PROLONGACIÓN DE LÍNEA DE FGC A TERRASSA
ESTACIÓN INTERCAMBIADOR CON RENFE
TERRASSA (BARCELONA)
REFUERZO DEL TERRENO EN EL CRUCE DE LOS TÚNELES
PARAGUAS CON ARMADURAS DE FIBRA DE VIDRIO

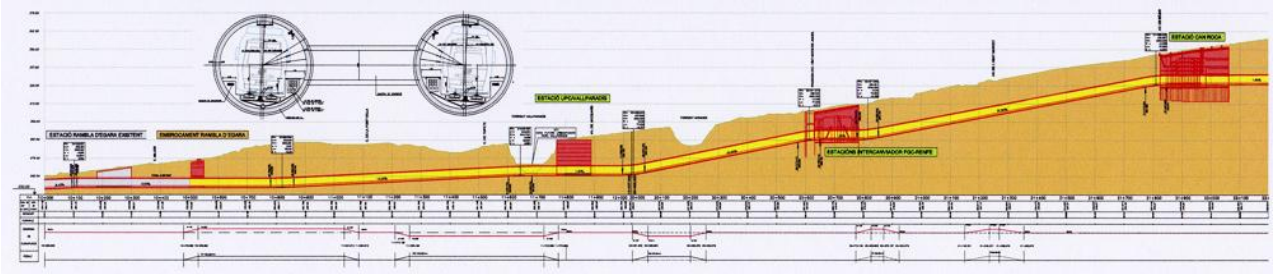
JUAN CARLOS NOVARECE PUENTE
INGENIERO DE MINAS
SITE, S.A.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN
2. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA OBRA
    2.1. Problemas presentes
    2.2. Solución adoptada
3. GEOLOGÍA Y CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS
    3.1. Geología de la zona de las obras
    3.2. Tectónica y sismicidad
    3.3. Hidrología
    3.4. Geología de la Estación del Intercambiador
    3.5. Características geotécnicas de los suelos y rocas del Intercambiador
    3.6. Resumen de parámetros geotécnicos del Intercambiador
4. DESCRIPCIÓN DE LAS ARMADURAS
    4.1. Resultados de los ensayos de flexión
    4.2. Resultado de los ensayos de tracción
    4.3. Resultados de los ensayos de cortante
    4.4. Resultados de los ensayos a compresión de probetas pequeñas y grandes
    4.5. Resultados de los ensayos a flexión en tubos
    4.6. Resultados de los ensayos de densidad
    4.7. Tabla resumen de los resultados de ensayos realizados
5. PROCESO CONSTRUCTIVO
    5.1. El sistema
    5.2. El procedimiento
6. AUSCULTACIÓN Y CONTROL
    6.1. Diseño
    6.2. Seguimiento
7. RESUMEN Y CONCLUSIONES
    7.1. Medición
    7.2. Resultados
8. AGRADECIMIENTOS
9. BIBILIOGRAFÍA

1. INTRODUCCIÓN

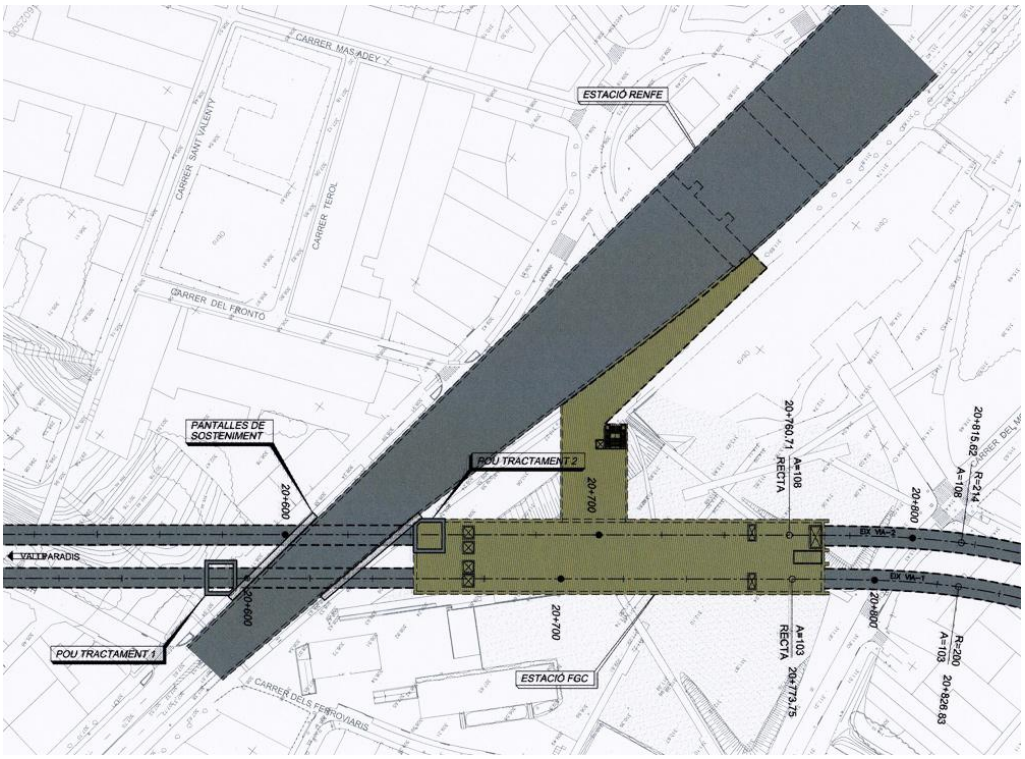
Dentro del Gran Proyecto de Ampliación de la red de trenes de cercanías del área metropolitana de Barcelona y su zona de influencia, los “Ferrocarriles de la Generalitat de Catalunya” (FGC) ejecutan la prolongación de la línea de trenes a Terrassa y dotan a la ciudad con tres nuevas estaciones urbanas subterráneas, constituyendo una verdadera línea de metro propia que une y comunica la ciudad con los nuevos tramos Rambla de Egara - Valparadis - Can Roca.



1. Perfil longitudinal ampliación tren Terrassa

Para ello, se ejecutaron dos nuevos túneles paralelos de unos 5 km de extensión con sendas tuneladoras TBM tipo EPB de 6,82 metros de diámetro.

Lo que nos ocupa en esta presentación es el tratamiento del terreno en la Estación del Intercambiador entre la línea nueva de FGC y la línea existente de RENFE, donde los dos nuevos túneles se cruzan por debajo del túnel existente de RENFE, e interceptan la conducción de un tubo colector de pluviales sobre la calle 2 de Julio de la ciudad de Terrassa. Para el tratamiento se definía en proyecto la realización de inyecciones de consolidación del terreno, conjuntamente con el refuerzo con paraguas de micropilotes de armadura metálica y apeos provisionales de las vías de Renfe. En el diseño y proyecto modificado se incorporaron nuevos materiales, no utilizados hasta el momento en España para este tipo de trabajos, para hacer factible, más seguro y práctico este tipo de refuerzos. De lo que se trata y detallaremos seguidamente, es de la utilización de armaduras tubulares en “fibras de vidrio” en la ejecución de los paraguas de micropilotes.



2. Planta Intercambiador RENFE (gris, superior) con FGC (verde, inferior)

3. Obras de la nueva estación del Intercambiador RENFE-FGC en Terrassa

2. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LAS OBRAS

2.1. Problemas presentes

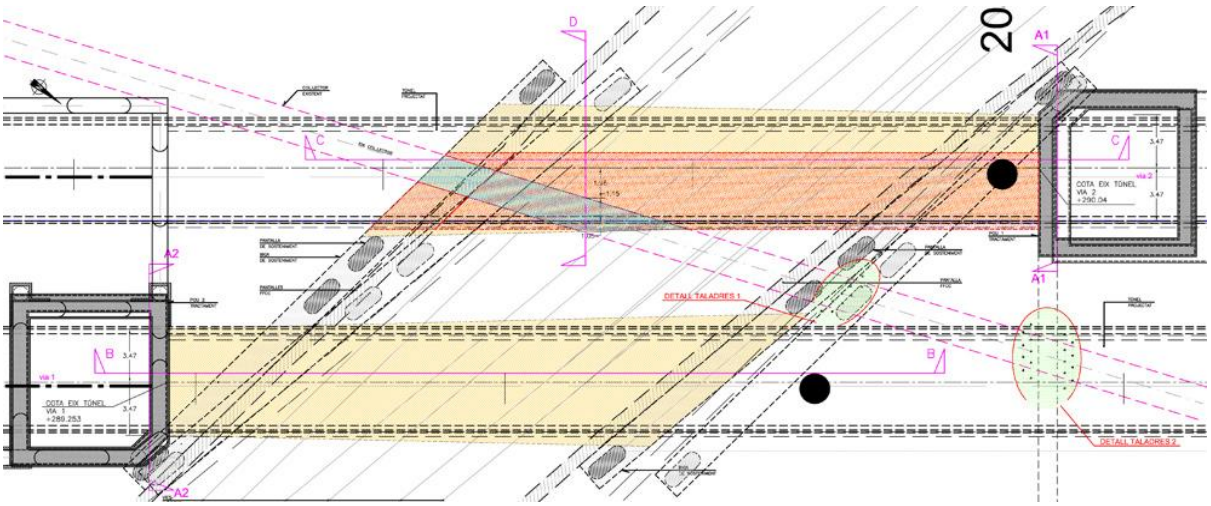
Durante la ejecución de los 2 nuevos túneles, las tuneladoras pasan por debajo del túnel existente y en servicio de la línea de ferrocarriles de cercanías de RENFE con una separación mínima entre cotas de solera (túnel RENFE) y bóveda (túneles FGC) de aproximadamente 4 metros, y de tan solo 2,50 metros por debajo de la cota de fondo de las pantallas excavadas para la construcción, en su momento, del túnel de RENFE, que se ejecutó a cielo abierto.

El proyecto en origen contemplaba la realización de un tratamiento de refuerzo del terreno en la intercepción y antes del paso de las tuneladoras, a ejecutarse desde 2 pozos excavados desde la superficie en zonas libres de la calle 2 de Julio, coincidentes con el eje de cada nuevo túnel, con sección cuadrada de 6 metros de lado y unos 20 metros de profundidad de excavación. La excavación de los pozos se realizó con protección de “pantallas continuas” de unos 25 metros de profundidad, con refuerzo de estabilización por anillos de vigas riostras perimetrales de hormigón armado, situados aproximadamente cada 5 metros.

El tratamiento previsto en proyecto, consistía en la realización de paraguas de micropilotes desde el interior de los pozos, paralelos al eje de los túneles siguiendo el perímetro superior de estos, perforados en 152 mm de diámetro, armados con tubería metálica de acero de calidad N-80 (L.E. 560KN) de 114,3 mm de diámetro exterior y 8,8 mm de espesor de pared, para absorber los esfuerzos de flexión, tracción y cortante de la carga superior, incorporando en las armaduras válvulas para la inyección global cada metro, para la consolidación del terreno circundante y disminuir las deformaciones durante la excavación.

La longitud del tratamiento desde los pozos debía cubrir la totalidad de la superficie de los nuevos túneles en su paso bajo el antiguo túnel, con longitudes medias de unos 42 metros y máximas superiores a los 50 metros. Las grandes longitudes y la reducida dimensión de los pozos de acceso definidos y construidos presentaban, para la correcta ejecución de los paraguas y tratamientos, las siguientes limitaciones y dificultades:

1. La sección de los pozos realizados (6 metros de lado en su sección mínima) permitía solo la utilización de equipos de perforación de porte reducido, con "corredera guía" inferior a 6 metros de longitud.
2. Las perforaciones subhorizontales de los paraguas no admitían una desviación superior al 2,5% en taladros de más de 50 metros.
3. Las armaduras de los micropilotes, metálicas tubulares, no podían interceptar la sección de paso y excavación de las tuneladoras.
4. Las perforaciones de los micropilotes no debían interceptar las pantallas armadas de los laterales del túnel de RENFE, a riesgo de no alcanzar las longitudes previstas de tratamiento.
5. En el proceso de perforación, no se admitía la descompresión o deformación del terreno de apoyo de la solera portante de las vías de trenes de RENFE, permanentemente en servicio.
6. Las presiones utilizadas para la perforación e inyección debían ser muy bajas y controladas, para evitar deformaciones en las vías de los trenes en servicio.



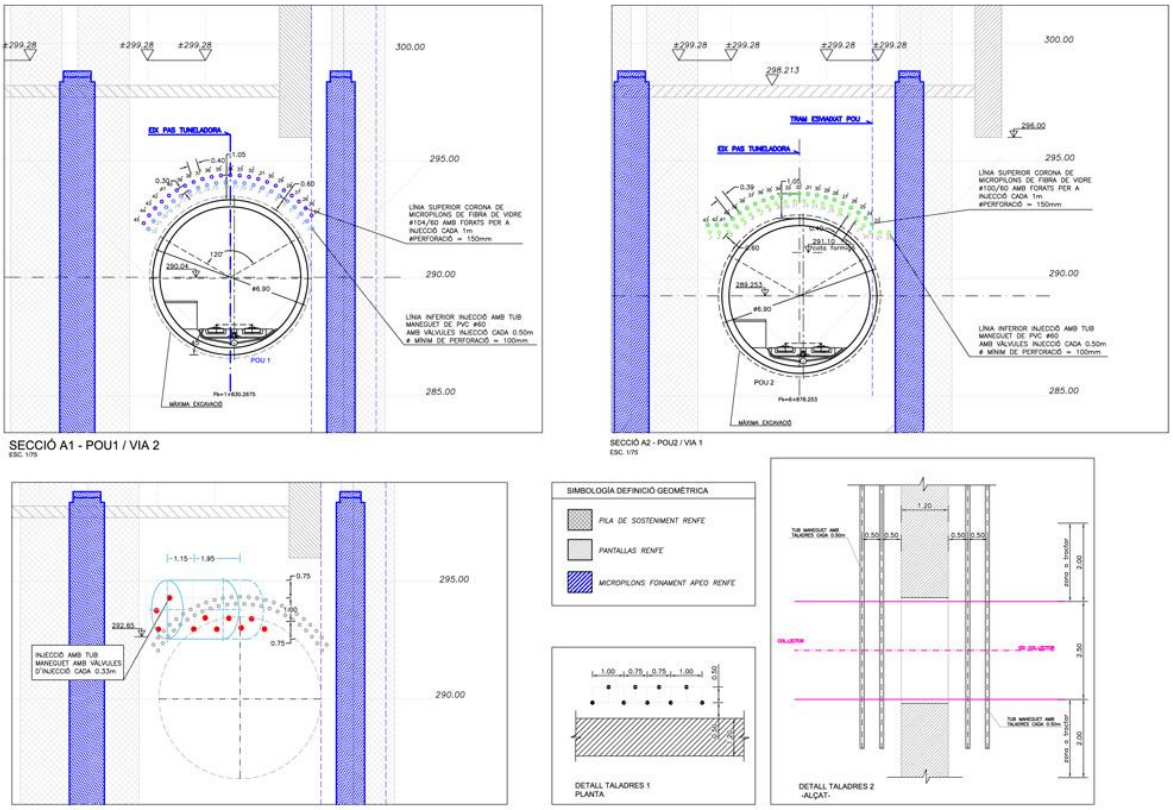
4. Distribución de los distintos tratamientos del terreno

2.2. Solución adoptada

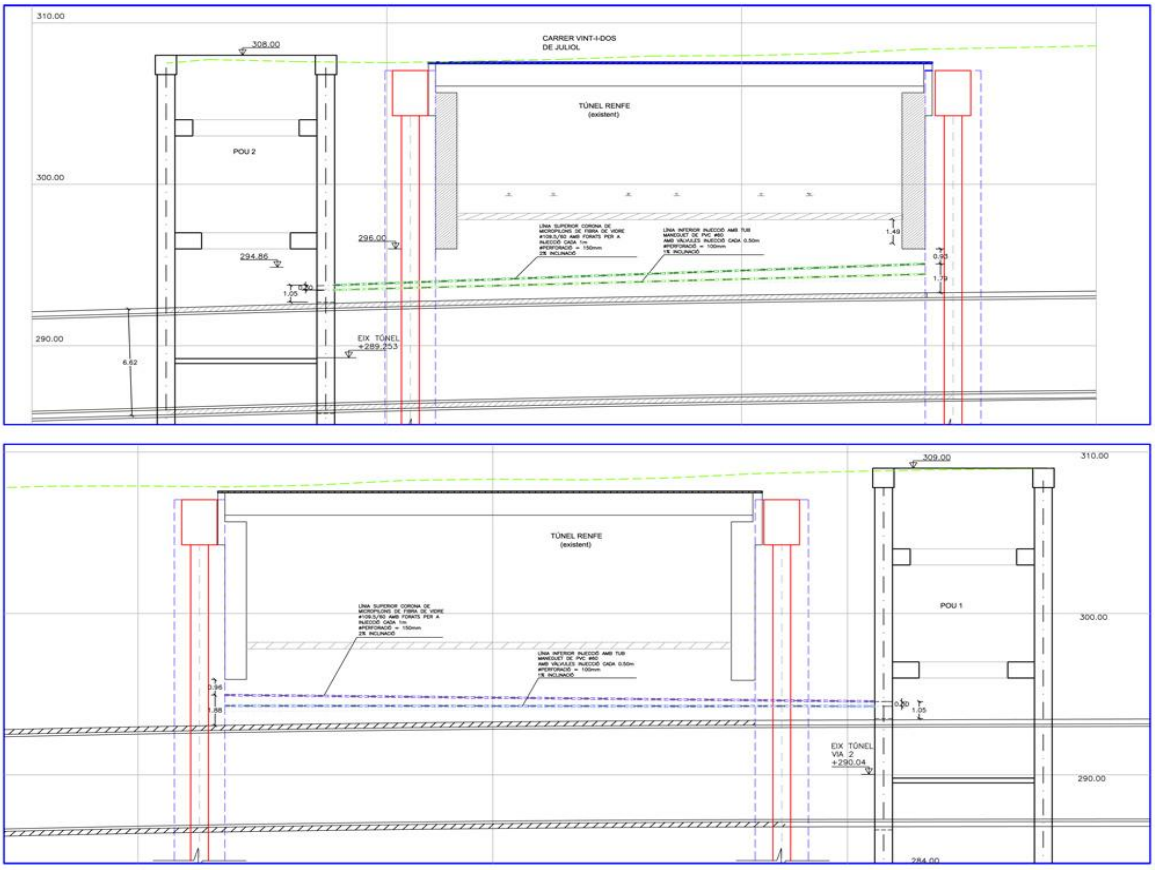
En línea general, la solución adoptada para la ejecución del paso de las tuneladoras por debajo del túnel de RENFE, consistió en los siguientes tratamientos:

1. Tratamiento de sellado del colector en la zona de interferencia de las obras, por medio de inyecciones de relleno y consolidación desde tubos de "manguitos", realizado desde el pozo 1.
2. Tratamiento para el paso bajo el túnel de RENFE, por medio de una corona exterior de micropilotes (paraguas) armados con tubos de fibra de vidrio de 100 mm de diámetro exterior y 20 mm de espesor de pared, con orificios para inyección de consolidación cada 1 metro.
3. Tratamiento para el paso bajo el túnel de RENFE, por medio de una corona interior de inyecciones a presión para consolidación con lechada de cemento desde tubos de "PVC" de 60 mm de diámetro provistos de válvulas de inyección "antirretorno" (manguitos) cada 0,50 metro.
4. Tratamiento de mejora del terreno en las zonas de intercepción del colector con las pantallas y pilas de sostenimiento, realizado desde superficie por medio de inyecciones a presión para consolidación con lechada de cemento desde tubos de "PVC" provistos de válvulas de inyección "antirretorno" (manguitos) cada 0,50 metro.

En lo que concierne a la presente exposición, nos centraremos en la descripción y ejecución de los paraguas de micropilotes perforados y armados con tubos de “fibra de vidrio”.



5. Vista de los distintos tratamientos propuestos. Corte transversal



6. Tratamiento del terreno desde pozo 2 arriba y desde pozo 1 abajo. Corte longitudinal

3. GEOLOGÍA Y CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS

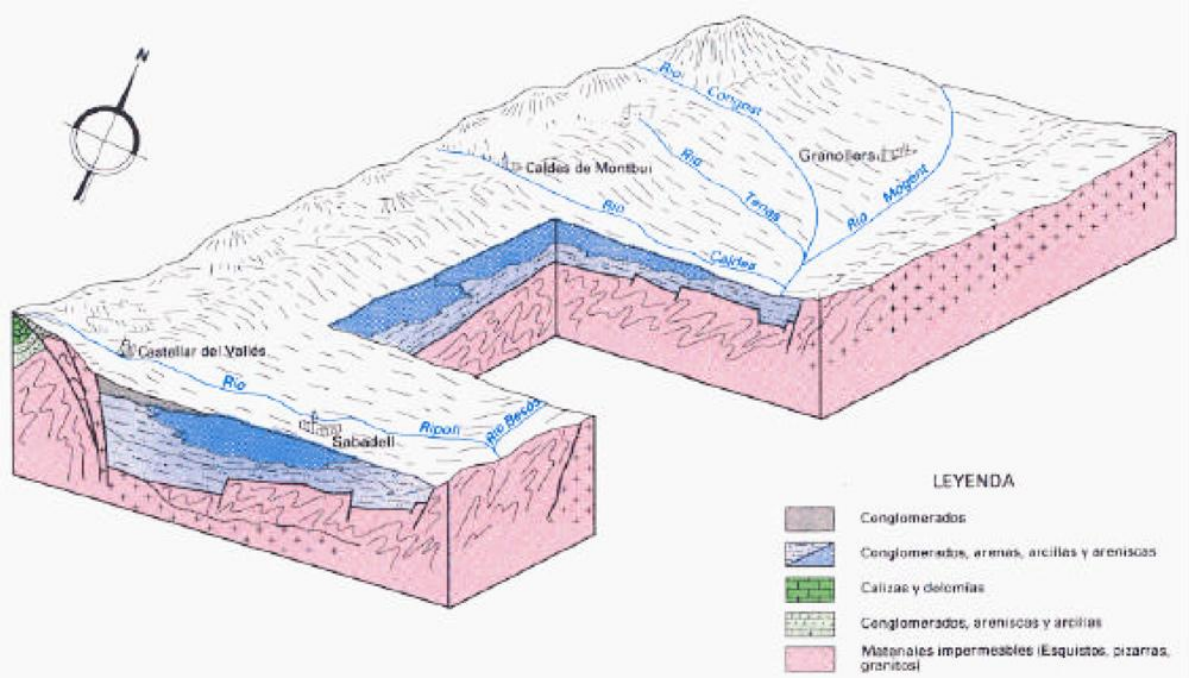
La zona de las obras se encuentra englobada geográficamente dentro de la depresión del Vallès-Penedès, que tiene una dirección suroeste-noreste, paralela a la costa del Mediterráneo. Esta depresión constituye una fosa tectónica formada durante la orogenia Alpina con depósitos de la fase Oligocena-Miocena, constituida predominantemente por sedimentos continentales recubiertos de materiales Cuaternarios de origen fluvio-torrencial (aluviales) y de pié de monte (coluviales).

3.1. GEOLOGIA DE LA ZONA DE LAS OBRAS

La traza de los túneles está caracterizada por la presencia de un zócalo de edad Miocena, formada principalmente por lutitas y areniscas, con niveles de pizarras, cuarcitas, rocas porfídicas, calcarenitas y calizas con abundante matriz areno-arcilllosa. Las capas tienen forma lenticular con estratificación cruzada de fuerte ángulo, con potencias de 50 a 75 metros.

Por encima del zócalo Terciario se encuentran las facies Cuaternarias formadas por gravas y bloques en matriz arcillosa, gravas en matriz limosa y arcillas, y limos del Pleistoceno, provenientes de la erosión de Sierra Prelitoral Catalana.

También se encuentra en la zona, en la parte superior de la columna estratigráfica, depósitos actuales de rieras y torrentes constituidos por limos con cierto contenido de gravas finas que pueden presentar una cierta cementación de carbonato cálcico.



7. Geomorfología de la cuenca del Vallès - Penedès

3.2. TECTÒNICA Y SISMICIDAD

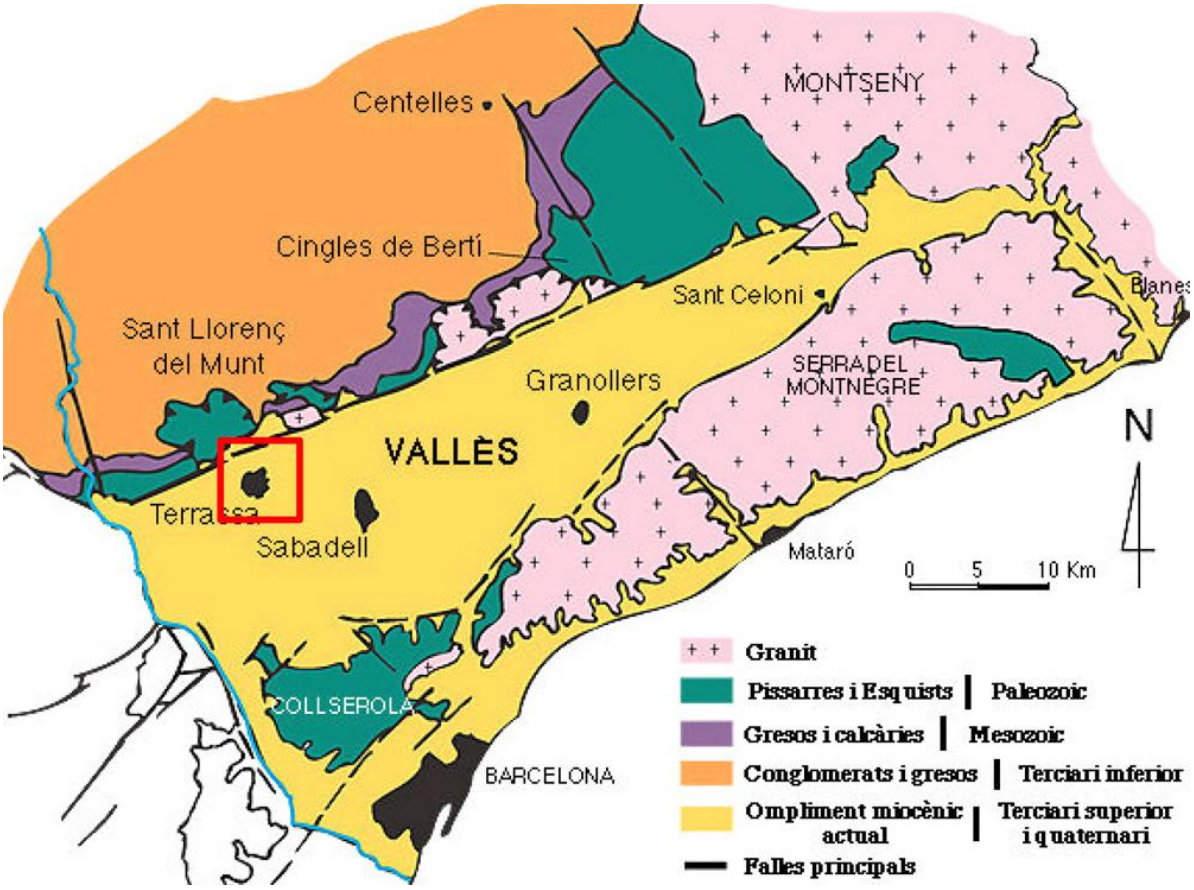
La Depresión del Vallès-Penedès es una fosa tectónica alargada de más de 100 km de longitud y 12 a 14 km de ancho, formada en la fase distensiva que se inicia en el Mioceno y que afecta la Sierra Costanera Catalana con fallas longitudinales (Terrassa) y transversales (Llobregat) con salto vertical máximo de 4 km. La sismicidad de la zona del proyecto es considerada en los códigos de peligrosidad sísmica para un período de retorno de 500 años como de intensidad moderada, y se le asigna los grados VI-VII.

3.3. HIDROLOGÍA

Desde el punto de vista hidrogeológico, la localización de los niveles freáticos de la zona de la obras se encuentra en los depósitos cuaternarios de origen aluvial y coluvial, y en los materiales del Mioceno del tipo arcillas-arenosas.

Los valores de transmisividad de los estratos arcillosos-arenosos no superan los 30 m2/día, con un coeficiente de almacenamiento del 5%, pudiendo alcanzar caudales mínimos de 5 lts/seg y máximos de 80 lts/seg. En general las aguas subterráneas en la zona se encuentran en lentes dendríticos y presentan una calidad aceptable con una salinidad media a baja.

La red hidrográfica superficial del término municipal de Terrassa, de 74 km2, está condicionada por su orografía y su situación geográfica, con torrentes y rieras provenientes de la sierra, en general secos y permeables, alimentados por fuertes lluvias estacionales.



8. Carta geológica regional y situación de la ciudad de Terrassa

3.4. GEOLOGÍA DE LA ESTACIÓN DEL INTERCAMBIADOR

En el tramo entre los PK 20+630 y 20+783 donde se encuentra la Estación del Intercambiador de FGC y RENFE, se presenta un sustrato formado por lutitas y arcilitas del Mioceno a una profundidad de unos 20 metros. Sobre este se sobrepone una cobertura de depósitos del Cuaternario, formados por arcillas con arenas y gravas, y arenas arcillosas. Finalmente, en algunos sectores se encuentran también materiales de relleno y de terraplén de la construcción del túnel y la estación de Renfe realizados a cielo abierto, con espesores de hasta 18 metros. En superficie se disponen materiales recientes de rellenos antrópicos y suelos vegetales.

3.5. CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICA DE LOS SUELOS Y ROCAS

Los parámetros geotécnicos de la zona de tratamiento e incluida en el proyecto provienen de ensayos in situ y de laboratorio realizados de muestras extraídas de sondeos. Las unidades geotécnicas pueden dividirse en tres grupos desde superficie a profundidad:

- *Depósitos de origen Antrópico*. Actuales y de terraplén, con espesor de 1,5 a 3 metros los primeros, compuestos por limos arenosos y arcillosos con gravas; con espesor de 9 a 18 metros los segundos, los materiales del antiguo terraplén de la playa de vías de RENFE, de composición variable y similares al producto de los depósitos Cuaternarios adyacentes, totalmente consolidados.

Finos 13-72%; gravas 5-69%; arenas 12-20%; plasticidad baja; humedad 2-14%; densidad 2,02-2,19 gr/cm3; saturación 17-85%; resistencia compresión simple 0,7-0,9 kg/cm2; deformación 9-15%; cohesión 0,3 kg/cm2; ángulo de fricción 30º; índice de poros 0,31-0,49.

- *Depósitos de origen Cuaternario*. Depósitos de riera, con espesor de 19-21 metros, compuestos por arenas medias a gruesas. El Cuaternario arcilloso, presenta localmente niveles granulares, limos con niveles de arcilla, arenas con gravas dispersas y nódulos de carbonato.

Finos 36-54%; índice de plasticidad 4-14%; humedad 9-14%; densidad 2,14-2,20 gr/cm3; grado de saturación 64-96%, compresión simple 0,5-2,5 kg/cm2, corte directo 0,19-0,48 kg/cm2, fricción 28-33º; cohesión 0,83 kg/cm2.

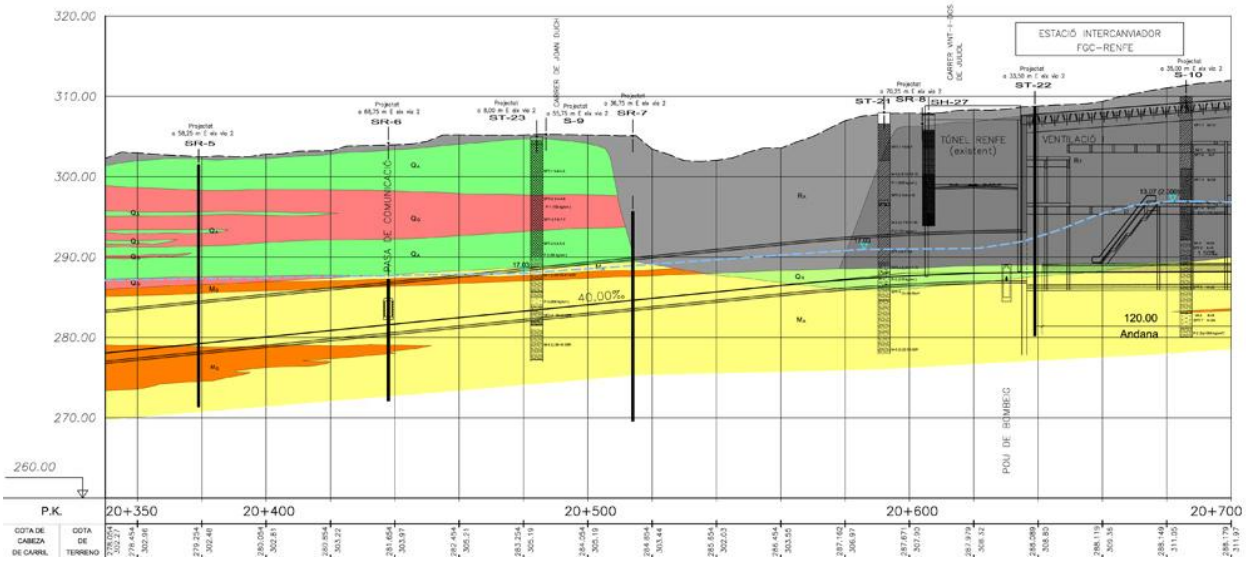
- *Depósitos Terciarios del Mioceno*. Presentes en la base de las pantallas, con espesor medio de 5-12 metros, compuestos por gravas en matriz arcillosa y limosa.

Finos 45-98%; gravas 0-24%; arena 1-31%; grado de saturación 75-100%; densidad 2,07-2,23 gr/cm3; compresión simple 4,4-6,1 kg/cm2; cohesión 0,47 kg/cm2; fricción 19-42º.

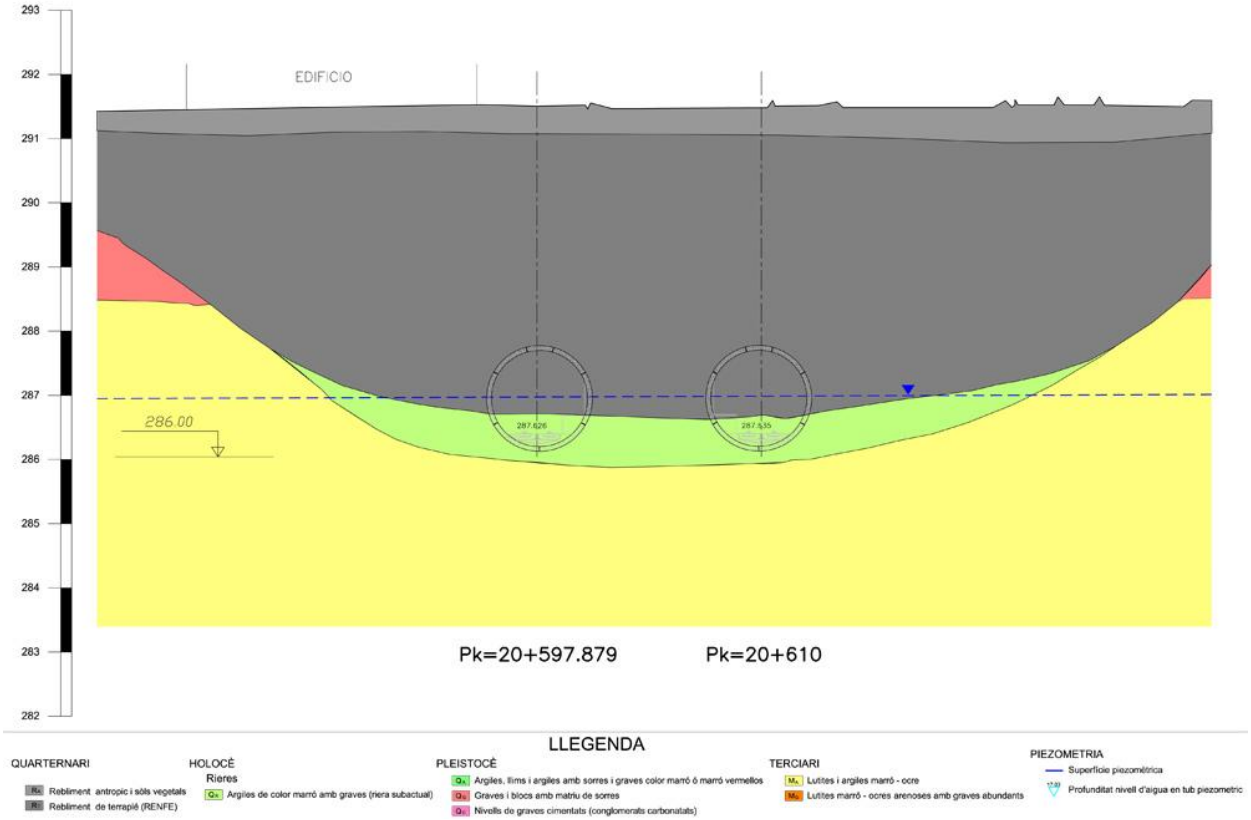
Los niveles piezométricos en la zona del intercambiador se sitúan entre 15 y 17 metros.

3.6. RESUMEN DE PARÁMETROS GEOTÉCNICOS DEL INTERCAMBIADOR

Unidad Geotécnica	Densidad ɣ (g/cm³)	Modulo Deformación Emin (k/cm²)	Modulo Deformación Eu min (kcm²)	Coeficien. Poisson (U)	Cohesión drenado c' (k/m²)	Fricción drenado Ø' (º)
Relleno antrópico (RA)	1,95	75	75	0,30	0,05	22
Terraplén RENFE (RT)	2,10	250	600	0,30	0,20	24
Depósito riera (QR)	2,20	200	200	0,30	0,10	24
Cuaternario arcilloso (QA)	2,15	350	840	0,30	0,30	25
Cuaternario granular (QG)	2,15	1.200	2.880	0,30	0,05	35
Cuaternario cementado (QC)	2,20	1.500	5.500	0,25	0,10	40
Mioceno arcilloso (MA)	2,15	550	1.320	0,25	0,40	27
Mioceno arena-grava (MG)	2,30	600	1.440	0,28	0,30	30



9. Perfil longitudinal en la zona del Intercambiador



10. Corte transversal de los túneles en la zona del intercambiador

4. DESCRIPCIÓN DE LAS ARMADURAS

La armadura de los micropilotes de los paraguas de refuerzo, fue definida y constituida por tubos fabricados a base de resina sintética reforzada con fibras de vidrio.

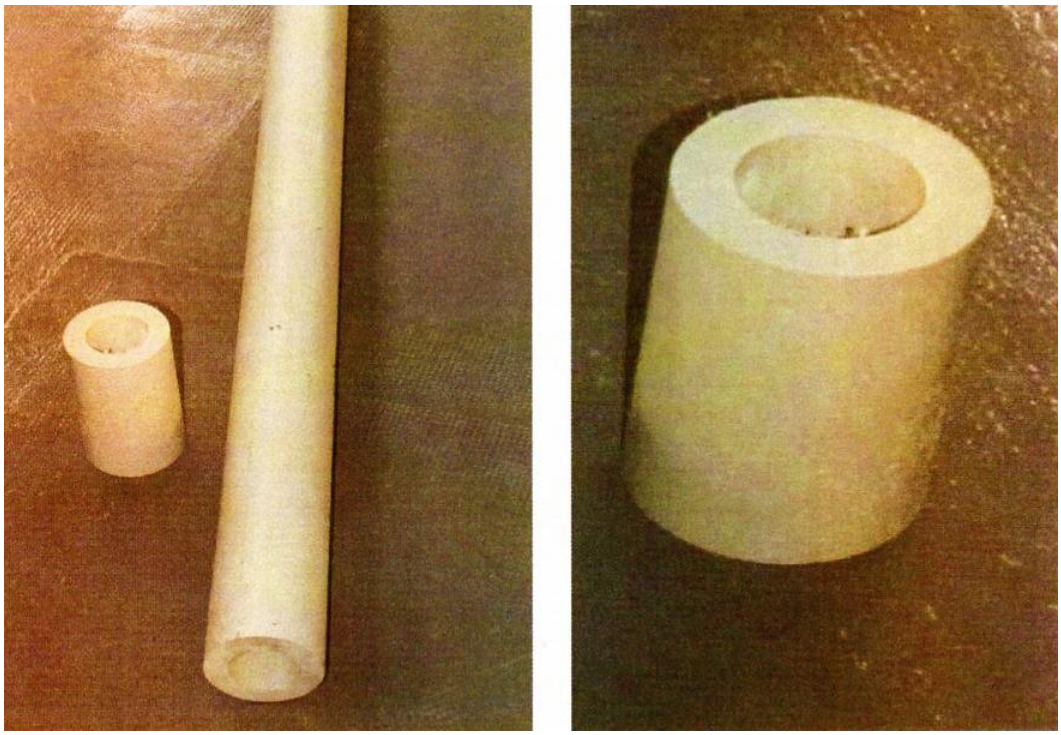
La sección de los tubos fue diseñada de modo equivalente al comportamiento mecánico de las armaduras metálicas de proyecto, dentro de las secciones tipos que podían fabricarse o que existiesen en el mercado, de la cual se verificó en laboratorio con ensayos de identificación y mecánicos. La sección de fabricación que se optó como equivalente fue: 100 mm de diámetro exterior y 20 mm de espesor de pared.

La fabricación de los tubos fue realizada de forma continua con colocación de las fibras de vidrio también continuas siguiendo la dirección longitudinal (Nioglas). La longitud de los tubos se definió de modo de hacerlos manipulables en el interior de los pozos, en tramos de 4,00 metros. La unión entre tramos se realizó con tubos interiores de menor diámetro (manguitos), con las siguientes medidas: 600 mm de longitud, 60 mm de diámetro exterior y 10 mm de espesor de pared. La unión se completaba con el ranurado de la pared exterior del "manguito" para facilitar la adherencia y la colocación en toda la superficie del mismo de un pegamento bicomponente de resina Epoxi de alta adherencia.

El diseño de los manguitos de unión permite un comportamiento mecánico similar a la armadura tubular continua.

	60			100			110			120			130			170		
	espesor	secc.	peso	espesor	secc.	peso	espesor	secc.	peso	espesor	secc.	peso	espesor	secc.	peso	espesor	secc.	peso
	mm	mm2	Kg/m	mm	mm2	Kg/m	mm	mm2	Kg/m	mm	mm2	Kg/m	mm	mm2	Kg/m	mm	mm2	Kg/m
40	**10**	1.570	2.984															
45	**8**	1.237	2.349															
50	**5**	864	1.641															
55																		
60				**20**	5.027	9.550	**25**	6.676	12.684	**30**	8.483	16.117						
65				**18**	4.536	8.618	**23**	6.185	11.751	**28**	7.992	15.184						
70				**15**	4.006	7.611	**20**	5.655	10.744	**25**	7.462	14.177						
75				**13**	3.436	6.529	**18**	5.085	9.662	**23**	6.892	13.095						
80				**10**	2.827	5.372	**15**	4.476	8.505	**20**	6.283	11.939	**25**	8.246	15.668	**45**	17.671	33.576
85							**13**	3.828	7.274	**18**	5.635	10.707	**23**	7.598	14.437	**43**	17.023	32.345
90							**10**	3.141	5.968	**15**	4.948	9.402	**20**	6.911	13.131	**40**	16.336	31.039
100										**10**	3.456	6.566	**15**	5.419	10.296	**35**	14.844	28.204
110													**10**	3.770	7.162	**30**	13.195	25.070
120																**25**	11.388	21.638
150																**10**	5.027	9.550

11. Tabla de armaduras de fibra de vidrio con secciones posibles de fabricación

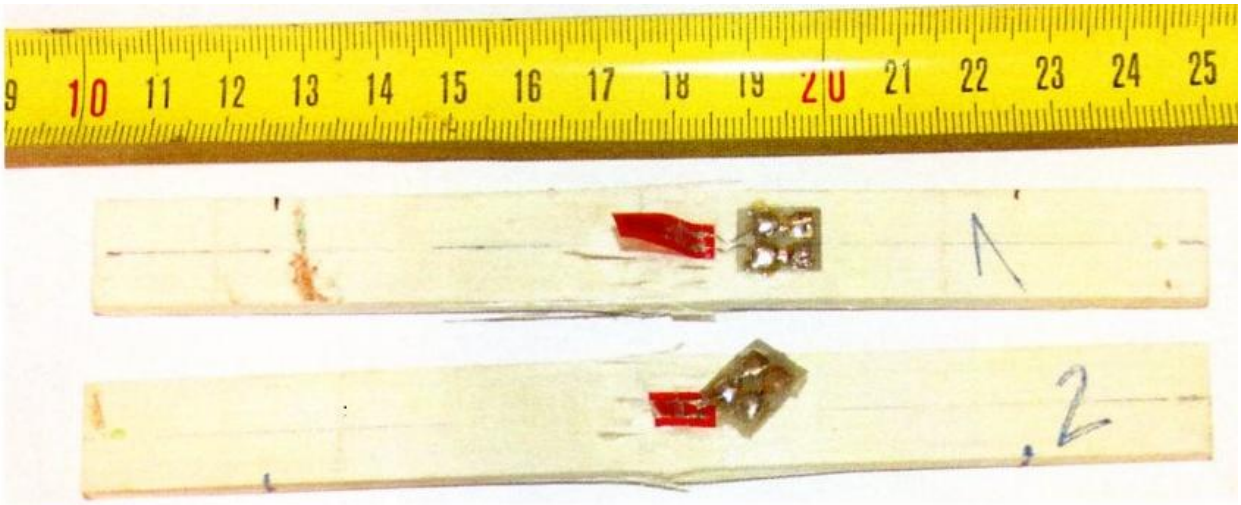


12. Sección de tubos para ensayos

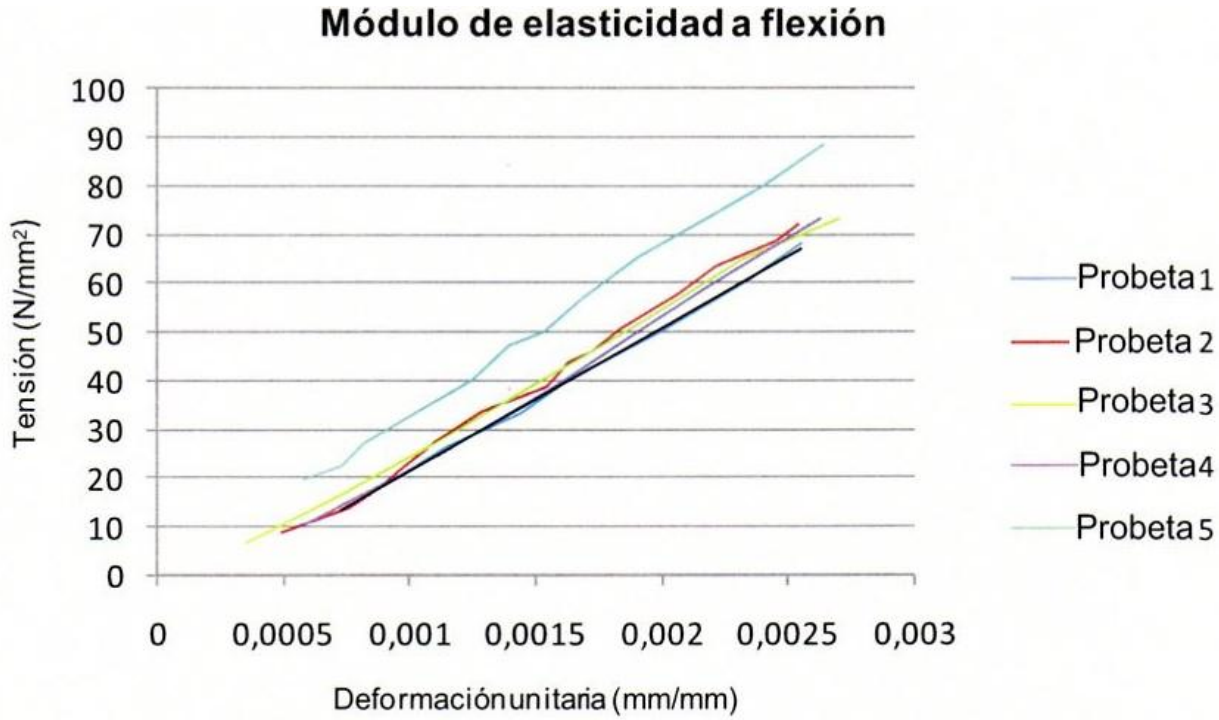
Para la comprobación de las características mecánicas y físicas de los tubos de fibra de vidrio que se definieron para la obra, se realizaron los siguientes ensayos de laboratorio:

4.1. Flexión en probetas:

- Determinación de la resistencia a flexión, tensión máxima y módulo de deformación a flexión, según norma UNE-EN ISO-141. En probetas laminares longitudinales.



Probetas ensayadas número 1 y 2

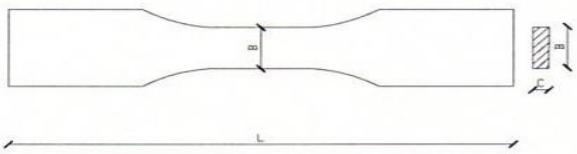


13. Tabla resumen ensayos de flexión en probeta

Probeta	Base (mm)	Canto (mm)	Carga máxima (N)	Tensión máxima (N/mm2)	Módulo deformación (N/mm2)
1	15,12	4,88	2.472,00	1.030,00	29.662,00
2	15,10	4,86	2.460,00	1.034,00	30.904,00
3	15,09	4,94	2.208,00	899,00	28.256,00
4	15,05	4,76	2.079,00	913,00	30.658,00
5	15,07	4,82	2.165,00	925,00	33.460,00

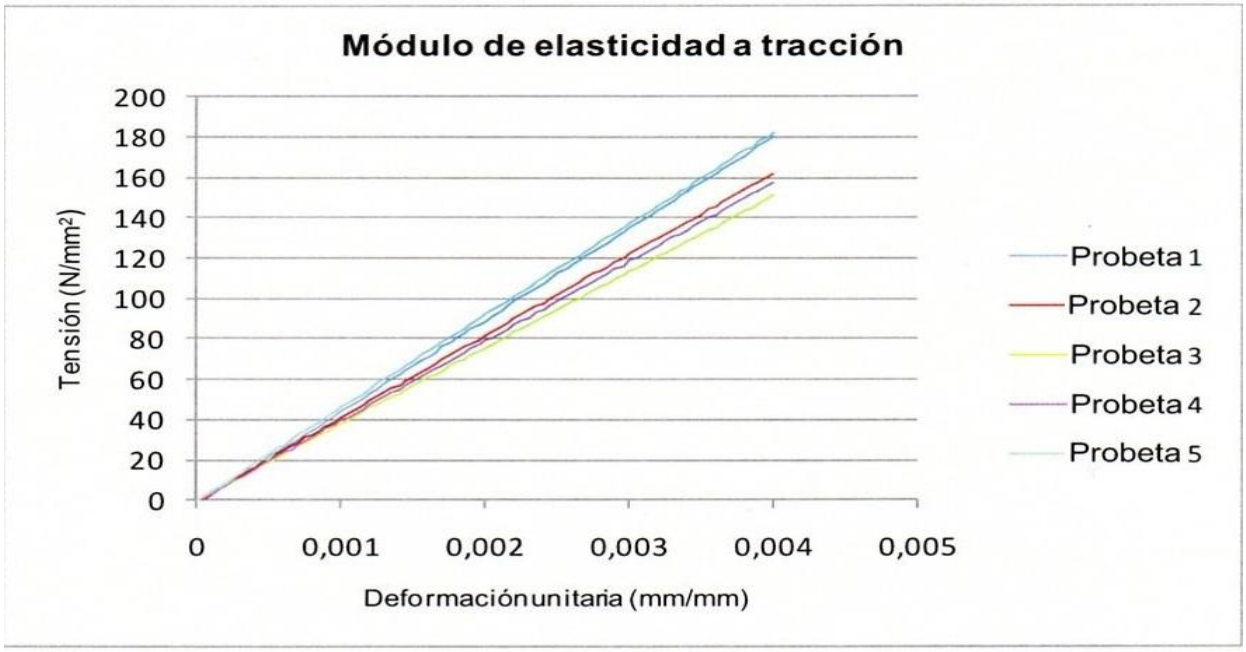
4.2. Tracción en probetas:

- Determinación de la resistencia a tracción, tensión máxima y módulo de deformación a tracción, según norma UNE-EN ISO 527-1. En probetas laminares longitudinales.



Probetas obtenidas de la mecanización

Probetas ensayadas número 1 y 4



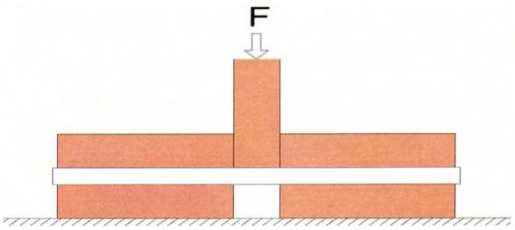
14. Gráfico Módulo elástico a tracción

Probeta	Base (mm)	Canto (mm)	Tensión máxima (N/mm2)	Módulo deformación (N/mm2)
1	24,10	7,55	733,00	45.589,00
2	24,10	7,55	668,00	40.978,00
3	24,10	7,71	656,00	37.089,00
4	24,10	8,01	607,00	37.260,00
5	24,10	8,10	540,00	42.634,00

15. Tabla resumen de resultados de los ensayos de tracción en probetas

4.3. Cortante en probetas:

- Determinación de la resistencia a cortante, siguiendo criterios de la norma ASTM D732. En probetas cuadrangulares pequeñas.



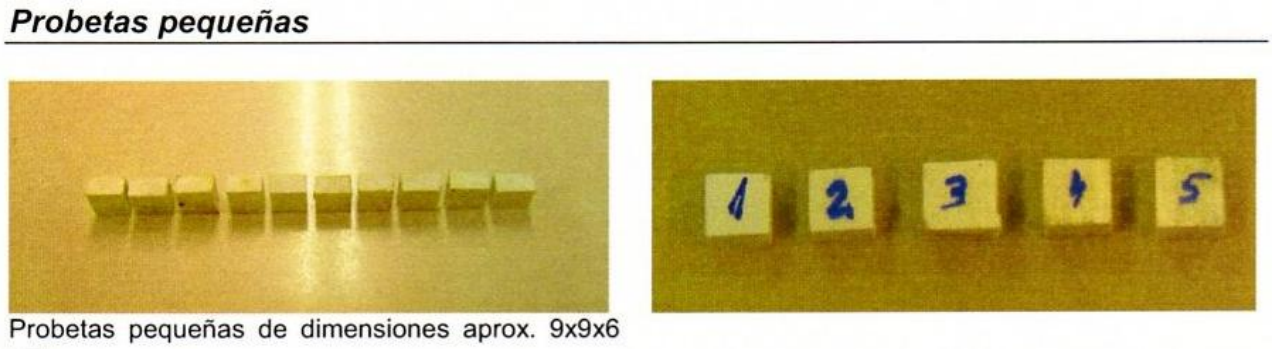
Esquema ensayo de corte

Probeta	Base (mm)	Canto (mm)	Carga máxima (N)	Tensión máxima (N/mm2)
1	6,72	40,87	86.681,00	157,80
2	5,98	40,50	87.621,80	180,80
3	6,19	40,32	94.217,20	188,70
4	5,70	40,49	88.043,20	190,70
5	5,60	40,12	86.798,60	193,20

16. Tabla resumen de los ensayos de cortante en probetas

4.4. Compresión en probetas:

- Determinación de la resistencia a compresión siguiendo criterios de la norma UNE-EN ISO 14126. Probetas cuadrangulares pequeñas, grandes y media sección de tubo.



17. Probetas pequeñas a izquierda y grandes a derecha

Probeta	Base (mm)	Altura (mm)	Grueso (mm)	Carga rotura (N)	Tensión máxima (N/mm2)
1	10,36	10,81	6,06	16.395,00	261,00
2	10,16	10,72	5,85	20.871,00	351,00
3	10,33	10,38	6,03	16.804,00	270,00
4	9,50	10,36	5,87	22.423,00	402,00
5	9,83	10,28	5,96	15.170,00	259,00
6	9,78	9,84	6,01	16.225,00	276,00
7	9,48	10,46	5,91	18.420,00	329,00
8	10,65	10,07	5,90	21.709,00	345,00

18. Probeta procedente de una lámina paralela a la anterior

Probetas procedentes de una lámina cortada longitudinalmente

Probeta	Base (mm)	Altura (mm)	Grueso (mm)	Carga rrotura (N)	Tensión máxima (N/mm2)
1	9,05	9,71	6,02	24.932,00	458,00
2	9,09	9,39	6,00	22.862,00	419,00
3	10,75	10,21	6,05	37.175,00	572,00
4	9,56	10,67	5,81	17.688,00	318,00

19. Tabla resumen de los ensayos de compresión en probetas pequeñas

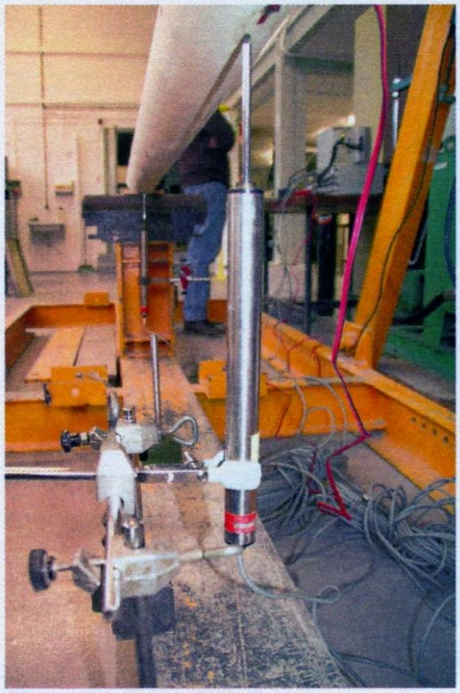
20. Probetas grandes

Probeta	Sección (mm2)	Altura (mm)	Carga rrotura (N)	Tensión máxima (N/mm2)
1	2.390,00	20,55	861.420,00	360,00
2	2.464,00	39,79	958.832,00	389,00
3	2.489,00	39,75	1.025.080,00	412,00
4	2.296,00	59,23	1.079.960,00	470,00
5	2.408,00	59,25	1.052.520,00	437,00

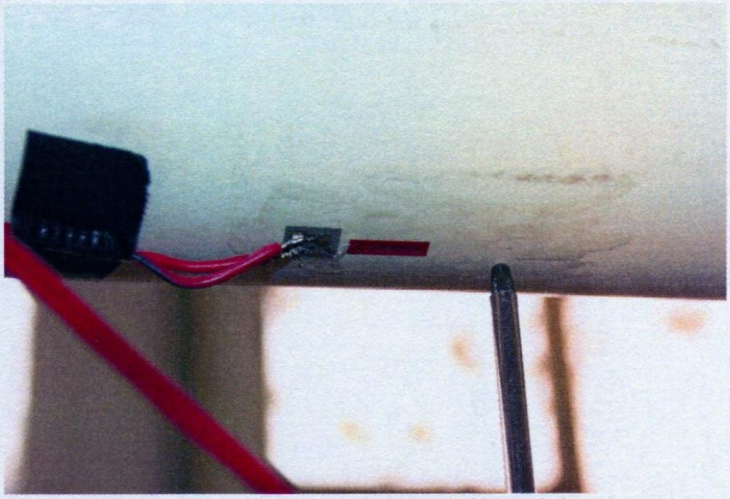
21. Tabla resumen de los ensayos de compresión en probetas grandes

4.5. Flexión en tubos:

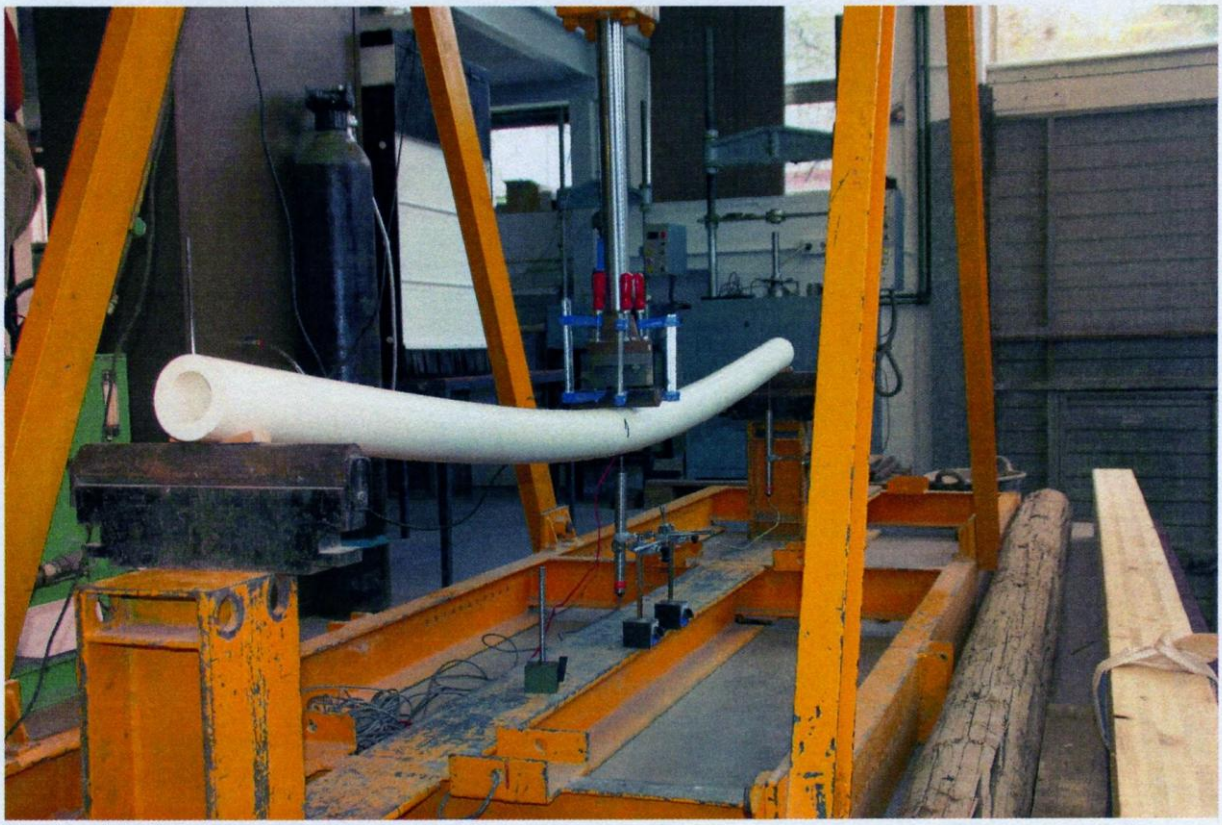
- Determinación de la resistencia a flexión, tensión máxima y módulo de deformación a flexión del tubo entero.



Situación de los LVDT

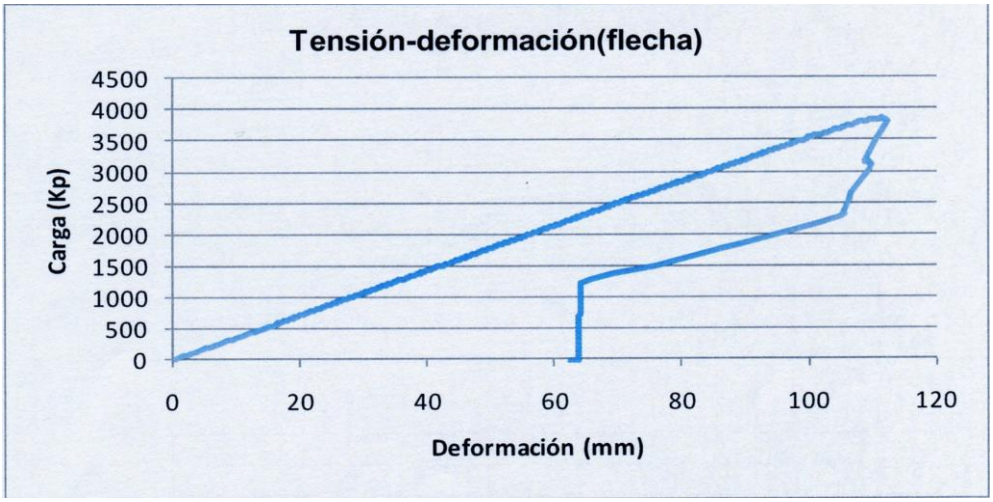


Galga extensométrica a la zona de tracción máxima

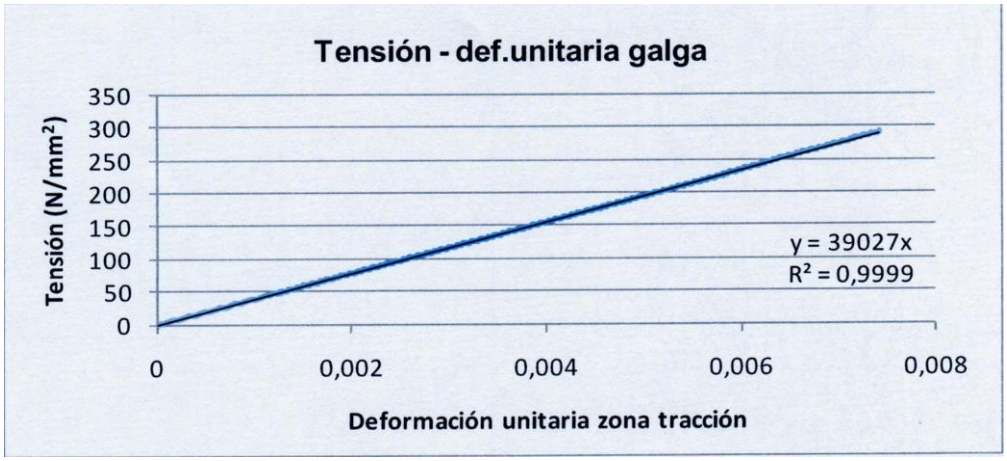


Flexión del tubo durante el ensayo

22. Ensayos a flexión de tubos enteros en laboratorio



23. Gráficos de ensayos de flexión en tubos



4.6. Densidades:

- Determinación de las densidades relativa y aparente por el método de inmersión, según UNE EN ISO 1183 – 1:2004. En probetas en media sección de tubo.

24. Tabla resumen de ensayos de densidad

Probeta	Peso seco (grs.)	Densidad aparente (gr/cm3)	Densidad relativa (gr/cm3)
1	117,84	1,90	1,97
2	98,97	1,90	1,97
3	83,92	1,90	1,97
4	101,46	1,90	1,98
5	114,67	1,90	1,97

4.7. Resumen de resultados:

Tabla de resultados de los ensayos realizados en trozos del material	
Resistencia a flexión	**960 N/mm2**
Módulo elástico (flecha)	**30.588 N/mm2**
Resistencia a tracción	**641 N/mm2**
Módulo elástico a tracción	**40.710 N/mm2**
Resistencia a cortante	**182 N/mm2**
Resistencia a compresión (piezas pequeñas)	**311 - 442 N/mm2**
Resistencia a compresión (medias piezas)	**414 N/mm2**
Densidad aparente	**1,90 gr/cm3**

Tabla de resultados de los ensayos realizados en tubos	
Momento flector de rotura	**2.895 mKp**
Cortante en el momento de rotura	**1.996 Kp**
Tensión máxima de rotura	**332 N/mm2**
Módulo elástico a flexión (zona tracción)	**39.482 N/mm2**

25. Tabla de resultados de los valores medios obtenidos en los ensayos mecánicos y de identificación en probetas y tubos

5. PROCESO CONSTRUCTIVO

Los trabajos de tratamiento del terreno en las zonas de la intercepción de los nuevos túneles de FGC y existente de la línea de ferrocarriles de RENFE en la Estación del Intercambiador se realizaron entre los meses de julio a septiembre de 2009.

Para la ejecución de las perforaciones se eligió una máquina marca Comacchio MC-800 con desplazamiento sobre orugas, de accionamiento hidráulico, motor de explosión Diesel, y corredera guía de 6 metros, similar a la de las fotos siguientes.

26. Equipos de perforación hidráulicos Comacchio MC-800

5.1. El sistema de perforación elegido fue de rotación a doble tren con martillo de fondo BR-4 con revestimiento continuo del taladro en toda su longitud para evitar desviaciones importantes. La tubería de revestimiento utilizada fue de diámetro exterior 152 mm en tramos de 2 metros con utilización de corona de corte de widia. En el martillo de fondo de accionamiento por aire comprimido se utilizó un tallante de 124 mm. Como fluido de perforación y limpieza del "cuting" se utilizó aire comprimido a baja presión para evitar arrastres excesivos, rotura de la estructura de los rellenos, o asentamientos de estos y/o estructuras superiores, fundamentalmente del apoyo de las vías del tren en servicio.

El replanteo de los taladros se realizó topográficamente con posicionamiento de dos puntos proyectados sobre las pantallas del pozo (en el punto de inicio y en la cara opuesta de las pantallas) para lograr la orientación e inclinación. La inclinación se medía como comprobación con posicionamiento de un transportador de grados sobre la corredera guía de la máquina.

27. Máquina perforadora en pozo 2

28. Máquina perforadora en pozo 1

5.2. El procedimiento seguido en la ejecución de los paraguas de micropilotes fue el siguiente:

- Posicionamiento y verificación del equipo de perforación.
- Perforación con doble tren con revestimiento total y continuo del taladro.
- Retirada del varillaje y martillo de perforación.
- Colocación de armadura tubular de fibra de vidrio en tramos de 4 metros, uniones con maguitos interiores y pegado con resina Epoxi, realizado in-situ.
- Retirada de la tubería de revestimiento del taladro.

- Sellado del espacio anular entre el tubo de fibra y pantalla de hormigón en boca de taladro.
- Inyección (IGU) del taladro con obturador colocado en boca del tubo de fibra de vidrio, con salida simultanea por el fondo y por los orificios cada metro en toda la longitud del tubo.
- Lechada de inyección utilizada, a base de cemento portland normal con relación igual a 1:1
- Presión de inyección máxima 2-3 Bar, caudal máximo 400 lts/hora, volumen máximo de 300 lts/ml o hasta alcanzar las condiciones de rechazo anteriores.
- El control de los parámetros de inyección se realizó de forma electrónica y automatizada con un equipo marca VOPI de 2 canales, con parada automática.

29. Acopio de armaduras tubulares de fibra de vidrio y manguitos de unión, y el montaje de las armaduras

En las fotos superiores, podemos ver los tubos de fibra de vidrio acopiados en el almacén y en obra, los manguitos de unión interior con las cápsulas de pegamento de resina sintética en la fotografía inferior derecha, los tubos con los manguitos colocados y pegados como “machos” listos para ser introducidos en los taladros, previa impregnación con pegamento de resina (superior derecha).

La inyección de las perforaciones armadas se realizó con sellado del espacio anular, colocación de un obturador mecánico en la boca del tubo, e inyección global unificada (IGU) con parámetros de inyección controlados automáticamente hasta conseguir las condiciones de rechazo previamente establecidas.

30. Equipos de registro de parámetros de inyección automatizada marca VOPI

Concluido el tratamiento del terreno entre los túneles se procedió al sellado de los pozos (1 y 2) con hormigón pobre y relleno hasta nivel de superficie, antes del paso de las tuneladoras.

31. Sellado del pozo antes del paso de la tuneladora

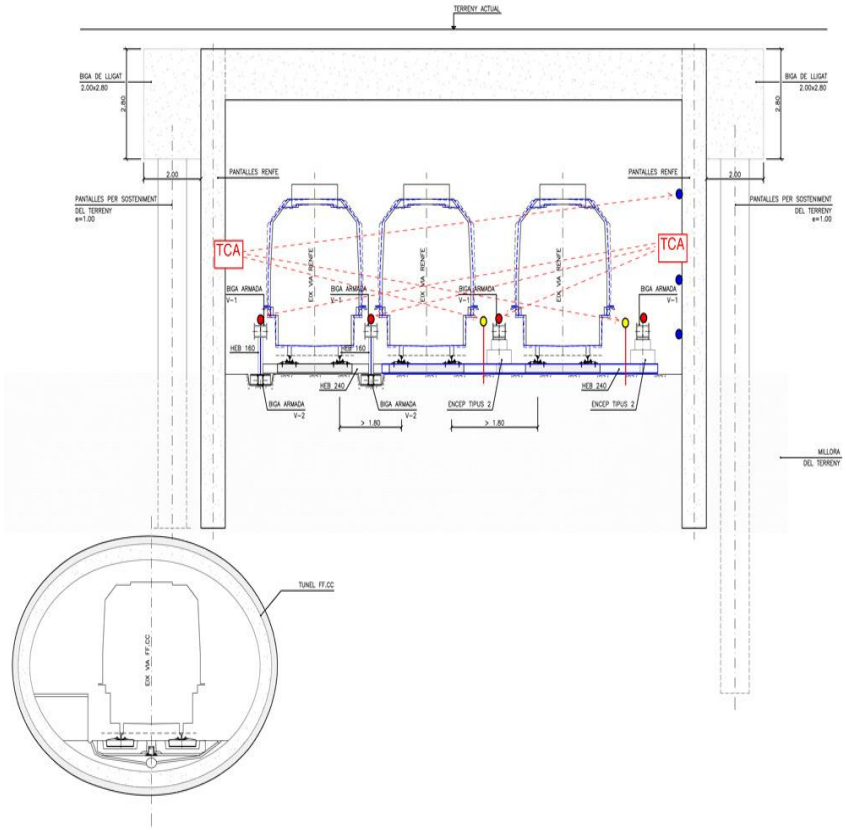
6. AUSCULTACIÓN Y CONTROL

Para el control y seguimiento de los trabajos de tratamiento del terreno y de excavación por el paso de las tuneladoras por debajo de las vías de los trenes de RENFE en la intercepción con la estación del Intercambiador, así como del comportamiento de los apeos de las vías, manteniendo en todo momento el servicios de trenes de cercanías, se instalaron varias secciones de auscultación geotécnica y topográfica con dispositivos de instrumentación y lectura topográfica automatizada.

- **6.1. Diseño:**

Las principales secciones de medición se instalaron en el túnel de RENFE y constó de:

- Prismas.
- Referencias.
- Estaciones de teodolitos automatizado.



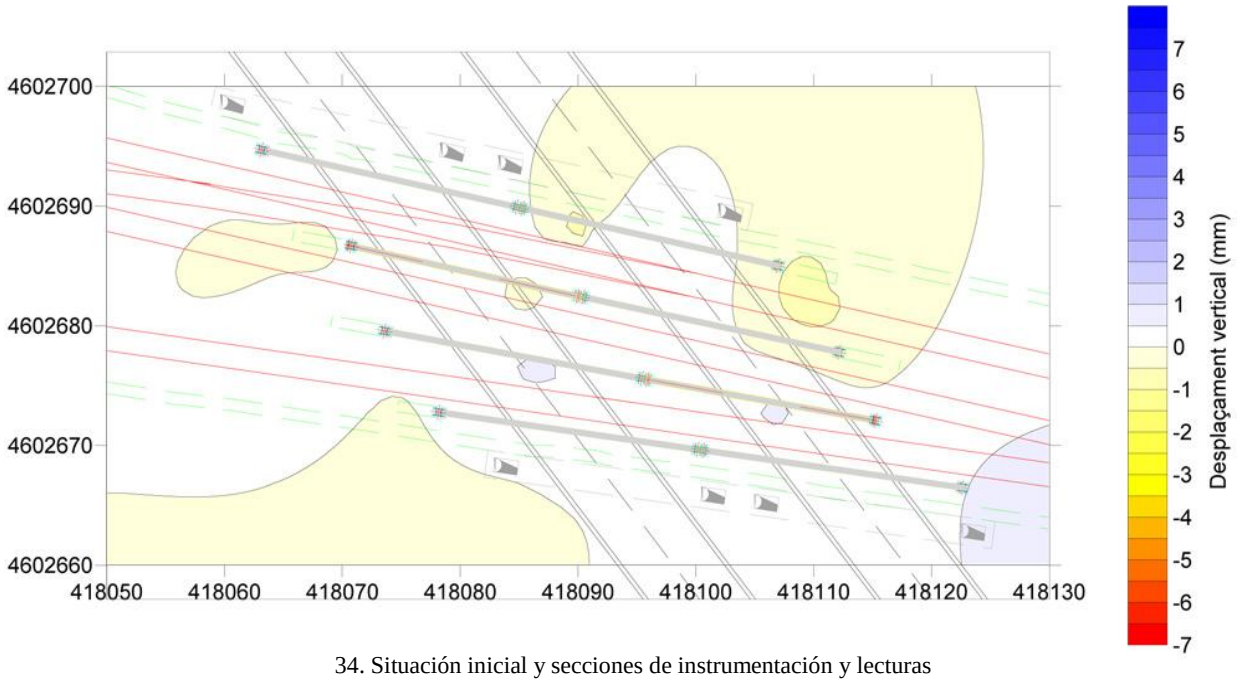
32. Sección en la intercepción de los túneles de FGC y RENFE, con las secciones de control

33. Situación de teodolito y prismas en el túnel de RENFE

- **6.2. Seguimiento:**

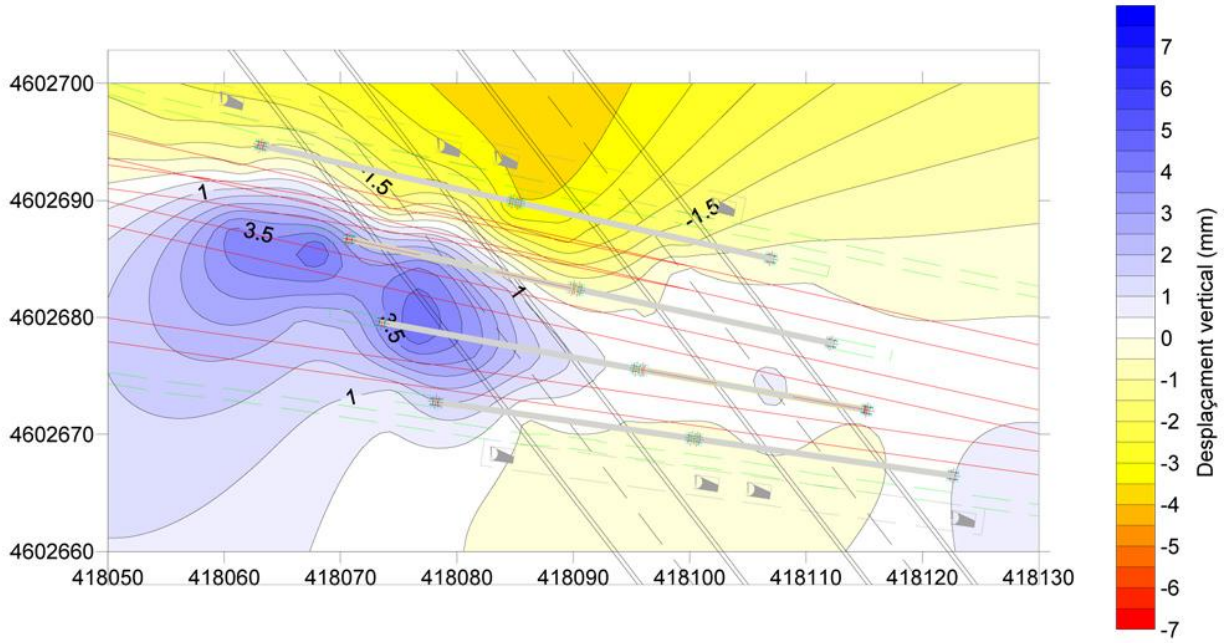
A continuación se muestra el seguimiento de los desplazamientos registrados automáticamente en el túnel de RENFE a lo largo de los diferentes tratamientos del terreno, durante y posterior al paso de las

tuneladoras durante la excavación de los túneles de FGC.



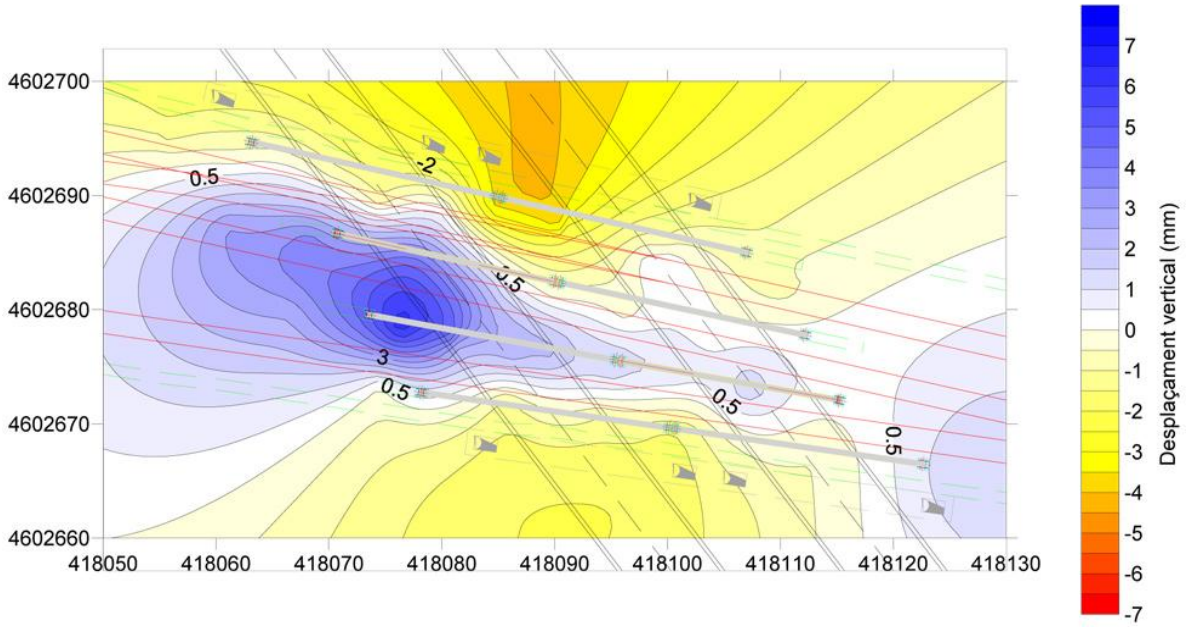
34. Situación inicial y secciones de instrumentación y lecturas

Al finalizar el tratamiento del terreno sobre la vía 2 (túnel 2 de FGC) se registraron levantamientos de hasta 4 mm (gráfico siguiente). Por el exterior de la pantalla, en la zona sin tratamiento se registran descensos de hasta -3,5 mm. En la vía 1 no se producen movimientos significativos.

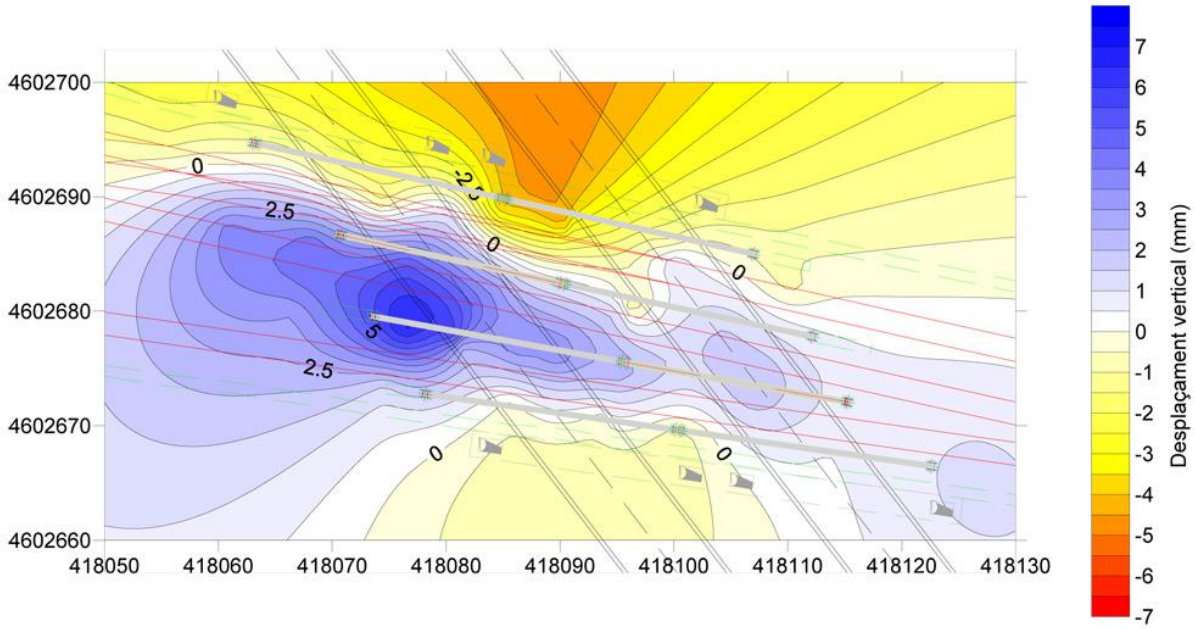


35. Situación al finalizar el tratamiento de terreno con inyección y paraguas en vía 2, previo al paso de la tuneladora

Posterior al paso de la tuneladora (gráfico siguiente) se produjeron incrementos de 2 mm y máximos de 5,5 mm respecto de la situación precedente, con asentamiento fuera de las pantallas de 4 mm. Sin movimientos en la vía 1.



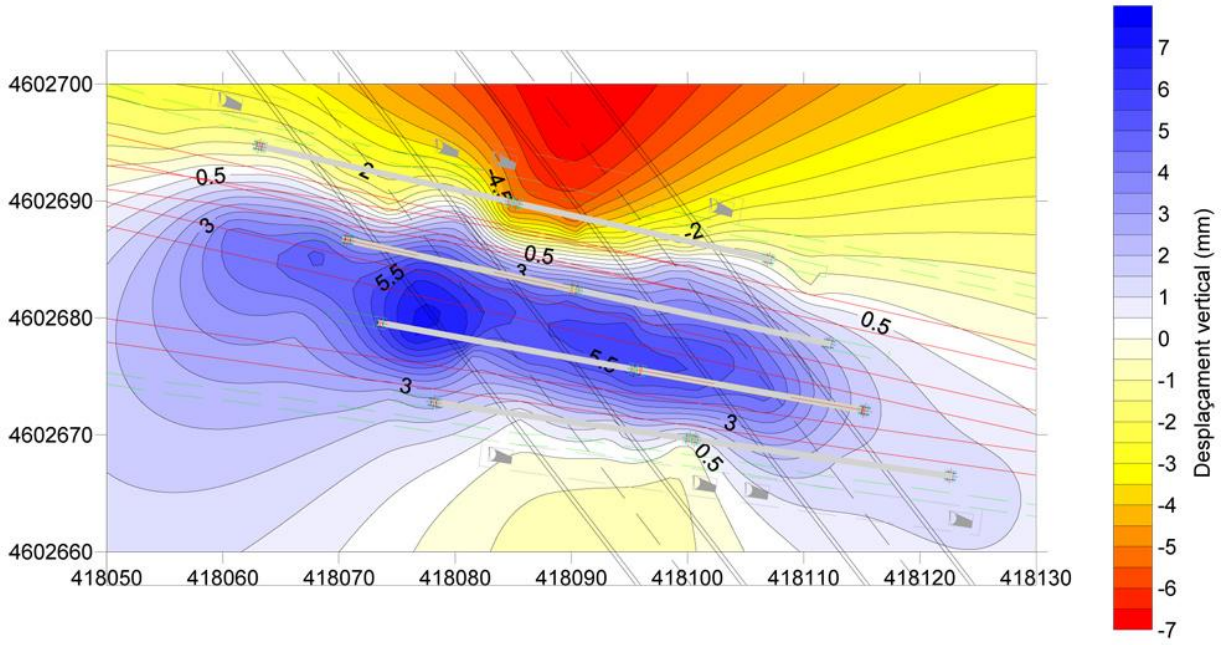
36. Situación final en vía 2, posterior al paso de la tuneladora



37. Situación al finalizar el tratamiento de terreno con inyección y paraguas en vía 1, previo al paso de la tuneladora

Al finalizar el tratamiento sobre la vía 1 (túnel 1 de FGC, gráfico superior), se registraron levantamientos del orden de 1,5 mm sobre la zona central de la vía.

En el gráfico inferior se registran movimientos de ascenso posterior al paso de la tuneladora por la vía 1 (túnel 1 de FGC) de hasta 5,5 mm, coincidentes con el eje entre túneles, y de descenso fuera de la zona de tratamientos, principalmente fuera de la pantalla norte de hasta 6,5 mm.



38. Situación final en vía 1, posterior al paso de la tuneladora

7. RESUMEN Y CONCLUSIONES

7.1. MEDICIÓN:

- 1.670 m.l. de micropilote en 152 mm de diámetro con armadura tubular de fibra de vidrio 100/60 mm.
- 2.780 m.l. de perforaciones para inyección con tubo de PVC con manguitos cada 50 cm.
- 2.400 uds. de obturación para inyección con obturador doble y/o simple en ambos tratamientos (inyecciones desde tubos de PVC con manguitos y desde tubos de fibra de vidrio con orificios).
- 51 Tn. de cemento portland normal inyectado en forma de lechada con obturador doble en tubos de PVC con manguitos y con obturador simple en boca de taladros para tubos de fibra de vidrio con orificios.

7.2. RESULTADOS:

- La suma de los diferentes tratamientos del terreno y apeos proyectados permitió el paso de las tuneladoras a pocos metros de las vías de los trenes de cercanía y en funcionamiento de RENFE con deformaciones poco significativas y sin trastornos.

- La utilización novedosa de las armaduras tubulares de fibra de vidrio en paraguas de refuerzo del terreno permitió alcanzar grandes longitudes (superiores a 50 metros) cubriendo toda la zona de interferencia de los nuevos túneles con el existente, sin temor de las desviaciones que pudieran producirse y dificultaran o impidieran el paso de las tuneladoras, las cuales pasaron bajo la estructura existente sin ningún inconveniente.

- La combinación de la consolidación del terreno por medio de inyecciones de cemento, con el refuerzo a flexión, tracción y cortante con paraguas de micropilotes con armaduras de fibra de vidrio, ayudado por los apeos correspondientes de las vías, se mostró un método eficaz para el refuerzo de zonas comprometidas con terrenos poco coherentes e inestables, corroborado con el seguimiento continuo y simultáneo de las secciones de instrumentación y dispositivos topográficos automáticos.

8. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos sinceramente la colaboración prestada para la elaboración de este artículo y ponencia a la propiedad de la obra, el Gestor de Infraestructuras de Cataluña (GISA); a la Dirección de obra, la UTE EGARA (CICSA-AVESA-EUROGEOTÉCNICA) en nombre del Director de Obra y su cuerpo Técnico que nos facilitaron desinteresadamente gran parte de la documentación de proyecto y seguimiento de la obra; a la Constructora de las obras, la UTE TÚNEL TERRASSA (FCC-OHL-COPISA) por el apoyo recibido durante la ejecución de los trabajos y su autorización y apoyo para la elaboración de esta publicación; a la fábrica de componentes en fibra de vidrio NIOGLÁS, por el interés y dedicación en la investigación y puesta a punto para el suministro de las armaduras de fibra de vidrio; al personal técnico, oficiales y operarios de SITE, por el esfuerzo y esmero en la ejecución de estos importantes y difíciles trabajos en condiciones límites e incómodas, así como por el aporte de sus experiencias y datos recogidos durante el período de ejecución; y a otras personas anónimas o que pueda pasar por alto, sin las cuales no hubiera sido posible realizar con éxito el tratamiento y los trabajos hasta aquí expuestos.

9. BIBLIOGRAFÍA

- Proyecto Constructivo de la Prolongación del FGC a Terrassa. Generalitat de Catalunya. Direcciò General del Transport Terrestre. GISA.
- Informe sobre Ensayos realizados en tubos de resina reforzada con fibra de vidrio. Ref. 3578. Barcelona. NIOGLAS.
- Estudio geotécnico para el proyecto de construcción del túnel de la “Línia de FGC de Terrassa”. Geopayma, S.A. Enero de 2004 y sucesivas ampliaciones.
- Técnicas de Mejora del Terreno. Jornadas Técnicas Semsig-Aetess, 6ª sección. 23 de Febrero 2006.
- Micropilotes. Jornadas Técnicas Semsig-Aetess, 3ª sección. 1 de Julio 2003.
- Paraguas pesados de micropilotes. José Polo Narro. Site, S.A. Conferencias 05. www.site.biz.
- Paraguas de micropilotes. Tomás Murillo. Site, S.A. *Jornadas sobre Obras de Interés Geotécnico ejecutadas por Constructores Españoles. Semsig-Aetess, 20ª sesión.*