

SISTEMAS DE EXCAVACION Y REVESTIMIENTO EN EL TUNEL DEL SALTO DE TORREJON

Por HANS BERGVALL

Ingeniero de «Widmark & Platzer, S. A.»

y GREGORIO RUBIO MANZANARES

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Descripción de los métodos empleados.

EXCAVACIÓN.

Los ríos Tajo y Tiétar quedan muy próximos, a unos dos kilómetros aguas arriba de la confluencia de ambos. En esta zona existe un cerro estrecho entre los dos ríos donde está construyéndose el salto de Torrejón por Hidroeléctrica Española, S. A. Sobre el aprovechamiento hidroeléctrico de este salto ha informado el Prof. Dr. Ing. D. Manuel Castillo en la REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS, núm. 2.988, abril de 1964.

Aquí vamos a tratar algunos de los problemas prácticos en la ejecución de la obra y la resolución de los mismos.

La composición geológica del terreno en el lugar en que se está construyendo el salto, se conocía por sondeos y galerías de reconocimiento. En la figura 1.^a se ve una sección transversal en la que se indican los distintos tipos de roca que hemos encontrado. La galería de presión y las chimeneas de equilibrio se encuentran en pizarras, que son de calidad muy variable.

La galería de presión no es de mucha longitud comparada con otros túneles ya construidos en otras obras, pero la dimensión en sección, con sus 145 m.² (sección excavada), es tal vez una de las mayores de España, además hay que tener en cuenta que se trata de excavar en pizarra de muy mediana calidad, incluso en algunos tramos muy mala.

Cuando se trata de excavar túneles en roca

mala, el procedimiento clásico es: 1.º Excavar la parte superior, por ejemplo a media altura, dejando una entalladura a cada lado para apoyo de la bóveda. 2.º Hormigonar la bóveda a la par de la excavación, o reforzando el techo suficientemente para realizar el hormigonado de la bóveda una vez excavada la parte superior del túnel; luego, realizar la excavación de la parte inferior del túnel y hormigonado de la misma.

En nuestro caso no era posible utilizar el procedimiento clásico; en la fig. 1.^a se ve el hastial izquierdo del túnel está cortado por las galerías de toma a los grupos. En estos tramos los anillos de hormigón del túnel están apoyados en vigas fuertes de hormigón que sirven de dintel a las galerías. Este dintel a su vez apoya sobre dos pilares redondeados a cada lado de la entrada (en la foto 8.^a se ve a la derecha una de las entradas) y los pilares había que cimentarlos en su solera definitiva. Por tanto, no había otra posibilidad, que excavar todo el túnel antes de empezar el hormigonado. Como la excavación a plena sección (ϕ 13,6 m.) nos daría mucha altura para realizar los trabajos de sujeción necesarios en el techo, hemos preferido excavar en dos etapas y después de tener el túnel excavado en toda su sección, realizar el hormigonado.

La excavación de la parte superior del túnel se realizó con 8 metros de altura, perforando desde un carretón (foto 1.^a) con guideras para el cuele, tipo Widmark & Platzer, S. A. (artículo por el Sr. Ake Pousette en "Gaceta de la Construcción", 24 de abril de 1962, número 912).

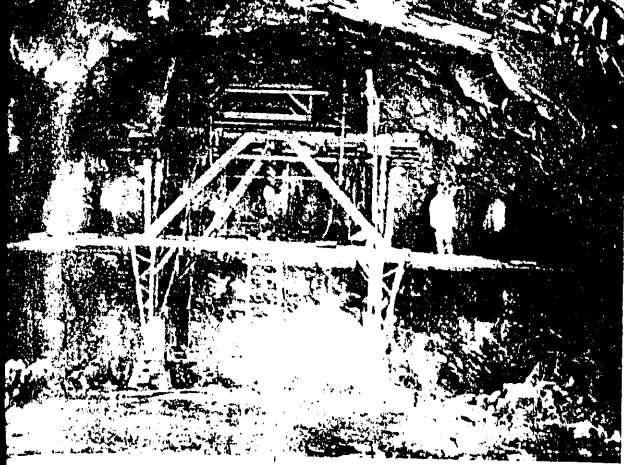


Foto 1.ª — Excavación de la parte superior del túnel, 8 x 13,4 metros.

La destroza de las voladuras y barrenos de coronas y hastiales fueron perforados a mano. El avance de las pegas fue de 4 metros y se dio una voladura diaria donde no era necesario detener el ritmo de excavación para reforzar el túnel y a la vez fuimos abriendo las entradas a los grupos.

Sistema empleado para reforzar el túnel.

A la vez que realizábamos la excavación de la parte superior del túnel había que reforzar el techo y hastiales, de tal manera que se pudiera confiar en ellos durante una temporada relativamente larga, es decir, hasta que se pudiera hormigonar el túnel definitivamente. El tiempo que tenía que estar sin revestir el túnel no sólo dependía de la excavación de la parte inferior, sino también de las distintas fases de trabajo de las excavaciones de la central y de las chimeneas de equilibrio, siendo el túnel el único camino para extraer escombros de gran parte de estas excavaciones. En definitiva, el túnel tenía que resistir un año después de haber

Foto 2.ª — Arcos para reforzar la parte superior del túnel.



excavado la parte superior hasta poder hormigonar el revestimiento definitivo.

En la boca del túnel, lado Tiétar, la roca es de tan mala calidad, que tuvimos que emplear un procedimiento nuevo, que llamamos "precorte armado", para poder excavar una galería de este tamaño. (Sobre precorte armado se ha informado en varias ocasiones, entre otras, en el



Foto 3.ª — Donde había cortes importantes en la estratificación era necesario hormigonar los arcos.

artículo escrito por el Ingeniero C. C. P. J. García Roselló en la Revista de Obras Públicas, número 2988, abril de 1964.)

Pasados los diez primeros metros del túnel mejora la roca tanto que podíamos abandonar el prearmado y provisionalmente reforzar con pernos "perfo", pero en muchos sitios estaba la estratificación de la pizarra cortada por grietas transversales de tal manera que hemos juzgado necesario reforzar con arcos auxiliares de hormigón (fotos 2.ª y 3.ª).

Reforzando con arcos de hormigón suele significar que el paso en el túnel queda cortado varios días por los puntales mientras se encofra y hormigona el arco y luego el tiempo necesario para el desencofrado del mismo.

Para no cortar el paso por el túnel, durante los relevos de perforación y desde un carretón auxiliar, hemos colocado cerchas metálicas, fabricadas en la obra, con redondos de ϕ 35 curvados para adaptarse al perímetro del túnel. Las cerchas se soldaron como una viga corriente

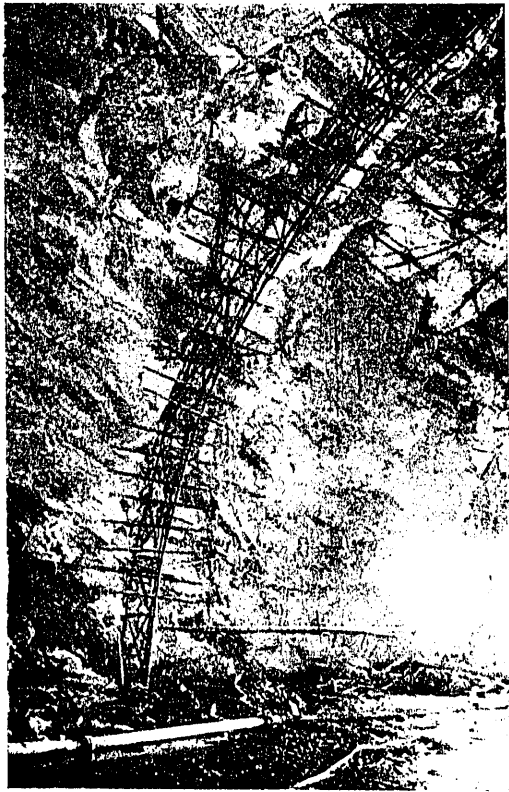


Foto 4.^a — La cercha de redondos colocada con los hierros transversales.

triangulada, con dos hierros junto a la roca y unos 40 cm. más abajo con las correspondientes transversales y diagonales (foto 4.^a). Las cerchas fueron colgadas en una o dos filas de pernos "perfo" y fueron hechas en tramos manejables y soldados posteriormente.

De esta forma, teníamos unas cerchas rígidas con aproximadamente la misma inercia que tiene una viga I 26 corriente.

En sitios donde no había necesidad de hormigonar arcos, sólo se hormigonó el apoyo de la cercha y se colocaron hierros transversales de 1,5 m. de longitud, aproximadamente; encima de los hierros transversales, se colocaron hierros finos de reparto, de modo que formaba una parrilla volando, aproximadamente, 0,5 m. a cada lado de la cercha rígida; por último, esta parrilla

se gunitó (fotos 5.^a y 6.^a). En la foto 6.^a la gunita no está terminada, sólo cubre a medias los hierros transversales.

En sitios donde había cortes más o menos transversales a la estratificación de la pizarra, de tal manera que no se podía confiar en los pernos "perfo", se juzgó necesario hormigonar arcos. (En la foto 3.^a se ve cómo todo el apoyo de la bóveda natural de roca está cortado por una grieta normal a la estratificación.) Para realizar este hormigonado, se aprovechó el hierro inferior de la cercha metálica para apoyar el encofrado, evitando la necesidad de poner pun-

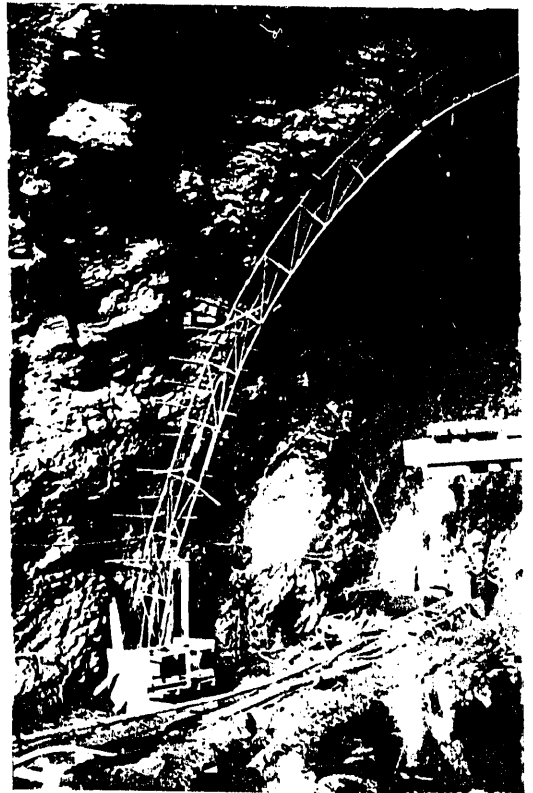


Foto 5.^a — Cercha colocada y encofrada para apoyo.

tales; los dos hierros de la cercha, pegados a la roca, quedaron embebidos en el hormigón como armadura (foto 7.^a). Con este sistema podíamos hormigonar arcos auxiliares sin interrumpir el paso por el túnel. (Se ve en la foto 1.^a cómo está puesto el carretón para perforar otra voladura, aunque han estado hormigonando parte de un arco, muy cerca del frente). Ahora, cuando está terminado el revestimiento definitivo de esta parte del túnel, sabemos que nuestros refuerzos

del techo han aguantado lo previsto y que no hemos tenido ningún desprendimiento.

La ventaja de poder fabricar cerchas rígidas curvadas según la necesidad en la obra, es evidente, para los que tengan que excavar túneles en roca mala; las cerchas hechas de perfiles curvados, normalmente, hay que encargarlas en talleres especiales, con mucha anticipación y hay que calcular una cantidad más o menos acertada. Si después sobran, lo más probable es que no valgan para otra cosa, y si faltan, no es tan fácil de obtenerlas con la rapidez deseada para no ocasionar retrasos en la excavación.

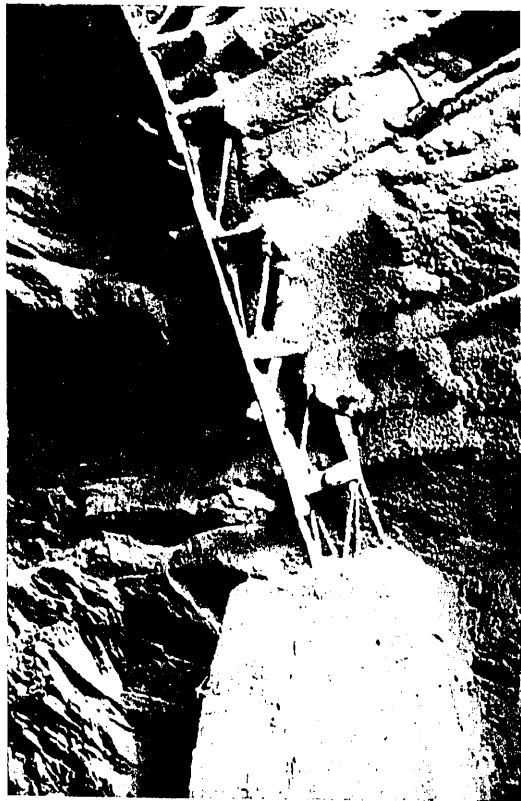


Foto 6.ª — Apoyo hormigonado y la primera capa de gunita colocada.

No hemos hecho ninguna comparación exacta de costos, pero por tanteos superficiales, sabemos que el costo por metro de cercha resulta, aproximadamente, igual fabricándolas en la obra o encargándolas a talleres.

La excavación de la parte inferior del túnel no tenía problemas. Se excavó de modo que el túnel tenía forma de herradura de caballo, con una parte plana en la solera para hacer posibles

los transportes con los vehículos grandes. La excavación se realizó con perforación horizontal y barrenos perforados desde el mismo andamio que se había utilizado en la parte superior.



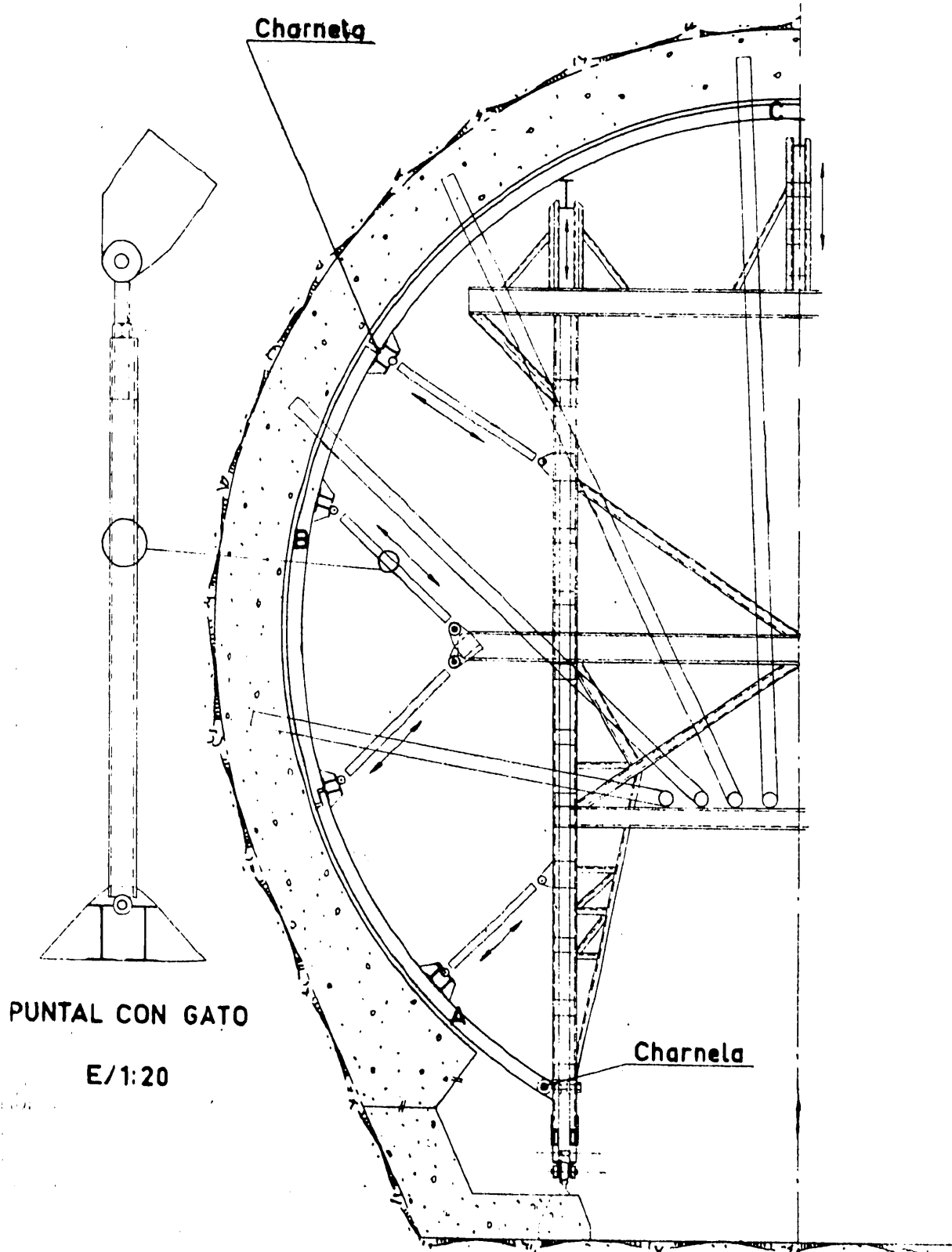
Foto 7.ª — Arcos auxiliares hormigonados y desencofrados.

Revestimiento.

Una vez realizada la excavación, se hormigonaron las cuatro entradas a los grupos, antes mencionadas; posteriormente, decidimos hormigonar el túnel, dejando una pista en la solera, porque todavía quedaba gran parte de la central sin excavar y el túnel era el mejor camino para extraer los escombros.

El túnel es, como antes hemos dicho, muy corto, los cálculos daban superficies cilíndricas de unos 3.200 m.², descontando las entradas a grupos y la solera. Calculamos que la madera para encofrar un metro cuadrado con las dimensiones del túnel costaría, aproximadamente, 500 pesetas; utilizando la madera tres veces resultaría unas 167 ptas./m.² en material.

Por otros tanteos hemos obtenido que un carretón móvil sobre carril podía costar, aproximadamente, medio millón. Esto daría 156 pese-



SEMI-SECCION CARRETON HORMIGONADO

Figura 2.ª

tas/m.². Las cifras eran muy parecidas, pero una vez hecho el carretón, necesitamos mucho menos mano de obra para encofrar y desencofrar. De esta forma, conseguíamos también más rapidez y menos montaje de tuberías, ya que los tubos de la bomba de hormigón seguían montados en el carretón de anillo a anillo, y con un carretón bien hecho era más fácil dejar paso libre para palas y camiones. Como medio de transporte del hormigón se había elegido una bomba "Torkret", que daba una capacidad de 20 m.³/h. o algo más.

El revestimiento del túnel estaba dividido en anillos, cuya longitud no podía ser igual en todos los tramos, debido a que las juntas entre anillos tenían que coincidir con juntas entre anillo y pilar a cada lado de las entradas a grupos; el anillo más corto era de 4,38 m., el más largo, de 5,69 m. Se hizo el carretón para poder hormigonar anillos hasta 5,70 m. de longitud.

Una vez decididos a construir un carretón para el encofrado nos convenía también hacer el andamiaje móvil, para la ferralla y otro carretón para colocación de pernos "perfo" que sujetaran la ferralla. Estos dos carretones se hicieron de madera y muy sencillos (fig. 2.^a).

Para los cálculos del carretón de encofrado hemos supuesto que el hormigón, vibrándolo, se comporta como un fluido con la densidad 2,5 en una profundidad de 2 m.; por debajo de los 2 m. no debía influir las vibraciones, y, una vez transcurrido un cierto tiempo desde que se colocó y vibró este hormigón, debe haber empezado el fraguado, de modo que ya no aumenta la presión sobre el encofrado. El tiempo transcurrido hasta que está suficientemente endurecido el hormigón le hemos supuesto en una hora. Confesamos que estas hipótesis están hechas un poco "a ojo", y seguramente nos daría una curva mucho más complicada que nuestro triángulo; pero como luego hemos abusado y subido hasta 4 m. en una hora sin que ocurriese lo más mínimo, quiere decir que hemos estado al lado de la seguridad.

La construcción del carretón de encofrado se ve esquemáticamente en la figura 2.^a. Es una torre hecha de perfiles sobre 4 diptoris que corren encima de carriles de 45 Kg./m. Los carriles están colocados sobre peanas de hormigón, hormigonadas al mismo tiempo que los apoyos de los anillos. Para pasar delante de las entradas a los grupos, los carriles se colocaron sobre calzos de madera.

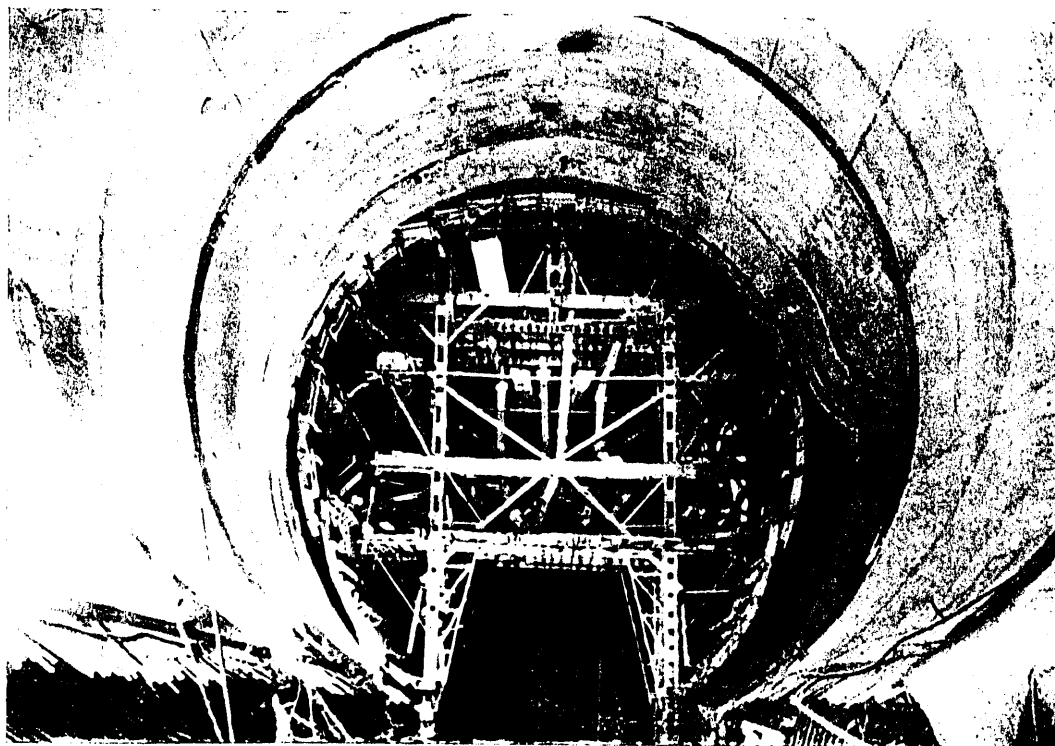


Foto 8.^a — El carretón de encofrado en la posición que queda al desencofrar, listo para su translación.

El encofrado consiste en 5 tableros, "A" (dos), "B" (dos) y "C" (uno) en la figura. Las partes "A" giran sobre la charnela inferior y se despegan al desencofrar por medio de una diferencial a cada lado; cuando se han soltado las riostras provistas con gato de tornillo y tuercas. Despegadas las partes "A", las partes "B" quedan colgadas de su charnela superior, soltándose sus riostras. El encofrado de la corona, parte "C", está colocado sobre seis gatos fuertes, y puede bajarse lo suficiente para que el carretón quede libre de la superficie hormigonada y pueda trasladarse a su sitio nuevo para hormigonar el anillo siguiente (foto 8.ª).

El ciclo de hormigón ha sido el siguiente: El primer día se hormigonaba un anillo. El segundo día se colocaba la ferralla para el anillo siguiente desde el carretón de ferralla y se colocaban pernos "perfo" para colgar la ferralla del tercer anillo, desde el carretón auxiliar. El tercer día se traslada el carretón de encofrado y se encofran las juntas. Y, por último, el cuarto día se hormigonaba el anillo preparado. Es decir, cada anillo dura tres días o dos anillos por semana, aproximadamente 10 m./semana; este era el rendimiento previsto. Estamos de acuerdo que se podía hormigonar mucho más rápidamente, pero repetimos, que el túnel era muy corto y ni convenía concentrar más gente en este tajó pequeño, ni podíamos dejar otros tajos importantísimos sin suministro de hormigón.

Resumen.

Para realizar el hormigonado del túnel, se han previsto los siguientes equipos:

a) Colocación de "pernos": Integrado por dos oficiales de primera y dos peones.

b) Ferralla: Integrado por dos oficiales de primera y seis peones.

c) Encofrado: Integrado por tres oficiales de primera y tres ayudantes.

d) Hormigón: Integrado por seis oficiales de primera y 12 peones.

De estos equipos, el equipo de hormigonar era doble, trabajando en dos turnos, ya que los anillos tenían un volumen real entre 144 y 209 metros cúbicos y aunque la bomba tiene la capacidad de 20 m.³/h., el rendimiento medio bajó, por cambios de tuberías, limpiezas, averías fortuitas y obstrucciones en la tubería. Realmente la media en rendimiento en todo el hormigonado del túnel fue de 15 m.³/h.

En los costos reales se pudo observar que la mano de obra resultó algo más de lo presupuestado, pero estos costos más altos, luego resultaron compensados por una producción mayor que la prevista. El costo del carretón de encofrado en efecto fue, aproximadamente, de 500.000 ptas., y el costo de los tres carretones fue de 750.000 ptas. En esta cifra entra:

Todo el encofrado para la parte cilíndrica del túnel.

Todo el andamiaje para ejecutar el hormigonado, incluido colocación de ferralla.

Montaje de tubería para el hormigón.

Esto nos da un costo por metro cuadrado de 235 ptas., aproximadamente. Del carretón de encofrado es probable que se pueda recuperar algo, aprovechando en otra obra algunas partes del mismo.

En total, los costos reales resultaron 2,36 por 100 más bajos que los costos presupuestados.

La experiencia obtenida con estos métodos que hemos pretendido reflejar lo más exactamente posible en este artículo, esperamos sirva como idea para realizaciones futuras similares; ésta será nuestra mayor satisfacción.