

INYECCIONES DE CEMENTO EN TUNELES

Por MANUEL VIDAL PARDAL, Ingeniero de Caminos.

Nos da cuenta el autor, en este artículo, de un interesante trabajo, dirigido por él, de consolidación del revestimiento de un túnel por medio de inyecciones de cemento.

Cuando, terminada la carrera de Ingeniero, consiguiese uno el primer destino, enfrentándose con la realidad, ¡qué de preocupaciones, qué de noches en vela, pensando en si nos acordaremos de resolver los numerosos problemas ingenieriles con los cuales uno cree ha de tropezarse, inesperada e inevitablemente, en cada trabajo que nos encarguen nuestros jefes! Es entonces cuando sentimos no haber estado más atentos a lo que en esos momentos nos parece haber sido únicamente una especie de proyección cinematográfica donde desfilaran esos miles de problemas técnicos que, en unión de sus soluciones; nos mostraron los profesores de la Escuela durante los años estudiantiles.

Suele, sin embargo, bien pronto desilusionarse el principiante cuando percibe que las dificultades y problemas que en la primera época absorben su atención son de otra índole. Por ejemplo: el que uno de los auxiliares tenga frenillo en la lengua y no se le entienda bien lo que cuenta de lo sucedido en la obra, sin atreverse el joven ingeniero a pedir aclaraciones por si creen que lo que no entiende es el léxico empleado en designar esta o aquella herramienta, o aquella o esotra parte de la construcción; que uno de nuestros subordinados, abusando del candor de una bella comarcana, haya decidido aumentar el censo de la población, y que, para colmo de desdichas, ese aumento lo haya sido en forma de mellizos; aquel otro funcionario al que hay que repasarle incluso las sumas que hace, porque se equivoca siempre, y del cual no se puede prescindir porque es recomendado del jefe...

Es solamente después de algún tiempo, en que la práctica nos ha ido enseñando a resolver esos pequeños grandes problemas, cuando pasan a ocupar su puesto preeminente las dificultades y trabajos ingenieriles propiamente dichos.

Continuando con la enumeración de algunos de ellos, iniciada ya en anteriores artículos (REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS de agosto y diciembre de 1944), vamos a tratar en éste de las inyecciones de cemento.

De todos los terrenos geológicos atravesados por los canales del Taibilla, han sido el triásico, con sus yesos, y el eoceno, con sus margas y margocalizas finamente estratificadas, los que han presentado problemas de más delicada resolución.

Respecto a la solución adoptada en terreno yesoso, ya nos ocupamos en uno de los artículos anteriormente citados. En el presente nos proponemos hablar de los túneles que se han perforado en el segundo de dichos terrenos.

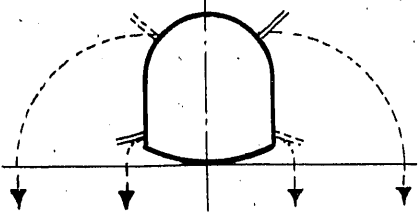
Pertenecen estos túneles a uno de los primeros trozos en que se trabajó en época anterior al año 1939, y si bien durante su perforación no fué preciso hacer entibación en casi ningún sitio, posteriormente, y antes de que el agua circulase por el interior del canal, su revestimiento de hormigón se ha agrietado en la mayor parte de su longitud, según unas líneas horizontales que generalmente aparecen a la altura de hombros, a uno y otro lado de la bóveda.

Tratándose, en general, de terreno seco, no cabe dar la explicación de que la hinchazón de las margas, más o menos arcillosas, ha producido el empuje y con él el quebrantamiento del revestimiento; parece, por el contrario, más bien que la desecación por evaporación de las margas y arcillas, cambiando sus primitivas propiedades, ha provocado un fuerte agrietamiento en el seno del terreno, dando origen a huecos y vacíos, disminuyendo su buen comportamiento en cuanto a estabilidad. De no haber existido modificación en la constitución del terreno, los empujes se hubiesen manifestado en el momento de la perforación, cosa que, como hemos dicho, sólo ocurrió en contados casos y en presencia de grietas por donde corrientes de agua, más o menos selenitosas, pero de escaso caudal, habían producido un empapamiento y, en algunos casos, fuerte oxidación, acusada por el color amarillento, que contrasta con el azulado característico de estas margas eocenas.

Planteado así el problema, y ante la gran longitud de revestimiento que se presentaba en estas condiciones (unos dos kilómetros, es decir, el 1 por

Legenda

Comunicaciones	
⊕	Calapto sin absorción de cemento
⊕	" absorbiendo de 0 a 0,500 T de cemento
⊕	" " de 0,500 a 1,000 T " "
⊕	" " de 1,000 a 3,000 T " "
⊕	" " mas de 3,000 T " "
⊕	" taponado de cemento procedente de otro taladro
⊕	" reforzado para control
⊕	" suplementario de control

Inyec. de cemento				derecha (+)	izquierda (-)	Inyec. de cemento			
Fechas	Presión Kg/cm ²	Toneladas de cemento inyect.	Números			Fechas	Presión Kg/cm ²	Toneladas de cemento inyect.	Números
14-15-IV	5	1.300	27B			23 A	2.800	5	9-10-IV
13-IV	4	0.550	24 A	●	●	28 B	1.200	3	14-15-IV
19-IV	5	0.050	29 B	●	●	25 A	0.600	4	13-IV
14-IV	5	0.200	26 A	●	●	30 B	0.050	5	19-IV
20-IV	5	0.050	31 B	●	●	27 A	0.300	4	14-IV
14-16-IV	4	1.800	28 A	●	●	32 B	0.000	4	26-IV
26-IV	3	0.650	33 B	●	●	29 A	2.300	3	17-IV
19-IV	3	1.650	30 A	●	●	34 B	0.100	5	26-IV
26-IV	5	0.050	35 B	●	●	31 A	0.700	4	20-IV
20-2-IV	4	1.550	32 A	●	●	36 B	0.050	5	26-IV
26-IV	3	0.050	37 B	●	●	33 A	0.500	4	26-IV
26-IV	3	0.500	34 A	●	●	38 B	0.800	3	26-28-IV
28-IV	3	0.300	39 B	●	●	35 A	0.600	3	27-IV
27-IV	3	0.850	36 A	●	●	40 B	0.350	3	28-IV
28-IV	3	0.300	41 B	●	●	37 A	0.450	4	29-IV
29-IV	4	0.550	38 A	●	●	42 B	0.100	4	29-IV

100 de la longitud total), convenía estudiar una solución que, aunque no tan definitiva como la de derribar el revestimiento existente y reconstruirlo con mayores espesores, ofreciese, dentro de ciertas garantías, una mayor economía y mayor rapidez de ejecución, eliminando al mismo tiempo la posibilidad de algún hundimiento.

Se estudió entonces y se adoptó la solución de practicar inyecciones entre revestimiento y terreno para rellenar los huecos y vacíos producidos por el agrietamiento, o los ya existentes al hacer la bóveda del revestimiento, en los lugares en que, por deficien-

cia en su construcción o por haberlos rellenado desde un principio.

Se pensó primeramente emplear inyecciones de arcilla, pero hubieron de desecharse y emplear inyecciones de cemento, por ofrecer éstas más ventajas

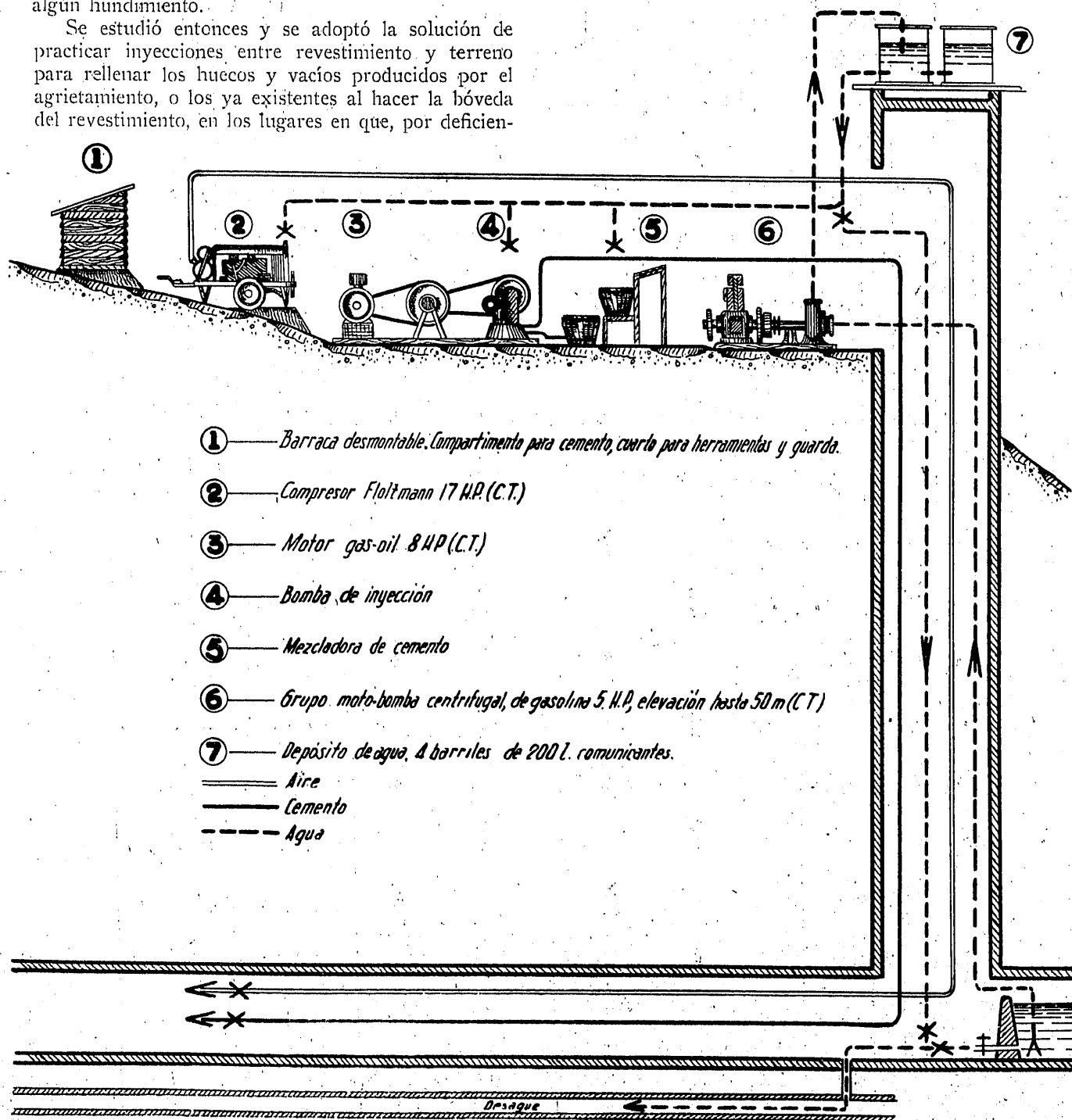


Figura 1.ª

en cuanto a impermeabilización se refiere y, sobre todo, por producir una mejor soldadura entre terreno y revestimiento.

Se encargaron a "Cimentaciones Especiales, S. A., Procedimientos Rodio", quien las ha ejecutado, mediante taladros, en la disposición que puede verse en la figura 2.^a, y separados entre sí, los de cada lado, unos ocho metros.

La lechada se formaba con 20 ó 25 litros de agua por 50 Kg. de cemento y se inyectaba a una presión máxima de 6 Kg./cm.².

No se permitía que quedasen dos taladros seguidos sin inyectar o probar. La prueba de aquellos taladros, que se colmataban con la inyección practicada en otros próximos, se hacía con agua y con presión de 1,5 Kg./cm.², a la profundidad de 30 cm. Si el caudal admitido sobrepasaba un litro por minuto, se inyectaba la lechada en la forma corriente.

Un esquema de la instalación puede verse en la figura 1.^a, y en la figura 3.^a puede verse la inyectora en el interior del túnel.

El pago de las inyecciones se hacía por metro lineal de túnel inyectado, mediante una fórmula de-

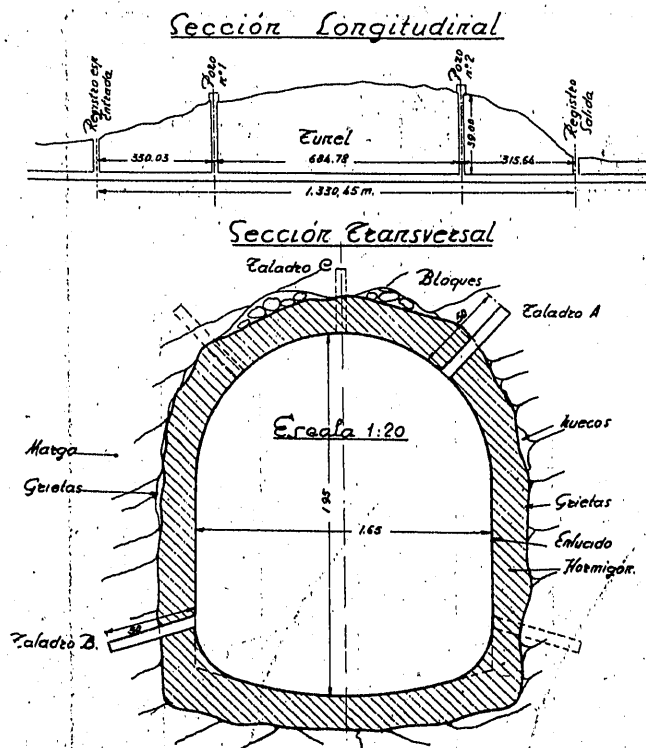


Figura 2.^a

ducida de la observación de que el cemento gastado es proporcional aproximadamente al número de horas que dura la inyección, y de que, a su vez, una parte de la mano de obra y otra del material de consumo son proporcionales a las horas y, dentro del

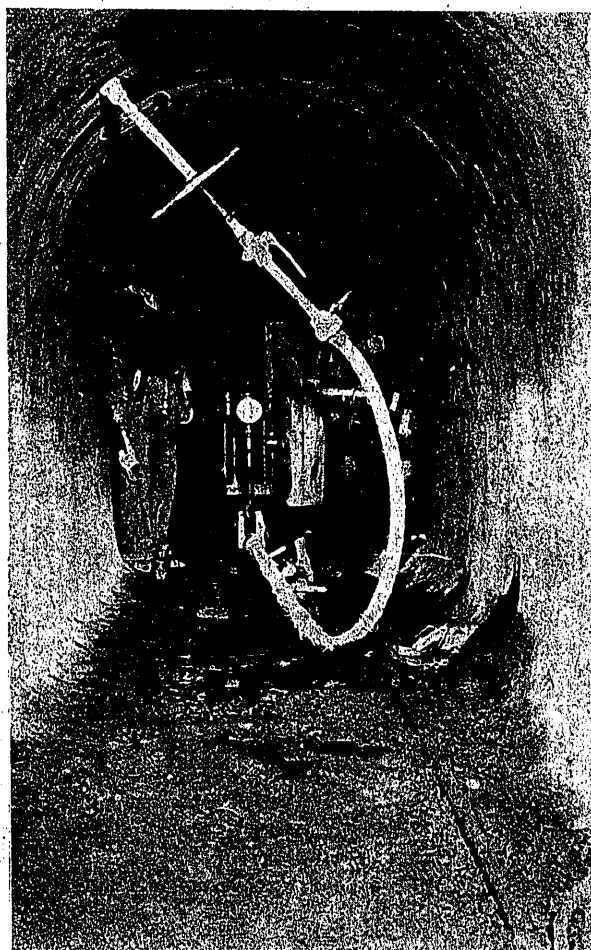


Figura 3.^a

grado de aproximación requerido, a la cantidad de cemento, resultando una expresión de la forma:

$$P = K_1 \cdot C + K_2;$$

siendo P el precio por metro de túnel inyectado, y C , el cemento inyectado por metro; K_1 , el coeficiente de gastos de inyección por tonelada, y K_2 , el coeficiente de gastos fijos por metro.

A pesar de haber resultado una solución cara — el metro lineal de túnel totalmente inyectado ha salido a 257 pesetas —, es menos de la mitad de lo que hubiese costado el derribar el actual revestimiento y reconstruirlo con más espesores, y en cuanto a la eficacia conseguida en el resultado, es satisfactoria, puesto que hasta la fecha no han vuelto a manifestarse nuevas grietas y el canal está probado con agua en su interior a la carga de régimen normal. No obstante, será éste un trozo donde convendrá, durante la explotación, mantener los enlucidos en perfecto estado, observándolos y repasándolos cuidadosamente con gran frecuencia.