

Los embalses del Canal de Castilla ⁽¹⁾

II

CUENCA DEL CARRION

Pantano Príncipe Alfonso

Actualmente en construcción, alcanza la altura de 36 m sobre zócalo, faltando 30 m para la de 66 m, que es la de máximo embalse.

La presa, de perfil triangular Levy, con paramento vertical aguas arriba y tangente 0,80 en el talud de aguas abajo, está situada en el río Carrión, en el estrechamiento llamado de la Hoz de Alba, a una altitud de 1.400 m. La capacidad de su embalse es de 66 millones de metros cúbicos, extendiéndose en forma de Y por los valles del Carrión y del río Cardaño, afluente de aquél a unos 300 m aguas arriba de la presa.

El vaso está constituido en su totalidad por esquistos carboníferos, y únicamente a la cota 60 hay un asomo calizo en el barranco de Miranda, cuya impermeabilidad pudiera ofrecer algunas dudas, pero que en el caso de producirse en él alguna pérdida es obra sencilla aislarlo, por lo que no existen temores de filtraciones.

En el lugar de la presa, en una extensa zona, emerge una potente formación de cuarcita durísima, en la que está fundado y estribado el muro. Las fundaciones no han ofrecido otras dificultades que las inherentes a los grandes volúmenes a remover en paraje tan quebrado, clima durísimo y río de importantes avenidas, originando todo ello problemas de organización y situaciones de gran compromiso en frecuentes ocasiones, que se han vencido con fortuna, sin ocurrir accidentes graves ni en el personal ni en los numerosos elementos auxiliares que se ha necesitado emplear. El levantamiento de la capa de acarreo y saneamiento de las cuarcitas en que se ha fundado, ha obligado a bajar hasta 12 m en algunas partes y a 6 m, donde menos, amparados por un ataguía de fábrica de 8 m de altura, que desvía el río en aguas medias y crecidas ordinarias por un túnel lateral de fuerte pendiente, de 200 m de longitud, con sección de 2 m por 2,50 m; las aguas de filtración se dominan con pequeños grupos de agotamiento de motobombas de 6 caballos de potencia. El relleno de ciénfio se hizo con mampostería ciclópea recibida con hormigón de 500 kg de cemento por metro cúbico de arena.

Se han necesitado numerosos medios auxiliares, pues la gran importancia de la obra, situada, además, en lugar poco habitado y desprovisto de todo género de elementos, así lo exigía. A 20 km de ferrocarril y sin carretera, hubo de necesitarse, en primer término, la construcción de un camino vecinal de 14 km con 5 m de anchura, en terreno de montaña. La extrema dureza de la roca hizo necesario, para no eternizarse en las excavaciones, el empleo del aire comprimido, instalándose un compresor movido con una locomóvil de

vapor de 40 CV, con la que podían actuar simultáneamente seis martillos perforadores. Entre tanto que se ejecutaban los trabajos preliminares, se fué construyendo el salto auxiliar para las obras, con un canal de unos 2 km de longitud y 800 litros de gasto, obteniéndose una potencia de 150 CV en dos grupos turbogeneradores de corriente continua a 400 voltios. El canal tiene su toma en el Carrión, aguas arriba de la presa, y la Central hidroeléctrica está situada aguas abajo de ella, a unos 200 m.

No siendo suficientes para el macizo las cuarcitas de las excavaciones, ni económicamente explotables para abrir en ellas cantera, hubo que buscarla, encontrándose una excelente, de piedra caliza de 2,8 de densidad, en la falda del Espiguete, a 4,5 km de distancia, y se estableció una vía de 0,60 m con carril de 10 kg, electrificada con la corriente de igual voltaje que la de la central generadora. El trazado tiene pen-



Pantano Príncipe Alfonso (En construcción, año 1924). Detalle del aliviadero del canal del salto auxiliar y del plano inclinado para abastecer de arena las hormigoneras.

diente máxima de 0,018; todo él en descenso hasta la presa, a la que llega con la cota 28 por su frente de aguas arriba.

La arena se encontró a unos 1.500 m de la presa, abriendo cantera en una formación de cuarcitas descompuestas que la suministra de excelente composición granulométrica y calidad; la explotación se realiza con barrenos en las zonas más duras y a pico en las de menor dureza, y conforme se ha ido extendiendo su frente de ataque, los agentes atmosféricos son un poderoso auxiliar del arranque, por cuanto durante el invierno se ablandan y descomponen grandes masas que, incluso a pala, se van desprendiendo, resultando muy interesante esta cantera, por lo singular y poco frecuente de la formación geológica.

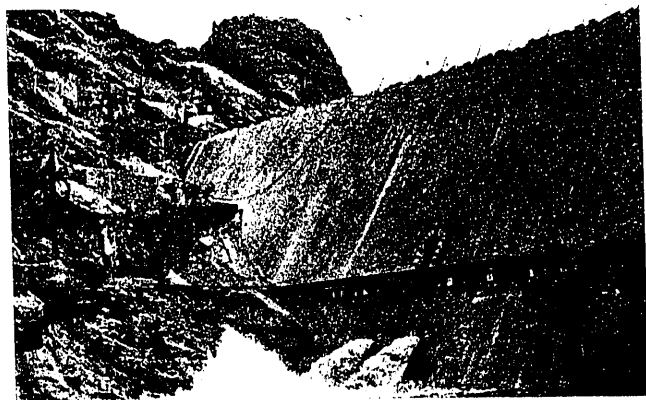
El transporte se hace por vía de 0,60 m en descenso desde la cantera hasta el frente de aguas abajo de la presa a la cota 10, que es el punto desde el que se ha ido bajando o elevando, según el período de construcción.

No enumeramos los demás medios y construcciones auxiliares, como grúas, planos inclinados, vías aéreas, talleres, almacenes, cuarteles para obreros, etc., etc.,

(1) Véase la REVISTA núm. 2 436, pág. 385.

por no proponernos sino dar conceptos generales de la obra.

Desagües y tomas.—Los desagües de fondo son tres iguales, de sección rectangular, con medio punto, de

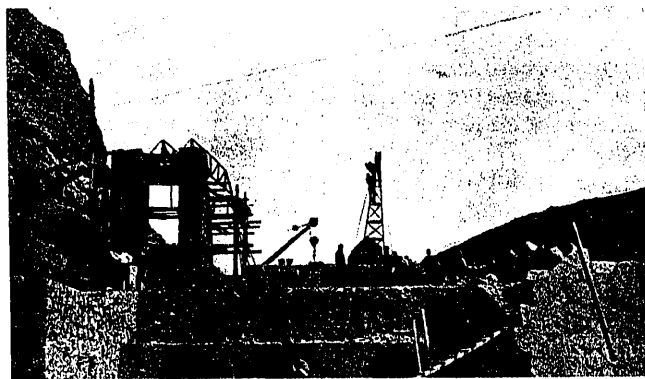


Pantano Principe Alfonso, en construcción. Vista de la presa con 24 metros de altura, abiertos los dos desagües de fondo durante la avenida ocurrida en marzo de 1924.

1 m de anchura por 1,50 de alto y carga de agua de 66 m; en la presa están situados dos de ellos y el tercero se construirá aprovechando el túnel de desviación del río. El sistema de cierre es de compuertas de deslizamiento maniobradas por *criks* hidráulicos movidos eléctricamente; presenta la novedad de haber sustituido la cámara inundable de alojamiento de compuertas por cajas de acero dulce instaladas en la cámara de mecanismos, con lo que las compuertas son visitables en todo momento y en cualquier situación del embalse. No detallaremos aquí más este punto, que debe ser objeto de monografía especial, cuya oportunidad se ofrecerá cuando se realicen las pruebas y la descripción pueda ir acompañada de la de los resultados y datos prácticos que se deduzcan de aquéllas.

A la cota 18 cruza a la presa el canal del salto por medio de un tubo de fundición embebido en aquélla, de 0,80 m de diámetro, con una pequeña cámara aguas abajo para alojamiento y maniobra de la llave compuerta de cierre.

A la cota 30 existe un desagüe a altura intermedia que ha de utilizarse también como toma del canal



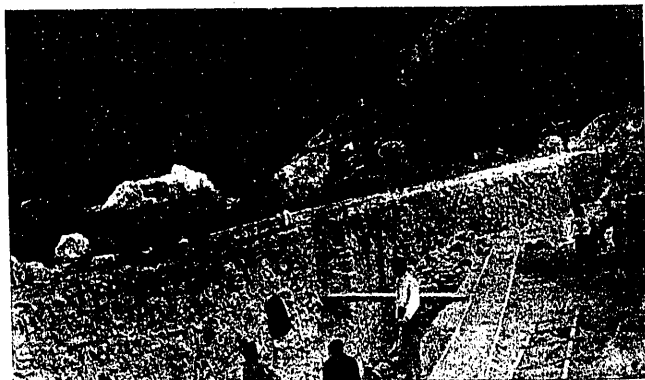
Pantano Principe Alfonso (En construcción, octubre 1924). Detalle de las tuberías de toma del canal industrial. Altura de la presa, 36 metros.

industrial del aprovechamiento hidroeléctrico del pantano (del que más adelante hablaremos), que se ha construido con tres tuberías de 1,20 m de diámetro, de chapa de palastro de acero de 0,005 m de es-

pesor, embebidas en el macizo de la presa, que terminan cada una en una llave de compuerta movida eléctricamente y situadas en la cámara correspondiente adosada en el paramento posterior del muro.

Sistema de construcción que se sigue.—El sistema de construcción ofrece alguna particularidad que pudiera ser interesante, por lo que lo describiremos con algún detalle; consiste, en síntesis, en la construcción de espigones de mampostería hidráulica que corren de estribo a estribo de la presa con curvatura paralela a ésta, que tiene en planta la forma de arco circular de 220 m de radio en el paramento anterior; estos espigones tienen 1,80 m de altura y 1,50 m de ancho, distanciados próximamente 5,50 m entre sus ejes, y sobre ellos van instaladas vías Decauville de 0,60 m con carril de 7 kg; transversalmente a estos espigones se construyen muretes de mampostería hidráulica de igual altura y 0,50 m de ancho, separados unos 7 m, formando así cajones de unos 50 m³ de cabida.

Estos cajones se rellenan con hormigón en estado medio, es decir, ni seco ni muy fluido, y cuando se ha rellenado con hormigón una altura de 0,30 a 0,40 m, se arrojan grandes bloques que se arreglan y mueven con barrón hasta lograr que queden em-



Pantano Principe Alfonso (En construcción, año 1924). Detalle de uno de los espigones longitudinales, para formar los cajones de relleno.

bebidos en el hormigón hasta próximamente la altura que tiene la capa de éste; los huecos que quedan entre los bloques grandes se rellenan con mampuestos menores a modo de ripiado; terminada esta operación, se vuelve a verter hormigón en otros 0,30 ó 0,40 m de altura, y así sucesivamente hasta rellenar cada cajón con esta fábrica de hormigón mampostado. De este modo se va construyendo el muro por bancada de 1,80 m de altura, llevándose por igual el crecimiento en elevación en toda la extensión de la presa, de una bancada a la siguiente se alternan los espigones longitudinales y transversales con relación a la bancada anterior, de manera que no se correspondan, rompiendo así la uniformidad que de otro modo resultaría. Los paramentos se llevan avanzados en unos 2 m de altura en relación con el relleno.

El sistema permite tener libre la presa de grúas y elementos auxiliares que tanto entorpecen la ejecución y tantas pérdidas de tiempo ocasionan para irlos cambiando de situación, o que obligan a costosas instalaciones para colocar las grúas a gran altura en evitación del inconveniente, y a tener gran número de éstas si la obra ha de llevarse con alguna intensidad. Nosotros nos valemos de sólo dos grúas, que elevan las vagonetas de piedra de mampostería desde su es-

tación de llegada contigua al paramento de aguas arriba hasta el plano de construcción en que nos hallemos; grúas que por cortas rampas y contrarrampas de un 10 por 100 de pendiente las vamos elevando de una bancada a la siguiente, con gran rapidez y facilidad.

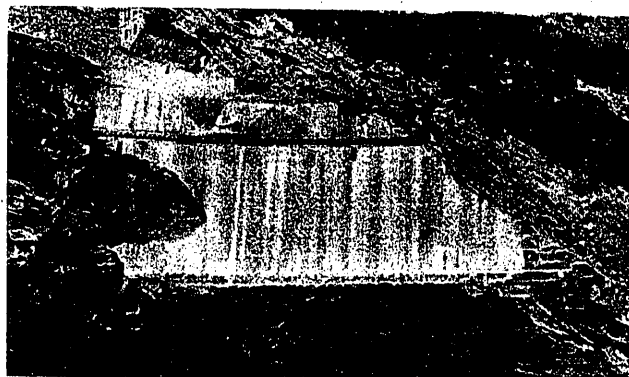
El taller de amasado se instala en la ladera de la margen derecha, a la altura que vaya a alcanzarse en cada campaña, y por planos inclinados se abastecen las amasadoras y hormigoneras de la piedra, arena y cemento; de aquéllas parten tolvas que vierten en las vagonetas que circulan por los espigones surtiendo de mortero y hormigón a las brigadas de mamposteros y a los cajones de relleno; tolvas que se van acortando conforme sube la obra y que desaparecen al final de la campaña, en que entran ya las vagonetas debajo de los tambores de las hornigoneras a cargar directamente.

Recomendamos el sistema, que da excelentes resultados, y aunque la organización de estas obras es problema de carácter local, en general, es posible aplicarlo en la mayoría de los casos con las variantes de detalle a que obligue la topografía del emplazamiento y la procedencia y situación de los diversos materiales.

La mano de obra resulta buena y económica y permite gran intensidad, aun en nuestro caso, en que se trabaja en terreno sumamente abrupto, y las canteras de piedra y arena están en situación poco favorable. Como cifras para orientación, diremos que en 180 días de trabajo (que son los únicos aprovechables para hacer fábricas en la altitud de la obra) se construyen de 25 a 30 000 m³ de presa, lo que da un promedio diario, con diez horas de trabajo, de 140 a 160 m³, es decir, que en obras en las que puede trabajarse todo el año, muy bien puede contarse anualmente con 50 000 m³ de presa.

La homogeneidad con que se lleva la obra permite una cubicación exacta y al día de lo que se construye y comprobación sin temor a error de las dosificacio-

mente empleamos es la de 0,55 m³ de mortero por metro cúbico de grava, o sea un exceso de mortero para obtener un hormigón plástico en el que se embeban bien los grandes mampuestos que en él se arrojan; el mortero lo dosificamos, como promedio, con 350 kg de cemento por metro cúbico de arena,



Pantano Príncipe Alfonso, en construcción. La presa, en septiembre de 1924, con 34 metros de altura.

obteniendo un rendimiento de 1,15 m³ de hormigón, o sea unos 170 kg de cemento por metro cúbico de hormigón. La piedra embebida en éste viene a ser de un 35 por 100, es decir, que cada metro cúbico de hormigón rellena 1,35 m³ de cajón al embeber en él la piedra, lo que da un peso de 127 kg de cemento por metro cúbico de hormigón mamposteadado.

Las mamposterías resultan con un 38 por 100 de mortero, o sea 133 kg de cemento por metro cúbico de mampostería, y habida cuenta de la relación de las mamposterías al hormigón mamposteadado, viene a resultar en definitiva que en cada metro cúbico de presa entran unos 130 kg de cemento.

Lo expuesto creemos ser lo suficiente, dada la índole de este artículo, para dar una sucinta idea de la obra que describimos; y las fotografías que acompañan acaban de completar aquélla.

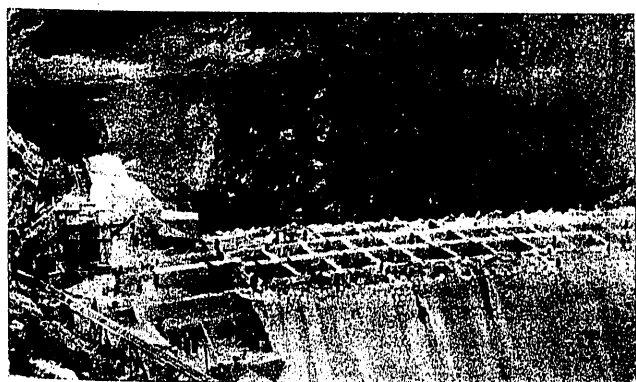
Como complemento de la obra, pasamos a dar algunas noticias acerca de su aprovechamiento industrial, cuyo anteproyecto ya ha sido aprobado.

Aprovechamiento industrial del Pantano Príncipe Alfonso.—La importancia del embalse y la fuerte pendiente del río aguas abajo de la presa, de 0,006 aproximadamente, eran datos suficientes para revelar la posibilidad de obtener un importante aprovechamiento de la energía potencial de las aguas embalsadas, y a fin de comprobarlo se realizaron los estudios necesarios, que vinieron a confirmarlo.

Mediante el gráfico de los volúmenes embalsados en función de la altura del embalse, obtuvimos la curva de los trabajos potenciales de todos los saltos posibles a distintas alturas de toma en la presa, resultando el máximo de 5 370 000 kw-h correspondiendo a la abscisa 42 m, o sea, que sin canal, éste es el salto de máxima potencia entre todos los que se pueden construir.

Después, estudiando el río, encontramos a unos 15 km aguas abajo de la presa lugar adecuado para producir la caída de un salto con canal, resultando dicho punto del río con un desnivel de 90 m más abajo que el zócalo de la presa, y descontando de él los 15 m que se perdían con la pendiente del canal, quedaban 75 m de desnivel útil.

Con este dato construimos la curva de los trabajos



Pantano Príncipe Alfonso, en construcción. Vista de los cajones de construcción del macizo.

nes y proporciones en que entra cada elemento, y si se lleva nota de los pesos de cemento, arena, grava y piedra de mampostería que cada día ingresa en la presa, haciendo pasar los vagones de cada clase por la báscula (como se hace en esta obra) se dispone a poca costa de todos los elementos de juicio necesarios para obtener una orientación constante, tanto de precio como de fábricas, de las diversas unidades y de la de conjunto referida a metro cúbico de presa.

La composición media del hormigón que actual-

potenciales de todos los saltos creados por la presa y aumentados en estos 75 m, obteniendo en dicha curva un máximo de 16 193 716 kw-h, correspondiendo a la abscisa de 30 m, o sea la altura sobre zócalo de la presa a que debe hacerse la toma para obtener dicho máximo, construyendo canal desde la toma en la presa.

Siendo este máximo triple próximamente del anterior deducido, vemos que construyendo canal se triplica la potencia del aprovechamiento en relación con la obtenida sin él, no dejando lugar a duda este notable aumento de que la mayor conveniencia del aprovechamiento ha de ser con toma en la presa a 30 m de altura seguida de canal, hasta lograr el salto de 105 m de altura geométrica.

Hecha esta determinación, faltaba la de cuál resultaría el régimen de máxima regularización posible, y para ello nos valimos de los gráficos de aforos del Carrión, de los tres años de que disponíamos, que eran 1918, 1919 y 1920, construyendo con abscisas de tiempos y ordenadas de volúmenes las curvas integrales de las de aforos de esos tres años, dibujadas una a continuación de otra. A la curva así obtenida le trazamos la paralela debajo de ella y separada la ordenada constante de los 66 millones de metros cúbicos del embalse máximo, y ya con ambas curvas, las tangentes comunes a ellas nos determinan por su coeficiente angular los regímenes posibles en el canal del salto. Entre todas estas tangentes sucesivas, la de menor coeficiente angular nos da el mínimo régimen constante posible, y la de mayor coeficiente angular nos da el régimen máximo, y estos límites, habida cuenta del período de tiempo a que corresponden, nos dan una orientación bastante precisa de la capacidad que deba dársele al canal, así como de la energía permanente y periódica que puede alcanzarse para obtener un aprovechamiento integral de la almacenada en el embalse.

En nuestro caso, el procedimiento sucintamente indicado nos ha conducido a los resultados que compendiamos en el siguiente estado:

Altura de la toma de la presa.	30 m	
Longitud del canal industrial.	15 400 m	
Capacidad del ídem íd.	14 000 litros	
Caudales disponi- bles.	{ Máximo periódico. Medio constante. . . Mínimo durante los riegos.	14 000 »
		7 500 »
		6 000 »
Potencia instalada.	{ 19 600 CV 12 712 kw-a	
Potencia disponible en la Central genera- dora.		{ Máxima perió- dica. Media constan- te.
Potencia anual dispo- nible en la Central generadora.	{ Permanente. . . Periódica.	
		47 000 000 kw-h 16 000 000 kw-h
TOTAL.	63 000 000 kw-h	

Potencial anual dispo- nible con transpor- te y distribución..	Permanente con factor de car- ga 0,65.....	22 000 000 kw-h
	Periódica.....	13 000 000 kw-h
TOTAL.....		<u>35 000 000 kw-h</u>

Capital necesario para la completa instala- ción hasta las barras de alta tensión...	Obras hidráulicas.....	5 500 000 ptas
	Tubería, maqui- naria, edifi- cios y varios.	5 000 000 ptas
TOTAL.....		<u>10 500 000 ptas</u>

Precio del kw instalado, 1 000 ptas en números redondos.

Al hacer el estudio que precede se ha tenido en cuenta la compatibilidad del régimen para el aprovechamiento con el exigido por los riegos, que siendo los que han motivado la construcción del pantano y, por tanto, su primordial finalidad, hay que otorgarles la prioridad; es decir, que el régimen del aprovechamiento queda supeditado al de los riegos.

Las cifras que quedan expuestas dan idea concreta de la gran importancia que tiene el aprovechamiento de la energía del Pantano Príncipe Alfonso, energía que tiene varios centros de consumo a distancias de transporte aceptables, como se deduce del siguiente cuadro:

Central generadora a León.....	65 km
» a Pajares.....	65 »
» a Oviedo.....	100 »
» a Palencia.....	110 »
» a Burgos.....	110 »
» a Santander.....	110 »
» a Valladolid.....	145 »
» a Bilbao.....	165 »

Aunque no ha recaído resolución definitiva, un medio sería convenir la concesión del aprovechamiento, siendo de cuenta del adjudicatario la construcción de las obras hidráulicas y eléctricas que deberán revertir al Estado en un plazo no superior a setenta y cinco años, y recibiendo éste un canon anual del concesionario.

De este modo, el Estado podrá resarcirse de parte del capital invertido en la construcción de la presa que ha de regularizar el régimen del río, haciendo así posible el aprovechamiento industrial que dejamos bosquejado, que por su importancia y situación puede asegurarse que ha de ser de beneficiosos resultados para la Empresa que lo acometa.

Juan F. MORENO AUGUSTIN
Ingeniero de Caminos