

Soterramiento del ferrocarril Málaga-Fuengirola: Nuevo túnel en terrenos blandos

Burying of the Malaga-Fuengirola railway line: New tunnel in soft soil

Carlos Oteo Mazo. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Catedrático Ing. del Terreno. carlosoteo@telefonica.net

Javier García Pérez. Ingeniero Aeronáutico
Director de Obra, AENA. jgperez@aena.es

Huberto Moreno Lorente. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Gerente UTE ACCIONA-SANDO. hubertojose.moreno.lorente@acciona.es

Francisco Ávila Sanz. Ingeniero Aeronáutico
(UTE ATCV). jefe.unidad@uteatcvmalaga.es

Javier Oteo Escobar. Ingeniero Geólogo
Asesor Técnico, Supervisión Obra. j.oteo@europeadeingenieria.com

Resumen: Debido a la Ampliación del Aeropuerto de Málaga, ha tenido que soterrarse la línea ferroviaria Málaga-Fuengirola, con la creación de dos estaciones subterráneas y más de 2 Km de túnel. Si bien el extremo del túnel podría resolverse con pantallas continuas, la presencia del Río Guadalhorce ha llevado a solucionar el problema ejecutando el túnel con una tuneladora de Ø 9,40 m, atravesando los sedimentos del citado Río (limos y arcillas blandas, arenas flojas, etc., con el nivel freático muy alto). En el artículo se describe la obra, con los hitos más importantes (zonas de poco recubrimiento, paso bajo el ferrocarril existente, pozo de emergencia, etc.), así como los tratamientos del terreno que se han tenido que realizar. También se describe la auscultación llevada a cabo y la comparación de sus resultados con las previsiones de movimientos, previamente realizadas, con un código de elementos finitos.

Palabras Clave: Túnel; Tuneladoras; Suelos blandos; Tratamientos del terreno; Instrumentación

Abstract: Extension work to Malaga Airport has required the burying of the Malaga-Fuengirola railway line, with the creation of two underground stations and over 2 km of tunnel. While it was possible to construct the end of the tunnel by means of continuous retaining walls, the problem posed by the presence of the Guadalhorce River made it necessary to employ a Ø 9.40 m TBM in order to pass through the sediment of the river (loams and soft clay, weak sands, etc., with a very high phreatic level). This article describes the work together with the most important aspects of the same (areas with little cover, passage below the existing railway, emergency shaft, etc.), and the soil treatment required. The article also refers to the monitoring of the tunnel and the comparison of the results obtained with previously forecasted movements established by finite element code.

Keywords: Tunnel; TBMs; Soft soils; Soil treatment; Instruments

1. Antecedentes

La línea del ferrocarril Málaga - Fuengirola es una vía única electrificada, con doble vía en algunas de las estaciones. Hay dos aspectos fundamentales que hacen necesaria la actuación sobre la línea: En su momento se estudió la necesidad de duplicación de vía debido al aumento de la demanda, y a la ampliación de sus instalaciones en el Aeropuerto de Málaga. Al mismo tiempo, la ampliación de las pistas aeroportuarias hicieron necesario

el soterramiento de dicha línea, haciéndole pasar por debajo del Río Guadalhorce, próximo al citado Aeropuerto. Dichas obras de soterramiento han consistido en la ejecución de una variante para doble vía con una longitud total aproximada de unos 3.900 metros, desde la salida de la estación de los Prados, en el P.K. 4+355 de la vía actual hasta la salida de la actual estación del Aeropuerto - Terminal de Viajeros (P.K. 8+347). Esta variante se caracteriza por discurrir soterrada en casi la totalidad de su desarrollo.

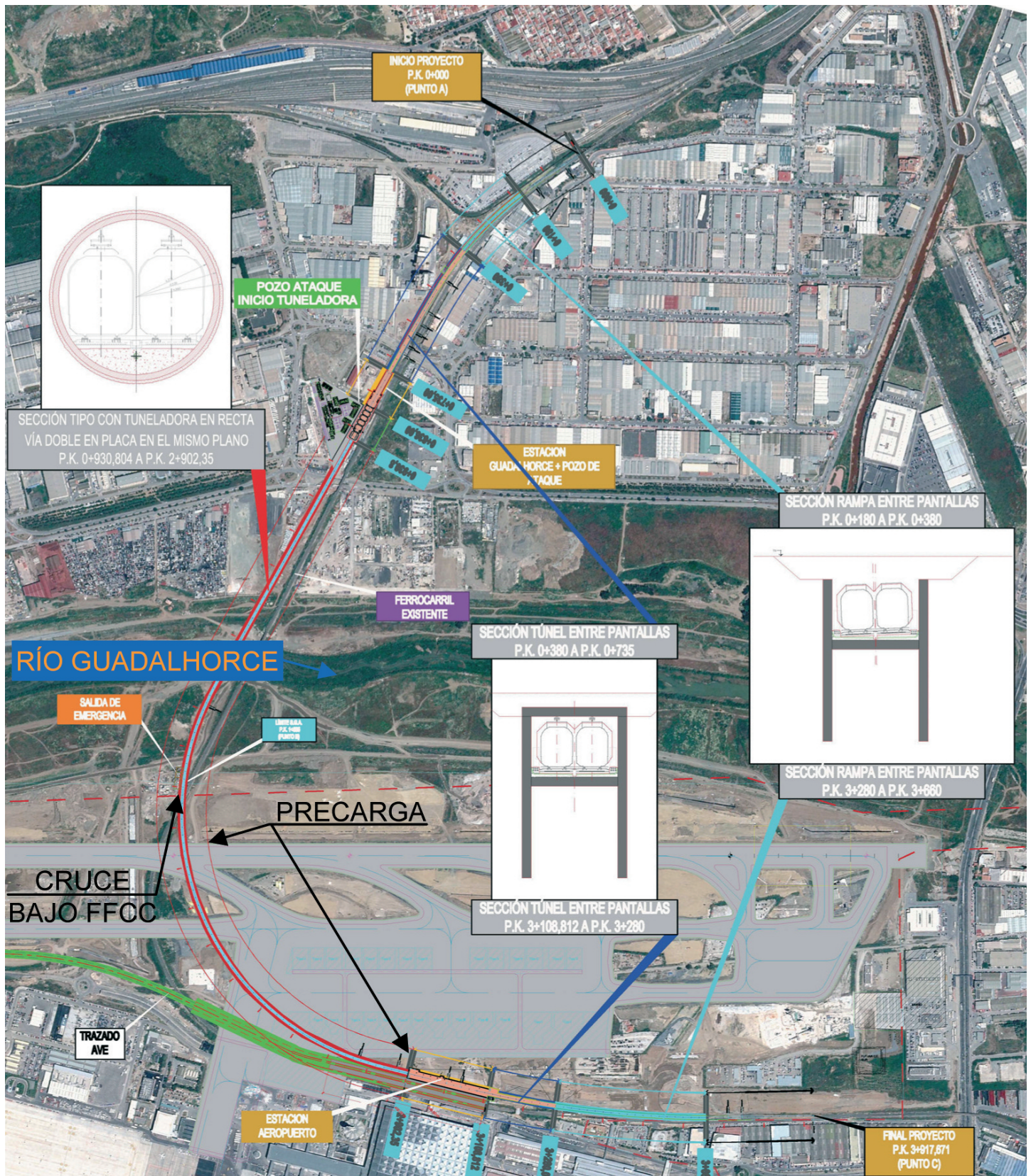


Fig. 1. Planta tramo soterramiento.

Estas obras de soterramiento han sido cofinanciadas por AENA y la actual Dirección General de Infraestructuras Ferroviarias del Ministerio de Fomento.

2. Descripción de la solución realizada

El tramo objeto de este artículo es el comprendido entre la salida de la Estación de Los Prados y el punto situado a unos 400 m más allá de la actual estación del Aeropuerto. Se incluyen los siguientes elementos funcionales:

- Estación de Guadalhorce (P.K. 0+735 – P.K. 0+931).
- Estación de Aeropuerto (P.K. 2+870 – P.K. 3+110).
- Pozo de Bombeo Inicial (P.K. 0+420).
- Salida de Emergencia, Pozo de Ventilación y Pozo de Bombeo (P.K. 1+892).
- Pozo de Bombeo Final (P.K. 3+220).

En el tramo objeto del proyecto se han empleado cinco tipologías de construcción del soterramiento de la línea ferroviaria, que han sido:

- Sección en terraplén y/o desmonte a cielo abierto.
- Sección entre muros a cielo abierto.
- Sección entre pantallas a cielo abierto con losa inferior (anchura entre pantallas de 9,40 a 10,34 m)
- Túnel ejecutado mediante tuneladora (tipo E.P.B. con diámetro exterior: 9,40 m; longitud del tramo: 1.971,55 m)

En la Fig. 1 puede verse la planta de la obra con indicación del tipo de solución geotécnica estructural.

3. Geología y geotecnia

La zona aeroportuaria y el recorrido ferroviario de la Línea Málaga-Fuengirola afectado por el Proyecto se sitúan en la parte baja de la Cuenca del Río Guadalhorce, en el término municipal de Málaga. El trazado se ubica por completo en las facies fluviales y de estuario interiores del río Guadalhorce, situado muy cerca de su desembocadura. Estos ma-

teriales se encuentran flanqueados por los montes de Málaga, la Sierra de las Nieves, La sierra de Mijas y el Valle de Abdalajís, que constituyen sus principales áreas fuente de materiales. La cuenca sedimentaria del bajo Guadalhorce se encuentra delimitada por los materiales pliocenos, de sus bordes y las fallas de margen de las sierras. Al estar relativamente cerca estos relieves y como consecuencia de los movimientos de reajuste isostáticos y climáticos, los depósitos fluviales asociados al río Guadalhorce tienen espesores muy importantes, existiendo una gradación de facies detríticas más groseras a más finas de estos márgenes hacia el eje de la cuenca.

Como indica el Proyecto, la cercanía al mar, junto con los mencionados reajustes, hizo que en determinados momentos la influencia marina fuera importante funcionando dicha cuenca como un estuario, existiendo un acomodamiento continuo de los materiales. Este hecho unido a la dinámica fluvial, comportan que la correlación entre cuerpos sedimentarios sea muy compleja y las morfologías resultantes sean de poca continuidad lateral. Litológicamente los aluviales del Guadalhorce se corresponden con secuencias detríticas muy heterogéneas de gravas, arenas, limos y arcillas, donde aparecen bolsas de fangos orgánicos y arcillas grises asociadas a la antigua desembocadura del estuario y al abandono de canales activos. Es decir se trata de alternancia de materiales gruesos y finos, de compacidad floja y consistencia blanda, respectivamente.

El trazado proyectado discurre desde su inicio hasta el PP.KK. 2+300 de manera algo perpendicular a la dirección actual del río, para ir girando progresivamente hasta situarse paralelo, desde el PP.KK. 2+700 hasta el final. Existe una gran variación de horizontes en las llanuras aluviales, habiéndose distinguido: a) Rellenos Antrópicos (R). b) Limos cuaternarios (QM). c) Arenas finas a gruesas con cantos (Qs). d) Gravav cuaternarias (QG). e) Arcillas grises y verdosas cuaternarias (Qc). f) Arcillas pliocenas (PC). g) Gravav parcialmente cementadas (PGC). h) Arcillas limosas marrones pliocenos (PCM). Los tres últimos horizontes son pliocénicos y, por lo tanto, más competentes. La Tabla nº 1 resume las principales propiedades geotécnicas de estos terrenos.

En los ensayos realizados, prácticamente, no se han detectado sulfatos en los suelos ni en los análisis químicos de agua efectuados. Únicamente en los niveles Pliocénicos es posible que aparezcan niveles

Tabla nº 1. Resumen de propiedades geotécnicas							
Terreno	Unidades	Densidad seca (t/m ³)	Humedad (%)	% Finos	Cohesión (t/m ²)	Ángulo rozamiento (°)	Módulo de balasto horizontal (t/m ³)
Arcillas Situación Largo plazo	QM Qc Qcs Pc Pcs	1,63	27	80-95	2,0	28	1000
Arcillas Situación Corto plazo	QM Qc Qcs	1,63	27	80-95	4,0 (2,0) (*)	22 (28)	1000 (2500)
Arenas	Qs Ps	1,80	15	30	0,0 (0)	33 (33)	1200 (4000)
Gravas	QG PG	1,91	6	11	0,0 (0)	36 (36)	1800 (1800)
Rellenos	R	1,7	12	VAR	0,0 (0)	26 (25)	250 (250)
Plioceno	Pc Pcs	1,9	10	40	4,0 (2,0)	22 (28)	1000 (2500)

(*) Los valores entre paréntesis son los que se recomendaron, finalmente, para el cálculo e interpretación de pantallas, dados por el primero de los autores de este artículo y que sustituyeron a los tomados previamente.

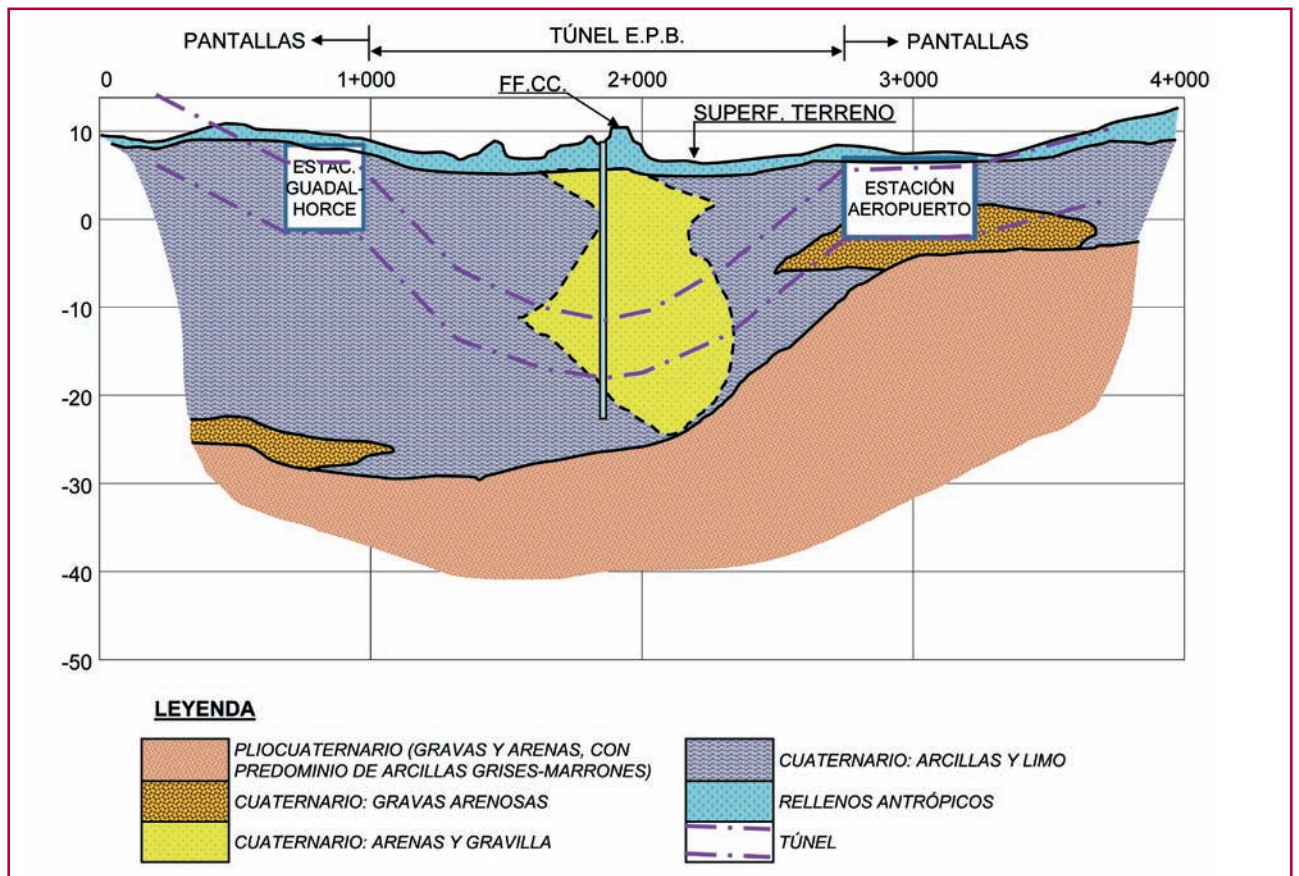


Fig. 2. Corte geotécnico esquemático de la zona.

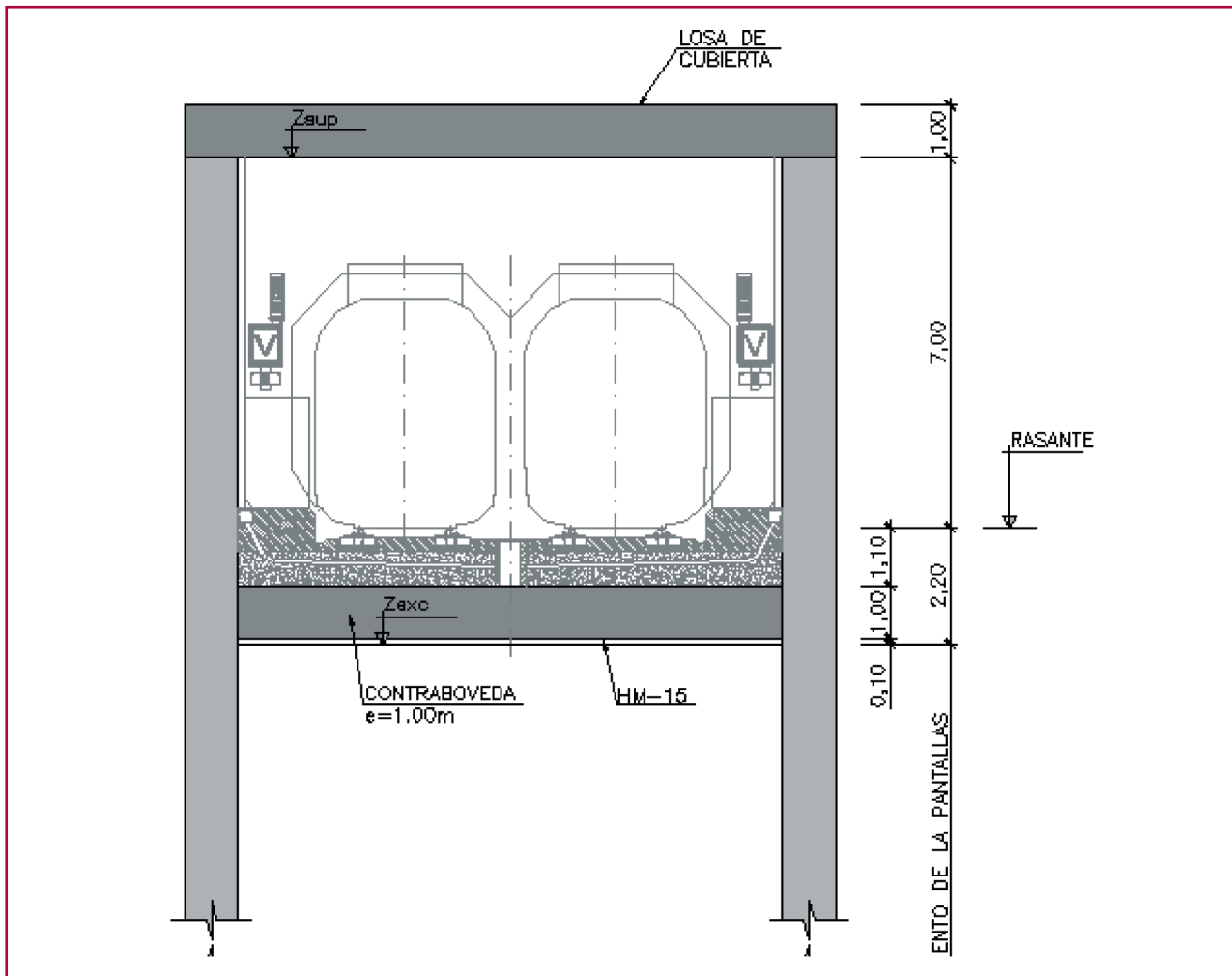


Fig. 3. Sección tipo de túnel entre pantallas.

Fig. 4. Soterramiento: Tramo inicial.

con yesos de forma aleatoria y con escasa continuidad.

En la Fig. 2 puede verse un corte geotécnico de la obra.

4. Túnel entre pantallas

El tramo del soterramiento, como ya se ha dicho, tiene una longitud de 3925 m. La solución adoptada alterna el empleo de la tuneladora entre el P.K. 0+930 y el P.K. 2+800, pantallas continuas, tanto en ménsula como con losa de cubierta in situ y los muros en ménsula.

La solución adoptada en este caso es la de pantallas continuas de hormigón armado en ménsula o arriostradas horizontalmente por losas de cubierta y contrabóveda. Estas pantallas continuas tienen espesores de 1,00 m y 1,20 m, con empotramiento entre los 12 y 18 m, por debajo del nivel de excavación, dada



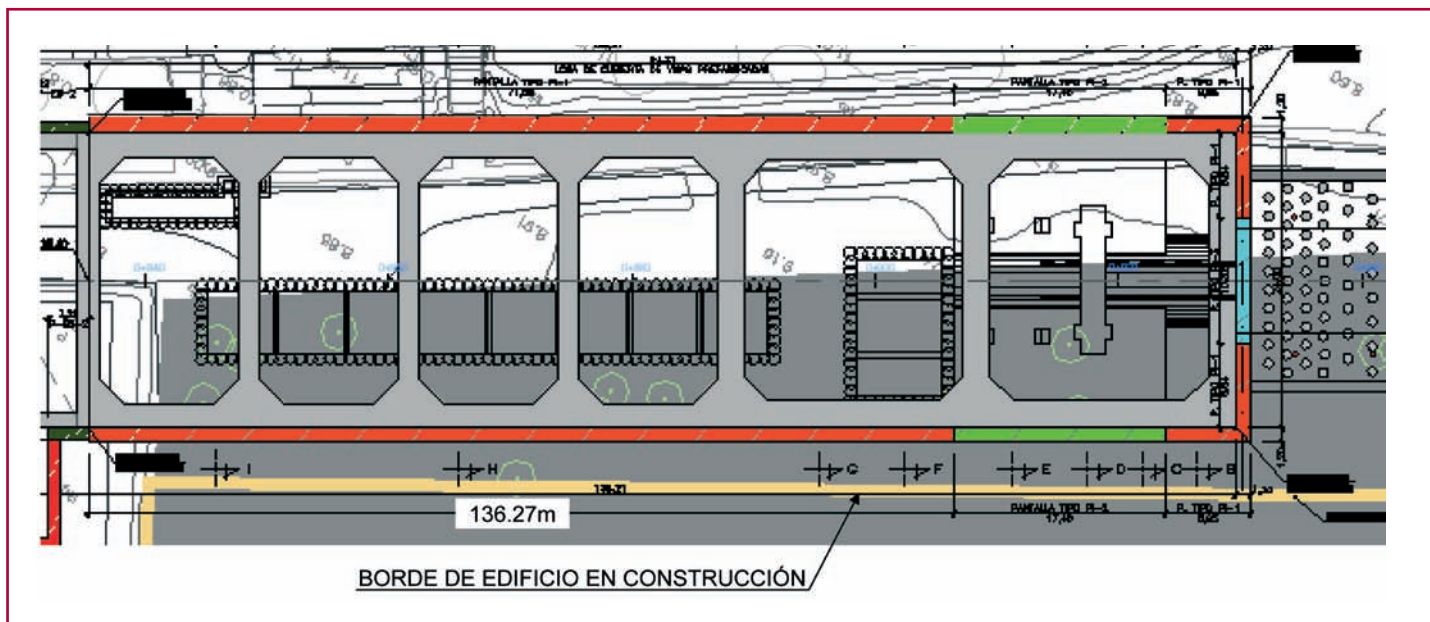


Fig. 5. Planta pantallas pozo de introducción.



Fig. 6. Pozo de Introducción de la Tuneladora y Estación Guadalhorce.

la baja consistencia del terreno. Su cálculo se hizo con el Programa numérico RIDO.

En la Fig. 3 aparece una sección tipo de la solución de pantallas continuas.

En cuanto a las contrabóvedas tienen un canto máximo de 1,0 a 1,20 m, según la luz y su fondo tienen forma de V. La contrabóveda tipo 1 está situada entre el P.K. 0+180.

En la Fig. 4 puede verse una foto con el aspecto de las pantallas en el tramo inicial, con un apuntalamiento provisional (debido a las deformaciones que empezaron a registrarse).

5. Estación de Guadalhorce

La estación del Guadalhorce y el pozo de introducción de la tuneladora (adosado a la anterior) tienen una longitud de 197 m y están situados entre el P.K. 0+733 y el P.K. 0+930, disponiéndose el pozo de introducción de la tuneladora en su parte final, entre el P.K. 0+835 y el P.K. 0+930. El contorno se realizó mediante pantallas continuas de hormigón armado de espesores 1.00 m y 1.20 m. Las pantallas se arriostraron horizontalmente mediante losas de hormigón armado y estampidores (Fig. 5).

El nivel de arriostramiento intermedio del pozo de ataque de la tuneladora está a 7,50 m por encima de la rasante. (Fig. 6) Los estampidores de sección 2,2 x 2,0 m, se proyectaron de hormigón armado (5 puntales intermedios), definiendo cuatro huecos intermedios y dos extremos.

Durante la excavación prevista del pozo de introducción de la tuneladora, la instrumentación ejecutada e instalada detectó unas deformaciones excesivas en las pantallas del pozo de introducción (cerca de 90 mm de desplazamiento horizontal) con asientos del orden de 50 mm en un edificio próximo en construcción (Fig. 7). Los otros inclinómetros indicaron movimientos similares en el centro de los vanos, entre puntales.

Nuevos sondeos permitieron definir un nuevo perfil del terreno, con una mayor capa de rellenos (3 m más de espesor). Además el proyecto se había realizado con unos parámetros a corto plazo que daban menores empujes y deformaciones que los que se han medido (parámetros iniciales de la Tabla nº 1), puesto que se había adoptado una cohesión importante en las arcillas. El recálculo con los nuevos pa-

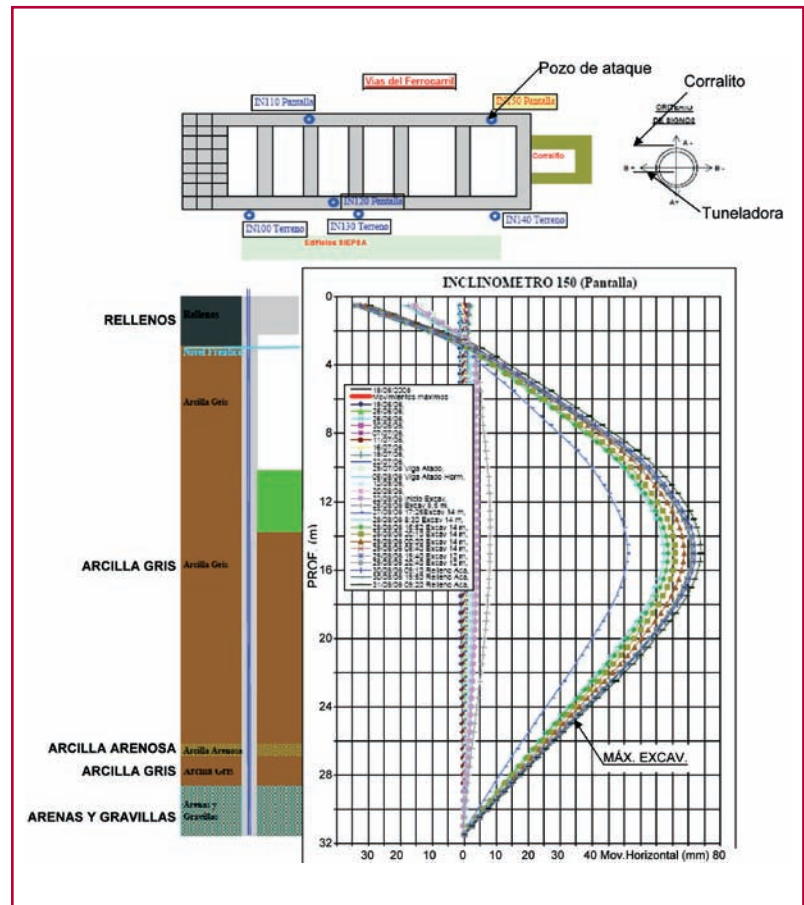


Fig. 7. Datos de deformaciones indicados por el inclinómetro IN 150, pantalla PI-2.



Fig. 8. Acodalamiento provisional metálico ejecutado en la Estación de Guadalhorce.

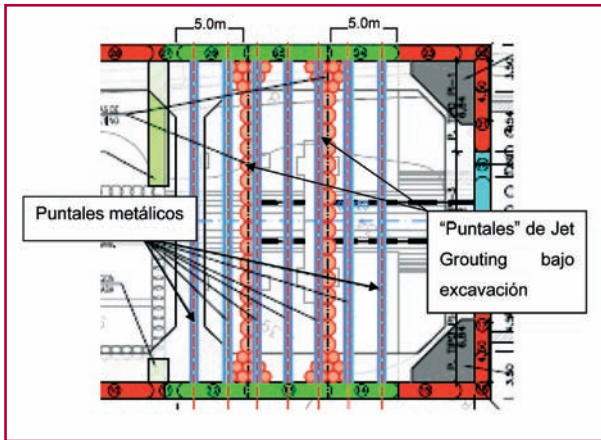


Fig. 9. Planta de acodamientos y de Jet Grouting.

rámetros (Tabla 1) permitió reproducir mejor lo sucedido, empleándose los mismos para definir las medidas de refuerzo.

Estas fueron las siguientes:

- Apuntalamiento provisional metálico de la pantalla (Fig. 8): 7 perfiles circulares (\varnothing 610 mm, $e = 12,5$ mm).
- Ejecución de columnas de Jet-Grouting (Figuras 9 y 10) en el pie de la pantalla para evitar el desplazamiento del pie de la misma que resultaba excesi-

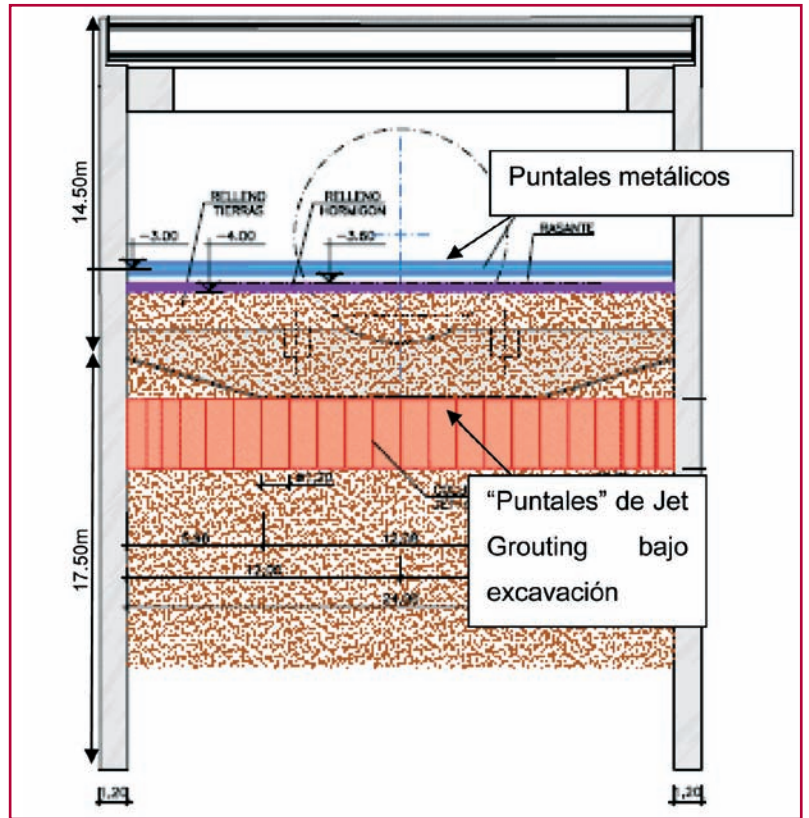


Fig. 10. Sección del pozo con puntales metálicos y Jet.

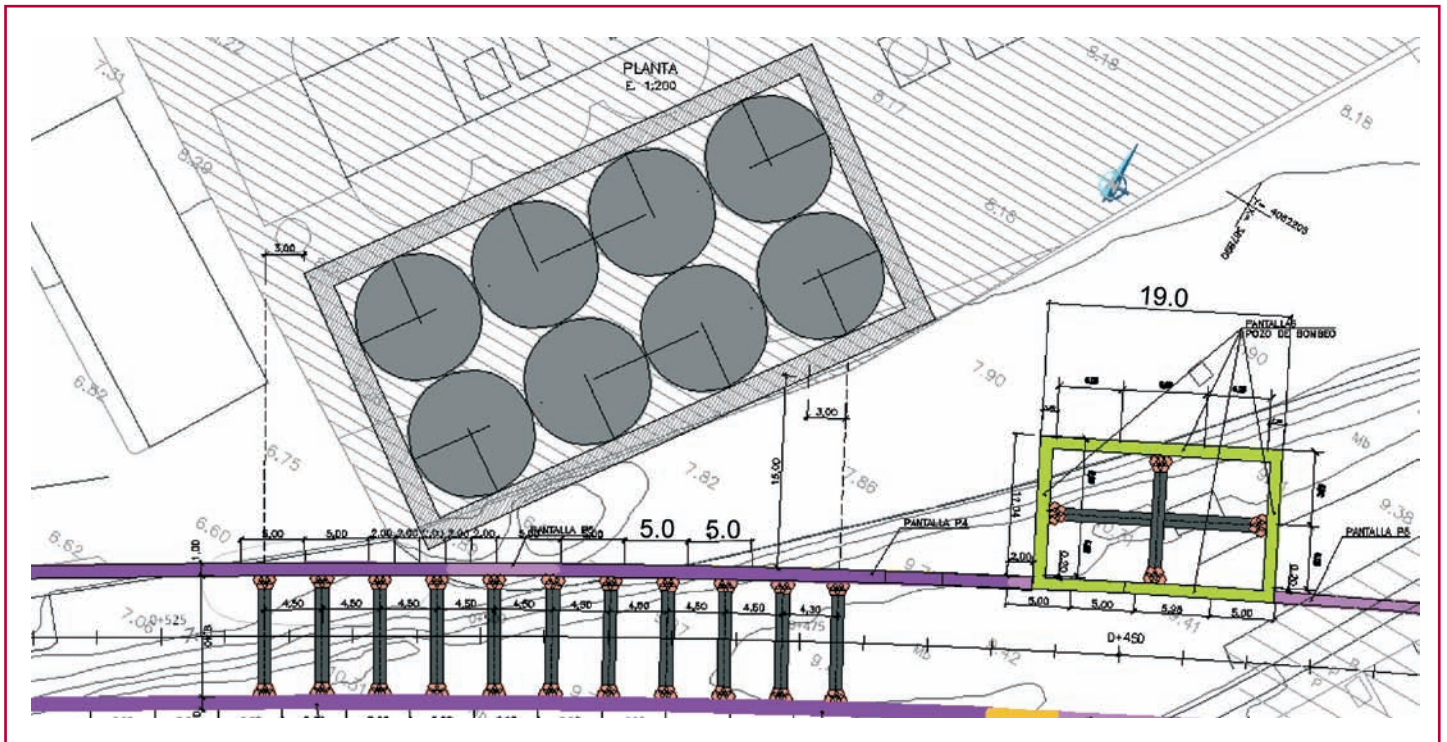


Fig. 11. Planta silos y acodamiento pie de pantallas en túnel de línea y pozo de bombeo inicial.

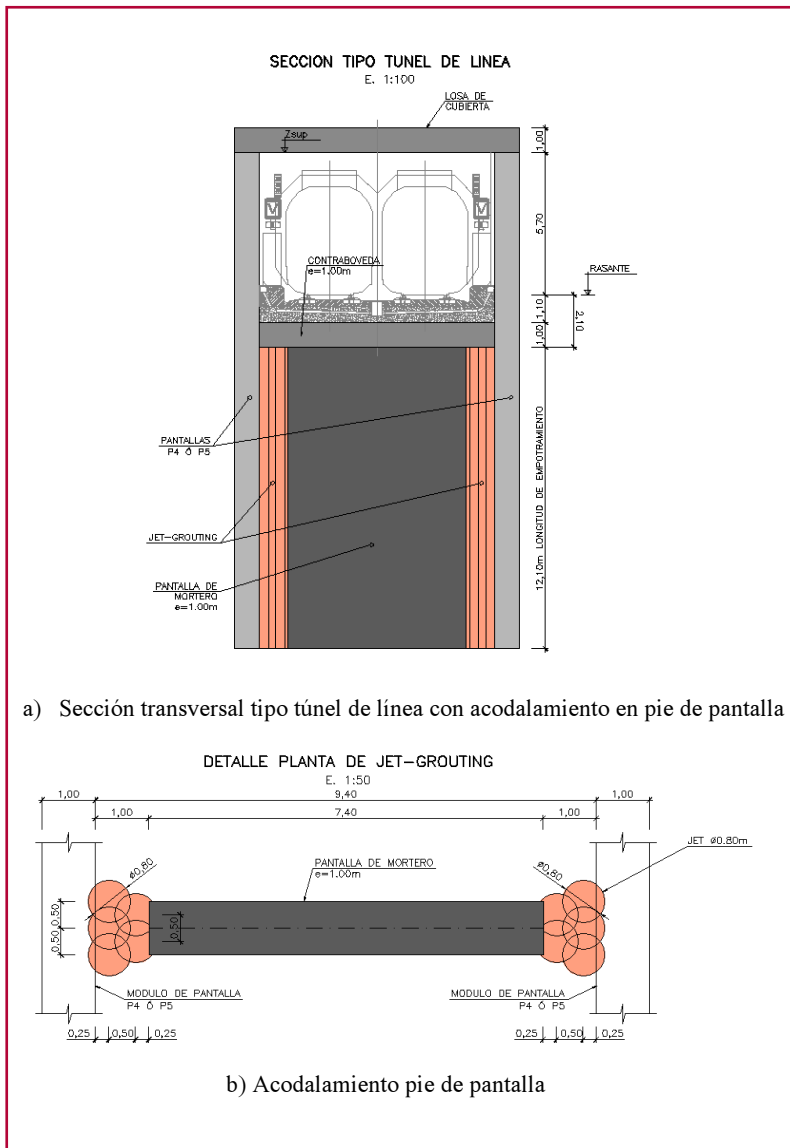


Fig. 12. Tratamiento del terreno para apuntalar el pie de las pantallas, cerca de los silos.

vo, según las medidas disponibles, lo que podía ser un indicio de inestabilidad del fondo de la excavación. Recuérdese que todas las pantallas están, por lo que sus "pies" podrían tener movimientos importantes.

- Ejecución de contrabóveda con recrecidos de hormigón que acodalaran mejor la pantalla en fase definitiva.
- Gunitado de la cara interior de la pantalla - sobre malla metálica - que garantice la durabilidad a largo plazo debido a que el exceso de desplazamiento equivalía a una fisuración del hormigón.

A partir de la experiencia obtenida en la excavación del pozo de introducción de la tuneladora y con

el objeto de aplicarla a la excavación del túnel de línea y con nuevos datos del tramo facilitados por las excavaciones realizadas, se planteó un nuevo proceso de excavación del túnel de línea en la zona inicial. Con ello se pretendía evitar, en la medida de lo posible, que durante la excavación de las pantallas en el tramo inicial del túnel de línea no se repitiesen los movimientos excesivos de las pantallas producidos en el pozo de introducción de la tuneladora y en la estación de Guadalhorce.

Tras el estudio anterior, se recomendó adoptar un nuevo proceso constructivo de excavación de las pantallas mediante el empleo de un apuntalamiento provisional metálico (perfiles HEB-300/2.5 m) situado a 4.00 m sobre la máxima excavación que limitase y controlase las deformaciones de las pantallas, tal como se vio en la Fig. 4.

Dentro del túnel de línea en la zona inicial se prestó especial atención al P.K. 0+500 por la proximidad del túnel a varios silos existentes. Tras realizar el estudio pertinente, además del apuntalamiento provisional metálico del túnel de línea, se recomendó disponer un acodalamiento del pie de las pantallas realizado mediante Jet-grouting y pantallas amorteradas por debajo de la excavación (Figuras 11 y 12).

Los resultados obtenidos fueron buenos y los asentamientos de los silos fueron menores de 3 mm.

- a) Sección transversal tipo túnel de línea con acodalamiento en pie de pantalla
- b) Acodalamiento pie de pantalla

6. Túnel con tuneladora

6.1. Generalidades

Como ya se ha comentado la mayor parte del túnel se excavó con tuneladora E.P.B. de Δ 9,40 m y con dovelas de hormigón armado, de 32 cm de espesor. La excavación se realizó enteramente en las arcillas blandas y arenas y gravas flojas cuaternarias, a veces con muy poco recubrimiento. Por dicho motivo, principalmente (a parte de pasar bajo el propio ferrocarril a sustituir) se diseñaron diversos tratamientos del terreno, a fin de asegurar la estabilidad de la obra (y reducir los movimientos superficiales, en su caso).

A continuación se enumeran y describen someramente los tratamientos más importantes realizados

(prescindiendo del "corralito" de salida de la E.P.B. y otros casos puntuales).

**6.2. Tramo inicial y Cruce carretera
Azucarera-Intelhorce (T-3 Y 1-4)**

Dada la cantidad de servicios afectados existentes en el cruce del trazado de la tuneladora con la carretera Azucarera-Intelhorce, se realizó (nada más empezar el túnel con la E.P.B.) una losa de hormigón pilotada de 1 m de espesor, donde anclar dichos servicios afectados e impedir, así, la inestabilidad de la excavación, dado el poco recubrimiento existente (3 m). Para mejorar el terreno existente bajo la losa se realizan inyecciones de relleno de huecos bajo la losa tras el paso de la tuneladora cada 4,5 m. Sobre esta losa se instaló el pórtico-grúa para el acopio y suministro de dovelas (Fig. 14).

Adicionalmente se proyectan una serie de pilotes de mortero e inyecciones de jet grouting con la finalidad de asegurar la integridad de los servicios de la zona paralelos a la tuneladora y situados entre el túnel y el ferrocarril en servicio, sobretodo en la zona del estribo del puente allí existente.

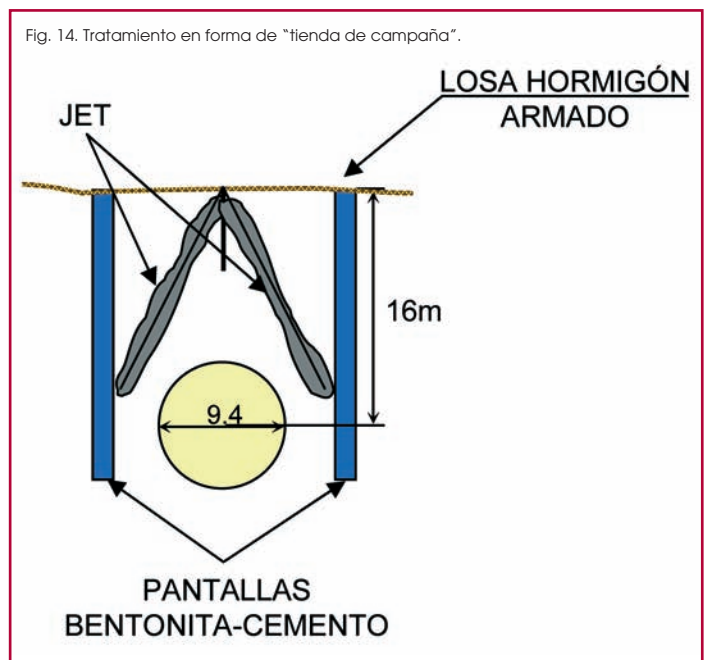
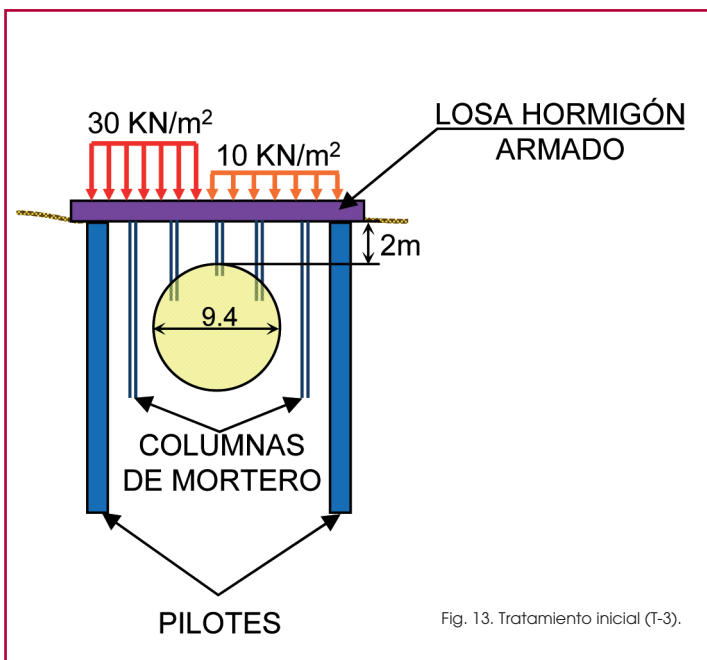
6.3. Tramo entre P.K. 1+202 y P.K. 1+290 (T-6)

En este tramo existe un nivel de gravas cuaternarias con agua en la zona de la clave del túnel. El

contenido en finos de este material es muy bajo, #0,080, inferior al 20%. Debido a la falta de finos que presenta este material de la clave del túnel se preveía que era posible que se formaran chimeneas por inestabilidades de la clave. Para evitar la formación de estas chimeneas se decidió tratar las gravas de la zona de la clave del túnel mediante columnas de jet - grouting dispuestas en forma de tienda de campaña (Fig. 14). Además se decidió eliminar posibles flujos de agua mediante la realización de recintos estancos realizados con pantallas de bentonita - cemento. Para evitar inestabilidades puntuales y arrastres de las mismas, en el centro de cada uno de estos recintos se realizó una pantalla transversal de pilotes amortizados.

6.4. Pozos de inspección (T-7)

Para la inspección y revisión de la máquina, y reparación cuando era necesario, se decidió la realización de "corralitos" de inspección, cada unos de 300 metros, aprovechando también la salida de emergencia del p.k. 1+870 como pozo de inspección (6 pozos de inspección). Estos pozos de inspección (de 15 m de anchura y 4 m de longitud), a excepción del situado en el p. k. 1+100, se realizan mediante un recinto estanco de hormigón empobrecido macizado en su interior mediante pilotes amortizados (3 filas de Δ 850 mm). En algún caso



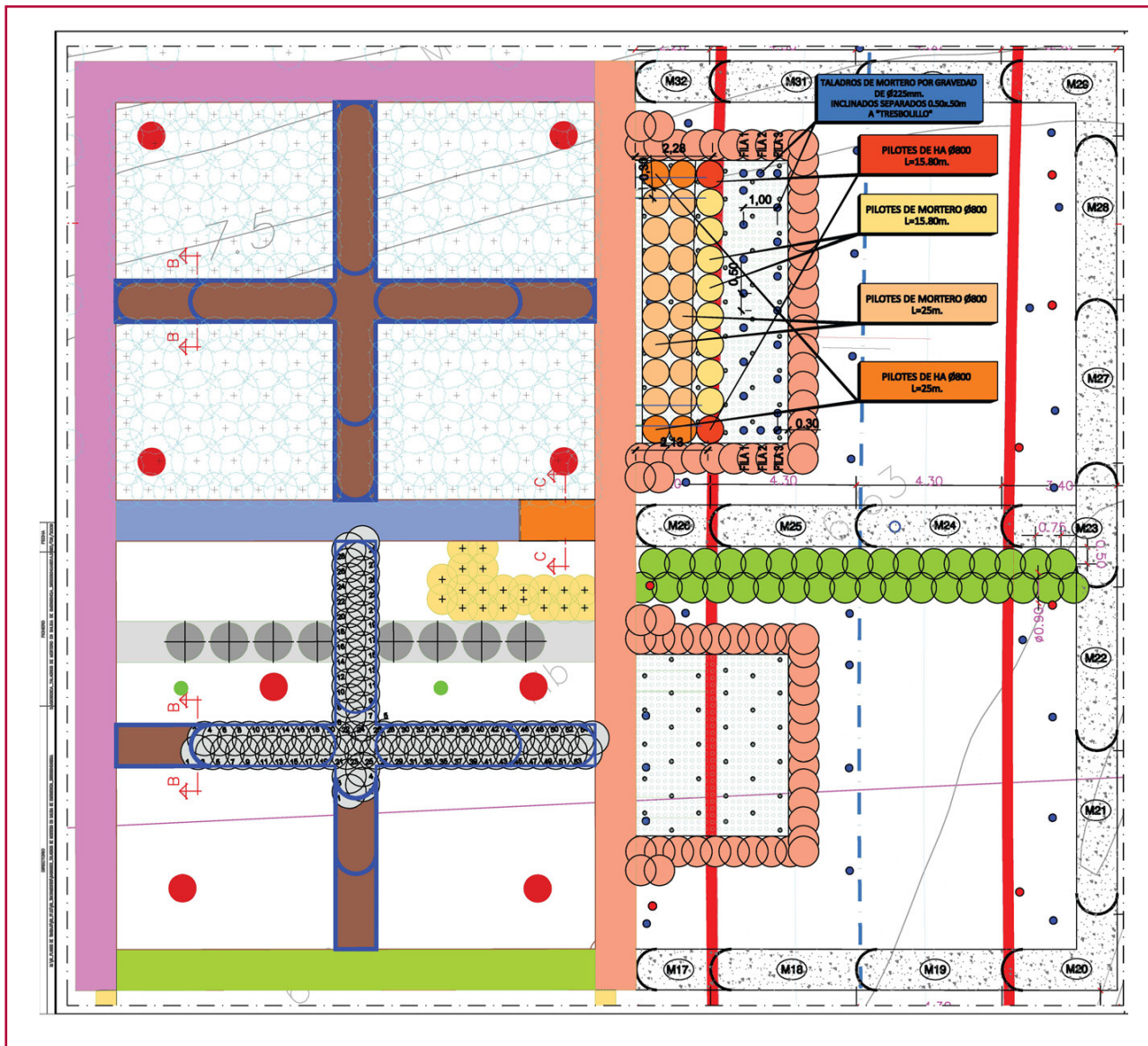


Fig. 15. Planta final de tratamientos ejecutados en salida de emergencia.

(P.K. 1+100) los pilotes fueron secantes, dada la presencia de arenas y gravas.

6.5. Salida de emergencia (T-8)

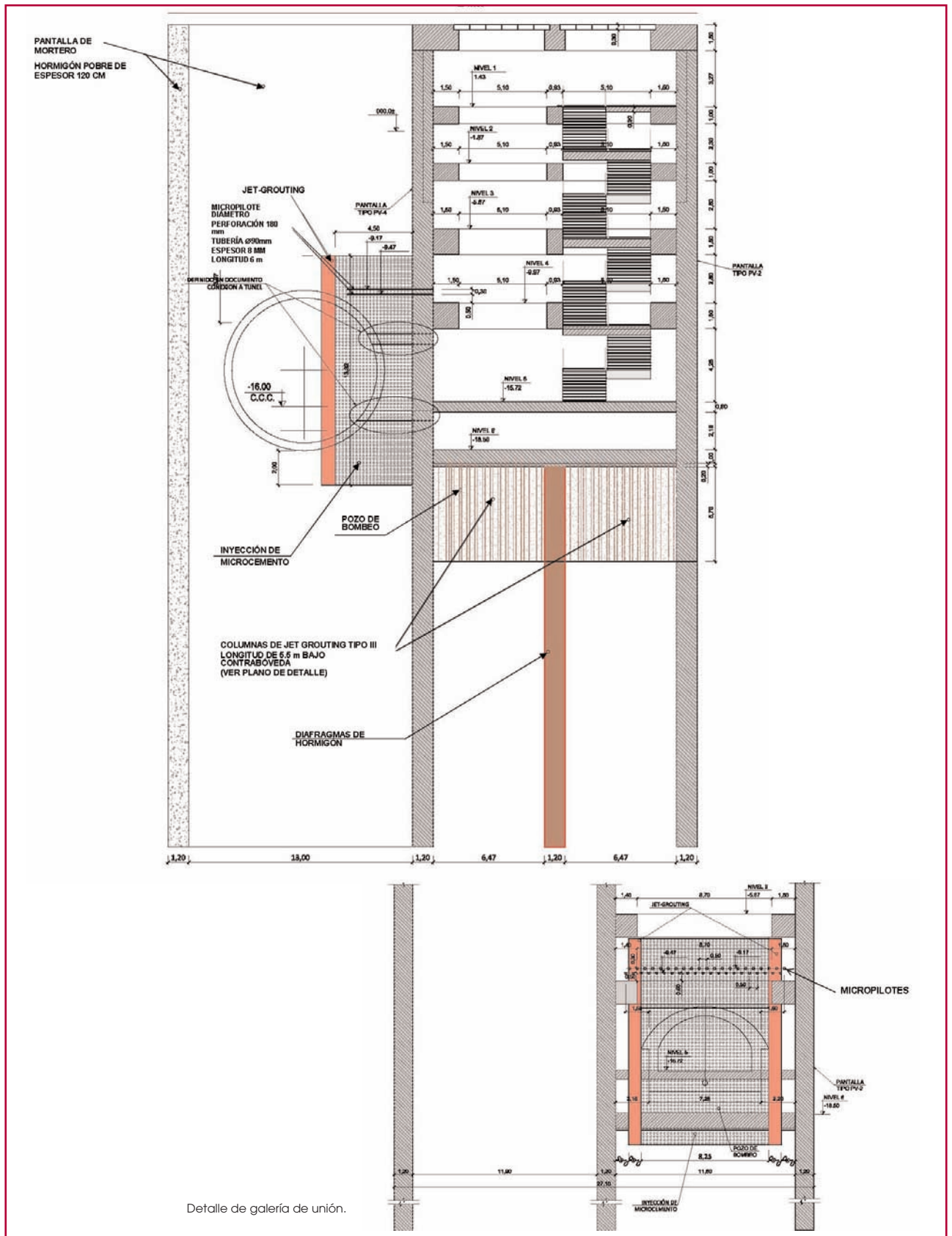
En esta zona se realizan dos recintos estancos mediante pantallas de hormigón pobre de espesor 1,20 cm. de forma que se pudiera eliminar el empuje del agua a agotar mediante bombas en el propio recinto estanco y facilitar la construcción de las conexiones entre túnel y pozo de salida. Adicionalmente, para unir la salida de emergencia al túnel, se realizó, previamente a la construcción del mismo, un tratamiento desde superficie a base de inyecciones de micro-ce-

mento, limitado a su vez, con "corralito" de jet grouting. Finalmente, para facilitar la excavación del pozo de salida y mejorar el comportamiento de las pantallas, se previó realizar un tapón de jet-grouting bajo el nivel de contrabóveda si no se puede agotar el recinto (finalmente, fue necesario ese tratamiento de fondo). En las Figs. 15 y 16 pueden verse unos esquemas de estos tratamientos.

6.6. Paso bajo el ferrocarril (T-9)

Hacia la mitad del túnel se produjo el cruce con el ferrocarril superficial existente, encontrándose la clave del túnel a unos 25 metros de profundidad. El

Fig. 16. Sección transversal de la salida de emergencia con tratamiento.



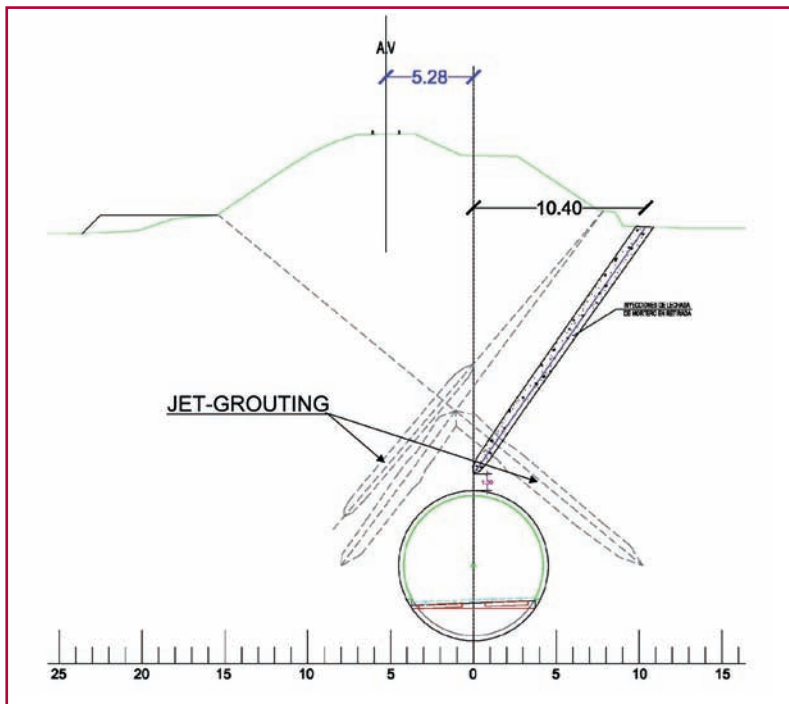


Fig. 17. Tratamiento bajo el ferrocarril.

terreno está formado por arenas cuaternarias con intercalaciones puntuales de gravas, situándose el nivel freático a unos 3 – 4 metros de la superficie. Para evitar problemas de asiento en las vías del tren por el paso de la tuneladora se decidió realizar una “tienda de campaña”, mediante columnas de jet-grouting, reforzándose el lado del ferrocarril con una línea doble de jet grouting (Fig. 17)

6.7. Llegada a la estación del aeropuerto (T10 y T11)

En esta zona que se extiende del P.K 2+040 al 2+885, se iba a realizar la precarga de las futuras pistas del aeropuerto. La altura de la precarga sería del doble de la del relleno final. El túnel no se construyó hasta que se hubiese producido la totalidad del asiento de consolidación, para evitar que se produzcan deformaciones excesivas en el túnel una vez construido (Fig. 17, tratamiento T-10).

Aparte de esta problemática, el recubrimiento de terreno natural de esta zona sobre clave es pequeño, a veces incluso inferior a medio diámetro. Para evitar que se produjeran problemas de estabilidad se dejó la totalidad de la precarga en el tratamiento T-10 hasta que se hubiese construido el túnel, no retirándose hasta después, por lo que para acelerar dicha consolidación se colocarán drenes mecha desde el pk 2+040 al 2+680. El recubrimiento total sobre el túnel en el momento de construirse, terreno natural más relleno con precarga, era, como mínimo, de 1 diámetro. En la zona donde el recubrimiento era menor se aumentó la precarga hasta que se alcanzó este valor (desde P.K 2+680 al 2+885), realizándose con el mismo material y grado de compactación que el resto del relleno, talud 3H/2V y un ancho de coronación de 30 metros.

En alguna zona el terreno natural se reforzó con una capa de 4 metros de espesor de suelo estabilizado con cemento, desde la cota del terreno natural (por encima del nivel freático, (Fig. 18, tratamiento T-11).

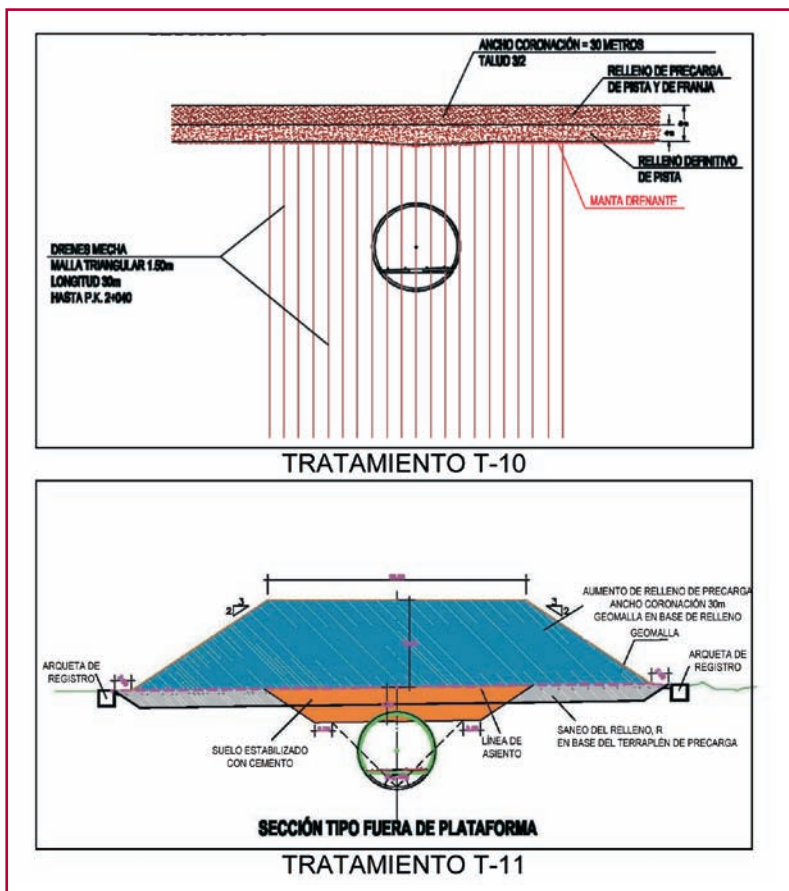


Fig. 18. Tratamientos bajo pistas (T-10 y T-11).

7. Resultados obtenidos

Se ha instalado, a lo largo de la obra diversos tipos de instrumentación:

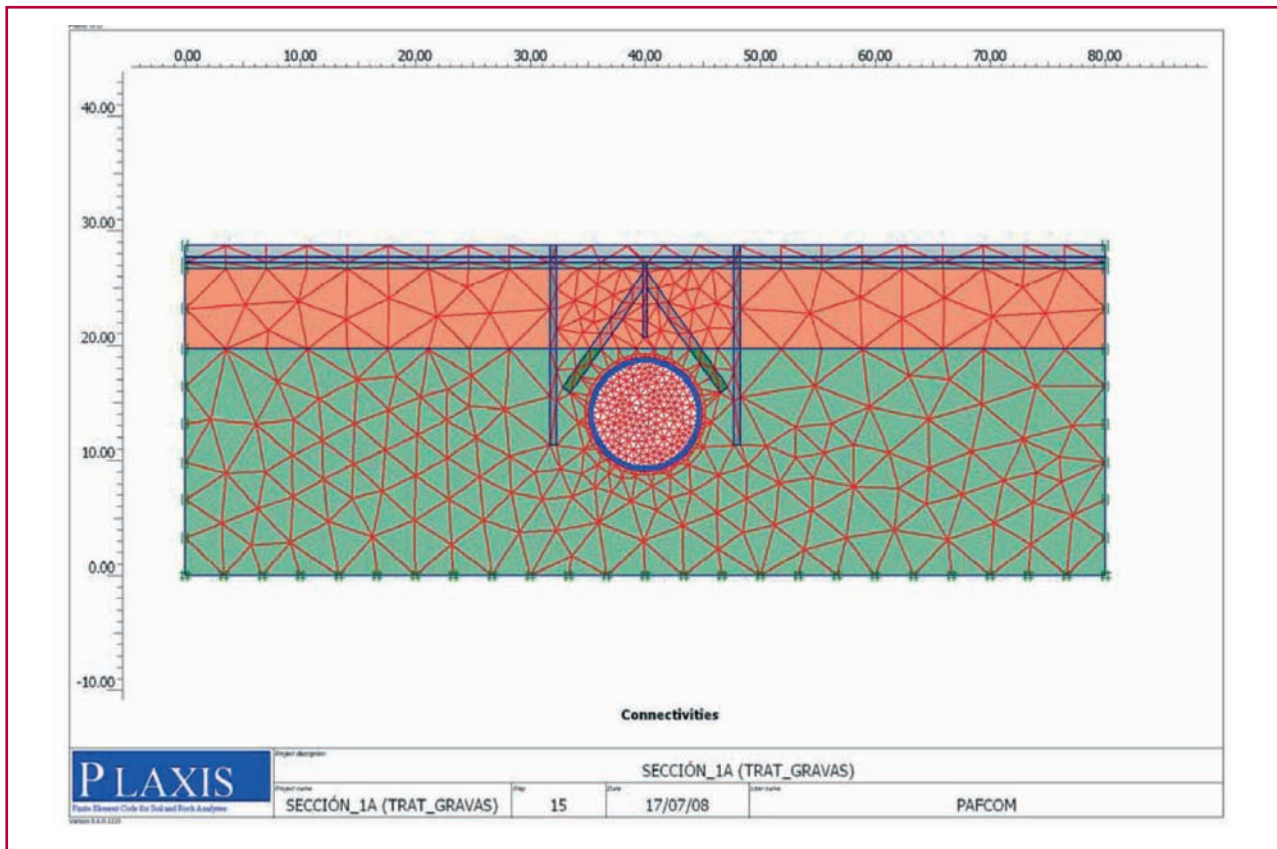


Fig. 19. Ejemplo de malla de elementos finitos.

- En pantallas, instrumentos que midiesen los movimientos horizontales, incluyendo la estación de Guadalhorce.
- En dovelas, instrumentos que midiesen empujes totales sobre el revestimiento y tensiones producidos en las propias dovelas del túnel.
- En el terreno, instrumentación que midiese los asentos y movimientos horizontales en superficie y en su interior, que pudiese afectar a infraestructuras y/o servicios ubicados en las inmediaciones de la traza del soterramiento (drenajes, pista, calle de rodaje, edificaciones, servicios, etc.)

Para ello se usaron inclinómetros, células de presión total, extensómetros de cuerda vibrante, hitos de nivelación, extensómetros de varilla, piezómetros, etc.

Los puntos más conflictivos del tramo que se hizo con tuneladora fueron estudiados con el Código numérico PLAXIS en dos dimensiones, a efecto de estimar: a) Esfuerzos axiales máximos en dovelas. b) Momentos flectores máximos en dovelas. c) Movimien-

tos verticales y horizontales en el terreno. d) Esfuerzos en losa y pilotes de apoyo (tramo inicial).

En la Fig. 19 puede verse un ejemplo de análisis realizados con el Código PLAXIS. En la Fig. 20 aparece la comparación de los movimientos medidos con los previstos. Como se aprecia de la observación de estas figuras, el grado de aproximación fue suficientemente bueno.

En el Proyecto inicial se hicieron evaluaciones de la subsidencia máxima o asiento máximo que podía inducirse con la tuneladora, a partir del Método de Sagaseta y Oteo, utilizando módulos de deformación medios, obteniéndose dispersiones importantes, como se aprecia en la propia Fig. 20 (intervalo de 1 a 3, sin tener en cuenta tratamientos). En esta figura aparece también la cobertera sobre clave del túnel. Se previeron asentos entre 15 y 45 cm, sin un grado de certidumbre claro. Sin embargo con el Código PLAXIS pudieron reproducirse los tratamientos del terreno en cada caso, obteniéndose asentos del orden de 10 a 40 mm, bastante similares a los realmente medidos. En zonas sin tratamientos llegaron a tenerse asentos de hasta 20 cm.

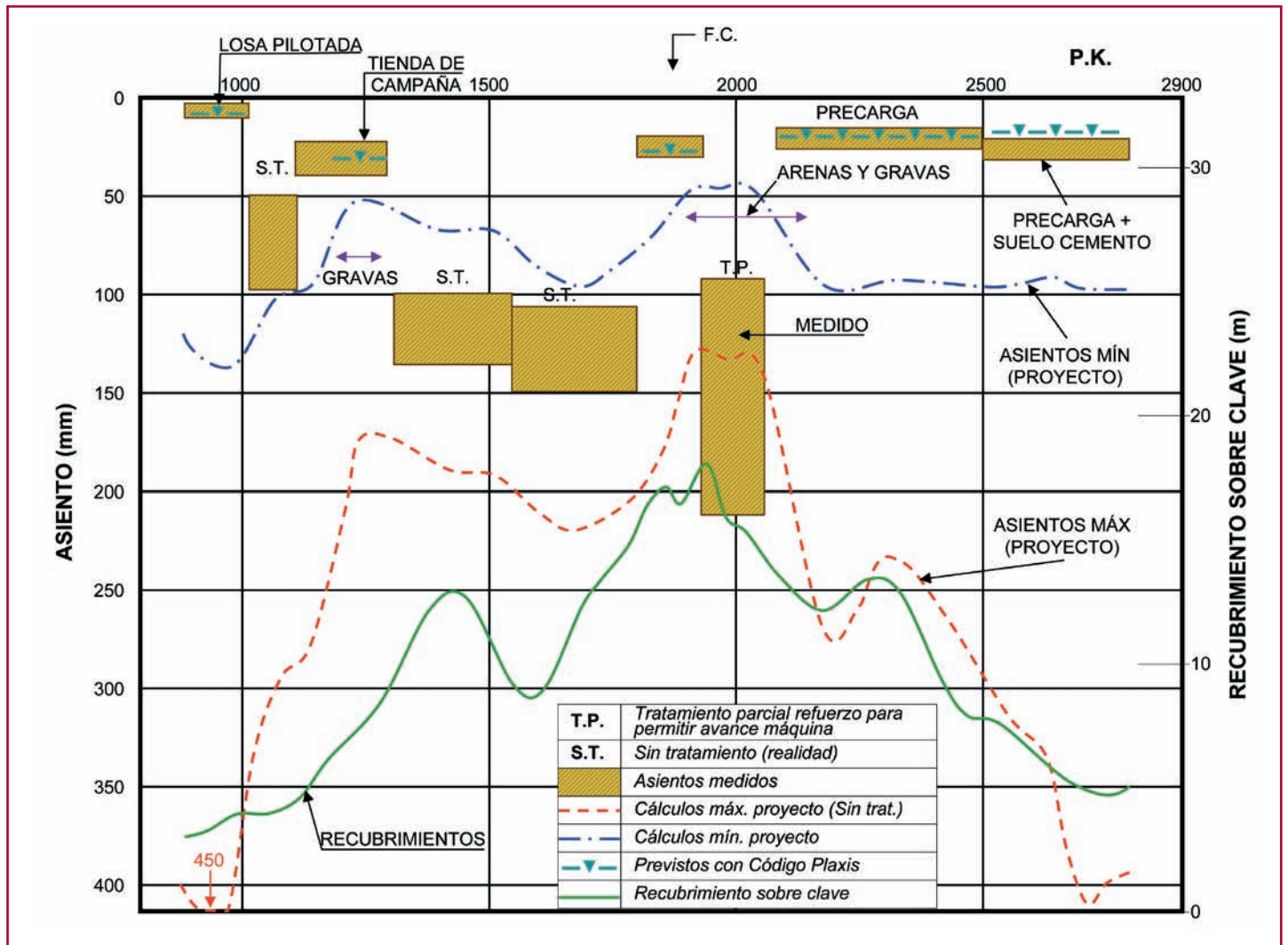


Fig. 20. Comparación de asentamientos previstos y medidos..

8. Agradecimientos

Los autores de este artículo quieren expresar su agradecimiento a AENA y la Dirección General de Infraestructuras Ferroviarias por el permiso para publicar estos resultados, especialmente a Manuel Sáez (Director del Plan Málaga) y Antonio Gutiérrez (Dir. Gen. Infraestructuras Ferroviarias). Así mismo expresan su reconocimiento a Fernando Correchel, (AENA) a la UTE NUEVA PISTA (Jaime Rodríguez, Manuel García, José Luis Canedo, Jesús Or-

tego, José Novo, Darío Bricio, Antonio de Barba y un largo etc.), a las empresas Rodio-Kronsa, SITE, Terratest y Tecnasol (que realizaron los tratamientos del terreno), a INMATEINSA (que tuvo a su cargo la instrumentación) y a Angélica Fernández (Asistencia Técnica, UTE), por toda la colaboración prestada. Mención especial merecen Marcos Dorao y Mariano Martín de AEPO, que supieron calcular y plasmar en planos gran parte de nuestras ideas y Pablo de la Fuente que realizó las simulaciones con PLAXIS. ♦

Referencias:

- SAGASETA, C. y OTEO, C. (1974) "Análisis de la subsidencia originada por la excavación de túneles". 1er Simposio Nacional sobre Túneles, Madrid, Vol. 1.

- OTEO, C. y SAGASETA, C. (1982) "Predictions of settlements due to underground openings". Int. Symp. on Numerical Models in Geomechanics. Dugar, Pyer and Studer eds. Zurich. Pp. 653-59.