permite utilizar el ferrocarril de Valencia a Utiel.

En la margen derecha hay otra carretera de Millares a Bicorp y que continúa hasta Alcudia de Crespín, que es estación del ferrocarril de la Encina a Valencia.

Se proyectó, a la vista de ese croquis, la construcción de un camino de servicio (figuras 27 y 31) que, arrancando de la Central de Cortes, cruzase el Júcar pasando a la margen derecha y siguiese por el emplazamiento de la presa y las bocas de acceso a los túneles del Canal hasta la ventana 17, que sirve de en-

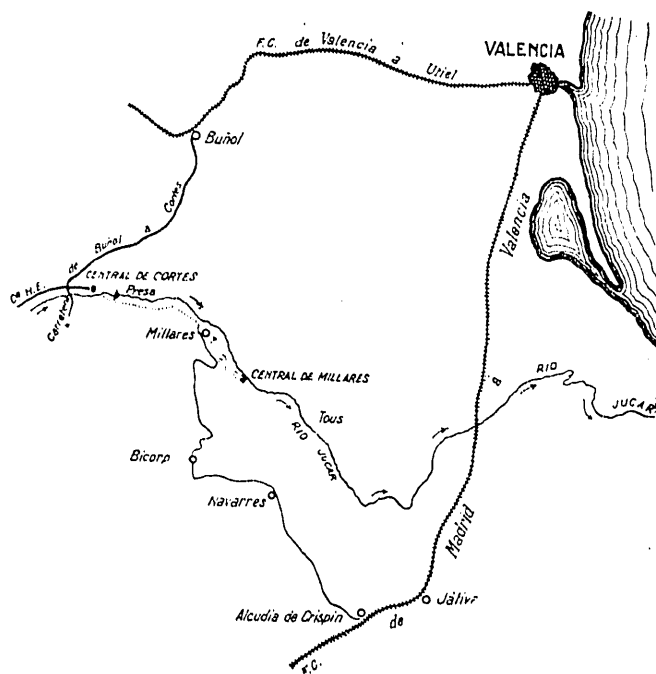
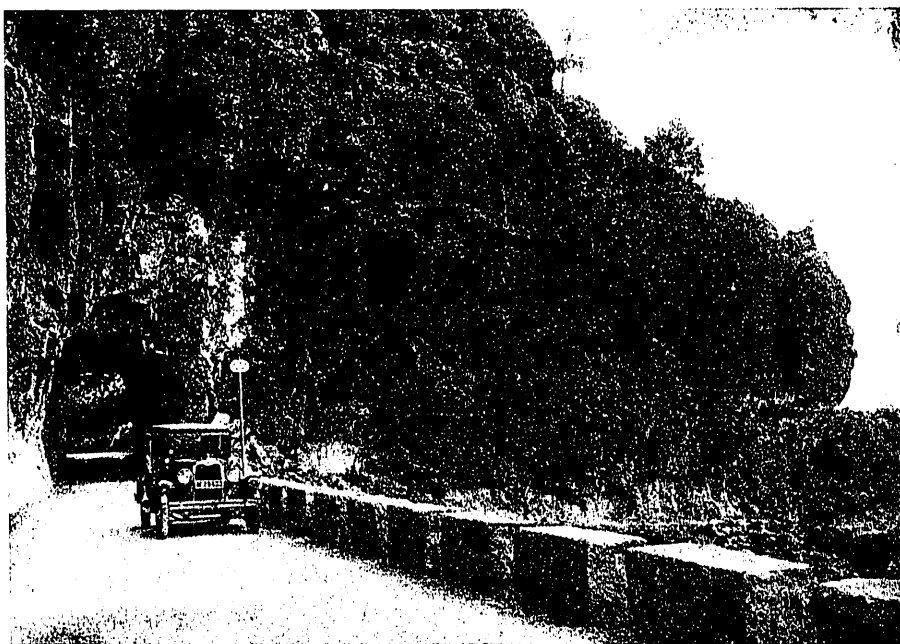


Fig. 31. Croquis de las vías de comunicación para los transportes

trada común a los túneles 17 y 18, bifurcándose un poco antes para llegar al pueblo de Millares, desde donde se puede utilizar ya la carretera provincial de Millares a Bicorp, que sigue hasta la estación de Al-



Fot. 32. Un túnel de la carretera de servicio para las obras del salto de Millares

cudia de Crespín, del ferrocarril de La Encina a Valencia.

Los cuatro primeros kilómetros de esta carretera pueden servir también como camino de servicio, pues

al final de los mismos es donde arranca la segunda parte de la carretera de las obras, que pasando por el depósito de extremidad o de carga termina en la Central del Salto de Millares; en el kilómetro 1 de esta segunda carretera parte el ramal de acceso a la

En cuanto al puente sobre el barranco de la Lobera (fotografía 34), tanto por la dificultad de los transportes, cuanto por la mayor rapidez en la ejecución, se optó por hacerlo de hormigón en masa, que sólo exigía el transporte del cemento, ya que la arena, la piedra y la madera se encontraban allí mismo.

Oficinas

Las oficinas de las obras se emplazaron en el centro, próximamente, de la traza del canal, cerca del barranco de Cabas, enlazándose con un pequeño ramal a la carretera de servicio, entre los kilómetros 14 y 15 de la misma, según puede apreciarse en el croquis (fig. 27).

Consideraciones finales

Las otras obras mencionadas, como son la Casa-cuartel de la Guardia civil, el cementerio, la capilla y escuelas y las viviendas, no ofrecen nada de particular, y por esto no entramos a detallarlas.

Considerando que la presa es la obra de mayor importancia, la más difícil de calcular su coste *a*

ventana 20, correspondiente a los túneles 20 y 21, y de la carretera de Millares a Bicorp arranca otro ramal para la ventana 19 (túneles 19 y 20).

La longitud de la primera parte del camino de servicio, o sea desde la Central de Cortes al pueblo de Millares, es de 20 km, y la del segundo trozo, de 7 km, sin contar las derivaciones para el acceso a las ventanas de los túneles.

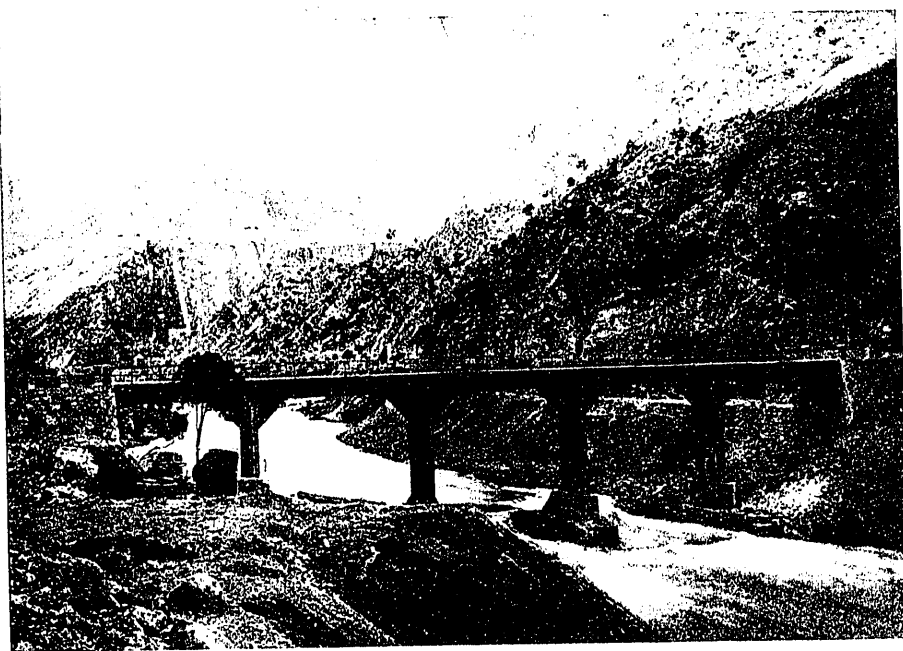
Dado el carácter de este camino y la necesidad de plegarse en lo posible a la traza del canal, se han admitido en los puntos difíciles pendientes de hasta el 7 por 100, pero en trozos muy cortos, y asimismo se han hecho varios túneles (fig. 32), en general cortos; pero hay uno, situado en la primera parte (kilómetro 6), que tiene 414 m de longitud.

El ancho del camino varía entre 4 y 5 m, según que el terreno sea en roca o en tierra; pero en ambos casos el ancho del firme es de 3 m.

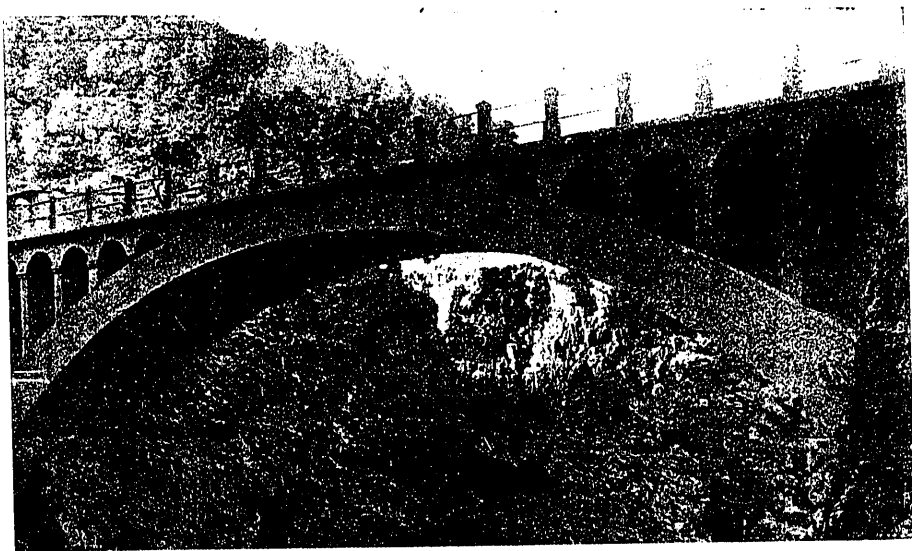
Como obras interesantes de este camino pueden citarse el puente sobre el Júcar, de hormigón armado, y el puente sobre el barranco de la Lobera, de hormigón en masa.

El primero (fotografía 33) está formado por tres vigas rectangulares enlazadas por una losa con voladizos y consta de cinco tramos, siendo los cuatro pilares también de hormigón armado.

priori, sobre todo de su cimentación, por ser casi imposible prever, a pesar de los sondeos, las dificultades que se pueden encontrar, tanto por lo que se refiere al terreno cuanto al desagüe y crecidas que puedan inundar los trabajos, y, por último, la que con más esmero debe ejecutarse, se decidió hacerla por ad-



Fot. 33. Puente de hormigón armado sobre el Júcar, en el camino de servicio. Al fondo, la tubería de la central de Cortes



Fot. 34. Puente de hormigón en masa sobre el barranco de Lobera, en la carretera de servicio del salto de Millares

ministración directa y seguir el mismo procedimiento para la cimentación de la casa de máquinas, por análogos motivos.

Ahora bien: el canal y la superestructura de la casa de máquinas ya son susceptibles de darse a contrata

Las obras se ejecutan bajo la dirección del coronel de Artillería D. Oscar Laucirica, auxiliado por el ingeniero de Caminos D. Joaquín Guinea y el capitán de Artillería D. Javier Bustamante.

Fig. 1