

EL PANTANO DEL TRANCO DE BEAS

Por FLORENTINO BRIONES, Ingeniero de Caminos.

En el presente artículo y en otro que publicaremos en nuestro número próximo, se desarrolla por completo el tema presentado en la conferencia pronunciada por el autor el año pasado en nuestra Escuela Especial, que consideramos de interés para nuestros lectores, ya que ha de llevar a su conocimiento las características y detalles más interesantes de uno de las más notables obras hidráulicas españolas.

I

Algunos antecedentes.

En la conferencia que, con motivo de la terminación de las obras del Pantano del Tranco de Beas, dimos el año pasado en la Escuela de Caminos, empezamos haciendo referencia de la labor que realiza la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir en su desarrollo de la parte del Plan Nacional de Obras Hidráulicas que afecta a aquella cuenca, encuadrando así la función del pantano dentro del problema de conjunto que el aprovechamiento de los recursos hidráulicos de la misma representa. A continuación vamos a referirnos a dicho embalse con un criterio principalmente descriptivo, ya que sólo nos proponemos que figure en nuestra REVISTA una reseña de esta obra hidráulica, sin extendernos tampoco en ciertos aspectos de su estudio y construcción que requerirían largo espacio y pueden ser tratados independientemente, como ya lo han sido algunos de ellos (1).

Tiene este pantano el carácter de embalse de cabecera del Guadalquivir, siendo el de mayor capacidad — 500 millones de metros cúbicos — construido por el Ministerio de Obras Públicas en su realización del actual Plan de Obras Hidráulicas y, después del pantano del Esla — 1 184 millones —, el mayor embalse de España. Afortunadamente, esta supremacía no tardará en serle arrebatada por otros pantanos en construcción. Según los datos que figuran en la obra de Gómez Navarro y Araçil, *Salto de agua y Presas de embalse*, es hoy el tercer embalse de Europa, y por su máxima altura de presa — 93 metros — le corresponde el cuarto lugar entre las presas españolas y el décimo entre las europeas. Es satisfactorio comprobar en dichos datos estadísticos que, por el número de grandes presas construidas (mayores de 30 m.), ocupa España el primer lugar del mundo en cifras relativas, y en cifras absolutas, es decir, por la totalidad de obras realizadas, el segundo lugar, inmediatamente después de Estados Unidos.

La cerrada del Tranco de Beas es conocida desde antiguo, pese a su difícil accesibilidad, como apropiada para obtener un importante embalse en el Guadalquivir, que ya aparece señalado en los planes hidráulicos de principios de siglo. Un ingeniero entusiasta de esta obra, D. Antonio Anguís Díaz, es autor del primer proyecto de este pantano, que redacta en 1912, y guiado por el noble propósito de regar su tierra natal, mantiene durante muchos años el fuego sagrado de la necesidad del embalse, que tiene más tarde la satisfacción de que se inicie bajo su Jefatura. La Comisión designada para el estudio del aprovechamiento integral de los recursos del Guadalquivir, y ya desde el punto de vista más amplio que a su misión correspondía, redactó un nuevo proyecto elevando la capacidad del embalse hasta la cifra que se ha adoptado como definitiva, siendo autor del mismo el Ingeniero de Caminos D. Antonio del Águila y Rada.

Creada la Confederación del Guadalquivir, fuimos designados para hacernos cargo de los trabajos, redactando los proyectos definitivos de construcción y ocupándonos largos años de la obra, hasta que, en su última etapa y afortunadamente para ella, otro compañero, más competente, José Luiz González Muñiz, ha completado y perfeccionado elementos esenciales de la misma.

Los trabajos de excavación se iniciaron en 1930, y los de hormigonado en 1931, quedando el macizo prácticamente terminado en 1934, siendo las obras de los desagües profundos y superficial, así como sus instalaciones mecánicas las que han alargado tanto la terminación del pantano. El período de guerra y sus etapas anterior y posterior fueron de escaso rendimiento, realizándose trabajos importantes, pero con gran lentitud. En 28 de febrero de 1944 se cerraron las compuertas, iniciándose el embalse, que ha servido de alivio en sus dos años de funcionamiento a la aguda crisis originada por la sequía de esta etapa. Continuaron, simultáneamente con la explotación, los trabajos pendientes, pudiendo fijarse como año de terminación del pantano el de 1945, ya que algunos detalles de pavimentación, iluminación, etc., que se han

(1) "El pantano del Guadalquivir, en el Tranco. La determinación de su capacidad de embalse", por Antonio del Águila, *Ingeniería y Construcción*, enero 1928. — "La impermeabilización por inyecciones del embalse del Tranco", por Luis Aldaz Muguero, REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS, junio 1945.

prolongado hasta el presente, tienen sólo carácter complementario.

Durante el desarrollo de la obra han ocupado la Dirección de la Confederación los Ingenieros D. Mariano de la Hoz y D. Alfonso Barón, ambos fallecidos; D. Vicente de la Puente, Inspector hoy de este Servicio Hidráulico, y el actual Ingeniero Director D. Pedro F. Grajera.

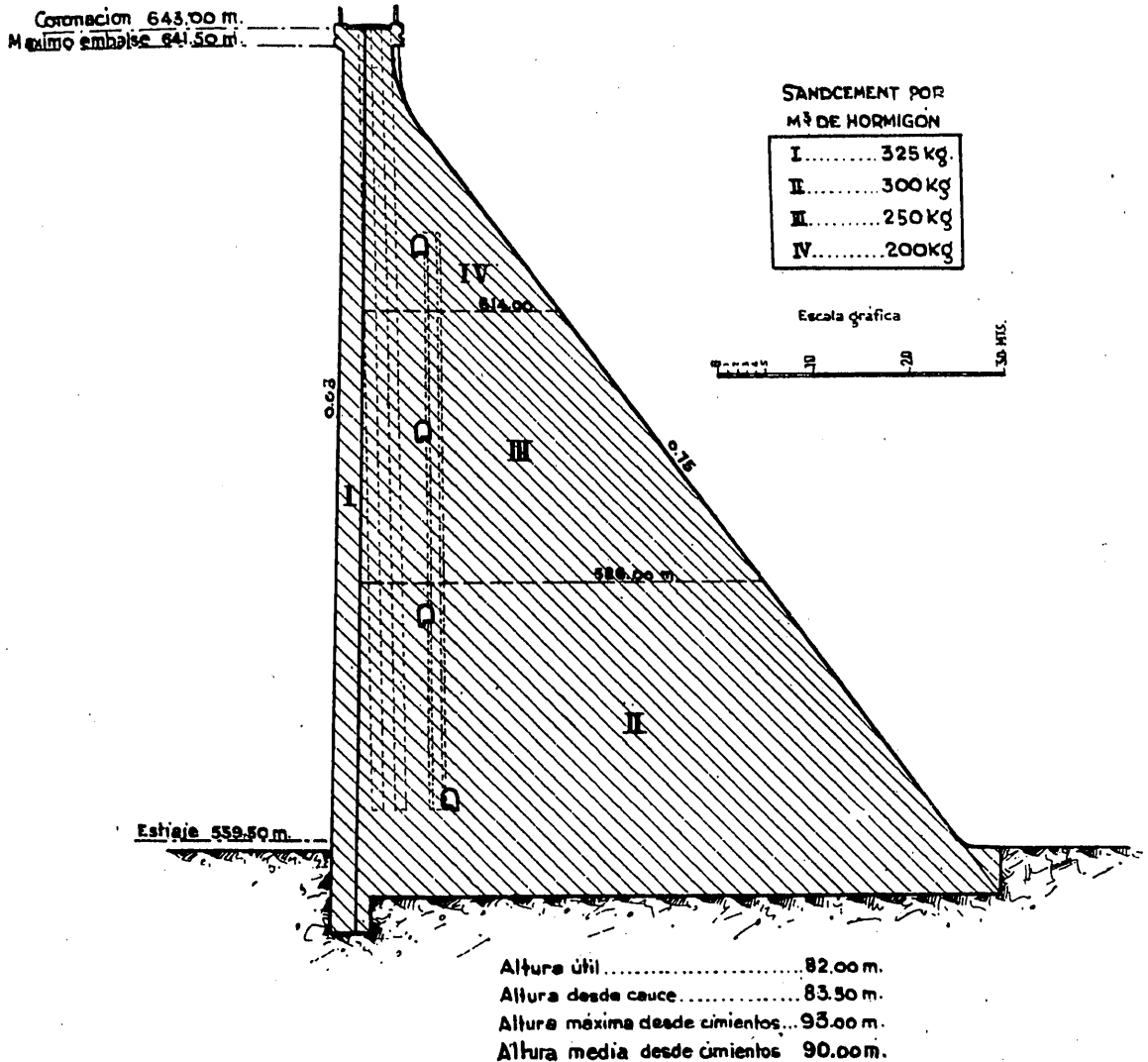
La cuenca, el embalse y el cierre.

La cuenca receptora es reducida, pues sólo alcanza 550 Km.², pero de alta pluviosidad y fuerte esco-

rrentía, variando las altitudes desde 559,50 m., en el fondo del antiguo cauce de la cerrada, a 2 035 m. en la cumbre del Cabañas, punto más alto de la Sierra de Cazorla, que con las Sierras del Pozo y de Segura, forma el núcleo montañoso calizo que circunda el alto Guadalquivir.

La capacidad del embalse es la ya citada de 500 millones de metros cúbicos, que permite en régimen de explotación interanual, de tipo preferentemente agrícola, un desagüe de 280 millones de metros cúbicos por año, cifra en actual revisión, habida cuenta de las aportaciones de estos últimos años. El máximo embalse tiene una altitud de 641,50 m. y una su-

SECCION TRANSVERSAL DE LA PRESA

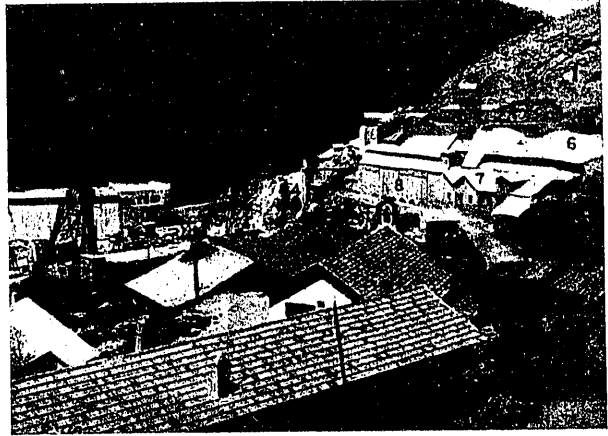


perficie de 1.800 hectáreas. Está situado el cierre a unos 50 kilómetros de la Cañada de las Fuentes, origen del Guadalquivir, y la cola del pantano alcanza una longitud de 23 kilómetros, siguiendo el curso del río.

El vaso se extiende, además de por el Valle del río principal, por el de su afluente, el río Hornos, y está abierto en una marca muy plegada de estratos arcillosos del Triás superior. Los informes emitidos por la extinguida Comisión de Estudios Geológicos y por la actual Asesoría Geológica de Obras Públicas señalaron la impermeabilidad del vaso y la resistencia del cierre, formado al cortar el río el macizo jurásico, constituido por calizas litográficas del Dogger y Lías. Se aconsejaba en los informes la corrección de la permeabilidad de las calizas, problema de impermeabilización que resulta limitado por la existencia de un haz de margas oxfordienses, concordante con aquéllas, que constituye una zona protectora y reduce la zona peligrosa del área de calizas en contacto con el agua. Unos ensayos de inyecciones, con una serie de pruebas de permeabilidad, nos permitió obtener base suficiente para proyectar los trabajos de impermeabilización en la forma que, antes de embalsar, se han llevado a cabo.

Estos trabajos de impermeabilización, mediante inyecciones de cemento-arena, han sido descritos en el artículo del Sr. Aldaz, en esta misma REVISTA, que anteriormente hemos citado, comprendiendo una longitud total de perforación de 7 728 m. lineales, habiéndose inyectado 2 066 toneladas de cemento, resultando una admisión media de 247 kilogramos por metro lineal de sondeo.

El estudio geológico no ha variado de orientación desde los primeros informes de los Sres. Gavala, Hernández Sampelayo, Benavent y Gutiérrez Gándara,



1, cantera; 2, trituración; 3, clasificación y ensilado de áridos; 4, dosificación automática y hormigoneras; 5, cables-grúas de cinco toneladas; 6, depósitos de *clinker*; 7, fábrica de "sand-cement", con 12 Tn. de producción horaria; 8, silos de "sand-cement" para 1 200 Tn.

hasta el último, magníficamente desarrollado, de los actuales asesores Sres. Valdés, Sáenz y Catena.

Una particularidad de gran interés es la falla que cruza el río aguas arriba de la cerrada, y que pone en contacto anormal las calizas jurásicas con las margas irisadas del Keuper. El estribo derecho de la presa primitivamente proyectada interesaba la falla en cuestión, y ello nos obligó a variar aquélla de posición y forma. La directriz circular, de 150 m., hubo que interrumpirla en lo alto de la ladera derecha, continuando con un arco de 75 m., para que el apoyo de la presa se ciñese a la base de caliza sana, no afectada por el quebrantamiento del borde.

A pesar de ello, y por el escaso espesor del crestón en que nos podíamos mover, situados entre el corte de éste aguas abajo y la zona de fricción de la falla aguas arriba, no pudimos evitar que un segmento de la base de la presa invadiese un pequeño espesor de dicha zona, en que la caliza está muy quebrantada, por lo que se han extremado en esta parte los trabajos de inyección. Que adoptamos la posición adecuada — no había, a nuestro juicio, otra alternativa —, fué reconocido por el posterior informe geológico, en el que se expresa que "el gran muro se ha ido plegando acertadamente por imperativo de la geología". Aunque en el indicado aspecto aparenta ser una obra atrevida, la realidad es que tiene todas las seguridades necesarias.

En el plano de situación que acompañamos figura la posición del embalse, ubicado en el norte de la provincia de Jaén, términos de Hornos de Segura, Pontones y Santiago de la Espada. Sus accesos son: por carretera, desde Villanueva del Arzobispo, mediante un camino de servicio de 26 kilómetros; y por ferrocarril, desde la estación de Baeza-Empalme, a 90 kilómetros del pantano.



Cerrada del Tranco. La línea se corresponde con la coronación.

La presa y su construcción.

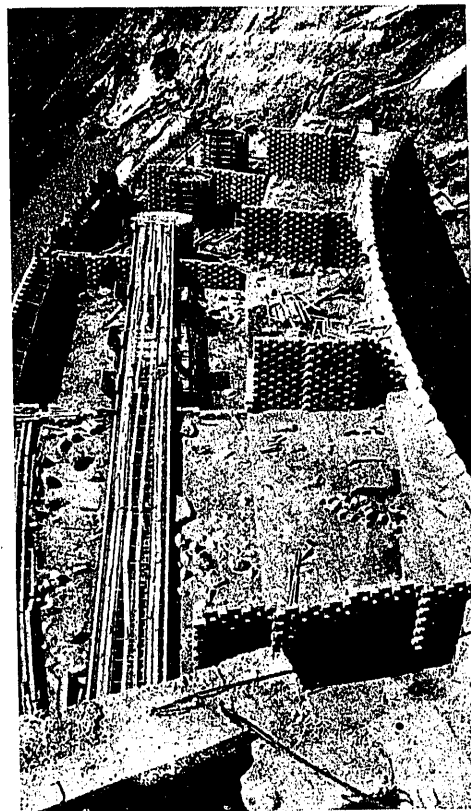
En la planta general, que unimos, figura la disposición de la presa con el aliviadero de superficie, torre de toma, canales de desagüe y la instalación especial para paso de maderas. En la sección transversal, que también acompañamos, figuran las características del perfil.

La altura de presa varía, según la referencia, desde donde se tome, y para mayor claridad citamos dos alturas, de coronación a cimientos; la media sobre el fondo del cañón de la cerrada, que es de 90 m. y la máxima sobre los puntos más bajos del cimiento, que es de 93 m., cifra ésta de menor valor por aplicarse a zonas locales. En cuanto a la altura a partir del antiguo cauce, es de 83,50 m. hasta coronación, y 82 m. hasta el nivel del máximo embalse, que es lo que suele denominarse altura útil, quedando por tanto un margen de 1,50 m. entre las aguas y la coronación.

La presa es de gravedad, sección triangular, y así fué calculada, siendo sus taludes 0,75 y 0,03. Si no se hubiesen presentado las condiciones que exigieron variar la posición del macizo y su forma de estribación en la margen derecha, hubiera sido de interés revisar el tipo elegido y estudiar un perfil mixto, de arco-gravedad. La planta curva ya hemos indicado que tiene de radio 150 m. Las juntas de contracción están distanciadas 22 m. en la parte central y 15 m. en los extremos. La longitud de coronación es de 290 m., y su ancho, de 5 m. En la sección transversal se indica la posición de los pozos y galerías de drenaje y reconocimiento.

El volumen del macizo es de 230 000 m.³; la fábrica empleada, el hormigón y el aglomerante, el "sand-cement" o cemento-arena, obtenido a pie de

obra, con dos dosificaciones variables de 200 a 325 kilogramos por metro cúbico, utilizada la última en la pantalla de impermeabilización, de 2 m. de espesor.



Una fase de construcción de la presa, destacándose las juntas de contracción y la pantalla de aguas arriba.

Aunque se había previsto el emplear grandes bloques de piedra, formando un hormigón ciclópeo, la proporción fué pequeña para merecer dicho nombre, y en grandes zonas de la presa, completamente nula. En las etapas de gran velocidad de hormigonado, la colocación de bloques obligaba a frenar aquélla, requiriéndose medios de transporte y colocación especiales para no interferir los destinados al hormigonado, no siendo, en resumen, nuestra experiencia favorable al hormigón ciclópeo, una de cuyas ventajas, el trabado de hiladas horizontales, se obtiene mejor y en mejor escala con la supresión de grandes planos y el empleo, por ejemplo, de formas dentadas. La colocación del hormigón se efectuó por medio de dos blondines, y, más principalmente — dado que la fluidez admitida lo permitía —, por canaletas y puentes de servicio.

← Construcción de la parte superior de la presa. En primer término, el doble pozo para cierre de la junta.



El "sand-cement" o cemento-arena, se obtiene, como es sabido, por la molienda conjunta de *clinker* y piedra, a un alto grado de finura, añadiendo una pequeña cantidad de yeso para regularizar el fraguado. Se empezó a utilizar en las presas americanas, en la



Laboratorio. Sierra cortando un bloque de presa.

construcción de las de Arrowrock y Elephant Butte, hacia 1912, y en las españolas, en 1919, en la presa de Camarasa, empleándose posteriormente en las del Jándula, Rumblar y Tranco de Beas, pertenecientes las tres a la cuenca del Guadalquivir.

El cemento-arena empleado en el Tranco, estaba formado por 55 por 100 de *clinker* y 45 por 100 de caliza, debiendo quedar un residuo inferior al 5 por 100 en el tamiz de 4 900 mallas, en el que el Pliego oficial exige al cemento un residuo máximo del 16 por 100. Al empezar la producción se produjo el mismo fenómeno que en Camarasa, formándose una película de polvo alrededor de las bolas del molino, que las embotaba, imposibilitando el conseguir el grado de finura necesario.

No disponíamos allí de areniscas que sustituyeran en aquella presa a las calizas, ni de los granitos utilizados en el Jándula y Rumblar. Poco éxito se hu-

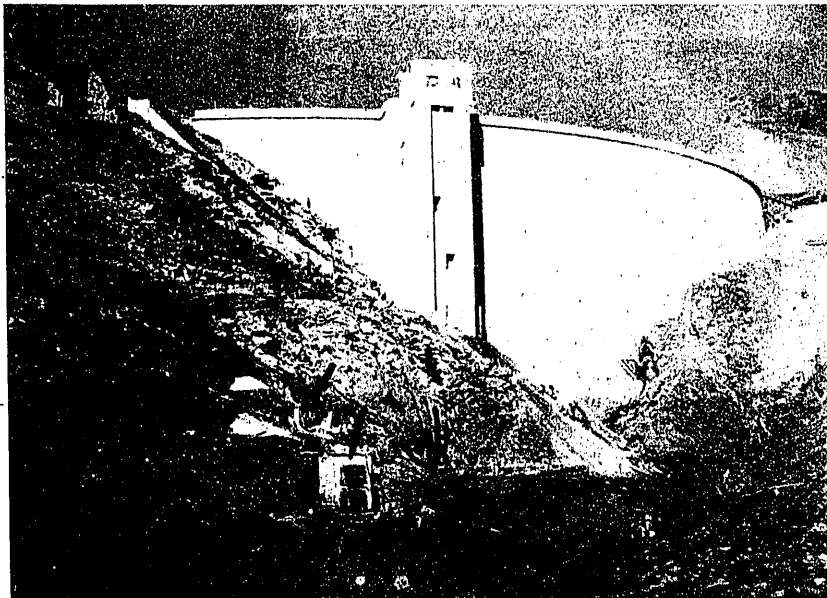
biera obtenido si sólo hubiésemos contado con las calizas litográficas de la cantera general, pero la zona de fricción de la falla, que ya vimos vino en nuestro auxilio, con su paquete de margas, para limitar la superficie caliza a impermeabilizar, nuevamente nos prestó su ayuda con su caliza heterogénea y silicéfera, que sustituyó en la molienda a la de cantera. Este cambio, unido a un completo secado de la piedra para hacerle perder su humedad, y a la vigilancia de la marcha del molino, que debía mantenerse con su carga y temperatura normal, permitió obtener el resultado buscado.

A pesar de las satisfactorias resistencias obtenidas, de la ventaja de la menor contracción y a igualdad de cemento, la mayor impermeabilidad que la riqueza aglomerante permite, nuestra experiencia no es favorable al empleo del "sand-cement" en estas grandes presas, salvo en el caso de que la escasez de



Testigos de auscultación sumergidos en el hormigón.

producción de cemento, la imposibilidad de producirlo cerca de la obra y la dificultad de transporte tomasen suficiente importancia para justificarlo. A cambio de las ventajas que presenta, tiene el inconveniente de complicar la obra con nuevas y costosas insta-



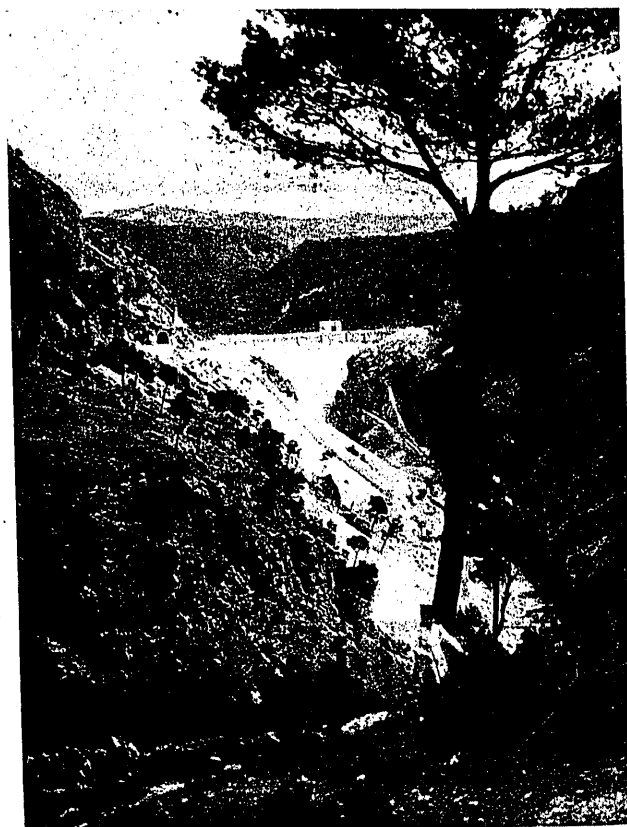
Vista desde aguas arriba. Las flechas indican las tres tomas en túnel del desagüe de fondo. Una de las rejillas en construcción.

laciones, y hay que estar pendiente de este nuevo elemento, con análisis y ensayos continuos, con la preocupación natural y el peligro de que una fabricación defectuosa pueda llegar a producir, mientras se corrige, incluso la paralización del hormigonado. Por otra parte, la técnica de la fabricación y puesta en obra del hormigón ha progresado mucho desde la época en que apareció el cemento-arena, consiguiéndose mejorar las fábricas obtenidas, sin forzar las dosificaciones, y quizás sea este progreso uno de los motivos porque se vaya olvidando el empleo del "sand-cement" en las grandes presas.

Tanto la fabricación del cemento-arena como la del hormigón, fué dirigida y vigilada por el muy completo laboratorio que funcionó a pie de obra. No es nuestro propósito referirnos con detalle a los numerosos ensayos efectuados que, por otra parte, tuvieron un gran interés para el trabajo que se desarrollaba, pero no los creemos de interés general. Como roturas de "sand-cement", características a veintiocho días, pueden citarse la de 30 Kg./cm.² a tracción, con arena normal simple de cantera y 251 kilogramos por centímetro cuadrado a compresión, con arena normal compuesta, también de la caliza de cantera.

Los ensayos de hormigones empleados se efectuaron sobre muestras tomadas de las vagonetas, a la salida de las hormigoneras y sobre testigos arrancados del macizo de la presa. En el primer grupo de ensayos las roturas medias a tres meses, en probeta cúbica de 20 cm., variaron de 101 a 182 Kg./cm.² para dosificaciones de 200 a 325 Kg. de cemento-arena (110 a 178 Kg. de cemento efectivo) por metro cúbico de hormigón, correspondientes a relaciones medias "sand-cement": agua, variables de 1,1 a 1,9 (cemento efectivo: agua de 0,60 a 1,05). No hubo regularidad absoluta de los valores intermedios entre estos extremos, haciéndose hormigón más plástico y mejorando las condiciones de colocación siempre que era posible, y así se obtuvo una gran zona de hormigón de 250 kilogramos (137 Kg. de cemento) con resistencia a dicha edad de 172 kilogramos por centímetro cuadrado.

En cuanto a la extracción de bloques de presa, que luego se aserraban para formar los cubos de ensayo, de 20 cm. de lado, no puede efectuarse en tan gran cantidad como para deducir leyes, pero sí para dar una idea de los resultados



Vista de conjunto desde aguas abajo.

obtenidos. Los valores medios de las roturas de testigos, con edades de seis meses a un año, variaron del mínimo de 89 Kg./cm.² (200 Kg. de s. c.) al máximo de 184 Kg./cm.² (325 Kg. de s. c.), y creemos que puede deducirse que el hormigón tipo medio, o sea el 250 Kg. de s. c., puesto en obra, se consiguió con una resistencia no inferior a 150 Kg./cm.², y con una densidad mínima de 2.4.

No seríamos justos si, al referirnos a las obras del Tranco, no citásemos a la entidad contratista de las mismas: "Ágromán". Empresa Constructora que ha llevado a cabo los trabajos de la presa, aliviadero y las labores de impermeabilización, resistiendo impávidamente el transcurso de muchos años difíciles, hasta dar cima a su cometido. Su Director, D. José M. Aguirre, no precisa ser presentado como gran Ingeniero y constructor, pero sí queremos destacar el cariño que ha puesto en esta obra, anteponiendo el interés de la misma a cualquier otra consideración. Los Ingenieros de dicha Empresa, D. Rafael de la Vega y

D. Emiliano Ruiz Castrejón, en las etapas anterior y posterior a la guerra, respectivamente, han estado al frente de estas obras, resolviendo competentemente las dificultades naturales de las mismas, y, además, aquellas que añadieron su aislamiento y las ingratas circunstancias atravesadas.

Antes de continuar con la descripción de los desagües del pantano y de sus instalaciones auxiliares, haremos referencia, por haberlo omitido antes, de la fase preparatoria de los trabajos, en la que se construyó la carretera de acceso, de 26 Km.; la línea de transporte de energía eléctrica, de 42 Km., y el poblado, en que llegaron a residir 1 000 personas, con todos los servicios de una pequeña población. La desviación del río se hizo por dos túneles: uno, por margen, de 3,30 m. de diámetro, habiéndose utilizado el de la izquierda para el desagüe de fondo y taponado el de la derecha.

Se montaron medios auxiliares con potencia total instalada de 1 500 HP.

