

Trabajos llevados a cabo en la estación Giorgeta del Suburbano de Valencia

F. Muzás Labad

Dr. Ingeniero de Caminos. EYSER, Estudios y Servicios, S. A.

F. Martín González

Ingeniero de Caminos. Ministerio de Transportes, Turismo y Comunicaciones

RESUMEN: El Suburbano de Valencia se proyectó como túnel artificial excavado al abrigo de pantallas continuas. Las características del terreno en la zona de la Estación Giorgeta unido al descenso de la rasante para salvar la presencia de un colector, plantearon serios problemas de ejecución que obligaron a paralizar la obra y a aplicar técnicas especiales de tratamiento del terreno como la congelación, el jet-grouting y las inyecciones químicas para poder inaugurar la obra en el plazo previsto

1. INTRODUCCION

El Suburbano de Valencia fue proyectado deprimiendo la rasante de los Ferrocarriles Valencianos y construyendo un túnel artificial excavado al abrigo de pantallas continuas de hormigón armado, capaces de contener los empujes del terreno y del agua subterránea.

Las pantallas tenían, en principio, profundidad suficiente para permitir la excavación del túnel sin problemas especiales a pesar de tener que excavar bajo el nivel freático.

Al proyectar la Estación Giorgeta fue preciso salvar la presencia de un importante colector existente en la zona, obligando a deprimir más la rasante del Suburbano. Esta necesidad, unida a las condiciones locales del terreno en la zona, dió lugar en su día a graves problemas de rotura del suelo en el fondo de excavación y entrada de agua que obligaron a paralizar las obras y buscar soluciones adecuadas.

En la presente comunicación se resumen los distintos trabajos llevados a cabo para terminar la obra que felizmente fue inaugurada en el mes de octubre de 1988.

2. CARACTERISTICAS DE LA OBRA

La zona objeto de los trabajos corresponde a la Estación Giorgeta de 96 m. de longitud y un trozo de túnel contiguo de casi 59 m. de longitud, cuya disposición en planta queda recogida en la Figura 1, en la que la parte más

ancha corresponde a la zona de accesos a la estación. En esta figura se puede observar el perfil geológico longitudinal de la zona. Los distintos recintos diferenciados en la figura corresponden a las zonas de trabajo en que finalmente se efectuó la obra.

En la Figura 2 se recogen unas secciones transversales del túnel y de la estación.

El túnel se proyectó con 2 pantallas de hormigón armado de 0,80 m de espesor y unos 17,5 m de profundidad, separadas 7,5 m, con bóveda y contrabóveda circulares de hormigón en masa. La zona de estación se proyectó análogamente con 2 pantallas de 0,80 m de espesor y unos 19,0 m de profundidad, separadas 14,5 m, con losa plana a nivel de calle, una fila de puntales de hormigón armado y contrabóveda de hormigón en masa.

La superficie del terreno a nivel de calle se encontraba alrededor de la cota 14,50 m, debiendo excavar hasta la cota -0,50 m aproximadamente para acceder al punto más bajo de la contrabóveda.

Geológicamente el terreno estaba compuesto esquemáticamente de los siguientes niveles:

1. Relleno de 2 a 3 m de espesor
2. 1^{er} nivel permeable constituido por grava gravilla y arena de 4 a 5 m de espesor. El nivel freático se sitúa a la cota +5,00 m ligeramente por debajo de la base de esta capa.

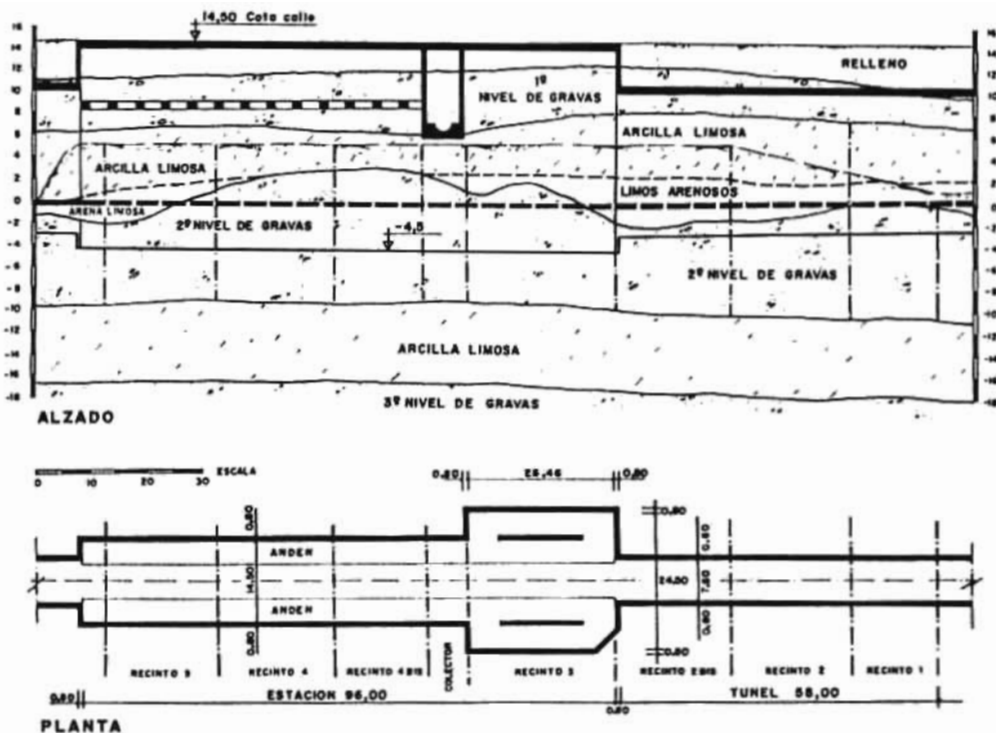


Figura 1. Planta y perfil longitudinal de la Estación Giorgeta y del túnel contiguo

3. Nivel arcilloso o arcillo-limoso con lentejones más limosos e incluso arenosos. Espesor comprendido entre 4 y 8 metros.

4. 2º nivel permeable constituido por grava gravilla y arena con un techo irregular situado entre cotas +2,00 y -2,00 m y un muro en general a la cota -10,0 m pero con oscilaciones entre cotas -9,00 y -10,50 m.

5. Nivel arcilloso o limo arcilloso de unos 7,0 m de espesor a partir de la cota -10,0 m aproximadamente y reconocido únicamente en uno de los sondeos efectuados en la zona, situado en el recinto 5.

6. 3º nivel permeable de grava gravilla y arena a partir de la cota -17,00 m y de espesor no reconocido.

En general la excavación necesaria para construir la contrabóveda del túnel afectó al 1º nivel permeable penetrando ligeramente en la capa arcillosa subyacente. Como se ha indicado anteriormente la necesidad de salvar la presencia del colector existente en la zona

obligó a deprimir más la rasante del suburbano coincidiendo esta circunstancia, según se constató posteriormente al hacer la obra, con una subida errática del techo correspondiente al 2º nivel permeable de gravas. La capa de arcilla subyacente quedaba en esta zona con

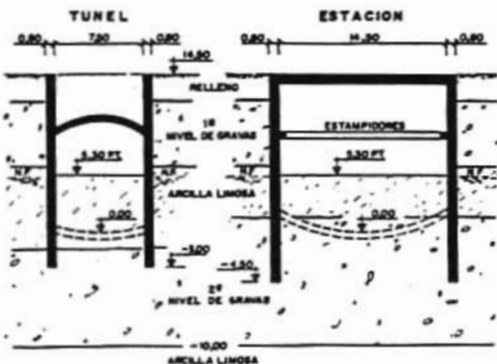


Figura 2. Secciones transversales del túnel y de la Estación

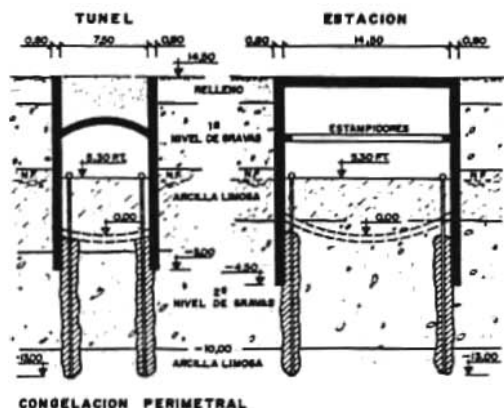


Figura 3. Disposición de los muros perimetrales de suelo congelado

espesor insuficiente para resistir por gravedad la subpresión, produciéndose la rotura del terreno en el fondo y una entrada de agua que obligó a paralizar la obra y buscar soluciones adecuadas. La obra quedó como se refleja en las Figuras anteriores con una plataforma de trabajo situada a la cota 5,30 m coincidente aproximadamente con el nivel freático.

3. TECNICAS APLICADAS EN EL PROCESO CONSTRUCTIVO

Vista la inviabilidad del proceso constructivo seguido hasta entonces, por insuficiente espesor del tapón arcilloso de fondo bajo la contrabóveda, tras un intento de inyecciones de cemento sin éxito, se analizaron diversas alternativas de actuación a finales de 1986 y primer trimestre de 1987, optándose finalmente por aplicar la técnica de la congelación del terreno para prolongar las pantallas de hormigón, según se indica en la Figura 3, mediante muros de suelo congelado, al objeto de cerrar provisionalmente el segundo nivel de gravas empotrándose debidamente en la capa arcillosa subyacente. Con esta solución se pretendía no alterar de manera definitiva el régimen hidrogeológico del acuífero.

Inicialmente, la congelación se planteó con técnica tradicional utilizando grupos frigoríficos y salmuera y disponiendo una fila de sondas con separación igual a 0,70 m. Se previeron sondas de 18 m a realizar desde la plataforma interior a cota +5,3 m, con una longitud activa de 13 m y el resto aislado y empotrándose 3,0 m en la arcilla de fondo.

Ya desde el principio se tuvo duda respecto a la viabilidad de la congelación con salmuera debido a la circulación del agua y a la posible existencia de zonas erráticas de grava más permeable como consecuencia de la abundancia de pozos de extracción de agua en la ciudad de Valencia. Asimismo se manifestaron reservas respecto a la impermeabilidad de la arcilla limosa de fondo bien en el empotramiento del muro congelado o en toda su masa pues cabía pensar en que se podían producir erosiones internas si el material granular de la capa de gravas no reunía la condición de filtro.

Los trabajos de congelación se iniciaron a finales de agosto de 1987 en el recinto 3, correspondiente al hall de entrada a la estación con dimensiones de 26 x 25 m aproximadamente. Se emplearon 2 grupos frigoríficos de 183.000 kcalorías/hora cada uno para un total de 2.275 m de sondas activas instaladas. A finales de 1987 en vista de la lentitud del proceso achacable indudablemente a falta de potencia frigorífica para este caso, se decidió cambiar la técnica de congelación sustituyendo los equipos y la salmuera por el empleo de nitrógeno líquido. Fue preciso instalar nuevas sondas de congelación adecuadas al nuevo fluido refrigerante que se suministra a -196°C y se evacua a la atmósfera a -80°C a diferencia de la salmuera que circulaba entre -24°C y -18°C .

La zona total a tratar, de casi 155 m de longitud se subdividió en 8 recintos de trabajo, tal como se indica en la Figura 1, que se harían independientes mediante la construcción de muros transversales de suelo congelado. El plan de obra se modificó en el sentido de acometer la ejecución de la contrabóveda por los dos frentes de la zona en cuestión y progresando hacia el centro de la misma.

Las primeras pruebas de excavación indicaron que existían dificultades para conseguir la estanquidad de los recintos, debido a las características y espesor de los limos arcillosos existentes bajo el segundo nivel de gravas. Todo ello obligó a reconsiderar y modificar el plan de trabajo previsto y a plantear la conveniencia de aplicar conjuntamente otras técnicas alternativas de tratamiento del terreno que permitieran concluir la obra en el plazo deseado. Estas técnicas fueron el jet-grouting y la inyección de productos químicos, para crear tapones de fondo resistentes e impermeables mediante mezcla del terreno con lechada de cemento que se introduce por toberas de pequeño diámetro pero a gran velocidad (jet-grouting), o mediante el relleno de huecos con lechada de cemento y productos químicos. Como producto químico de inyección se pensó en el silicato sódico introducido en el terreno a

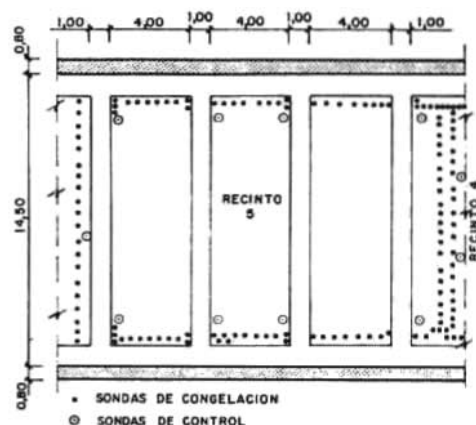


Figura 4. Planta con situación de sondas en el Recinto 5 de la Estación

través de tubos previamente instalados en el terreno y dotados de válvulas anti-retorno, tratamiento que iría precedido de una inyección previa de lechada de cemento para rellenar los huecos mayores.

Dada la urgencia en la terminación de la obra, a primeros de mayo de 1988, se efectuó una nueva programación de los trabajos aplicando conjuntamente estas técnicas en distintas zonas de la obra, y con el objetivo fundamental de garantizar la terminación de la obra en el plazo previsto. La obra, de acuerdo con este plan, se ha llevado a cabo aplicando los siguientes métodos:

1. Congelación perimetral profunda del recinto (Figuras 3 y 4)
2. Congelación perimetral profunda del recinto más tapón de fondo de suelo congelado bajo la contrabóveda, creado progresivamente por bataches al avance (Figura 5)
3. Congelación perimetral profunda del recinto más tapón de fondo bajo contrabóveda, creado previamente mediante tratamiento del terreno con jet-grouting
4. Congelación perimetral profunda del recinto más tapón de fondo bajo la contrabóveda, creado previamente mediante inyección de cemento y de silicato sódico+cloruro cálcico (silcaesol).

En la Figura 4 puede verse una disposición de sondas en la zona de la estación en la que los estampidores de hormigón armado situados sobre la plataforma de trabajo plantearon una complicación adicional y obligaron a colocar

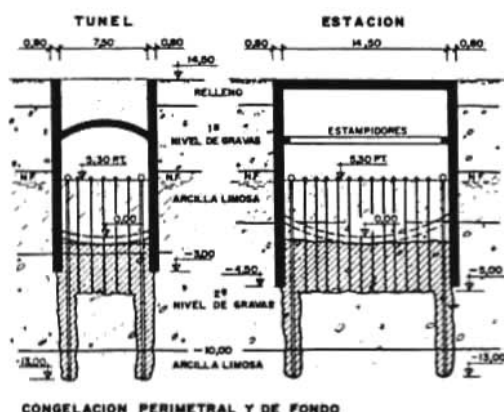


Figura 5. Congelación perimetral más tapón de fondo con suelo congelado

sondas inclinadas.

En la Figura 6 se recoge la disposición de taladros para la creación de un tapón de fondo con técnica jet-grouting en la zona del colector.

Para la creación del tapón de fondo con inyecciones en el recinto 3 (Hall de la estación) se efectuó una disposición de taladros en malla de aproximadamente 1,5 x 1,5 m, instalando tubería equipada con 3 válvulas antirretorno por metro, para tratar unos 7 m de terreno. La inyección se efectuó en una primera fase con mezcla de cemento-bentonita en taladros alternos y, posteriormente, con silicato sódico, en la totalidad de los taladros.

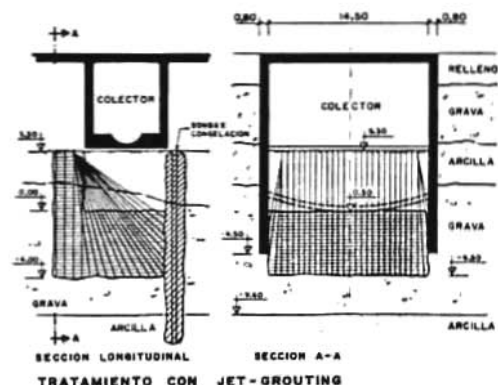


Figura 6. Disposición de taladros para creación del tapón de fondo con jet-grouting, en la zona del colector

4. DESARROLLO DE LOS TRABAJOS

El desarrollo de los trabajos de congelación y los controles de temperaturas efectuados de manera sistemática mediante un sistema informatizado permitió ver la diferencia entre el uso de la salmuera y el nitrógeno líquido. Partiendo de una temperatura inicial del terreno del orden de 18°C para alcanzar la congelación eran necesarios unos 2 meses con la salmuera y los grupos frigoríficos instalados inicialmente, mientras que con el nitrógeno líquido dicho plazo se redujo a 3 ó 4 días, en condiciones normales.

La excavación del recinto 5 se efectuó en su totalidad hasta arranques de la contrabóveda con la intención de hormigonarla por bataches en retroceso pero la excavación de estos bataches se hizo muy difícil debido a la presencia de una capa de arena limosa que aconsejó ahclar previamente el recinto.

Se efectuó un primer pozo hasta las gravas para llevar a cabo esta operación, que puso de manifiesto la existencia de deficiencias de impermeabilización. A pesar de que la extracción de agua era perjudicial para la congelación (por el gran aporte de calorías que la renovación de agua supone y la descongelación subsiguiente de los puntos de entrada de agua) se efectuaron dos pozos más dentro del recinto que permitieron, no sin problemas, hormigonar la contrabóveda. Todas estas dificultades fueron las que aconsejaron modificar el tratamiento y proceder a la congelación de tapones de fondo bajo la contrabóveda del túnel.

La excavación de los recintos planteó dificultades no sólo debido al tipo de material, sino también por no poderse evitar la congelación de la zona superior de sondas aisladas. Se observó una mayor velocidad de congelación en la parte de las sondas abrigadas por las pantallas de hormigón que en la zona inmediatamente inferior de gravas con circulación de agua para volver a crecer al acercarse a las arcillas. Debe señalarse en relación con esta circunstancia que unas pruebas de permeabilidad efectuadas en el recinto 3 para programar los trabajos de inyección indicaron que las gravas del segundo nivel permeable tenían menos permeabilidad en la parte inferior con un brusco aumento de hasta 10 veces mayor en los metros superiores.

El proceso de excavación y hormigonado de la contrabóveda, dentro de cada recinto, se efectuó posteriormente por bataches al avance aplicando las técnicas indicadas anteriormente. El proceso cronológico fue el que se recoge a continuación que de alguna manera refleja las dificultades de ejecución las cuales, en general, fueron consecuencia de entradas de agua por juntas de pantalla o deficiencias de cierre con la contrabóveda ya hormigonada. (Ver Tablas 1 y 2).

En total para la congelación perimetral y de fondo se instalaron alrededor de 3000 sondas con una longitud de 35.000 m y se consumieron 23.000 m³ de nitrógeno líquido, estimándose en 15.000 m³ el volumen de terreno congelado.

Los bataches tratados con jet-grouting para constituir un tapón de fondo tuvieron un comportamiento satisfactorio.

Tabla 1. Proceso de ejecución en el frente de trabajo Este

RECINTO	BATACHE	TECNICA APLICADA	FECHA DE HORMIGONADO	TIEMPO EMPLEADO
Nº 1 L = 15,3 m B = 7,5 m	1	Congelación Perimetral	3/5/88	30 días
	2	Congelación Perimetral	27/5/88	24 días
	3	Congelación Perimetral	8/6/88	12 días
Nº 2 L = 22,1 m B = 7,5 m	1	Congelación de fondo	18/7/88	40 días
	2	Congelación de fondo	26/7/88	8 días
	3	Congelación de fondo	1/8/88	6 días
	4	Congelación de fondo	6/8/88	5 días
	5	Congelación de fondo	13/8/88	7 días
Nº 2 bis L = 21,4 m B = 7,5 m	1	Congelación de fondo	21/8/88	8 días
	2	Jet-grouting	25/8/88	4 días
	3	Jet-grouting	30/8/88	5 días
	4	Jet-grouting	2/9/88	3 días

Tabla 2. Proceso de ejecución en el frente de trabajo Oeste

RECINTO	BATACHE	TECNICA APLICADA	FECHA DE HORMIGONADO	TIEMPO EMPLEADO
Nº 5	4	Congelación Perimetral	3/5/88	35 días
L = 20,3 m	3	Congelación Perimetral	10/5/88	7 días
B = 14,5 m	2	Congelación Perimetral	14/5/88	4 días
	1	Congelación Perimetral	25/5/88	11 días
	5	Congelación Perimetral	6/6/88	12 días
Nº 4	1	Congelación Perimetral	19/6/88	13 días
L = 21,0 m	2	Congelación Perimetral	25/6/88	6 días
B = 14,5 m	3	Congelación Perimetral	2/7/88	7 días
	4	Congelación Perimetral	11/7/88	9 días
Nº 4 bis	1	Congelación de fondo	27/7/88	16 días
L = 17,7 m	2	Congelación de fondo	3/8/88	7 días
B = 14,5 m	3	Congelación de fondo	12/8/88	9 días
	4	Jet-grouting	17/8/88	5 días
COLECTOR				
L = 7,5 m	1	Jet-grouting	19/8/88	2 días
B = 14,5 m				
Nº 3	1	Inyección de fondo	27/8/88	8 días
L = 26,4 m	2	Inyección de fondo	28/8/88	1 día
B = 24,5 m	3	Inyección de fondo	31/8/88	3 días
	4	Inyección de fondo	3/9/88	3 días
	5	Inyección de fondo	6/9/88	3 días
	6	Inyección de fondo	6/9/88	<1 día

El recinto nº 3, tratado con inyecciones, se comportó asimismo satisfactoriamente y únicamente la presencia de limos arcillosos con presencia de agua, junto al colector, planteó alguna dificultad por ser el punto más bajo del túnel.

El resumen de los datos de la inyección en este recinto fue el siguiente:

Inyección de lechada

- .Altura tratada = 9,5 m
- .Volumen de terreno tratado=4.940 m³
- .Inyección lechada C/A=1+10% de bentonita (B/C) = 1.416 m³
- .Proporción = 28,7%

Inyección de Silicasol

- .Altura tratada = 3,0 m
- .Volumen de terreno tratado=1.560 m³
- .Inyección de silicato = 153,9 m³
- .Proporción = 9,9%

5. CONCLUSIONES

Las técnicas utilizadas permitieron terminar la obra dentro del plazo previsto.

La técnica de la congelación con nitrógeno aun siendo eficaz para el tratamiento del terreno con ligera circulación de agua, planteó problemas en la congelación perimetral, probablemente por dificultades de cierre en la arcilla de fondo o de deficiente impermeabilidad de esta capa para un gradiente del orden de 0,75. La congelación de fondo también planteó algún problema de cierre con la contrabóveda ya hormigonada y, en general, con el control del proceso al existir zonas con distinta velocidad de congelación que hubiera exigido distinta densidad de sondas o modificación de los circuitos de congelación introduciendo posibilidades de selección en función de los datos del control de temperaturas. Las entradas de agua inesperadas, introdujeron dificultades adicionales al retrasar o provocar el retroceso del tratamiento. Otra dificultad adicional fue la congelación de mayor volumen de terreno a excavar que el inicialmente deseado.

Tanto el tapón de fondo creado con técnica jet-grouting como con inyecciones químicas funcionaron correctamente permitiendo la excavación rápida y el inmediato hormigonado de la contrabóveda, sin los problemas de la congelación al constituir tratamientos del terreno de carácter permanente.