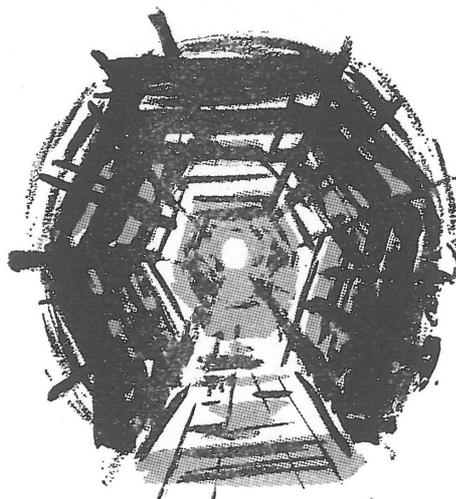


salto de Miranda

revestimiento de galerías

JOSE LUIS VILANOVA BOSCH, ingeniero industrial

532 - 14



sinopsis

En los números 162 y 166 de INFORMES DE LA CONSTRUCCION se han publicado dos artículos sobre las instalaciones y la perforación de galerías del Salto de Miranda.

La preparación, colocación, transporte y tratamiento del hormigón para revestimiento de obras subterráneas exigen instalaciones modernas de altos rendimientos y grado de mecanización; y dado que cada obra presenta características particulares, la elección de la maquinaria auxiliar más idónea para cada caso resulta un problema de especial consideración. Hay que añadir la dificultad que representa el mantener la necesaria regularidad, en grandes longitudes de galería, a través de terrenos de facies variadas, distintas consistencias y frecuentes infiltraciones.

El autor describe la maquinaria auxiliar y las maniobras que componen los distintos ciclos de trabajo en el caso de la galería de derivación del Salto de Miranda—realizada por Hidrocivil—, señalando las ventajas e inconvenientes que se han logrado y tenido que vencer, y aportando datos reales obtenidos en obra.

Hormigonado con encofrado metálico telescópico

1.º Encofrado

Este encofrado está concebido para hormigonar la bóveda y los hastiales en una primera fase y la solera en una segunda fase. Para ello es necesario hormigonar unas aceras o banquetas, tal como aparece en la figura 1. En estas condiciones las operaciones a realizar son las siguientes:

- Ejecución de dos banquetas laterales.
- Hormigonado de la bóveda y de los hastiales.
- Hormigonado de la solera.

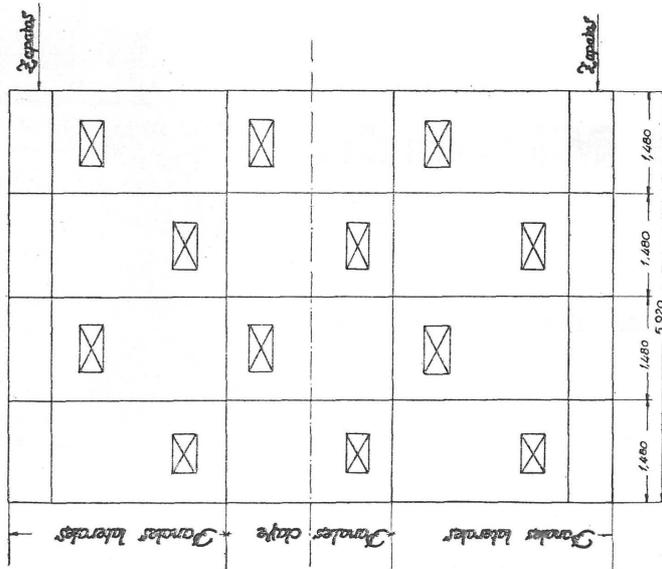
Estos encofrados pueden utilizarse tanto en hormigonado continuo, que es el que nos ocupa, como si se emplea en encofrado frontal entre el metálico y la pared del túnel como en el siguiente apartado *b*).

Cada elemento de 6 m de longitud está compuesto de cuatro paneles de 1,50 m, unidos entre sí mediante tornillos. Los paneles, que van articulados en dos puntos simétricos respecto al túnel, son de chapa curvada según el radio del paramento y convenientemente reforzada longitudinalmente mediante perfiles y transversalmente mediante cerchas de chapa plegada.

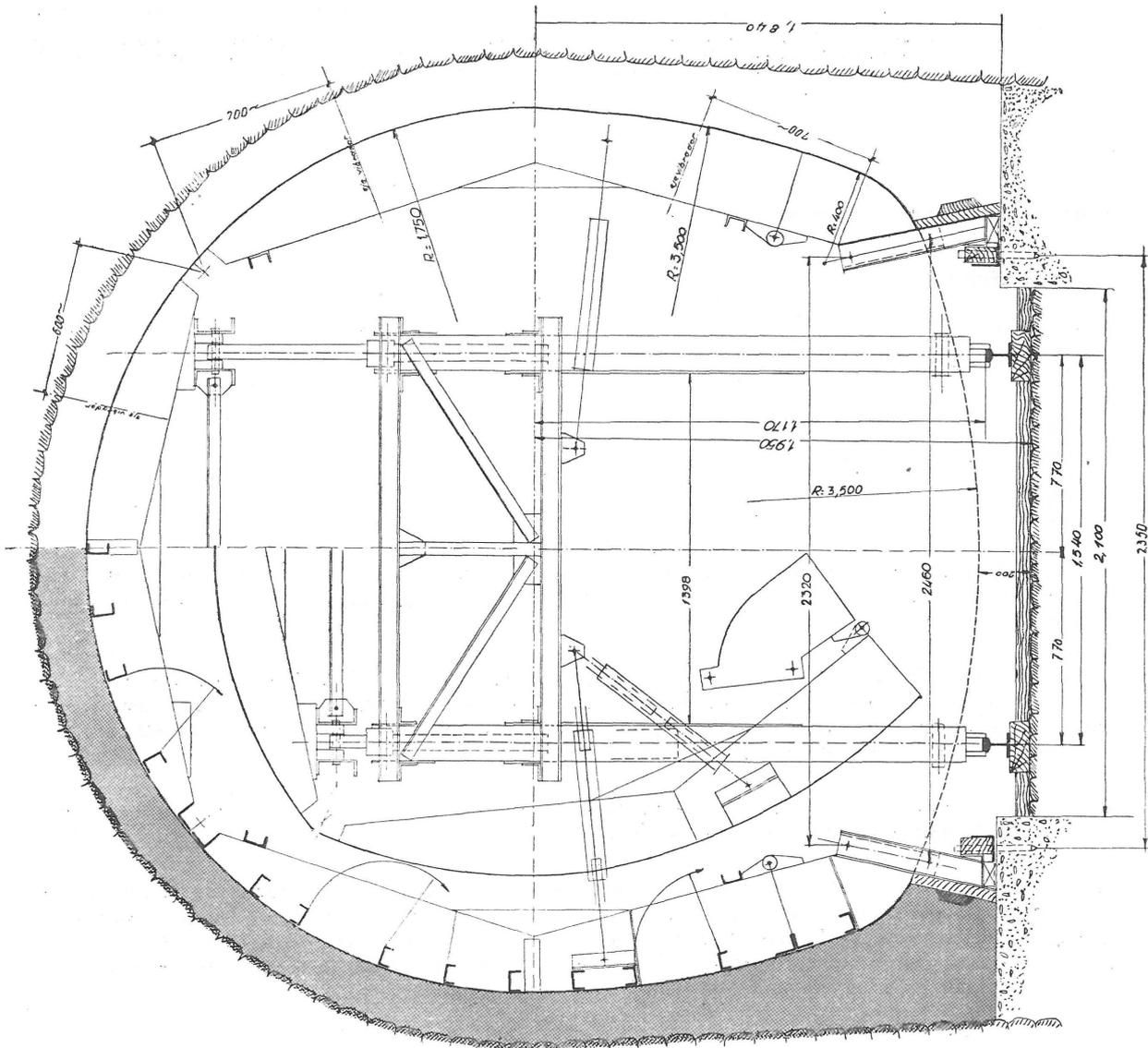
En la parte inferior van situados unos faldones articulados y rebatibles, que permiten dar el suficiente juego para el desplazamiento telescópico de los elementos.

La parte inferior del encofrado descansa sobre las aceras, previamente hormigonadas, mediante zapatas que se fijan en posición con barras metálicas y cuñas de madera. Estas barras metálicas se apoyan en el hormigón de la banqueta y en la roca. A fin de permitir la pervibración y la inspección mientras se está colocando el hormigón, los paneles llevan unas ventanas, a razón de tres por panel. Por consiguiente, para un elemento de 6 m habrá doce ventanas.

Separación de las ventanas



1



La chapa del encofrado es de 4 mm y la de las cerchas de 5 mm. Los elementos de refuerzo longitudinal están constituidos, en su mayoría, por perfiles en U de 80×45 . Las zapatas de apoyo están formadas por perfiles normales en U de 120 y los elementos de alineación son angulares de 100×100 . El peso aproximado de un elemento de 6 m es de 5,5 toneladas.

El carro transportador de elementos está constituido por un bastidor fijo montado sobre cuatro ruedas y terminado en su parte superior por una viga móvil, de desplazamiento vertical, accionada por cuatro gatos hidráulicos que se mueven mediante dos bombas de accionamiento manual. Sus dos pies derechos son de perfil en U de 140, y los largueros de vigas transversales, en U de 100. Los largueros de vigas longitudinales son de angular de 80×80 , y los travesaños de angular de 60×60 . El peso total del bastidor sin incluir las ruedas ni los tensores es aproximadamente de 3 t. Las ruedas van provistas de cojinetes de bolas y tienen un diámetro de 350 milímetros.

2.º Preparación de mezclas y suministro del hormigón al frente

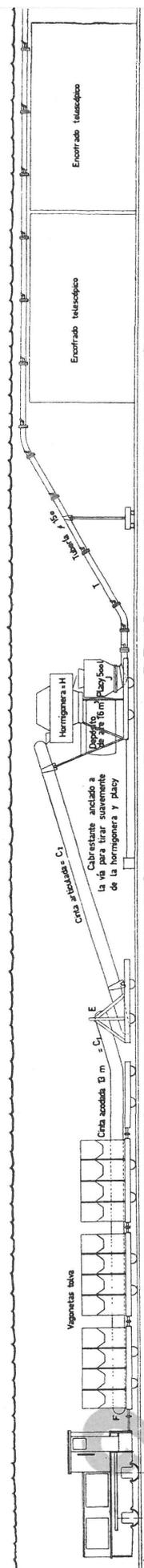
No es necesario advertir que este equipo de hormigonado es especialmente apto para grandes rendimientos y, por lo tanto, para tramos de túnel de longitud apreciable. El recorrido de esta longitud, efectuado por medios de transporte adecuados, ya sea por ferrocarril o neumáticos, produciría irremediabilmente una disgregación del hormigón si entrara en la galería ya preparado. Este es el motivo por el que proyectamos un equipo que humedece la mezcla momentos antes de su puesta en obra, precisamente en el interior del túnel.

Por todo lo cual, en el exterior del túnel sólo se prepara la mezcla en seco. En el plano general de instalaciones publicado en el primer artículo, se puede apreciar uno de los trenes de hormigonado cargando debajo de la hormigonera de la dosificadora. La hormigonera mezcla los áridos con el cemento sin agua y va llenando cada uno de los cuatro compartimientos de que constan las distintas vagonetas. Se dispone en total de tres trenes: uno descargando el hormigón en el frente, otro con su carga llena esperando en el cambio y, por fin, un tercero en el exterior en posición de llenado en la dosificadora. Este último no emprende el viaje al interior del túnel hasta tanto no haya salido al exterior el de reciente vaciado. De esta forma, el suministro es prácticamente continuo, ya que únicamente se paraliza durante los minutos de cambio de tren vacío por el lleno que está en espera.

Un tren consta de tres vagonetas, lo que hace un total de doce compartimientos. Cada compartimiento tiene una capacidad de 420 l de mezcla en seco; por tanto, cada tren lleva al frente su capacidad de $5,04 \text{ m}^3$, que coincide muy aproximadamente con lo que absorbía la media de 1 m de túnel ($5,51 \text{ m}^3$).

3.º Puesta en obra del hormigón

En la figura 2 puede darse perfecta cuenta del proceso de puesta en obra del hormigón. La cinta acodada de 13 m, C_1 , enhebra bajo las tolvas de las vagonetas, apoyándose en el chasis de éstas sobre unos rodillos horizontales (dos por vagoneta). Es decir, el efecto de enhebrar la cinta es totalmente suave, ya que tiene lugar por rodadura. En el sentido transversal, la cinta es guiada por otros rodillos de eje vertical, que entran en función cuando la posición relativa de las tres vagonetas no es coaxial. En tal sentido, y para facilitar la adaptación libre de la citada cinta, C_1 , su extremo superior, E, no está rígido al soporte del carretón de apoyo, S_2 , sino que está colgada por cables de acero a manera de balancín.



Cuando el tren, una vez vaciado, deja libre la cinta, C_1 , entonces ésta quedaría sin apoyo en su extremo, V , circunstancia que se evita mediante el carretón, S_1 , que se desplaza de forma simultánea con el tren hasta llegar a la posición extrema de la cinta. Al enhebrar el siguiente tren, el carretón vuelve a ser desplazado hasta la posición indicada en la figura.

El hormigón es desalojado de las tolvas mediante unas compuertas accionadas a mano. La velocidad de las cintas es considerable, hasta tal punto que el tiempo empleado en vaciar un compartimiento no excedió nunca de 2,5 min. Naturalmente, cada amasado de la hormigonera corresponde al contenido de un compartimiento. La hormigonera, que es de eje vertical y de una capacidad de 750 l, tiene un rendimiento de 60 s por amasado. Ahora bien, debe tenerse en cuenta que este tiempo se solapa con el del llenado por la cinta, hasta tal punto que cuando las cintas dejan de suministrar mezcla seca la hormigonera sólo necesita 20 s más para acabar de amasar de forma perfecta todo su contenido. El vaciado de la hormigonera se efectúa mediante la rotación alrededor del centro de un sector circular del fondo de la hormigonera, de tal forma que, como ésta sigue funcionando, las paletas de arrastre vacían el hormigón directamente al interior del transportador neumático (Placy). Esta operación de vaciado necesitaba una duración de 10 s. Mientras se preparaba el siguiente amasado daba tiempo a efectuar la descarga del Placy. En resumen, pues, el tiempo total invertido era de:

Vaciado de tolva	150 segundos
Complemento de amasado	20 segundos
Vaciado de hormigonera	10 segundos
TOTAL	180 segundos

Es decir, aproximadamente 3 min. Considerando que los tiempos muertos, debidos a cambio de trenes, desplazamiento de cintas, cambio californiano, etc., suponen un minuto por amasada, obtenemos un rendimiento de puesta en obra de 420 l cada 4 min, o sea, 6,3 m³/hr aproximadamente. Al cabo del día suponía, pues, un rendimiento de 150 m³, que traducido a metros de túnel, suponía del orden de 30 m, cifra que fue superada en la práctica ya que se llegó a medias mensuales del orden de 38 m/día.

La lanza, o sea, el extremo más alejado de la tubería, debía, siempre que fuese posible, estar sumergida dentro del hormigón colocado, con lo que se lograba un efecto de «hinchado» del hormigón e impidiendo, de esta forma, la disgregación al caer por los costeros del encofrado. Con esta circunstancia se lograba también el movimiento del aire comprimido no sólo dentro de la tubería, sino principalmente en el transportador neumático.

El depósito, D , adosado en la parte inferior de la hormigonera, tiene como misión regular el consumo de aire comprimido, así como también que en él están localizadas las tomas para los vibradores neumáticos.

4.º Vibrado del hormigón

La pervibración se efectuó mediante vibradores neumáticos a través de las ventanas del encofrado descritas en el apartado 1. La parte superior de la clave se hacía difícil vibrarla con aguja, por lo que se colocaban adosados al encofrado vibradores de superficie también neumáticos de alta frecuencia. Con esto se conseguía, si no un efecto tan óptimo como la vibración con agujas, por lo menos de aceptables condiciones en los 10 primeros centímetros.

Estos vibradores de superficie cumplían otra misión. En efecto, cuando se producía un atasco en la tubería del Placy, las vibraciones se transmitían a dicha tubería y en multitud de ocasiones resolvían favorablemente los atascos.

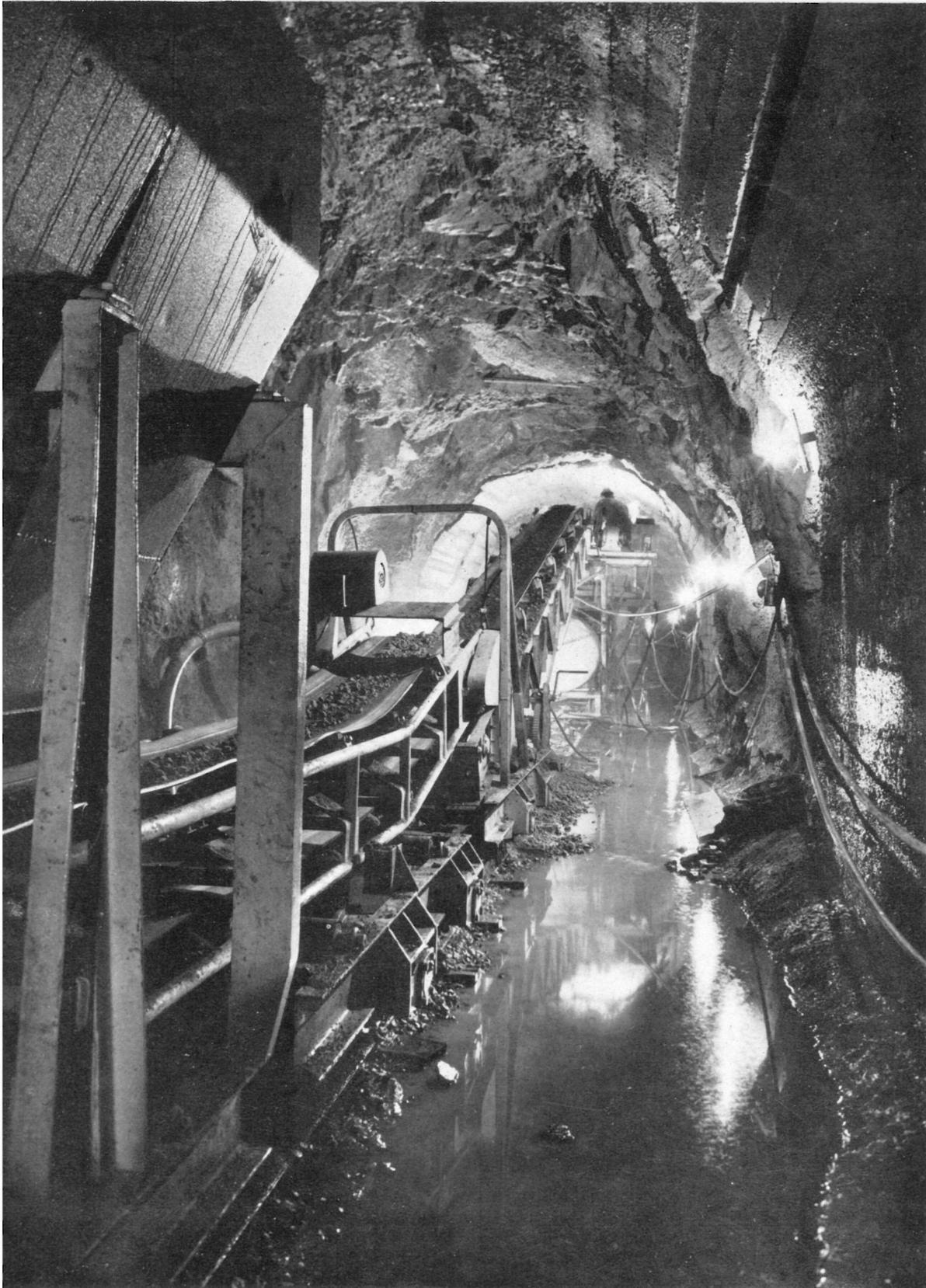
5.º Traslación del encofrado

Sobre esta operación podemos decir que no se presentaron dificultades en cuanto a su velocidad de marcha se refiere. Se trataba únicamente de que el ritmo de encofrado y desencofrado fuese como mínimo a igual compás que la puesta en obra del hormigón, es decir, que el avance del hormigonado. Al principio, como es lógico, por la falta de experiencia, la operación de desencofrado, limpieza, im-



Encofrado
telescopico.

pregnación con desencofrante, nuevo encofrado, etc., se hacía laboriosa, pero muy pronto el personal se identificó de tal manera con todas estas operaciones que superó sobradamente el ritmo del hormigonado. Dicho ritmo, naturalmente, tenía un límite que era el tiempo de fraguado del hormigón. Este tiempo mínimo quedó fijado por la práctica en 12 horas.



Puesta en obra
del hormigón.

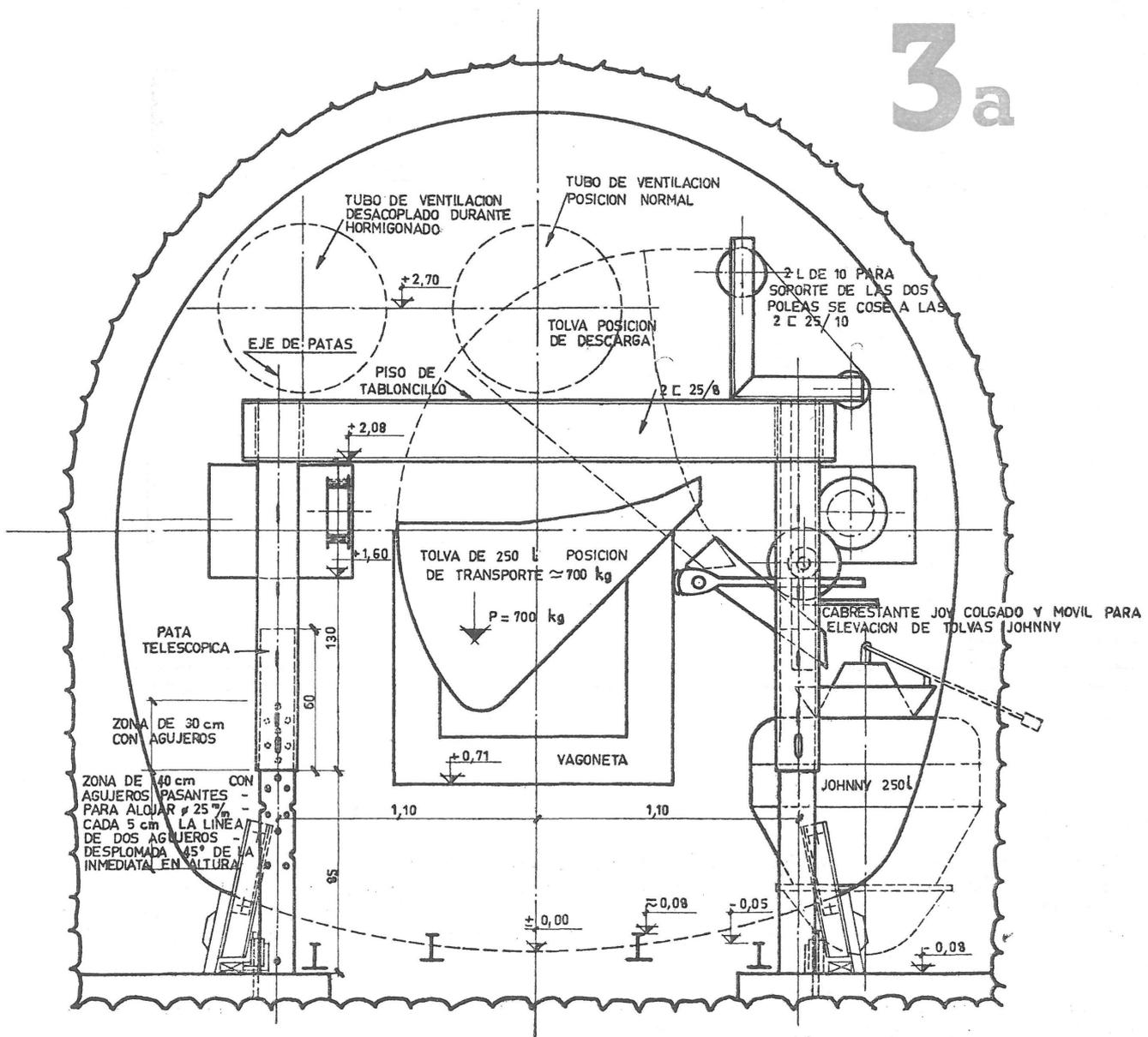
6.º Achique del agua

La existencia de considerables cantidades de agua era uno de los obstáculos de más relieve, no sólo para la obtención de rendimientos normales, sino principalmente hacia la calidad del hormigón.

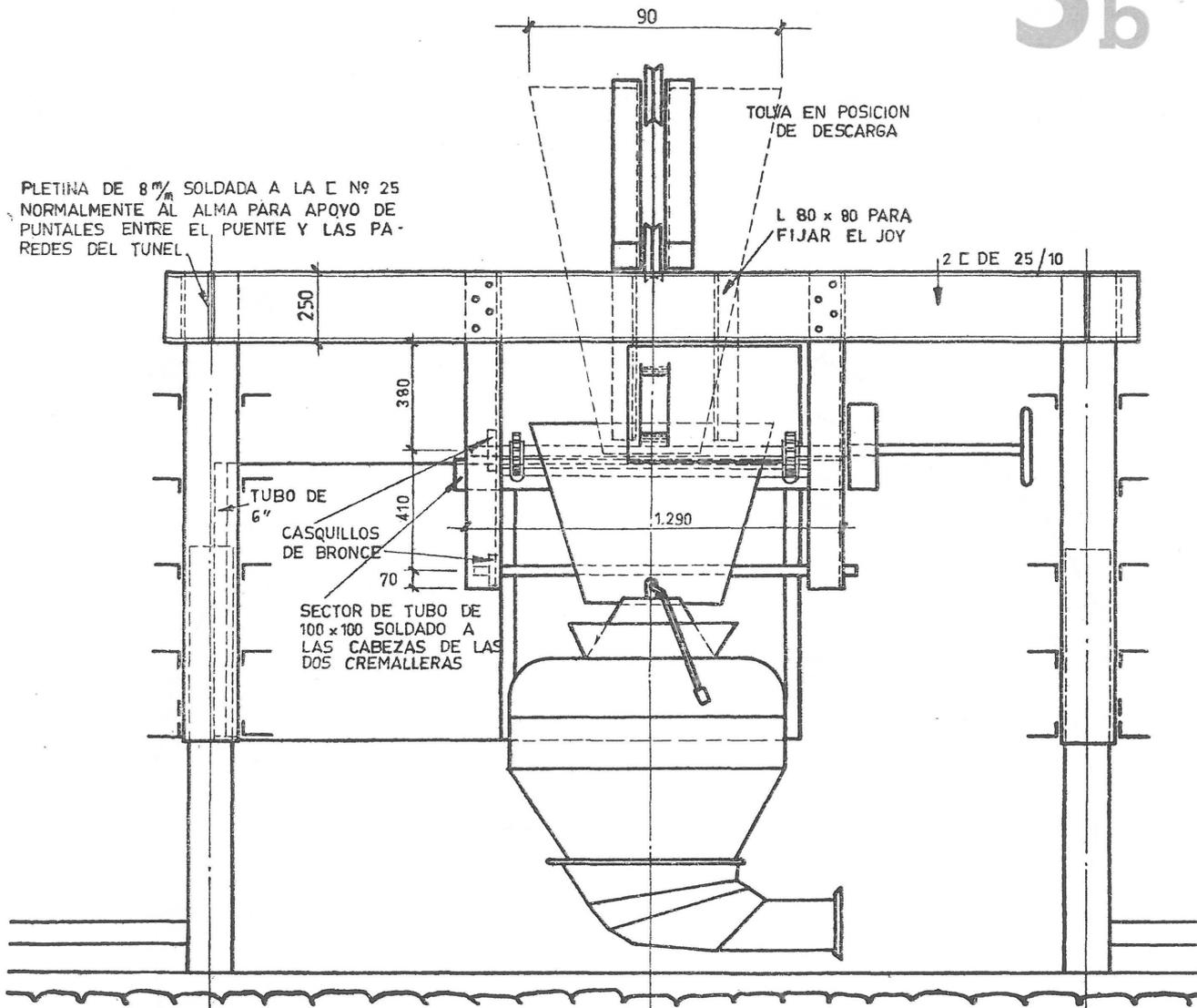
Las venas de agua que irrumpían en el túnel, ya sea por la clave o por los hastiales, debían sufrir con anterioridad al hormigonado una operación de «doma». Efectivamente, un equipo especializado y a unos 500 m del tren de hormigonado iba canalizando con manguera de sección adecuada todas las venas de agua existentes. La manguera se acometía a la boca de vena mediante un mortero muy rico en cemento y con un acelerante muy rápido. Entonces esta manguera era adosada al hastial con mortero para protegerla contra las posteriores operaciones de encofrado, vibrado, etc. De esta manera se conseguía dejar la clave y los hastiales totalmente secos, concentrándose toda el agua en la solera.

Para desalojar el agua de la solera se construía detrás de los encofrados, en la zona ya hormigonada, una presa de alrededor de 1 m de altura para contener todas las aguas pasadas y a la vez bombear a la zona estancada el agua que aflucía en la solera de la zona circunstancial de hormigonado. Cuando el túnel que se estaba hormigonando tenía franca salida por la boca contraria, entonces el procedimiento era expeditivo, ya que la al-

3_a



3_b



tura de la presa obligaba a desalojar sistemáticamente al exterior el agua estancada. Pero también se dio la circunstancia de que en la zona ya hormigonada era preciso realizar trabajos complementarios (solera, inyecciones, etc.). En este caso la zona de embalse era definida y limitada, obligando a que periódicamente (generalmente una semana), y aprovechando un día no laborable, a vaciar la presa con el fin de dejarla totalmente vacía y con capacidad para otro período de llenado.

El bombeo de las aguas se realizaba mediante bombas neumáticas de 15 l/s, complementadas con las de sumidero, también neumáticas, al pie de los encofrados.

Equipo de hormigonado simultáneo con la perforación

Esta circunstancia nació, como ya dijimos anteriormente, de las condiciones geológicas del terreno, que exigían un revestimiento inmediato de hormigón para evitar la posibilidad de mayores desprendimientos, atentando contra la seguridad del personal. Por otra parte, con ello se conseguía recuperar algo del plazo perdido debido a la obligada lentitud de la excavación, como consecuencia de las condiciones geológicas que acabamos de mencionar.

Para este hormigonado simultáneo se presentaban dos obstáculos que dificultaban las operaciones: el primero consistía en la presencia de la tubería de ventilación que obstruía el encofrado y desencofrado, y el segundo obstáculo era debido a las interferencias en los transportes correspondientes a la perforación. En la figura 3 se pueden ver las disposiciones adoptadas para la puesta en obra del hormigón. Efectivamente, la maquinaria auxiliar proyectada deja libre el gálibo que el paso de trenes exige, incluso del carretón de perforación y de la pala Eimco-21, no así de la Eimco-40; pero ello no era obstáculo, ya que esta última pala era impropio usarla en un avance lento y lleno de dificultades.

Se emplearon cuatro encofrados telescópicos de 3 m cada uno; en total, 12 m, que se llenaban sucesivamente. Se desencofraba, transportaba y encofraba nuevamente cada uno de los elementos de 3 m, pero siguiendo su orden correlativo en el sentido de su inicial disposición. Ello se explica por el hecho ya mencionado de que la dimensión del carro (con el fin de mantener el gálibo deseado) no permitía efectuar las operaciones de encofrar y desencofrar.

La hormigonera debe tener una posición avanzada con respecto a los encofrados. Para el transporte del hormigón húmedo se proyectaron unos recipientes en forma de pico de pato. Estos recipientes, montados dos a dos sobre un eje de dos ruedas se transportaban en un tren de 10 unidades, de un par de recipientes cada una, es decir, con una capacidad de 5 m³ de hormigón por tren de 20 recipientes. A medida que se vaciaban los recipientes, el tren aproximaba los demás.

El rendimiento medio fue de 5 m de túnel por día, siendo el avance de la perforación en el frente de 2,5 m/día.

Hormigonado de la solera

El hormigonado de la solera tuvo una realización bastante sencilla, por lo menos desde el punto de vista de planteamiento.

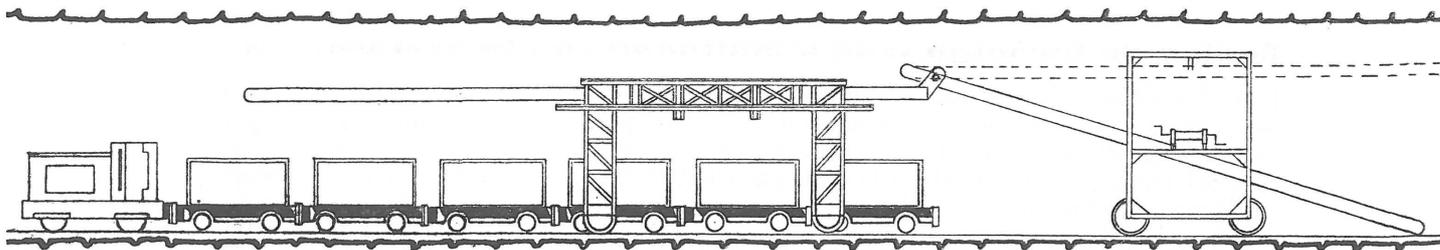
Debido a lo reducido de la anchura del túnel, especialmente en nuestra circunstancia de estar ya hormigonados los hastiales, era lógico que en principio pudiera ofrecer dificultades la excavación y limpieza de la solera, en cuanto a su buen rendimiento se refiere. Efectivamente, aparte de que la carga a mano sobre vagoneta iba a resultar de por sí laboriosa, se daba el caso de que solamente era factible cargar una sola vagoneta, la primera más cercana al frente. Sin necesidad de describir las pesadas maniobras a que ello obligaba, se ideó un procedimiento sencillo para cargar velozmente. Ello consistía en un pórtico con dos cintas que, de forma regular, iba cargando sucesivamente las seis vagonetas a que daba lugar la instalación. El croquis de la figura 4 da una idea de ello.

En la segunda fase de trabajo, es decir, para el hormigonado, la cinta inclinada tomaba posición horizontal con el fin de dar libre paso por debajo del pórtico a las vagonetas cargadas de hormigón. Dichas vagonetas se deslizaban por unos tramos de vía circunstanciales que se apoyaban sobre la parte de banqueta aún descubierta. Dichos tramos de vía, muy manejables, se iban desmontando a medida que el hormigón avanzaba hacia el exterior.

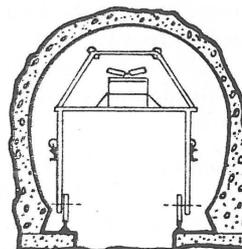
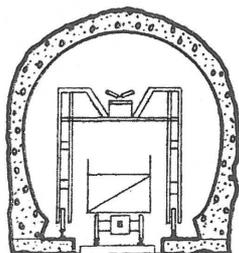
En general, se preparaba para una jornada de trabajo un tramo a excavar de túnel de 40 a 45 m, y las fases de trabajo eran las siguientes:

Excavación bruta	8 horas
Limpieza	7 horas
Puesta en obra del hormigón	7 horas
TOTAL	22 horas

Se trabajaba en dos turnos de 11 hr y el rendimiento medio general fue, como ya dijimos, entre 40 y 45 m por jornada de trabajo.



4



Medias generales de hormigón real en las distintas fases de hormigonado

En el cuadro siguiente se detallan las cantidades reales de hormigón por metro de túnel en relación con la cubicación teórica.

DENOMINACION	Hormigón teórico en m ³ por m de túnel	Hormigón real en m ³ por m de túnel	Coefficiente
Hormigón en banquetas	0,432	0,972	2,25
Hormigón en bóveda y hastiales ...	2,027	5,494	2,71
Hormigón en solera	0,770	0,993	1,29
Hormigón total	3,229	7,459	2,31

Cuadro resumen del consumo de recambios para maquinaria.

MAQUINARIA	Gasto por m ³ de árido fabricado	Gasto por m ³ de hormigón fabricado	Gasto por m de túnel
	Pesetas	Pesetas	Pesetas
Grupo triturador	1,70	1,36	11,65
Criba vibrante	1,76	1,41	12,00
Molinos de arena	41,80	16,70	142,95
Cintas transportadoras	4,00	4,80	27,40
Dosificadora	—	0,38	3,25
Locomotoras 30/70	—	9,15	79,20
Locomotoras 28/33	—	11,40	97,50
Compresores	—	2,15	18,50
Vagonetas	—	0,70	6,05
Varios	—	4,60	37,25
Total	49,26	52,65	435,75

Barrage de Miranda (bétonnage)

José Luis Vilanova Bosch, ingénieur industriel.

Dans les numéros 162 et 166 de cette revue ont été publiés deux articles au sujet des installations et la perforation de galeries du barrage de Miranda.

La préparation, la mise en place, le transport et le traitement du béton pour le revêtement des travaux souterrains exigent des installations modernes de grand rendement et d'un haut degré de mécanisation. Chaque ouvrage présentant des caractéristiques particulières, le choix de l'équipement mécanique auxiliaire le plus apte pour chaque cas pose un problème spécial. A cela il faut ajouter la difficulté que représente la nécessité d'assurer une régularité constante en de grandes longueurs de galerie, à travers des terrains de faciès variés, de consistances différentes et de fréquentes infiltrations.

L'auteur décrit l'équipement mécanique auxiliaire et les manoeuvres qui composent les différents cycles de travail pour le cas de la galerie de déviation du Barrage de Miranda—réalisé par Hidrocivil, S. A.—, et signale les avantages obtenus, les inconvénients qui ont été surmontés, ainsi que l'apport de données réelles, obtenues en chantier.

Miranda Hydraulic Project (Concreting)

José Luis Vilanova Bosch, industrial engineer.

Issues 162 and 166 of «Informes de la Construcción» contain two articles on the installations and drilling of galleries of the Salto de Miranda hydraulic project.

To prepare, transport, place and treat the facing concrete in underground work, it is necessary to make use of highly efficient and mechanized equipment. As each project has special features, the choice of auxiliary machinery, most suited to the circumstances, involves a problem of considerable importance. To this must added the need to keep up a steady rate of work in very long galleries, within rock of varying quality, consistency and subject to frequent infiltrations.

The article describes the equipment and operations that make up the various working cycles of the construction of the bypass gallery at the Miranda Power Plant. The work was done by Hidrocivil, S. A. The advantages of the methods adopted, and the difficulties that had to be overcome, as well as many particular features, are also mentioned.

Die Staustufe von Miranda

José Luis Vilanova Bosch, Ingenieur.

In den Nummern 162 und 166 der Zeitschrift «Informes de la Construcción» wurden bereits zwei Artikel über die Bohrungs- und Bauarbeiten des Stollen der Staustufe von Miranda veröffentlicht.

Das Anmachen, Einbringen, der Transport und die Behandlung des Betons als Verkleidung von Unterwasserbauten erfordert moderne Installationen von hohem Mechanisierungs- und Leistungsgrad. Und da jeder Bau besondere Charakteristiken aufweist, ist die Wahl des geeigneten Hilfsmaterials ein Problem von besonderer Bedeutung.

Hinzu kommt noch die Schwierigkeit, eine gewisse Regelmässigkeit bei der Bohrung besonders langer Stollen einzuhalten, die durch verschiedene Bodenschichten und Bodenbeschaffenheiten hindurchgehen und Filtrationen aufweisen.

Der Verfasser dieses Artikels beschreibt die maschinellen Hilfsmittel und die Handgriffe, die bei den verschiedenen Arbeitsgängen zum Bau eines Umleitungsstollens notwendig sind, wie es die Staustufe von Miranda ist (Baufirma: Hidrocivil, S. A.). Dabei werden die Vorteile besonders hervorgehoben, die während des Baus zu überwindenden Schwierigkeiten erwähnt und Angaben über praktische Zahlen gemacht, die man während der Arbeiten erhalten hat.