

ANEJO Nº 04. GEOTECNIA.

AUTORES:
BONO MATA, Inés
SERRANO CHACÓN, Álvaro Rubén

ÍNDICE

| | | Pág. |
|----|---|-------------|
| 1. | INTRODUCCIÓN..... | 3 |
| 2. | GEOTECNIA | 3 |
| | 2.1 Características geotécnicas | |
| | 2.2 Plantas generales de situación de sondeos | |
| | 2.3 Perfiles transversales | |
| 3. | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 14 |
| | 3.1 Generalidades | |
| | 3.2 Parámetros de cálculo | |
| | 3.3 Muros pantalla | |
| | 3.4 Instrumentación y control | |
| 4 | JUSTIFICACIÓN GEOTÉCNICA DE LOS MUROS PANTALLA..... | 17 |
| | 4.1 Cálculo del empotramiento | |
| | 4.2 Comprobación de hundimiento | |
| | Apéndice A.1 Investigación de campo. Registro de sondeos. Investigación previa..... | 24 |
| | Apéndice A.2. Ensayos de laboratorio previos..... | 25 |

1. INTRODUCCIÓN

En este anejo se presentan las conclusiones del estudio geotécnico realizado para el Proyecto Constructivo de Integración del Ferrocarril en Sant Feliu de Llobregat (Barcelona).

La línea de ferrocarril discurre por el centro de la ciudad y forma parte de la línea Tarragona-Barcelona, con estación en Sant Feliu de Llobregat. El objeto del presente proyecto es mejorar la comunicación entre las dos partes en las que el ferrocarril divide la población. Actualmente existen cuatro elementos que permiten la permeabilidad entre ambos lados de la vía. Se trata de un paso a nivel y tres pasos inferiores, insuficientes teniendo en cuenta que la ciudad se ve afectada en toda su longitud por esta infraestructura.

A raíz de la problemática existente, este proyecto propone una solución basada en soterrar la vía deprimiendo el trazado al abrigo de muros pantalla. En particular este documento se centra en la fase de excavación y sostenimiento, de modo que el cerramiento superior de la vía se abordará en un futuro proyecto.

Este anejo se basa en la información disponible en el Instituto Geológico y Minero de España (IGME), complementada con una serie de sondeos para confirmar y precisar dicha información geotécnica. El problema de este proyecto ya se había planteado con anterioridad. En diferentes estudios a lo largo del tiempo se han realizado sondeos para obtener información geológico-geotécnica:

- El "Anteproyecto de Soterramiento del Ferrocarril en la Estación de Viajeros en Sant Feliu de Llobregat" de RENFE recoge en el anejo nº 2 "Geología y Geotecnia" los resultados de 9 sondeos de reconocimiento, 23 ensayos de laboratorio y un Informe Geotécnico redactado por la empresa JOLSA.

- Posteriormente para el "Estudio Geotécnico de las Alternativas de Integración del Ferrocarril en el tramo urbano de Sant Feliu de Llobregat" elaborado por la empresa EYSER (Estudios y Servicios, S.A.) se ejecutaron 6 nuevos sondeos. Sobre estos se tomaron muestras realizando ensayos de identificación (granulometría, límites de Atterberg y análisis químicos) de estado (humedad y densidad) y mecánicos (compresión simple y corte directo).

- Finalmente EUROESTUDIOS, S.A. en su "Estudio de Alternativas relativo a la Integración del Ferrocarril de Sant Feliu de Llobregat" realizó una campaña de 6 sondeos mecánicos.

2. GEOTECNIA

El estudio geotécnico de este proyecto se ha centrado en el análisis del terreno en dos zonas del trazado, con diferentes características en lo relativo a la disposición de los estratos y las propiedades de los materiales.

A raíz de las campañas previas de sondeos y ensayos realizados, se han elaborado dos perfiles transversales, uno en cada zona de estudio.

El primer perfil transversal se ubica en la zona de la Riera de La Salut (P.K. 88+655 – P.K. 88+700) y los sondeos que se han utilizado para elaborarlo son: B-8 y S-2. Además en las proximidades se han realizado dos sondeos más (B-7 y SE-2) que no se han considerado para realizar este perfil transversal porque no aportan información adicional.

El segundo perfil transversal se localiza en la intersección de las calles Terrisser y Germans Lladó (P.K. 89+464 – P.K. 89+507) y los sondeos que se han utilizado son: SE-5 y S-3. En las proximidades también se encuentra el sondeo B-1 que no aporta información adicional.

En ambos perfiles transversales se han encontrado estratos de materiales finos y granulares. Además en el perfil 1 se ha identificado un estrato de pequeña potencia de relleno antrópico en la zona superior.

A continuación se detallan las propiedades geotécnicas de cada estrato.

2.1 Características geotécnicas

2.1.1 Perfil transversal 1

Este perfil transversal se compone por un conjunto de unidades. A continuación se describen dichas unidades en el orden en que se encuentran al ejecutar la excavación.

- Relleno antrópico
Esta unidad está compuesta por suelos granulares y cohesivos junto con restos de materiales de construcción. Tiene una potencia variable, siendo la máxima de 2.25 m aproximadamente. Como no se disponen datos geotécnicos de esta unidad derivados de los sondeos, se toman valores habituales para este tipo de material. Se ha asignado un ángulo de rozamiento efectivo de 28° , una cohesión efectiva nula y una densidad seca de 18 KN/m^3 .
- Material granular G1
Este estrato está formado por arenas y gravas con algo de arcilla. En función de la zona predomina mas la arena o la grava dando lugar a un suelo SC en el primer caso y GC en

el segundo. Presenta una potencia constante de 2.50 m. Estos materiales reflejan valores de N en los ensayos SPT efectuados sobre ellos entre 15 y 25. El ángulo de rozamiento efectivo se ha obtenido correlacionándolo con el número de golpes del ensayo SPT mediante la gráfica que figura en el CTE-DB-SE-C, obteniéndose como valor representativo de esta unidad 32°. Además la cohesión efectiva es nula por ser un material granular y la densidad seca asignada es de 17.2 kN/m³.

- Material fino F1
Esta unidad está formada por arcillas de baja plasticidad (CL) y posee una potencia variable entre los 1.50 m y 4 m. Como no se disponen datos de sus propiedades geotécnicas, se ha considerado un valor de $\phi'=28^\circ$, $c'=15$ kPa y $R_u=200$ kPa según lo propuesto en el libro *Curso Aplicado de Cimentaciones. Rodriguez Ortiz, José María* para este tipo de suelo. La densidad seca es de 18.4 kN/m³.
- Material granular G2
Este estrato está formado por arenas arcillosas (SC). Su potencia es variable entre los 3 y 6 m. Este material refleja valores de N en los ensayos SPT efectuados entre 13 y 52. El ángulo de rozamiento efectivo se ha obtenido correlacionándolo con el número de golpes del ensayo SPT mediante la gráfica que figura en el CTE-DB-SE-C, tomándose un valor de 31.5°. La cohesión efectiva es nula por ser un material granular y la densidad seca es de 17.8 kN/m³.
- Material fino F2
Está compuesto por arcillas de baja plasticidad (CL) y posee una potencia desconocida debido a la limitación de profundidad de los sondeos. Como no se disponen datos de sus propiedades geotécnicas, se ha considerado un valor de $\phi'=28^\circ$, $c'=15$ kPa y $R_u=200$ kPa según lo propuesto en el libro *Curso Aplicado de Cimentaciones. Rodriguez Ortiz, José María* para este tipo de suelo. La densidad seca es de 17 kN/m³.

2.1.2 Perfil transversal 2

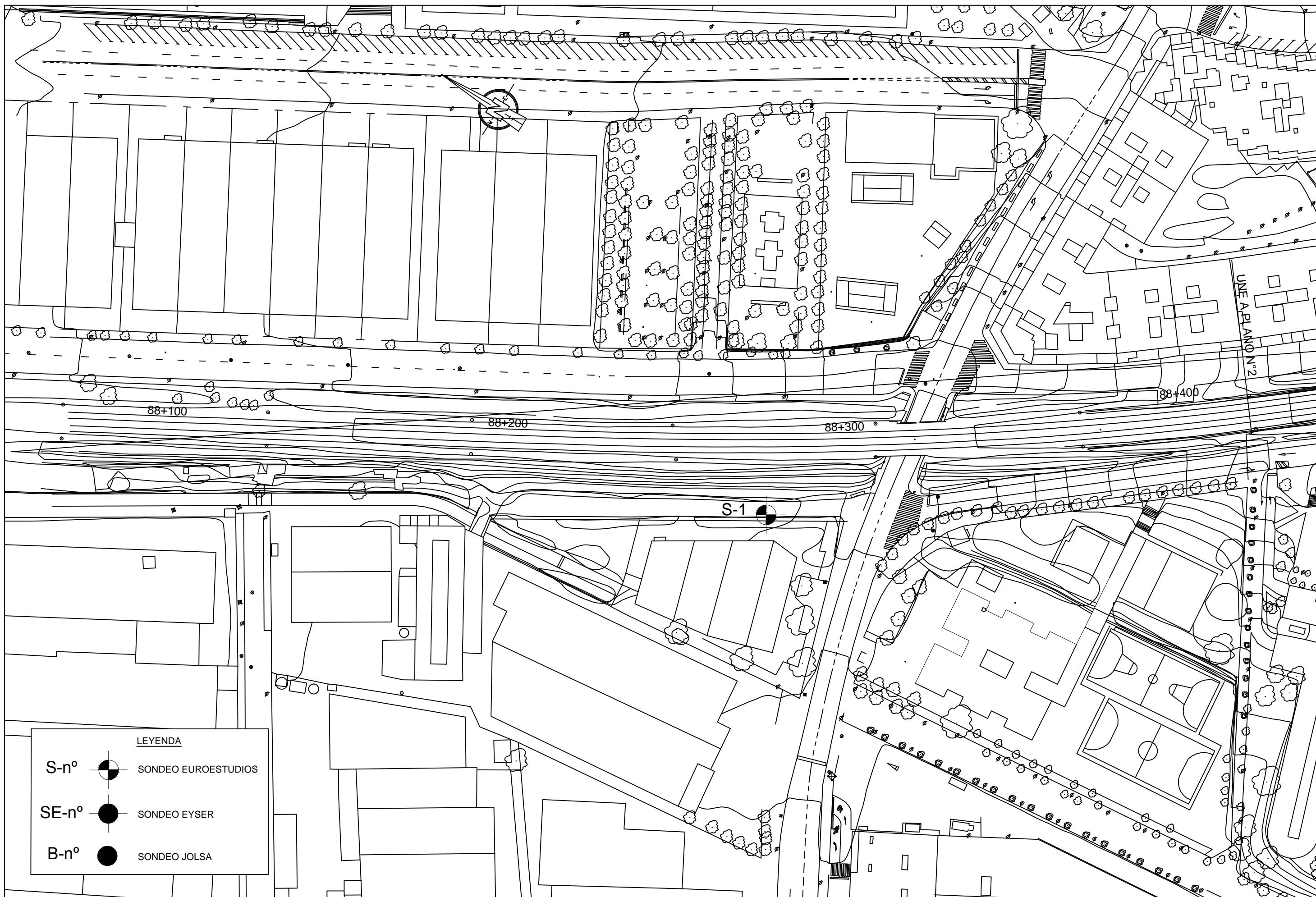
Este perfil transversal está formado por seis unidades diferentes. A continuación se describen todas ellas en el orden en que se encuentran al ejecutar la excavación.

- Hormigón
Se trata de una capa de hormigón en masa de 0.5 m de espesor. Este material tiene un comportamiento similar al de las rocas por lo tanto se ha tomado un valor de $\phi'=45^\circ$, $c'=400$ kPa y $\gamma_{sec}=22$ kN/m³.
- Material fino F1
Esta unidad está formada por arcillas de baja plasticidad (CL) y posee una potencia constante de 8 m. Como no se disponen datos de sus propiedades geotécnicas, se ha

considerado un valor de $\phi'=28^\circ$, $c'=15$ kPa y $R_u=200$ kPa según lo propuesto en el libro *Curso Aplicado de Cimentaciones. Rodriguez Ortiz, José María* para este tipo de suelo. La densidad seca es de 17.6 kN/m³.

- Material granular G1
Este estrato está formado por arenas arcillosas (SC). Tiene una potencia variable entre 0.75 y 1.70 m. El material refleja un valor de N en el ensayo SPT efectuado de 24. El ángulo de rozamiento efectivo se ha obtenido correlacionándolo con el número de golpes del ensayo SPT mediante la gráfica que figura en el CTE-DB-SE-C, obteniéndose un valor de 34°. La cohesión efectiva es nula por ser un material granular y la densidad seca es de 18.5 kN/m³.
- Material fino F2
Está compuesto por arcillas de baja plasticidad (CL) y posee una potencia variable entre 3.50 y 5.50 m. Como no se disponen datos de sus propiedades geotécnicas, se ha considerado un valor de $\phi'=28^\circ$, $c'=15$ kPa y $R_u=200$ kPa según lo propuesto en el libro *Curso Aplicado de Cimentaciones. Rodriguez Ortiz, José María* para este tipo de suelo. La densidad seca es de 17.5 kN/m³.
- Material granular G2
Esta unidad está formada por arenas arcillosas (SC). Presenta una potencia variable entre 1 y 4 m. Este material refleja un valor de N en el ensayo SPT efectuado de 15. El ángulo de rozamiento efectivo se ha obtenido correlacionándolo con el número de golpes del ensayo SPT mediante la gráfica que figura en el CTE-DB-SE-C, obteniéndose un valor de 32°. Además la cohesión efectiva es nula por ser un material granular y la densidad seca asignada es de 18.5 kN/m³.
- Material fino F3
Esta unidad está formada por arcillas de baja plasticidad (CL) y posee una potencia desconocida debido a la limitación de profundidad de los sondeos. Como no se disponen datos de sus propiedades geotécnicas, se ha considerado un valor de $\phi'=28^\circ$, $c'=15$ kPa y $R_u=200$ kPa según lo propuesto en el libro *Curso Aplicado de Cimentaciones. Rodriguez Ortiz, José María* para este tipo de suelo. La densidad seca es de 16.9 kN/m³.

2.2 Plantas generales de situación de sondeos



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior
de Ingenieros de Caminos,
Canales y Puertos

TÍTULO DEL PROYECTO

Proyecto Constructivo de Integración del Ferrocarril
en Sant Feliu de Llobregat. Alternativa deprimida.

TÍTULO DEL PLANO

Planta general con situación
de sondeos

AUTOR

BONO MATA, Inés
SERRANO CHACÓN, Álvaro Rubén

ESCALA ORIGINAL A-3

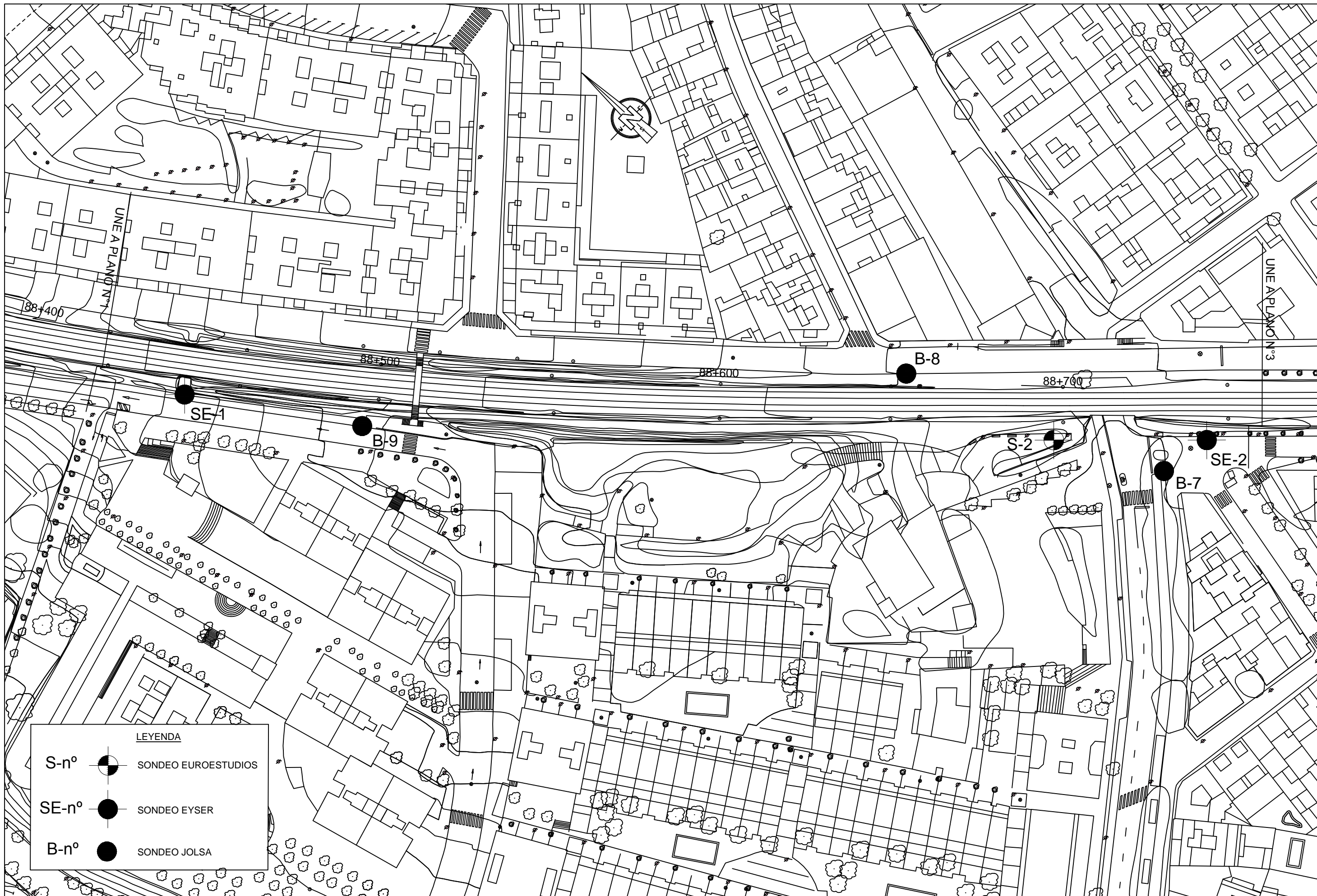
1/1000

FECHA


Junio 2014


Nº DE PLANO


Hoja 1 de 5



LEYENDA

S-nº  SONDEO EUROESTUDIOS

SE-nº  SONDEO EYSER

B-nº  SONDEO JOLSA



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior
de Ingenieros de Caminos,
Canales y Puertos

TÍTULO DEL PROYECTO
Proyecto Constructivo de Integración del Ferrocarril
en Sant Feliu de Llobregat. Alternativa deprimida.

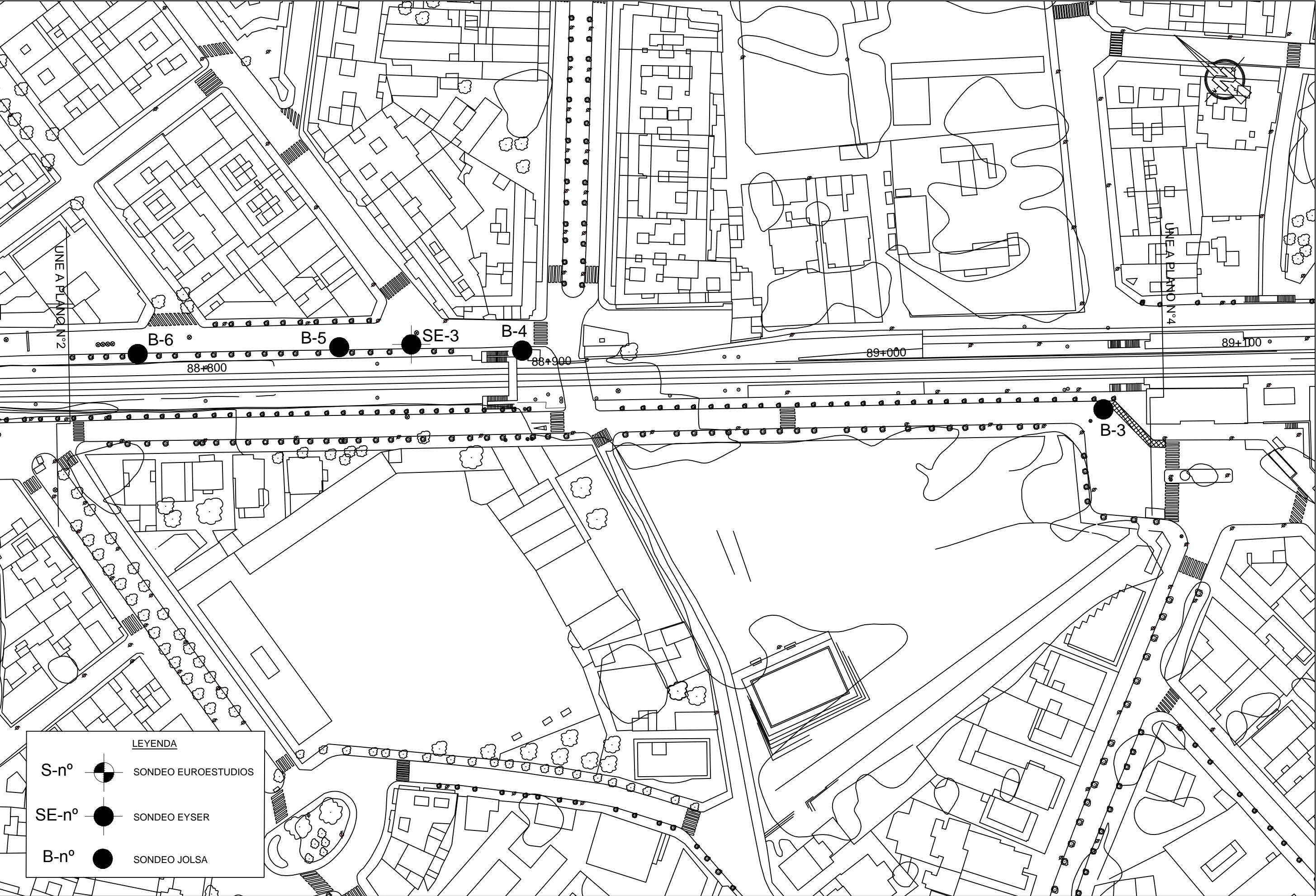
TÍTULO DEL PLANO
Planta general con situación
de sondeos

AUTOR
BONO MATA, Inés
SERRANO CHACÓN, Álvaro Rubén


ESCALA ORIGINAL A-3
1/1000


FECHA
Junio 2014


Nº DE PLANO
Hoja 2 de 5

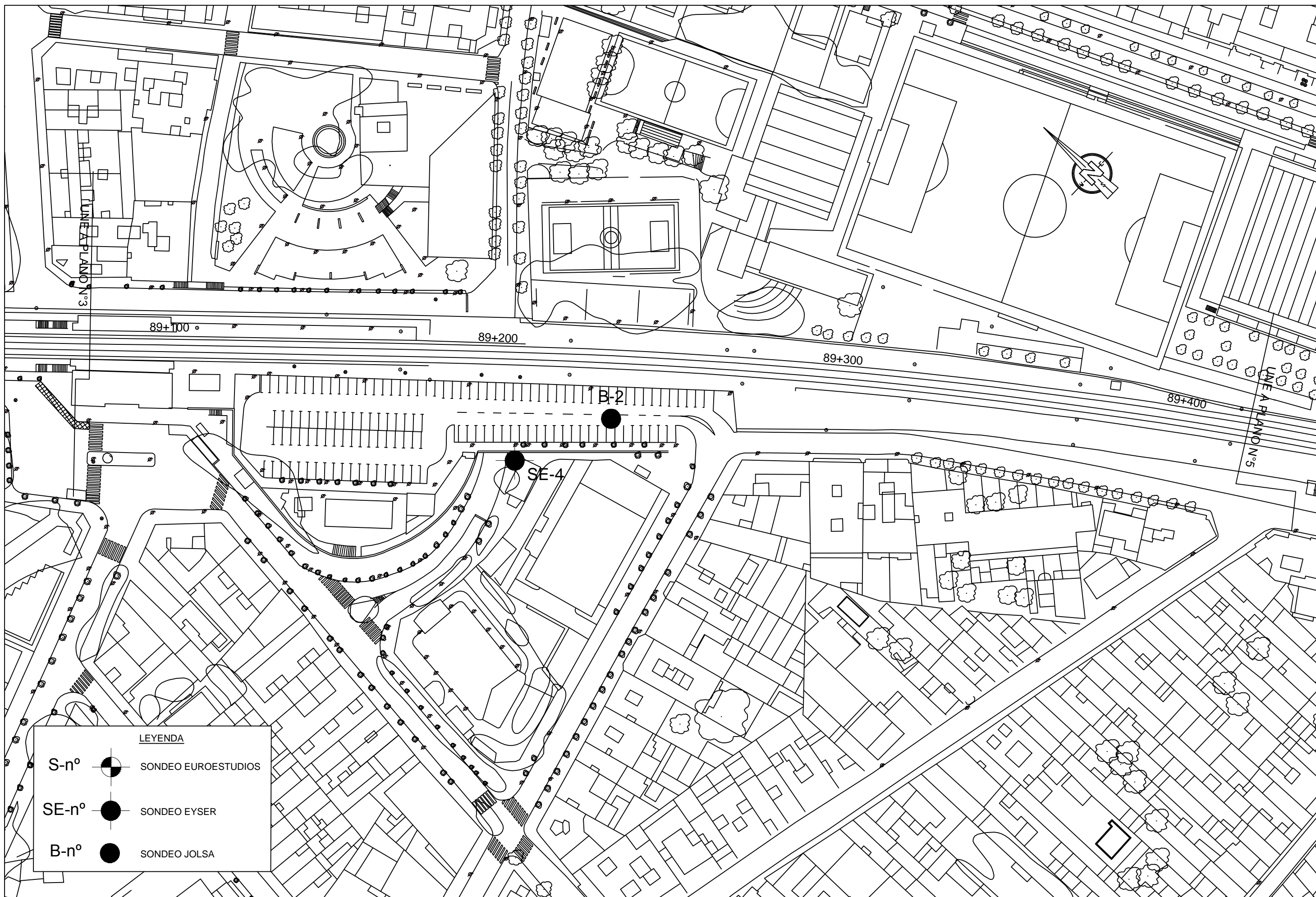


LEYENDA

S-nº  SONDEO EUROESTUDIOS

SE-nº  SONDEO EYSER

B-nº  SONDEO JOLSA



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior
de Ingenieros de Caminos,
Canales y Puertos

TÍTULO DEL PROYECTO
Proyecto Constructivo de Integración del Ferrocarril
en Sant Feliu de Llobregat. Alternativa deprimida.

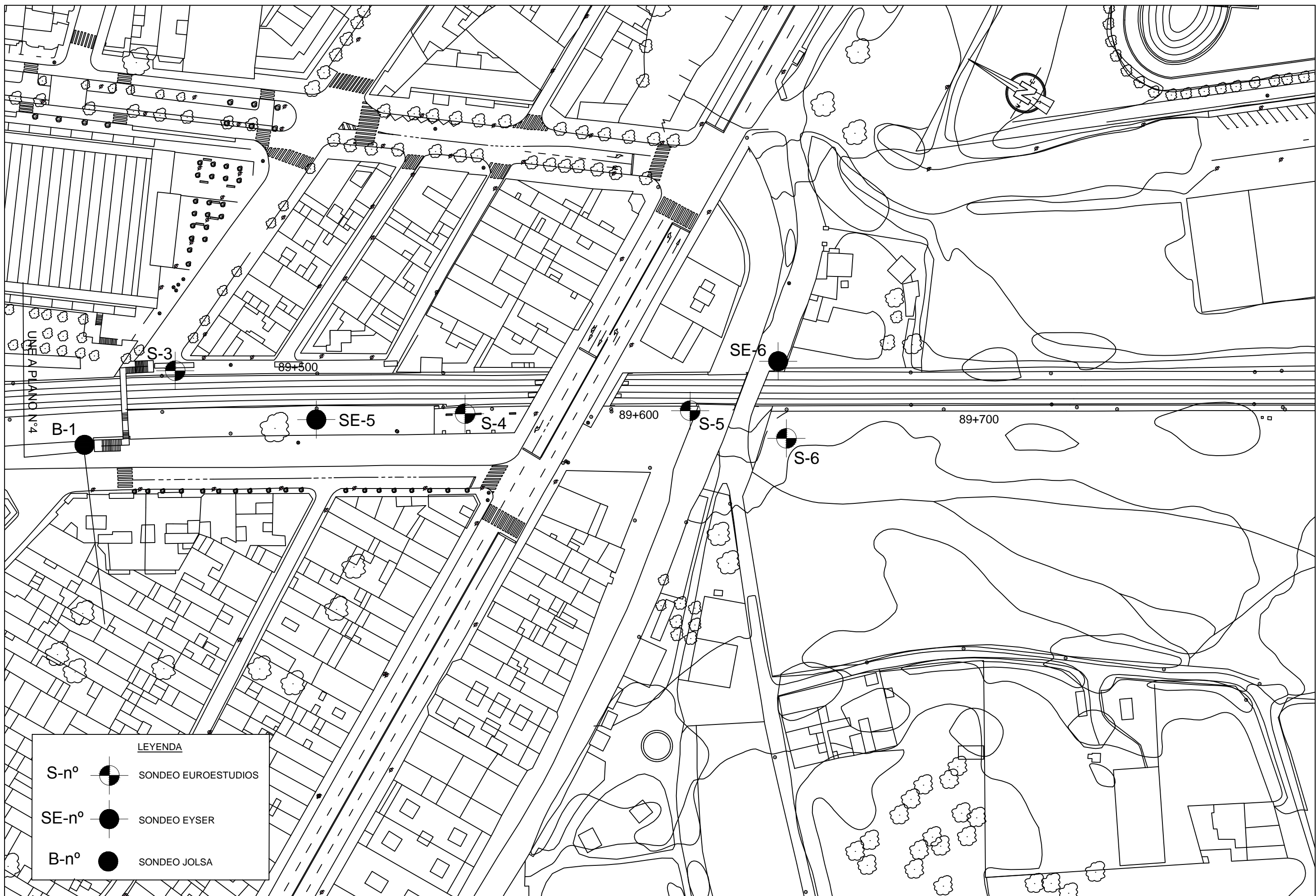
TÍTULO DEL PLANO
Planta general con situación
de sondeos

AUTOR
BONO MATA, Inés
SERRANO CHACÓN, Álvaro Rubén

ESCALA ORIGINAL A-3
1/1000

FECHA
Junio 2014

Nº DE PLANO
Hoja 4 de 5



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior
de Ingenieros de Caminos,
Canales y Puertos

TÍTULO DEL PROYECTO
Proyecto Constructivo de Integración del Ferrocarril
en Sant Feliu de Llobregat. Alternativa deprimida.

TÍTULO DEL PLANO
Planta general con situación
de sondeos

AUTOR
BONO MATA, Inés
SERRANO CHACÓN, Álvaro Rubén

ESCALA ORIGINAL A-3
1/1000

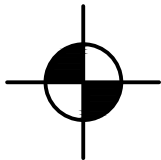
FECHA
Abril 2014

Nº DE PLANO
5
Hoja 5 de 5

2.3 Perfiles transversales



PROFUNDIDAD: 14,60 m



PROFUNDIDAD: 15,45

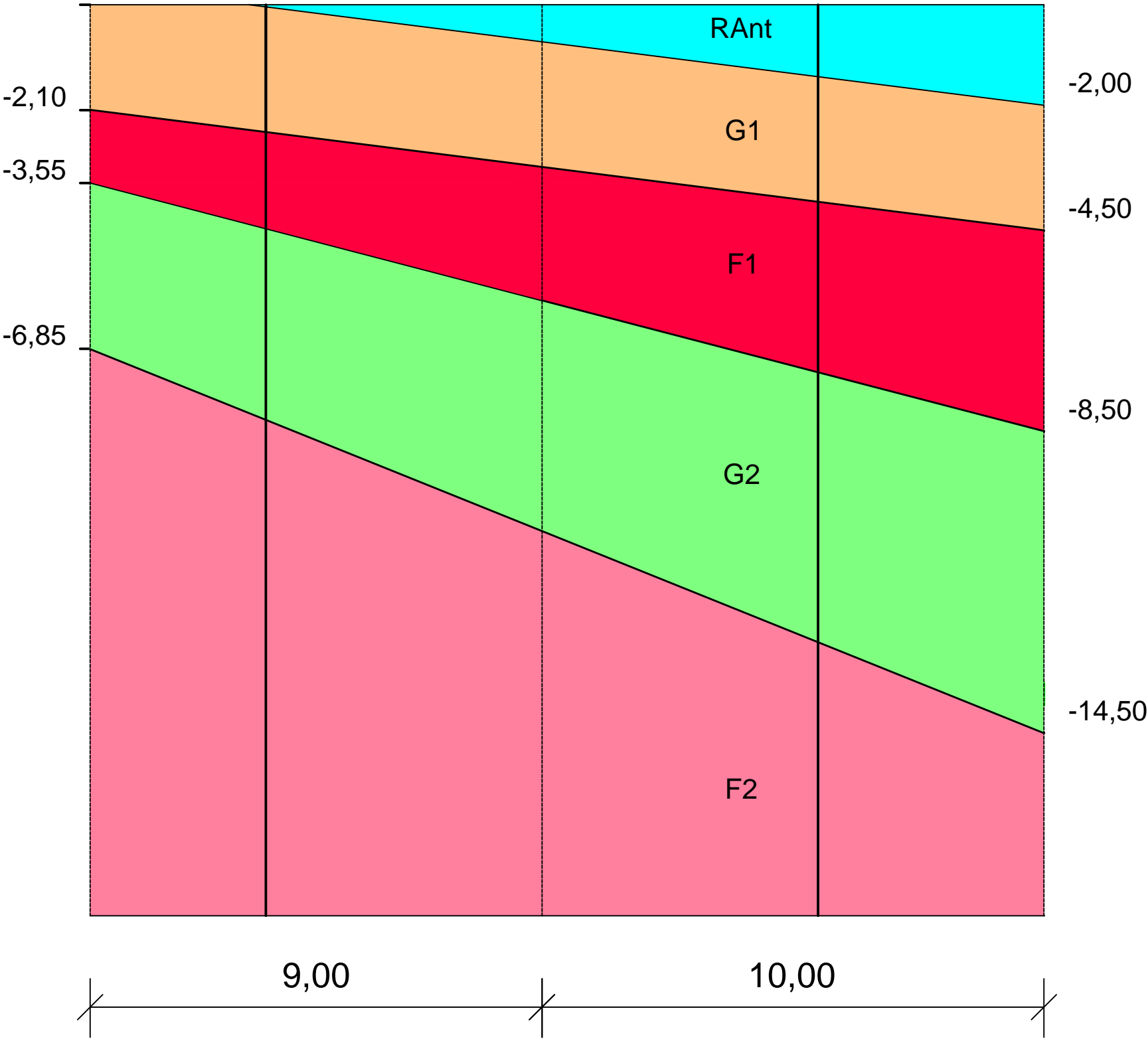
B-8

Pantalla
Izquierda

EJE

Pantalla
Derecha

S-2



LEYENDA

- RELLENO ANTRÓPICO (RAnt)
- MATERIAL GRANULAR (G1)
- MATERIAL FINO (F1)
- MATERIAL GRANULAR (G2)
- MATERIAL FINO (F2)



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior
de Ingenieros de Caminos,
Canales y Puertos

TÍTULO DEL PROYECTO
Proyecto Constructivo de Integración del Ferrocarril
en Sant Feliu de Llobregat. Alternativa deprimida.

TÍTULO DEL PLANO
Perfil Transversal 1

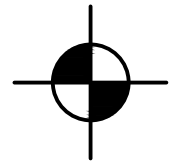
AUTOR
BONO MATA, Inés
SERRANO CHACÓN, Álvaro

Cotas en
metros

ESCALA ORIGINAL A-3
1/100

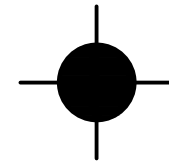
FECHA
Junio 2014

Nº DE PLANO
Hoja 1 de 1



PROFUNDIDAD: 18 m

S-3

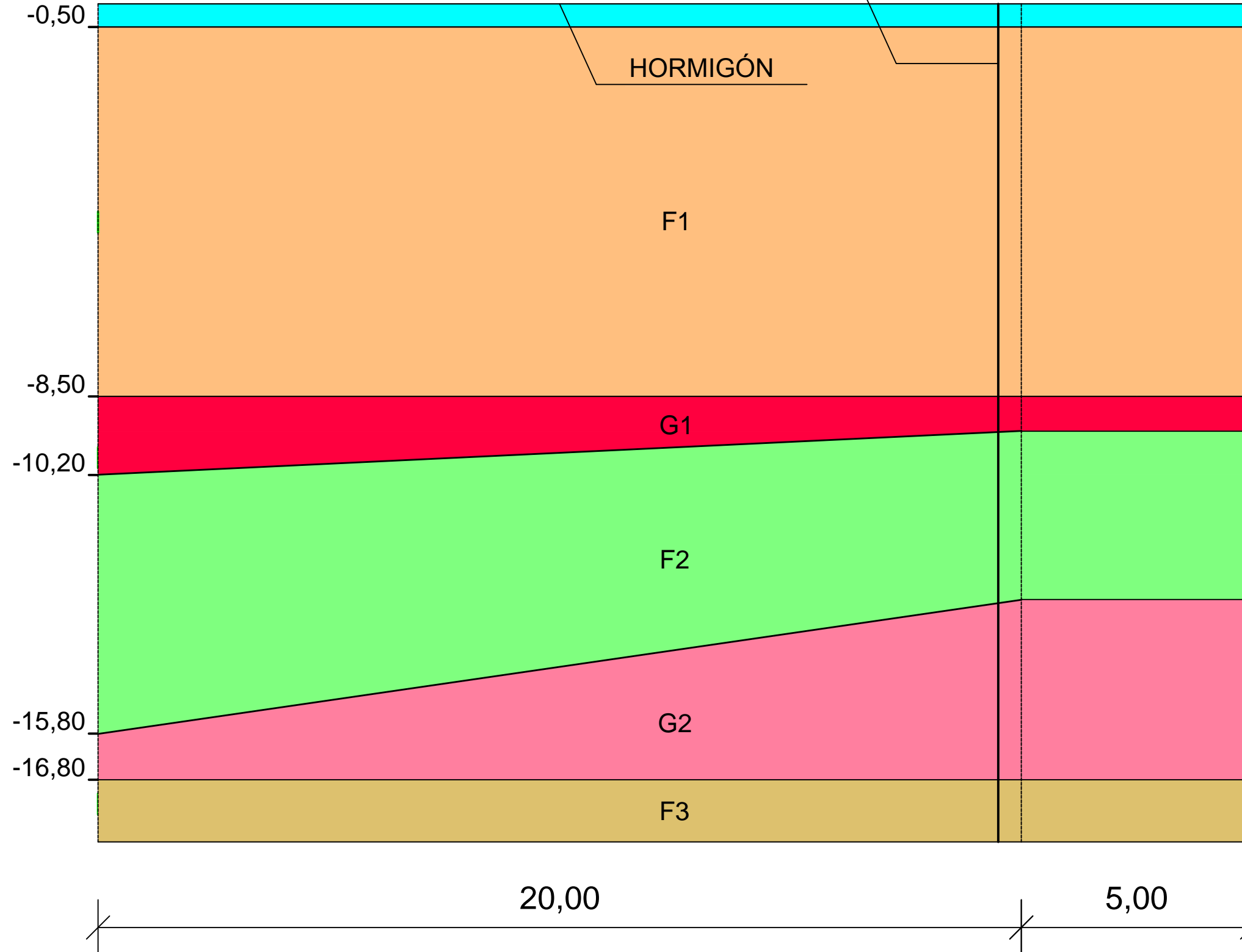


PROFUNDIDAD: 15,10 m







SE-5

EJE

Pantalla
Izquierda



LEYENDA

-  HORMIGÓN
-  MATERIAL FINO (F1)
-  MATERIAL GRANULAR (G1)
-  MATERIAL FINO (F2)
-  MATERIAL GRANULAR (G2)
-  MATERIAL FINO (F3)



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior
de Ingenieros de Caminos,
Canales y Puertos

TÍTULO DEL PROYECTO
Proyecto Constructivo de Integración del Ferrocarril
en Sant Feliu de Llobregat. Alternativa deprimida.

TÍTULO DEL PLANO
Perfil Transversal 2

AUTOR
BONO MATA, Inés
SERRANO CHACÓN, Álvaro

Cotas en
metros

ESCALA ORIGINAL A-3
1/100

FECHA
Junio 2014

Nº DE PLANO
Hoja 1 de 1

3. **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

3.1 **Generalidades**

En este apartado se presentan las conclusiones y recomendaciones respecto al diseño, método y sostenimiento de las excavaciones resultantes.

La solución adoptada propone un soterramiento de la actual vía de ferrocarril de unos 1200 m mediante la ejecución de muros pantalla, hasta enlazar nuevamente con la línea existente.

Para este tipo de obra en zona urbana, y aunque no se ha detectado presencia de agua en ningún punto, el sistema más adecuado es el tradicional de excavar al abrigo de pantallas continuas de hormigón armado. Este método es seguro y ampliamente utilizado en obras similares, evitando daños en los edificios cercanos.

3.2 **Parámetros de cálculo**

A continuación se presenta un cuadro resumen con los parámetros de cálculo adoptados correspondientes a los materiales atravesados.

Perfil transversal 1

| MATERIAL | PROPIEDADES GEOTÉCNICAS | | | |
|-------------------|-------------------------------------|-------------|------------|-------------|
| | γ_{sec} (kN/m ³) | ϕ' (°) | c' (kPa) | R_u (kPa) |
| Relleno antrópico | 18 | 28 | 0 | - |
| G1 | 17.2 | 32 | 0 | - |
| F1 | 18.4 | 28 | 15 | 200 |
| G2 | 17.8 | 31.5 | 0 | - |
| F2 | 17 | 28 | 15 | 200 |

Perfil transversal 2

| MATERIAL | PROPIEDADES GEOTÉCNICAS | | | |
|----------|-------------------------------------|-------------|------------|-------------|
| | γ_{sec} (kN/m ³) | ϕ' (°) | c' (kPa) | R_u (kPa) |
| Hormigón | 22 | 45 | 400 | - |
| F1 | 17.6 | 28 | 15 | 200 |
| G1 | 18.5 | 34 | 0 | - |
| F2 | 17.5 | 28 | 15 | 200 |
| G2 | 18.5 | 32 | 0 | - |
| F3 | 16.9 | 28 | 15 | 200 |

3.3 **Muros pantalla**

El método constructivo propuesto consiste en la ejecución previa de pantallas continuas desde superficie con sus correspondientes arriostramientos y posterior excavación del terreno contenido entre las mismas hasta la cota prevista en los planos de proyecto.

Inicialmente estaba pensado que las pantallas estuvieran en voladizo pero se observó que esta solución no era viable desde un punto de vista estructural. Posteriormente, se estudió la posibilidad de colocar anclajes pretensados pero esta solución también se desechó ya que la distancia entre los muros pantalla y las edificaciones no era suficiente para los anclajes. Finalmente se ha optado por disponer puntales metálicos entre las cabezas de las pantallas que sirven como arriostramiento. En aquellas zonas donde se ha previsto la construcción de losas de cobertura para dar continuidad a los viales, son dichas losas las que funcionan como arriostramiento.

La excavación de los materiales afectados podrá realizarse mediante métodos convencionales, pudiendo llegar a excavar la totalidad de las unidades descritas mediante retroexcavadora.

En este proyecto no se va a tener en cuenta el cerramiento superior completo de la vía, lo cual se abordará en futuros estudios. Desde el punto de vista geotécnico, la situación de las pantallas no variará cuando posteriormente se ejecute el dicho cerramiento ya que inicialmente serán los puntales metálicos los que arriostren y en el futuro será la losa de cubierta. Por lo tanto, el cálculo se realiza con arriostramiento en la cabeza de las pantallas.

La componente más crítica para el dimensionamiento de las pantallas viene determinada por el empuje del agua freática, sobre todo cuando estas presentan longitudes importantes. En este caso no se ha detectado presencia de agua en los sondeos analizados ya que la posición del nivel freático se sitúa a cotas mucho más profundas sobre los suelos de terraza o aluviales del río Llobregat. En el Mediterráneo la posición del nivel freático oscila entre uno y dos metros en función de la época del año, sin afectar a las pantallas ni en fase de construcción ni de servicio.

3.4 **Instrumentación y control**

La complejidad del proceso constructivo y las limitaciones de las herramientas de cálculo hacen que los análisis efectuados tengan grandes dosis de incertidumbres, que sólo un control exhaustivo del comportamiento real del terreno puede eliminar.

Para cumplir tales objetivos se instalarán los instrumentos y sistemas de auscultación que, en cada momento, informen de las reacciones con que el terreno, estructuras e instalaciones responden a las distintas operaciones que se lleven a cabo.

En definitiva, el Plan de Instrumentación y Control desarrollado, deberá cumplir los siguientes objetivos:

- Control del comportamiento en las pantallas y elementos estructurales.
- Seguimiento de los movimientos producidos por las obras en el terreno y en las edificaciones del entorno.

Para organizar las operaciones de auscultación se debe ante todo efectuar un análisis detallado de la obra y dividirla en unidades de control. Una unidad de control es una parte de la obra que puede computarse como un todo único, y en cierta manera homogénea desde el punto de vista de su comportamiento.

Cada unidad de control deberá estar dotada de un cierto número de elementos de auscultación. Esto se aplicará cuando la naturaleza de la unidad de control aconseje medir varios parámetros, pero aun cuando esto no sea necesario, se instalarán unidades independientes de elementos de medidas redundantes preferentemente a la comprobación de algunos parámetros.

Los equipos anteriores se combinan en secciones determinadas, elegidas en función de la estratigrafía del terreno, la proximidad de edificios singulares, etc. En principio, se instrumentarán dos secciones en el tramo diseñado entre pantallas.

Tramo entre pantallas

La sección tipo consta de las unidades que a continuación se describen, pudiendo variar el número de unidades según el estado de la obra y de la distancia a los edificios próximos:

- a) Se instrumenta cada sección con 14 células de presión total de cuerda vibrante, distribuidas en trasdós de pantalla, intradós en zona de pasivos y, eventualmente la unión de la losa inferior con la pantalla.
- b) Se instalan en cada sección 13 pares de extensómetros de cuerda vibrante incluidas en las pantallas.
- c) Se colocan en cada sección 2 tuberías inclinométricas, bien en el eje de las pantallas o a corta distancia por el exterior de las mismas.
- d) Se instalan los tubos para control sónico de integridad de paneles de pantalla.
- e) Por lo que respecta a la superficie del terreno, se coloca una sección de subsidencia para control de movimientos verticales y transversales coincidiendo con la sección instrumentada, con un número de hitos para control de movimientos combinados

variables, función del espaciado existente entre la pantalla y los edificios. Como media podrá tomarse un número de seis arquetas por sección.

Control de grietas

Debido a la presencia cercana de edificios próximos a las pantallas, que pueden ser afectados por las diferentes excavaciones, se llevará a cabo un inventario notarial con fotografías de las fisuras y grietas existentes en los edificios próximos a la traza. Este inventario deberá estar acabado y plasmado en un informe que será entregado a la Dirección Facultativa antes del inicio de las excavaciones.

Teniendo en cuenta la historia de las grietas y otros factores, tales como el tipo de cimentación, existencias de sótanos, alturas, tipo de estructura, antigüedad, proximidad a la excavación, proximidad a servicios de gas, agua, luz, colectores y valor histórico, se debe dar una clasificación global del edificio mediante un código, el cual deberá figurar en los planos existentes de edificios. Para cada edificio se creará un archivo donde figure su código y los diferentes valores que han dado lugar a su clasificación.

Se creará en un archivo general donde se actualice permanentemente el historial de cada grieta o fisura desde el comienzo de la obra hasta la recepción final de la misma. En el historial de cada grieta debe figurar: la fecha que se observó por primera vez, una clasificación individual de la grieta, la representación de la grieta en la fotocopia sacada de la fotografía que debe hacerse, la separación de los labios de la grieta, la variación con el tiempo del aumento de longitud, etc.

En los planos se indicará además del código que se le ha asignado al edificio, la clasificación del edificio con respecto a las grietas mediante una puntuación de 0 a 10. A partir de la puntuación 5 se entiende que los edificios deben someterse a un control exhaustivo porque las grietas son significativas.

La normativa que se debería seguir partiendo de la base de que todos los edificios de la traza están clasificados en los planos sería la siguiente:

- Recorrido mensual de los edificios de toda la traza para inspeccionar las grietas existentes y ver si se han producido nuevas grietas. Detectada alguna nueva grieta, se abrirá una ficha con el historial anteriormente indicado. La aparición o variación de las grietas podrá dar lugar a modificaciones en la clasificación del edificio y su código.
- Recorrido quincenal de todos los edificios clasificados como 5 o mayores de 5. Comprobar si han aparecido o variado alguna de las grietas y en caso afirmativo, proceder como en el punto anterior.

En aquellas grietas en que se hayan producido variación de una semana a otra, en lo que respecta a la longitud de la grieta, se deberá estudiar la posibilidad de colocar testigos de yeso, sobre el cual se anotará la fecha de instalación y la evolución de la grieta.

En el supuesto de posibles problemas, habrá que estudiar cada caso aisladamente para realizar otra medida de control.

Para aquellas grietas a las cuales se les colocaron testigos de yeso, se deberán instalar bases de inserción en ambos lados de la grieta, para medir mediante un deformímetro su movimiento y representar en una gráfica la evolución de la grieta en función del tiempo. Si estos valores indicasen un claro movimiento, se deberá reconsiderar aisladamente el edificio y estudiar el plan de actuación así como las medidas a adoptar.

Como primera medida y para aquellos edificios singulares en los que se observe un movimiento de la grieta, se instrumentará ésta con un sensor potenciométrico de lectura a distancia.

Control de edificios

Para controlar los edificios, independientemente del control establecido en cuanto a las grietas se refiere, se debe organizar una campaña de seguimiento del edificio mediante taquímetro, controlando los movimientos de alguna arista del edificio y observar si en la cabeza del mismo se producen desalineaciones. Para realizar este control, hay que tener buenas bases de referencia, posicionadas con clavos de tungsteno en lugares permanentes a nivel del suelo y desplazadas del edificio a observar, unas cuatro veces la altura de éste como mínimo.

Es importante tener soluciones estudiadas para los edificios singulares, entendiendo como tales aquellos en que las excavaciones inciden de una forma más directa por la proximidad de la excavación o porque se encuentre en mal estado. En estos edificios singulares, hay que pensar en programas de control más riguroso en el sentido de que pueda ser necesario incluso instrumentar algunas partes del edificio.

Por regla general, se colocarán escalas graduadas de nivelación sobre los edificios más próximos, equidistantes aproximadamente 40 metros en las dos alineaciones de edificios.

También se instalarán escalas graduadas en aquellos edificios cuyo código de clasificación global tenga un valor superior a la media del código, o que la puntuación del edificio respecto al valor de la grieta sea 5 o superior a 5. En estos edificios se instalarán como mínimo dos escalas por edificio, las cuales se colocarán en elementos estructurales tales como pilares o muros de carga. Para la nivelación de las regletas, se deberán emplear niveles de precisión, que tengan una apreciación de 0,1 mm. En cualquier caso, las escalas graduadas deberán nivelarse antes de la ejecución de las pantallas en dicha zona y desde una distancia no menor de 40 metros.

Los edificios a instalar están definidos por una franja de 20 metros a ambos lados del eje del trazado.

En los edificios singulares y los que presenten grietas actualmente, se colocarán tantas escalas graduadas como se estimen oportunas. Además se instalarán clavos de 5 mm de diámetro en cabeza a dos niveles. Uno a 2 metros de altura y el segundo a la máxima altura del edificio, intercalando un tercero intermedio, si la diferencia fuera superior a 10 m.

Sobre el suelo y coincidiendo con las alineaciones de estos clavos se instalará una arqueta de subsidencia para el control de movimientos verticales.

El sistema de referencia debe detectar cualquier movimiento dentro de los márgenes de precisión del método de medida.

Para la observación de los clavos se instalarán junto a la fachada y a unos 40 m tres hitos de observación configurando un triángulo de observación con ángulos próximos a 60 grados en los puntos observados. En cada base se construirá un dado de hormigón de 40x40x40 cm y en el centro del mismo, se situará a nivel de la cara superior un clavo de acero inoxidable de cabeza esférica de Ø=20 mm con orificio en la parte superior.

Todos los puntos de control deberán ser visibles desde los tres hitos de control así como los hitos entre sí.

La situación de los hitos debe elegirse teniendo en cuenta que deben permanecer durante todo el periodo de obra, lo que implica que deben ser estables y sin manipulaciones de mercancías en las inmediaciones.

Para controlar estos hitos se instalarán fuera del área de influencia de la obra, y a más de 100 metros de los puntos de observación, dos puntos materializados con clavos de acero o hitos Feno sobre el suelo, que adoptaremos como inmóviles.

En la primera medición, la red establecida se observará con teodolito de segundos y con índice automático del eclímetro las mediciones angulares de precisión de acero y con distanciómetro las distancias reducidas o geométricas.

El control se realizará mediante determinaciones trigonométricas.

Medidas de subsidencia y movimientos horizontales

Con la finalidad de conocer los movimientos, que como consecuencia de las excavaciones se generen en la superficie del terreno, se colocarán sobre la calzada o acera, arquetas de nivelación de forma que sea siempre posible la toma de la lectura, procurando que no coincidan con zonas de

aparcamientos de vehículos y que no se vean afectadas por la reposición de servicios. Estas arquetas que están empotradas en el terreno y que se encuentran protegidas del tráfico mediante una tapa metálica, alojan en su interior un clavo de bronce utilizado para controlar las subsidencias verticales que se produzcan. Otras arquetas estarán dotadas de clavos combinados para controlar además, los movimientos horizontales. El número de arquetas dependerá del ancho de la calle y de la distancia a los edificios próximos.

Las arquetas para control de subsidencia vertical, deberán colocarse en el trasdós de la pantalla a un metro, situando al tresbolillo una cada 30 metros aproximadamente, en cada una de las dos alineaciones de pantallas.

Las arquetas para control de movimientos transversales y verticales se colocarán en las secciones tipo y se instalarán transversalmente a la dirección del trazado. El número de estas arquetas dependerá de la distancia existente entre el eje y los edificios próximos. El criterio que se deberá seguir consiste en colocar la primera en el centro, utilizada también para nivelación, y las sucesivas situarlas equidistantes a tres metros, colocando la última en el pie del edificio más próximo y a una distancia máxima del eje aproximadamente igual a la profundidad de la rasante.

Las arquetas se colocarán y observarán antes de la ejecución de la excavación de la pantalla y se llevará un control diario de sus movimientos desde antes del comienzo de la excavación hasta que las tres lecturas consecutivas se repitan. Esta secuencia de lectura se repetirá cada dos semanas.

Durante las fases de las excavaciones del terreno se tomarán dos lecturas semanales cuando el frente de la excavación esté situado entre 10 y 40 metros por delante o por detrás de la sección tipo.

Cuando el frente de la excavación se encuentre a menos de 10 metros por delante o por detrás de la sección tipo se tomará una lectura diaria.

Finalmente, cuando el frente de excavación se encuentre a más de 40 metros se tomará una lectura cada dos semanas.

Estas secciones de estudio de asientos en superficie, deberán emplazarse preferentemente en aquellas zonas donde existan edificios singulares, edificios de alto grado de clasificación de grietas o edificios de valor histórico.

Es importante también, controlar las grietas de las calzadas de forma análoga a los criterios dados para los edificios.

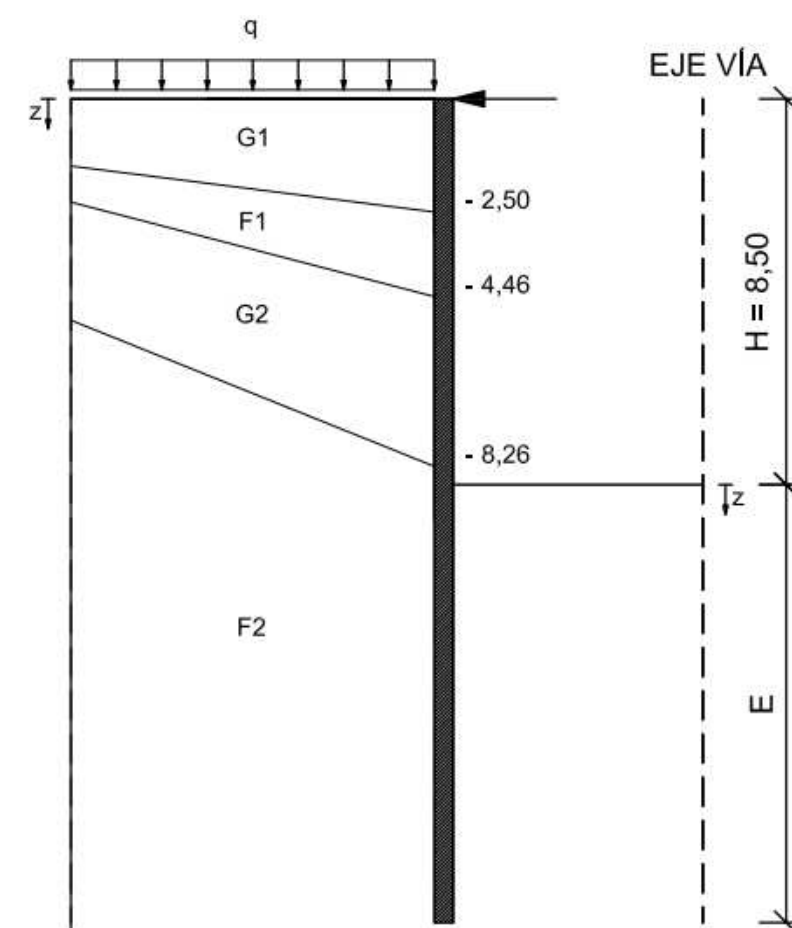
4. JUSTIFICACIÓN GEOTÉCNICA DE LOS MUROS PANTALLA

4.1 Cálculo del empotramiento

PANTALLAS SITUADAS EN EL PERFIL TRANSVERSAL 1

Colocando la sección transversal del ferrocarril en el perfil transversal 1, se ha observado donde queda situada cada pantalla (derecha e izquierda). El empotramiento se calcula para la pantalla más desfavorable, es decir, donde el empotramiento necesario sea mayor.

Finalmente el problema planteado se muestra en el siguiente esquema:



Y los datos necesarios son:

| MATERIAL | PROPIEDADES GEOTÉCNICAS | | |
|----------|-------------------------------------|-------------|---------------------------|
| | γ_{sec} (kN/m ³) | ϕ' (°) | c' (kN/m ²) |
| G1 | 17,2 | 32 | 0 |
| F1 | 18,4 | 28 | 15 |
| G2 | 17,8 | 31,5 | 0 |
| F2 | 17 | 28 | 15 |

A continuación se detallan los cálculos que se han llevado a cabo para hallar el empotramiento.

Se ha considerado la siguiente sobrecarga (q):

- Debida a los viales: 10 kN/m^2 (según NTE-CCP).
- Debida a edificaciones próximas: se toma 5 kN/m^2 , teniendo en cuenta que los edificios son en general de 3 plantas y están situados a una distancia mínima de 6 m respecto a las pantallas.

La sobrecarga total a considerar en los cálculos es de 15 kN/m^2 .

Además dado que se requiere una gran deformación para movilizar el pasivo, se va afectar este con un coeficiente reductor $\gamma_E=0,6$ tal y como indica el CTE en el Documento Básico de Seguridad Estructural - Cimientos (CTE-DB-SE-C).

EMPUJES EN EL INTRADOS

Tomando el origen del eje z en el fondo de la excavación, se tiene:

- $0 \leq z \leq E$

$$\sigma'_v = \sigma_v = 17 \cdot z$$

Según Rankine, los empujes pasivos unitarios en un trasdós vertical vienen dados por:

$$e'_p = \sigma'_v \cdot k_p + 2 \cdot c' \cdot \sqrt{k_p}$$

Siendo k_p el coeficiente de empuje pasivo que se calcula así:

$$k_a = \frac{1 - \tan \phi'}{1 + \tan \phi'} = \frac{1 - \tan 28^\circ}{1 + \tan 28^\circ} = 0.3610$$

$$k_p = \frac{1}{k_a} = \frac{1}{0.3610} = 2.7698$$

Por lo tanto:

$$e'_p = 17 \cdot z \cdot 2.7698 + 2 \cdot 15 \cdot \sqrt{2.7698} = 47.0866 \cdot z + 49.93 \text{ kN/m}^2$$

para

$$z = 0 \rightarrow e'_p = 49.93 \text{ kN/m}^2$$

$$z = E \rightarrow e'_p = 47.0866 \cdot E + 49.93 \text{ kN/m}^2$$

EMPUJES EN EL TRASDÓS

Se toma el origen del eje z en la superficie del terreno:

- $0 \leq z \leq 2.5$

$$\sigma'_v = \sigma_v = 17.2 \cdot z + 15$$

$$e'_a = \sigma'_v \cdot k_a - 2 \cdot c' \cdot \sqrt{k_a}$$

$$k_a = \frac{1 - \tan \phi'}{1 + \tan \phi'} = \frac{1 - \tan 32^\circ}{1 + \tan 32^\circ} = 0.30726$$

$$e'_a = 0.30726 \cdot (17.2 \cdot z + 15) \text{ kN/m}^2$$

para

$$z = 0 \rightarrow e'_a = 4.61 \text{ kN/m}^2$$

$$z = 2.5 \rightarrow e'_a = 17.82 \text{ kN/m}^2$$

- $2.5 \leq z \leq 4.46$

$$\sigma'_v = \sigma_v = 17.2 \cdot 2.5 + 15 + 18.4 \cdot (z - 2.5) = 12 + 18.4 \cdot z$$

$$e'_a = \sigma'_v \cdot k_a - 2 \cdot c' \cdot \sqrt{k_a}$$

$$k_a = \frac{1 - \tan \phi'}{1 + \tan \phi'} = \frac{1 - \tan 28^\circ}{1 + \tan 28^\circ} = 0.3610$$

$$e'_a = 0.3610 \cdot (12 + 18.4 \cdot z) - 2 \cdot 15 \cdot \sqrt{0.3610} \text{ kN/m}^2$$

para

$$z = 2.5 \rightarrow e'_a = 2.91 \text{ kN/m}^2$$

$$z = 4.46 \rightarrow e'_a = 0.45496 \cdot (25 - 3 + 18.4 \cdot 4.46) = 15.93 \text{ kN/m}^2$$

- $4.46 \leq z \leq 8.26$

$$\sigma'_v = \sigma_v = 15 + 43 + 36.064 + 17.8 \cdot (z - 4.46) = 14.676 + 17.8 \cdot z$$

$$e'_a = \sigma'_v \cdot k_a - 2 \cdot c' \cdot \sqrt{k_a}$$

$$k_a = \frac{1 - \tan \phi'}{1 + \tan \phi'} = \frac{1 - \tan 31.5^\circ}{1 + \tan 31.5^\circ} = 0.31363$$

$$e'_a = 0.31363 \cdot (14.676 + 17.8 \cdot z) \text{ kN/m}^2$$

para

$$z = 4.46 \rightarrow e'_a = 29.50 \text{ kN/m}^2$$

$$z = 8.26 \rightarrow e'_a = 50.72 \text{ kN/m}^2$$

$$\bullet \quad 8.26 \leq z \leq 8.5 + E$$

$$\sigma'_v = \sigma_v = 15 + 43 + 36.064 + 67.64 + 17 \cdot (25 - 8.26) = 21.284 + 17 \cdot z$$

$$e'_a = \sigma'_v \cdot k_a - 2 \cdot c' \cdot \sqrt{k_a}$$

$$k_a = \frac{1 - \sin \theta'}{1 + \sin \theta'} = \frac{1 - \sin 28^\circ}{1 + \sin 28^\circ} = 0.3610$$

$$e'_a = 0.3610 \cdot (21.284 + 17 \cdot z) - 2 \cdot 15 \cdot \sqrt{0.3610} \text{ kN/m}^2$$

para

$$z = 8.26 \rightarrow e'_a = 40.35 \text{ kN/m}^2$$

$$z = 8.5 + E \rightarrow e'_a = 6.137 \cdot E + 41.82 \text{ kN/m}^2$$

EMPUJE PASIVO

Se tiene que adoptar un coeficiente reductor del empuje pasivo según CTE de 0.6, por lo tanto:

$$E'_{p1} = 0.6 \cdot E \cdot 49.93 = 29.96 \cdot E \text{ kN/m}$$

$$E'_{p2} = 0.6 \cdot \frac{1}{2} \cdot E \cdot (47.0866 \cdot E) = 14.13 \cdot E^2 \text{ kN/m}$$

EMPUJE ACTIVO

$$E'_{a1} = 4.61 \cdot 2.5 = 11.525 \text{ kN/m}$$

$$E'_{a2} = 0.5 \cdot 2.5 \cdot (17.82 - 4.61) = 16.51 \text{ kN/m}$$

$$E'_{a3} = 2.91 \cdot 1.96 = 5.70 \text{ kN/m}$$

$$E'_{a4} = 0.5 \cdot 1.96 \cdot (15.93 - 2.91) = 12.76 \text{ kN/m}$$

$$E'_{a5} = 29.50 \cdot 3.8 = 112.1 \text{ kN/m}$$

$$E'_{a6} = 0.5 \cdot 3.8 \cdot (50.72 - 29.50) = 40.32 \text{ kN/m}$$

$$E'_{a7} = 40.35 \cdot (0.24 + E) = 40.35 \cdot E + 9.684 \text{ kN/m}$$

$$E'_{a8} = 0.5 \cdot (0.24 + E) \cdot [(41.82 + 6.137 \cdot E) - 40.35] \text{ kN/m}$$

Tomando momentos en la cabeza de las pantallas:

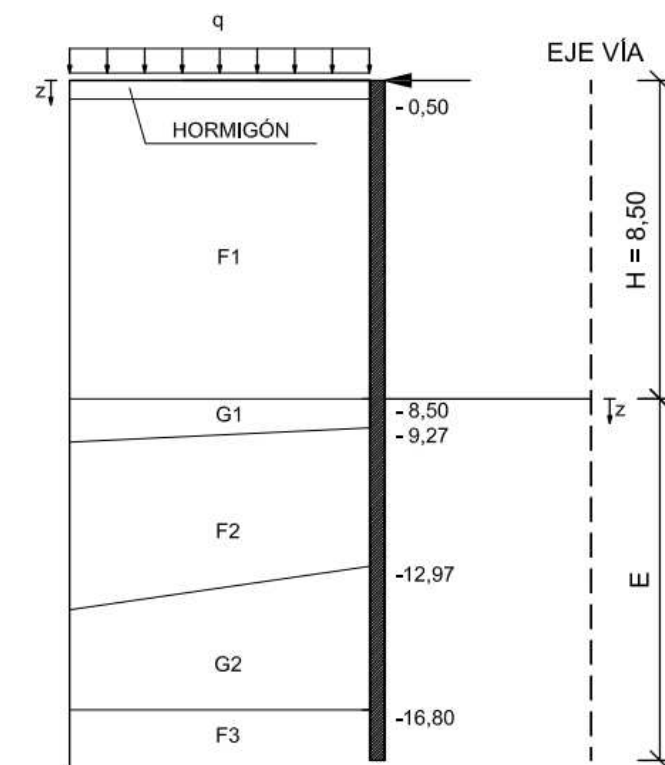
$$E'_{a1} \cdot (1.25) + E'_{a2} \cdot (1.67) + E'_{a3} \cdot (3.48) + E'_{a4} \cdot (3.81) + E'_{a5} \cdot (6.36) + E'_{a6} \cdot (6.99) + \\ + E'_{a7} \cdot \left(\frac{0.24+E}{2} + 8.26\right) + E'_{a8} \cdot \left(2 \cdot \frac{0.24+E}{3} + 8.26\right) = E'_{p1} \cdot (0.5 \cdot E + 8.5) + E'_{p2} \cdot \left(\frac{2 \cdot E}{3} + 8.5\right)$$

Resolviendo esta ecuación se obtiene una longitud de empotramiento de $E = 3.68 \text{ m}$

PANTALLAS SITUADAS EN EL PERFIL TRANSVERSAL 2

Colocando la sección transversal del ferrocarril en el perfil transversal 2, se ha observado donde queda situada cada pantalla (derecha e izquierda). El empotramiento se calcula para la pantalla más desfavorable, es decir, donde el empotramiento necesario sea mayor.

Finalmente el problema planteado se muestra en el siguiente esquema:



Y los datos necesarios son:

| MATERIAL | PROPIEDADES GEOTÉCNICAS | | |
|----------|---|---------------------------------|------------------------------|
| | $\gamma_{\text{sec}} \text{ (kN/m}^3\text{)}$ | $\phi' \text{ (}^\circ\text{)}$ | $c' \text{ (kN/m}^2\text{)}$ |
| HORMIGÓN | 22 | 45 | 400 |
| F1 | 17.6 | 28 | 15 |
| G1 | 18.5 | 34 | 0 |
| F2 | 17.5 | 28 | 15 |
| G2 | 18.5 | 32 | 0 |
| F3 | 16.9 | 28 | 15 |

A continuación se detallan los cálculos que se han llevado a cabo para hallar el empotramiento.

Se ha considerado la siguiente sobrecarga (q):

- Debida a los viales: 10 kN/m² (según NTE-CCP).
- Debida a edificaciones próximas: se toma 5 kN/m², teniendo en cuenta que los edificios son en general de 3 plantas y están situados a una distancia mínima de 6 m respecto a las pantallas.

La sobrecarga total a considerar en los cálculos es de 15 kN/m².

Además dado que se requiere una gran deformación para movilizar el pasivo, se va afectar este con un coeficiente reductor $\gamma_E=0,6$ tal y como indica el CTE en el Documento Básico de Seguridad Estructural - Cimientos (CTE-DB-SE-C).

EMPUJES EN EL INTRADOS

Tomando el origen del eje z en el fondo de la excavación, se tiene:

- $0 \leq z \leq 0.77$

$$\sigma'_v = \sigma_v = 18.5 \cdot z$$

Según Rankine, los empujes pasivos unitarios en un trasdós vertical vienen dados por:

$$e'_p = \sigma'_v \cdot k_p + 2 \cdot c' \cdot \sqrt{k_p}$$

Siendo k_p el coeficiente de empuje pasivo que se calcula así:

$$k_a = \frac{1 - \sin \emptyset'}{1 + \sin \emptyset'} = \frac{1 - \sin 34^\circ}{1 + \sin 34^\circ} = 0.2827$$

$$k_p = \frac{1}{k_a} = \frac{1}{0.2827} = 3.5371$$

Por lo tanto:

$$e'_p = (18.5 \cdot z) \cdot 3.5371 \text{ kN/m}^2$$

para

$$z = 0 \rightarrow e'_p = 0 \text{ kN/m}^2$$

$$z = 0.77 \rightarrow e'_p = 50.39 \text{ kN/m}^2$$

- $0.77 \leq z \leq E$

$$\sigma'_v = \sigma_v = 14.245 + 17.5 \cdot (z - 0.77)$$

$$e'_p = \sigma'_v \cdot k_p + 2 \cdot c' \cdot \sqrt{k_p}$$

$$k_a = \frac{1 - \sin \emptyset'}{1 + \sin \emptyset'} = \frac{1 - \sin 28^\circ}{1 + \sin 28^\circ} = 0.3610$$

$$k_p = \frac{1}{k_a} = 2.7698$$

$$e'_p = (14.245 + 17.5 \cdot (z - 0.77)) \cdot 2.7698 + 2 \cdot 15 \cdot \sqrt{2.7698} \text{ kN/m}^2$$

para

$$z = 0.77 \rightarrow e'_p = 89.39 \text{ kN/m}^2$$

$$z = E \rightarrow e'_p = (14.245 + 17.5 \cdot (E - 0.77)) \cdot 2.7698 + 49.93 \text{ kN/m}^2$$

EMPUJES EN EL TRASDÓS

Se toma el origen del eje z en la superficie del terreno:

- $0 \leq z \leq 0.5$

$$\sigma'_v = \sigma_v = 22 \cdot z + 15$$

$$e'_a = \sigma'_v \cdot k_a - 2 \cdot c' \cdot \sqrt{k_a}$$

$$k_a = \frac{1 - \sin \emptyset'}{1 + \sin \emptyset'} = \frac{1 - \sin 45^\circ}{1 + \sin 45^\circ} = 0.1716$$

$$e'_a = (22 \cdot z + 15) \cdot 0.1716 - 2 \cdot 400 \cdot \sqrt{0.1716} \text{ kN/m}^2$$

para

$$z = 0 \rightarrow e'_a < 0 \text{ kN/m}^2$$

$$z = 0.5 \rightarrow e'_a < 0 \text{ kN/m}^2$$

El hormigón no produce empuje activo

- $0.5 \leq z \leq 8.5$

$$\sigma'_v = \sigma_v = 15 + 11 + 17.6 \cdot (z - 0.5) = 17.6 \cdot z + 17.2$$

$$e'_a = \sigma'_v \cdot k_a - 2 \cdot c' \cdot \sqrt{k_a}$$

$$k_a = \frac{1 - \sin \emptyset'}{1 + \sin \emptyset'} = 0.3610$$

$$e'_a = (17.6 \cdot z + 17.2) \cdot 0.3610 - 2 \cdot 15 \cdot \sqrt{0.3610} \text{ kN/m}^2$$

para

$$z = 0.5 \rightarrow e'_a < 0 \text{ kN/m}^2$$

$$z = 1.86 \rightarrow e'_a = 0 \text{ kN/m}^2$$

$$z = 8.5 \rightarrow e'_a = 42.19 \text{ kN/m}^2$$

- $8.5 \leq z \leq 9.27$

$$\sigma'_v = \sigma_v = 15 + 11 + 140.8 + 18.5 \cdot (z - 8.5) = 18.5 \cdot z + 9.55$$

$$e'_a = \sigma'_v \cdot k_a - 2 \cdot c' \cdot \sqrt{k_a}$$

$$k_a = \frac{1 - \sin \theta'}{1 + \sin \theta'} = 0.2827$$

$$e'_a = (18.5 \cdot z + 9.55) \cdot 0.2827 \text{ kN/m}^2$$

para

$$z = 8.5 \rightarrow e'_a = 47.15 \text{ kN/m}^2$$

$$z = 9.27 \rightarrow e'_a = 51.18 \text{ kN/m}^2$$

- $9.27 \leq z \leq 8.5 + E$

$$\sigma'_v = \sigma_v = 15 + 11 + 140.8 + 14.245 + 17.5 \cdot (z - 9.27) = 17.5 \cdot z + 18.82$$

$$e'_a = \sigma'_v \cdot k_a - 2 \cdot c' \cdot \sqrt{k_a}$$

$$k_a = \frac{1 - \sin \theta'}{1 + \sin \theta'} = 0.3610$$

$$e'_a = (17.5 \cdot z + 18.82) \cdot 0.3610 - 2 \cdot 15 \cdot \sqrt{0.3610} \text{ kN/m}^2$$

para

$$z = 9.27 \rightarrow e'_a = 47.33 \text{ kN/m}^2$$

$$z = 8.5 + E \rightarrow e'_a = (17.5 \cdot (8.5 + E) + 18.82) \cdot 0.3610 - 18.025 \text{ kN/m}^2$$

EMPUJE PASIVO

Se tiene que adoptar un coeficiente reductor del empuje pasivo según CTE de 0.6, por lo tanto:

$$E'_{p1} = 0.6 \cdot 0.5 \cdot 0.77 \cdot 50.39 = 11.64 \text{ kN/m}$$

$$E'_{p2} = 0.6 \cdot 89.39 \cdot (E - 0.77) \text{ kN/m}$$

$$E'_{p3} = 0.6 \cdot 0.5 \cdot (E - 0.77) \cdot \left((14.245 + 17.5 \cdot (E - 0.77)) \cdot 2.7698 + 49.93 - 89.39 \right) \text{ kN/m}$$

EMPUJE ACTIVO

$$E'_{a1} = 0.5 \cdot 42.19 \cdot 6.64 = 140.07 \text{ kN/m}$$

$$E'_{a2} = 0.77 \cdot 47.15 = 36.31 \text{ kN/m}$$

$$E'_{a3} = 0.5 \cdot 0.77 \cdot (51.18 - 47.15) = 1.55 \text{ kN/m}$$

$$E'_{a4} = (E - 0.77) \cdot 47.33 \text{ kN/m}$$

$$E'_{a5} = 0.5 \cdot (E - 0.77) \cdot \left((17.5 \cdot (8.5 + E) + 18.82) \cdot 0.3610 - 18.025 - 47.33 \right) \text{ kN/m}$$

Tomando momentos en la cabeza de las pantallas:

$$\begin{aligned} & E'_{a1} \cdot (6.29) + E'_{a2} \cdot (8.885) + E'_{a3} \cdot (9.013) + E'_{a4} \cdot \left(\frac{E-0.77}{2} + 9.27 \right) + E'_{a5} \cdot \\ & \cdot \left(2 \cdot \frac{E-0.77}{3} + 9.27 \right) = E'_{p1} \cdot (9.013) + E'_{p2} \cdot \left(\frac{E-0.77}{2} + 9.27 \right) + \\ & + E'_{p3} \cdot \left(2 \cdot \frac{E-0.77}{3} + 9.27 \right) \end{aligned}$$

Resolviendo esta ecuación se obtiene una longitud de empotramiento de $E = 3.49 \text{ m}$

4.2 Comprobación de hundimiento

PANTALLAS SITUADAS EN EL PERFIL TRANSVERSAL 1

El cálculo del hundimiento de las pantallas se realiza como el cálculo de hundimiento de un pilote cuya sección se corresponde a un rectángulo de un metro de longitud por el espesor de la pantalla. En este caso el espesor de la pantalla es de 0.95 m.

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS

$$\text{Longitud total} \rightarrow L_{tot} = 12.5 \text{ m}$$

$$\text{Longitud exenta} \rightarrow L_{ex} = 8.5 \text{ m}$$

$$\text{Longitud enterrada} \rightarrow L = 3.68 \approx 4 \text{ m}$$

$$\text{Área de la punta} \rightarrow A_p = 1 \cdot 0.95 = 0.95 \text{ m}^2$$

$$\text{Perímetro} \rightarrow P = 0.95 + 0.95 + 1 + 1 = 3.90 \text{ m}$$

$$\text{Área del fuste} \rightarrow A_f = P \cdot L = 3.90 \cdot 4 = 15.6 \text{ m}^2$$

$$\text{Diámetro equivalente por punta} \rightarrow 0.95 = \pi \cdot \frac{D_{ep}^2}{4}; D_{ep} = 1.10 \text{ m}$$

$$\text{Diámetro equivalente por fuste} \rightarrow 15.6 = 2 \cdot \pi \cdot \frac{D_{ef}}{2} \cdot 4; D_{ef} = 1.24 \text{ m}$$

ZONA DE INFLUENCIA DE LA PUNTA

Según la GCOC y CTE, para cualquier suelo:

$$L_{ZPS} = 6 \cdot D_{ep} = 6 \cdot 1.10 = 6.60 \text{ m}$$

$$L_{ZAI} = 3 \cdot D_{ep} = 3 \cdot 1.10 = 3.30 \text{ m}$$

La zona de influencia de la punta queda situada una parte en el estrato F2 y otra parte en el estrato G2.

CARGA DE HUNDIMIENTO

La carga de hundimiento es la suma de las resistencias por el fuste y por la punta:

$$Q_h = Q_f + Q_p$$

Resistencia por la punta

Aunque la zona de influencia de la punta afecta a dos estratos diferentes F2 y G2, del lado de la seguridad se va a calcular como si todo fuera estrato F2. La resistencia unitaria por la punta es la siguiente:

$$q_p = 9 \cdot s_u = 9 \cdot 100 = 900 \text{ kN/m}^2; s_u = \frac{R_u}{2} = \frac{200}{2} = 100 \text{ kN/m}^2$$

Entonces la resistencia por la punta es:

$$Q_p = q_p \cdot A_p = 900 \cdot 0.95 = 855 \text{ kN}$$

Resistencia por el fuste

La resistencia por el fuste se desarrolla únicamente en la longitud de pantalla enterrada $L = 4 \text{ m}$.

En este caso toda la longitud de pantalla enterrada se sitúa dentro del estrato F2 que es un material cohesivo. La resistencia unitaria por el fuste es:

$$q_f = \frac{100 \cdot s_u}{100 + s_u} = \frac{100 \cdot 100}{100 + 100} = 50 \text{ kN/m}^2$$

Por lo tanto, la resistencia por el fuste es:

$$Q_f = q_f \cdot A_f = 50 \cdot 15.6 = 780 \text{ kN}$$

Carga de hundimiento

$$Q_h = Q_f + Q_p = 780 + 855 = 1635 \text{ kN}$$

COMPROBACIÓN DEL HUNDIMIENTO DE LA PANTALLA

Se tiene que verificar que la carga de hundimiento minorada por un coeficiente de seguridad frente a hundimiento $F=3$ es mayor al peso de la pantalla más la fuerza que le transmite la losa inferior por estar empotrada en ella:

$$\frac{Q_h}{F} = \frac{1635}{3} = 545 \text{ kN}$$

$$\text{Peso pantalla} = 12.5 \cdot 0.95 \cdot 25 = 296.88 \text{ kN}$$

$$\text{Fuerza que transmite la losa inferior a la pantalla} = 212.40 \text{ kN}$$

$$\text{Comprobación: } 545 \text{ kN} \geq 296.88 + 212.40 = 509.28 \text{ kN} \rightarrow \text{La pantalla no se hunde}$$

Además se ha verificado que el tope estructural no es restrictivo:

$$T_e = \sigma \cdot A = 4 \cdot 0.95 = 3.8 \text{ MN} = 3800 \text{ kN}; \text{ Como } T_e > \frac{Q_h}{F}, \text{ el tope estructural no es restrictivo.}$$

PANTALLAS SITUADAS EN EL PERFIL TRANSVERSAL 2

El cálculo del hundimiento de las pantallas se realiza como el cálculo de hundimiento de un pilote cuya sección se corresponde a un rectángulo de un metro de longitud por el espesor de la pantalla. En este caso el espesor de la pantalla es de 0.75 m.

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS

$$\text{Longitud total} \rightarrow L_{tot} = 12 \text{ m}$$

$$\text{Longitud exenta} \rightarrow L_{ex} = 8.5 \text{ m}$$

$$\text{Longitud enterrada} \rightarrow L = 3.49 \approx 3.5 \text{ m}$$

$$\text{Área de la punta} \rightarrow A_p = 1 \cdot 0.75 = 0.75 \text{ m}^2$$

$$\text{Perímetro} \rightarrow P = 0.75 + 0.75 + 1 + 1 = 3.50 \text{ m}$$

$$\text{Área del fuste} \rightarrow A_f = P \cdot L = 3.50 \cdot 3.50 = 12.25 \text{ m}^2$$

$$\text{Diámetro equivalente por punta} \rightarrow 0.75 = \pi \cdot \frac{D_{ep}^2}{4}; D_{ep} = 0.98 \text{ m}$$

ZONA DE INFLUENCIA DE LA PUNTA

Según la GCOC y CTE, para cualquier suelo:

$$L_{ZPS} = 6 \cdot D_{ep} = 6 \cdot 0.98 = 5.88 \text{ m}$$

$$L_{ZAI} = 3 \cdot D_{ep} = 3 \cdot 0.98 = 2.94 \text{ m}$$

CARGA DE HUNDIMIENTO

La carga de hundimiento es la suma de las resistencias por el fuste y por la punta:

$$Q_h = Q_f + Q_p$$

Resistencia por la punta

Aunque la zona de influencia de la punta afecta a tres estratos diferentes F1, G1 y F2 del lado de la seguridad se va a calcular como si todo fuera estrato F2. La resistencia unitaria por la punta es la siguiente:

$$q_p = 9 \cdot s_u = 9 \cdot 100 = 900 \text{ kN/m}^2 ; s_u = \frac{R_u}{2} = \frac{200}{2} = 100 \text{ kN/m}^2$$

Entonces la resistencia por la punta es:

$$Q_p = q_p \cdot A_p = 900 \cdot 0.75 = 675 \text{ kN}$$

Resistencia por el fuste

La resistencia por el fuste se desarrolla únicamente en la longitud de pantalla enterrada $L = 3.5 \text{ m}$.

En este caso dicha longitud pasa por diferentes estratos, entonces se calcula la resistencia por el fuste para cada estrato y luego se suman para hallar la total.

- Estrato G1

$$q_f = 2 \cdot N = 2 \cdot 24 = 48 \text{ kN/m}^2$$

$$A_f = 0.77 \cdot 3.50 = 2.695 \text{ m}^2$$

$$Q_{f(G1)} = q_f \cdot A_f = 48 \cdot 2.695 = 129.36 \text{ kN}$$

- Estrato F2

$$q_f = \frac{100 \cdot s_u}{100 + s_u} = \frac{100 \cdot 100}{100 + 100} = 50 \text{ kN/m}^2$$

$$A_f = 2.73 \cdot 3.50 = 9.56 \text{ m}^2$$

$$Q_{f(F2)} = q_f \cdot A_f = 50 \cdot 9.56 = 478 \text{ kN}$$

Por lo tanto, la resistencia por el fuste es:

$$Q_f = Q_{f(G1)} + Q_{f(F2)} = 607.36 \text{ kN}$$

Carga de hundimiento

$$Q_h = Q_f + Q_p = 607.36 + 675 = 1282.36 \text{ kN}$$

COMPROBACIÓN DEL HUNDIMIENTO DE LA PANTALLA

Se tiene que verificar que la carga de hundimiento minorada por un coeficiente de seguridad frente a hundimiento $F=3$ es mayor al peso de la pantalla más la fuerza que le transmite la losa inferior por estar empotrada en ella:

$$\frac{Q_h}{F} = \frac{1282.36}{3} = 427.45 \text{ kN}$$

$$\text{Peso pantalla} = 12 \cdot 0.75 \cdot 25 = 225 \text{ kN}$$

$$\text{Fuerza que transmite la losa inferior a la pantalla} = 90.70 \text{ kN}$$

$$\text{Comprobación: } 427.45 \text{ kN} \geq 225 + 90.70 = 315.70 \text{ kN} \rightarrow \text{La pantalla no se hunde}$$

Además se ha verificado que el tope estructural no es restrictivo:

$$T_e = \sigma \cdot A = 4 \cdot 0.75 = 3 \text{ MN} = 3000 \text{ kN} ; \text{ Como } T_e > \frac{Q_h}{F}, \text{ el tope estructural no es restrictivo.}$$

APÉNDICE A.1. INVESTIGACIÓN DE CAMPO. REGISTRO DE SONDEOS.

A continuación se recogen los registros de los diferentes sondeos que se han realizado en diferentes estudios relativos a este proyecto.

I. El “Anteproyecto de Soterramiento del Ferrocarril en la Estación de Viajeros en Sant Feliu de Llobregat” de RENFE recoge en el anejo nº 2 “Geología y Geotecnia” los resultados de 9 sondeos de reconocimiento realizados por la empresa JOLSA.

| CAMPAÑA JOLSA | | | |
|---------------|--------|------------------|-----------------|
| SONDEO | P.K. | DISTANCIA AL EJE | PROFUNDIDAD (m) |
| B-1 | 89+437 | 2 m-D | 10,20 |
| B-2 | 89+234 | 15 m-D | 17,00 |
| B-3 | 89+063 | 12 m-D | 20,50 |
| B-4 | 88+892 | 8 m-D | 17,40 |
| B-5 | 88+839 | 11 m-l | 8,00 |
| B-6 | 89+780 | 10 m-l | 13,80 |
| B-7 | 88+731 | 19 m-D | 21,30 |
| B-8 | 88+655 | 9 m-l | 14,60 |
| B-9 | 88+497 | 12 m-D | 13,00 |

El sistema de perforación se basó en la extracción de un testigo continuo mediante batería simple en seco.

En el interior de los sondeos se realizaron ensayos con toma de muestras inalteradas (MI) y ensayos de penetración (SPT).

II. Para el “Estudio Geotécnico de las Alternativas de Integración del Ferrocarril en el tramo urbano de Sant Feliu de Llobregat” elaborado por la empresa EYSER (Estudios y Servicios, S.A.) se ejecutaron 6 nuevos sondeos.

| CAMPAÑA EYSER | | | |
|---------------|--------|------------------|-----------------|
| SONDEO | P.K. | DISTANCIA AL EJE | PROFUNDIDAD (m) |
| SE-1 | 88+444 | 10 m-D | 15,00 |
| SE-2 | 88+744 | 10 m-D | 15,20 |
| SE-3 | 88+860 | 11 m-l | 15,00 |
| SE-4 | 89+205 | 29 m-D | 15,90 |
| SE-5 | 89+507 | 5 m-l | 15,10 |
| SE-6 | 89+641 | 21 m-l | 20,00 |

El sistema de perforación se basó en la extracción de un testigo continuo mediante batería simple en seco.

En el interior de los sondeos se realizaron ensayos con toma de muestras inalteradas (MI) y ensayos de penetración (SPT).

III. EUROESTUDIOS, S.A. en su “Estudio de Alternativas relativo a la Integración del Ferrocarril de Sant Feliu de Llobregat” realizó una campaña de 6 sondeos mecánicos.

| CAMPAÑA EUROESTUDIOS | | | |
|----------------------|--------|------------------|-----------------|
| SONDEO | P.K. | DISTANCIA AL EJE | PROFUNDIDAD (m) |
| S-1 | 88+279 | 16 m-D | 13,95 |
| S-2 | 88+700 | 10 m-D | 15,45 |
| S-3 | 89+464 | 20 m-l | 18,00 |
| S-4 | 89+549 | 7 m-l | 26,90 |
| S-5 | 89+615 | 7 m-l | 24,95 |
| S-6 | 89+644 | 1 m-l | 20,40 |

La perforación se realizó a rotación con extracción de testigo continuo en seco, utilizando batería sencilla tipo B-113,112 y 86 mediante sonda ROLATEC RL-200-C montada sobre camión, sin necesidad de revestimiento en ningún caso.

En el interior de los sondeos se realizaron ensayos con toma de muestras inalteradas (MI), ensayos de penetración (SPT) y Shelby, con un intervalo de 1,50 m aproximadamente. En todos los sondeos se ha instalado tubería piezométrica de PVC de Ø 2” para medir la fluctuación del nivel freático.

La toma de muestras inalteradas se realizó a percusión mediante tomamuestras de 75 mm de diámetro exterior, registrándose la resistencia mediante el número de golpes necesarios para la penetración en tramos de 15 cm, almacenándose en tubos de PVC.

Los ensayos de penetración standard (SPT) se han efectuado con cucharas bipartidas y equipos normalizados, siguiendo la metodología habitualmente utilizada para este tipo de ensayos. Si bien su aplicación está más indicada para suelos granulares, también se han realizados ensayos de este tipo en suelos arcillosos, con objeto de disponer de manera inmediata información correlacionable con algunos parámetros. El valor de N incluido en los registros de sondeos, corresponde al número de golpes obtenidos en los ensayos multiplicado por un factor de corrección de 1,5.

APÉNDICE A.2. ENSAYOS DE LABORATORIO PREVIOS

| CUADRO RESUMEN ENSAYOS DE LABORATORIO CAMPAÑA JOLSA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|------------------|---------|-----------|-----------|--------------|------|----|------|-----------|-------------|-----------------------|------------------|----------------|--------------|---------|-------------|-------|-------------------|---------------------|
| SONDEO | PROFUNDIDAD (m.) | MUESTRA | GRAVA (%) | ARENA (%) | FINOS (%) | LL | LP | IP | CLASIFIC. | HUMEDAD (%) | DENSIDAD SECA (g/cm³) | MATERIA ORGÁNICA | CARBONATOS (%) | SULFATOS (%) | SPT (N) | qu (Kg/cm²) | Ø (°) | COHESIÓN (Kg/cm²) | MATERIAL GEOTÉCNICO |
| B-1 | 3,1 | MI-2 | 3,0 | 8,0 | 90,0 | 21,0 | | N.P. | ML | 13,1 | 1,66 | | | | 10 | | | | Arcillas y limos |
| B-2 | 4,3 | MI-3 | | | 92,0 | 25,0 | | N.P. | ML | 11,9 | 1,73 | | | | 17 | | | | Arcillas y limos |
| B-2 | 6,0 | MI-4 | 1,0 | 14,0 | 85,0 | 20,0 | | 4,0 | ML | 10,6 | 1,63 | | | | 11 | | | | Arcillas y limos |
| B-2 | 7,2 | MI-5 | 0,0 | 6,0 | 94,0 | 21,0 | | 3,0 | ML | 12,8 | 1,79 | | | | 23 | | | | Arcillas y limos |
| B-2 | 8,7 | MI-6 | 1,0 | 8,0 | | 24,0 | | 9,0 | CL | 16,3 | 1,80 | | | | 17 | | | | Arcillas y limos |
| B-3 | 1,6 | MI-1 | | | 82,0 | 24,0 | | N.P. | ML | 5,9 | 1,61 | | | | 20 | | | | Arcillas y limos |
| B-3 | 3,7 | MI-2 | | | 87,0 | 25,0 | | N.P. | ML | 4,9 | 1,68 | | | | 24 | | | | Arcillas y limos |
| B-3 | 5,8 | MI-3 | 0,0 | 7,0 | 93,0 | 23,0 | | 4,0 | ML | 10,9 | 1,70 | | | | 11 | | | | Arcillas y limos |
| B-3 | 6,8 | MI-4 | | | 76,0 | 26,0 | | 10,0 | CL | 15,1 | 1,60 | | | | 12 | | | | Arcillas y limos |
| B-3 | 8,8 | MI-5 | | | 86,0 | 23,0 | | 3,0 | ML | 13,9 | 1,80 | | | | 17 | | | | Arcillas y limos |
| B-3 | 11,0 | MI-6 | 45,0 | 30,0 | 75,0 25,0 | 26,0 | | 8,0 | CL SC | 16,3 | 1,65 | | | | 13 | | | | Arcillas y limos |
| B-4 | 2,2 | MI-1 | | | 71,0 | 24,0 | | 10,0 | CL | 11,0 | 1,61 | | | | 7 | | | | Arcillas y limos |
| B-5 | 2,3 | MI-1 | | | 66,0 | 25,0 | | 8,0 | CL | 14,4 | 1,86 | | | | 15 | | | | Arcillas y limos |
| B-5 | 3,9 | MI-2 | 13,0 | 18,0 | 69,0 | 22,0 | | 3,0 | CL | 10,4 | 1,76 | | | | 15 | | | | Arcillas y limos |
| B-6 | 3,0 | MI-2 | 54,0 | 33,0 | 13,0 | | | | GC | 5,1 | 1,73 | | | | 13 | | | | Gravas |
| B-7 | 3,7 | MI-2 | 28,0 | 16,0 | 56,0 | 26,0 | | 7,0 | CL | 10,8 | 1,82 | | | | 27 | | | | Alternancia |
| B-8 | 1,3 | MI-1 | 49,0 | 38,0 | 13,0 | | | | GC | 5,2 | 1,72 | | | | 15 | | | | Alternancia |
| B-8 | 2,9 | MI-2 | | | 62,0 | 31,0 | | 11,0 | CL | 18,9 | 1,84 | | | | 8 | | | | Alternancia |
| B-8 | 4,2 | MI-3 | | | 44,0 | 30,0 | | 10,0 | SC | 17,1 | 1,86 | | | | 13 | | | | Alternancia |
| B-8 | 6,0 | MI-4 | 41,0 | 26,0 | 33,0 | | | | SC | 7,4 | 1,93 | | | | 15 | | | | Alternancia |
| B-8 | 7,7 | MI-5 | | | 64,0 | 31,0 | | 10,0 | CL | 19,7 | 1,70 | | | | 12 | | | | Alternancia |
| B-9 | 1,2 | MI-1 | 5,0 | 15,0 | 80,0 | 24,0 | | 8,0 | CL | 13,6 | 1,92 | | | | 21 | | | | |
| B-9 | 4,3 | MI-3 | 50,0 | 35,0 | 15,0 | | | | GC | 5,8 | 1,97 | | | | 25 | | | | Alternancia |

| CUADRO RESUMEN ENSAYOS DE LABORATORIO CAMPAÑA EYSER | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|------------------|---------|-----------|-----------|-----------|------|------|------|-----------|-------------|-----------------------|------------------|----------------|--------------|---------|-------------|-------|-------------------|---------------------|
| SONDEO | PROFUNDIDAD (m.) | MUESTRA | GRAVA (%) | ARENA (%) | FINOS (%) | LL | LP | IP | CLASIFIC. | HUMEDAD (%) | DENSIDAD SECA (g/cm³) | MATERIA ORGÁNICA | CARBONATOS (%) | SULFATOS (%) | SPT (N) | qu (Kg/cm²) | Ø (º) | COHESIÓN (Kg/cm²) | MATERIAL GEOTÉCNICO |
| SE-1 | 5,0 | MI | 54,2 | 30,3 | 15,5 | N.P. | N.P. | N.P | GM | 5,4 | | 0,8 | 4,9 | N.C. | 33 | | (*) | (*) | Gravas |
| SE-1 | 6,9 | MA | 29,3 | 27,0 | 43,7 | | | | GC | | | | | | | | | | Gravas |
| SE-1 | 10,0 | MI | 57,2 | 31,7 | 11,1 | N.P. | N.P. | N.P | GP-GM | | | | | | 53 | (*) | | | Gravas |
| SE-1 | 14,1 | MI | 3,1 | 13,3 | 83,6 | | | | CL | | | | | | 31 | | | | Arcillas y limos |
| SE-2 | 5,0 | MI | 64,9 | 27,3 | 7,8 | | | | GP | | | | | | 13 | | | | Gravas |
| SE-2 | 10,0 | MI | 62,8 | 30,6 | 6,6 | N.P. | N.P. | N.P | GP-GM | 6,0 | (*) | 0,6 | 9,7 | N.C. | 13 | | | | Gravas |
| SE-2 | 14,3 | MI | 55,2 | 35,0 | 9,8 | N.P. | N.P. | N.P | GP-GM | | | | | | 51 | | | | Gravas |
| SE-3 | 5,0 | MI | 8,1 | 5,6 | 86,3 | 25,5 | 19,8 | 5,7 | CL | 10,8 | 1,72 | 0,5 | 34,8 | N.C. | 30 | | | | Arcillas y limos |
| SE-3 | 10,0 | MI | 6,6 | 23,3 | 70,1 | N.P. | N.P. | N.P | ML | | | | 26,8 | N.C | 54 | | 31,8 | 0,1 | Arcillas y limos |
| SE-3 | 14,1 | MI | 0,3 | 20,9 | 78,8 | 66,0 | 24,2 | 41,8 | CH | 28,0 | 1,44 | | | | 33 | 4,52 | | | Arcillas y limos |
| SE-4 | 5,0 | MI | 1,3 | 7,6 | 91,1 | 27,3 | 16,7 | 10,6 | CL | 11,6 | 1,70 | | | | 9 | 1,02 | | | Arcillas y limos |
| SE-4 | 10,0 | MI | 4,1 | 10,9 | 85,0 | | | | CL | 18,2 | 1,65 | 0,8 | 17,5 | N.C. | 7 | | 33,1 | 0,0 | Arcillas y limos |
| SE-4 | 15,0 | MI | 14,0 | 44,4 | 41,6 | | | | SC | | | | | | 54 | | | | Arena y arcilla |
| SE-5 | 5,0 | MI | 2,8 | 22,7 | 74,5 | 25,7 | 20,9 | 4,8 | CL | 7,6 | | 1,2 | 18,8 | N.C. | 24 | | | | Arcillas y limos |
| SE-5 | 10,0 | MI | 7,8 | 23,7 | 68,5 | 27,6 | 15,0 | 12,6 | CL | | | | | | 24 | | | | Arcillas y limos |
| SE-5 | 14,2 | MI | 64,0 | 29,3 | 6,7 | | | | GP-GC | | | | | | | | | | Arenas arcillosas |
| SE-5 | 14,7 | SPT | 32,9 | 23,2 | 43,9 | | | | GC | | | | | | 20 | | | | |
| SE-6 | 5,0 | MI | 0,0 | 11,6 | 88,4 | | | | CL | | | | | | 6 | | 32,8 | 0,0 | Arcillas y limos |
| SE-6 | 8,3 | MA | 46,3 | 35,7 | 18,0 | | | | GC | | | | | | | | | | Arcillas y limos |
| SE-6 | 11,5 | MI | 14,3 | 18,8 | 66,9 | 33,0 | 18,5 | 14,5 | CL | 18,0 | 1,80 | 1,9 | 13,8 | N.C. | | | | | Arcillas y limos |

(*) No pudo realizarse el ensayo por tratarse de material no cohesivo

| CUADRO RESUMEN ENSAYOS DE LABORATORIO CAMPAÑA EUROESTUDIOS S.A. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|------------------|----------|-----------|-----------|-----------|------|------|------|-----------|-------------|-----------------------|------------------|----------------|--------------|---------|-------------|-------|-------------------|---------------------|
| SONDEO | PROFUNDIDAD (m.) | MUESTRA | GRAVA (%) | ARENA (%) | FINOS (%) | LL | LP | IP | CLASIFIC. | HUMEDAD (%) | DENSIDAD SECA (g/cm³) | MATERIA ORGÁNICA | CARBONATOS (%) | SULFATOS (%) | SPT (N) | qu (Kg/cm²) | Ø (°) | COHESIÓN (Kg/cm²) | MATERIAL GEOTÉCNICO |
| S-1 | 1,50-1,95 | SPT-1 | 0,0 | 78,9 | 21,1 | NP | NP | NP | SM | 3,3 | | | | | 16 | | | | Arenas y limos |
| S-2 | 3,00-3,45 | SPT-2 | 35,0 | 48,6 | 16,4 | 27,5 | 15,8 | 11,7 | SC | 5,8 | | | | | 25 | | | | Arenas y arcillas |
| S-2 | 6,00-6,45 | SPT-4 | 4,0 | 33,1 | 62,9 | 21,3 | 13,2 | 8,1 | CL | 14,6 | | | | | 6 | | | | Arcillas y limos |
| S-2 | 10,50-10,95 | MI-1 | 0,0 | 21,2 | 78,8 | 25,4 | 16,3 | 9,1 | CL | 21,5 | 1,65 | | | | | | 34,5 | 0,09 | Arcillas y limos |
| S-2 | 13,50-13,95 | SPT-7 | 34,0 | 46,3 | 19,7 | 25,3 | 15,6 | 9,7 | SC | 5,7 | | | | | 52 | | | | Arenas y arcillas |
| S-2 | 15,00-15,45 | SPT-8 | 11,0 | 35,0 | 54,0 | 21,3 | 10,7 | 10,6 | CL | 13,1 | | | | | 21 | | | | Arcillas y limos |
| S-3 | 1,50-1,95 | SPT-1 | 0,0 | 16,4 | 83,6 | 26,8 | 13,9 | 12,9 | CL | 14,5 | | | | | 15 | | | | Arcillas y limos |
| S-3 | 4,50-4,95 | MI-1 | 0,0 | 21,1 | 78,9 | 24,9 | 14,9 | 10,0 | CL | 16,5 | 1,76 | | | | | | 36,8 | 0,15 | Arcillas y limos |
| S-3 | 6,60-7,05 | SPT-3 | 8,0 | 31,3 | 60,7 | 23,8 | 12,5 | 11,3 | CL | 15,1 | | | | | 6 | | | | Arcillas y limos |
| S-3 | 9,60-10,05 | SPT-5(1) | 4,0 | 76,9 | 19,1 | 25,2 | 14,8 | 10,4 | SC | 6,0 | | | | | 24 | | | | Arenas y arcillas |
| S-3 | 9,60-10,05 | SPT-5(2) | 12,0 | 48,5 | 39,5 | 27,3 | 16,4 | 10,9 | SC | 19,0 | | | | | 24 | | | | Arenas y arcillas |
| S-3 | 11,10-11,55 | MI-2 | 0,0 | 10,4 | 89,6 | 27,4 | 14,6 | 12,8 | CL | 18,5 | 1,75 | | | | | | | | Arcillas y limos |
| S-3 | 14,10-14,55 | SPT-7 | 5,0 | 29,2 | 65,8 | 26,7 | 14,8 | 11,9 | CL | 16,3 | | | | | 15 | | | | Arcillas y limos |
| S-3 | 15,60-16,05 | SPT-8(1) | 9,0 | 25,7 | 65,3 | 27,7 | 15,3 | 12,4 | CL | 18,9 | | | | | 15 | | | | Arcillas y limos |
| S-3 | 15,60-16,05 | SPT-8(2) | 12,0 | 46,7 | 41,3 | 25,7 | 14,1 | 11,6 | SC | 13,2 | | | | | 15 | | | | Arenas y arcillas |
| S-3 | 17,10-17,55 | MI-3 | 0,0 | 14,4 | 85,6 | 30,0 | 16,7 | 13,3 | CL | 21,0 | 1,69 | | | | | | | | Arcillas y limos |
| S-4 | 8,00-8,45 | SPT-1 | 2,0 | 37,8 | 60,2 | 28,5 | 16,4 | 12,1 | CL | 19,3 | | | | | 6 | | | | Arcillas y limos |
| S-4 | 11,00-11,45 | MI-1 | 3,0 | 63,7 | 33,3 | NP | NP | NP | SM | 16,4 | 1,74 | | | | | | (*) | (*) | Arenas y limos |
| S-4 | 12,50-12,95 | SPT-3 | 47,0 | 40,3 | 12,7 | 29,3 | 16,1 | 13,2 | GC | 6,4 | | | | | 21 | | | | Gravas |
| S-4 | 15,50-15,95 | SPT-5(1) | 21,0 | 49,8 | 29,2 | 24,8 | 14,6 | 10,2 | SC | 10,1 | | | | | 18 | | | | Arenas y arcillas |
| S-4 | 15,50-15,95 | SPT-5(2) | 11,0 | 30,5 | 58,5 | 25,9 | 14,5 | 11,4 | CL | 16,7 | | | | | 18 | | | | Arcillas y limos |
| S-4 | 18,50-18,95 | SPT-7 | 8,0 | 41,4 | 50,6 | 29,9 | 15,2 | 14,7 | CL | 17,1 | | | | | 10 | | | | Arcillas y limos |
| S-4 | 20,00-20,45 | SPT-8 | 16,0 | 62,6 | 21,4 | 25,5 | 15,8 | 9,7 | SC | 7,4 | | | | | 21 | | | | Arenas y arcillas |
| S-4 | 21,50-21,95 | SPT-9 | 11,0 | 24,5 | 64,5 | 26,1 | 16,4 | 9,7 | CL | 20,3 | | | | | 7 | | | | Arcillas y limos |
| S-5 | 6,40-6,85 | SPT-2 | 11,0 | 46,0 | 43,0 | 24,7 | 15,2 | 9,5 | SC | 17,0 | | | | | 3 | | | | Arenas y arcillas |
| S-5 | 8,00-8,45 | SPT-3 | 2,0 | 28,8 | 69,2 | 25,1 | 15,9 | 9,2 | CL | 18,2 | | | | | 6 | | | | Arcillas y limos |
| S-5 | 12,50-12,95 | SPT-5 | 42,0 | 42,1 | 15,9 | 27,3 | 16,4 | 10,9 | SC | 6,0 | | | | | 33 | | | | Arenas y arcillas |
| S-5 | 17,00-17,45 | MI-2 | 21,0 | 47,3 | 31,7 | 31,0 | 16,4 | 14,6 | SC | 11,4 | 1,77 | | | | | | (*) | (*) | Arenas y arcillas |
| S-5 | 18,60-19,05 | SPT-8 | 13,0 | 31,7 | 55,3 | 26,4 | 14,9 | 11,5 | CL | 15,7 | | | | | 15 | | | | Arcillas y limos |
| S-6 | 3,00-3,45 | SPT-2(1) | 17,0 | 67,4 | 15,6 | 26,8 | 15,9 | 10,9 | SC | 5,4 | | | | | 10 | | | | Arenas y arcillas |
| S-6 | 3,00-3,45 | SPT-2(2) | 2,0 | 25,7 | 72,3 | 28,2 | 13,6 | 8,6 | CL | 12,2 | | | | | 10 | | | | Arcillas y limos |
| S-6 | 6,00-6,45 | SPT-3 | 5,0 | 42,9 | 52,1 | 25,8 | 15,7 | 10,1 | CL | 14,6 | | | | | 9 | | | | Arcillas y limos |
| S-6 | 7,50-7,95 | MI-2 | 0,0 | 8,8 | 91,2 | 31,6 | 17,6 | 14,0 | CL | 20,4 | 1,30 | | | | | | | | Arcillas y limos |
| S-6 | 10,50-10,95 | SPT-5 | 35,0 | 40,6 | 24,4 | 27,0 | 15,2 | 11,8 | SC | 8,8 | | | | | 21 | | | | Arenas y arcillas |
| S-6 | 13,50-13,95 | SPT-7 | 24,0 | 58,0 | 18,0 | 27,2 | 16,6 | 10,6 | SC | 6,1 | | | | | 46 | | | | Arenas y arcillas |

| CUADRO RESUMEN ENSAYOS DE LABORATORIO CAMPAÑA EUROESTUDIOS S.A. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|------------------|---------|-----------|-----------|-----------|------|------|------|-----------|-------------|-----------------------|------------------|----------------|--------------|---------|-------------|-------|-------------------|---------------------|
| SONDEO | PROFUNDIDAD (m.) | MUESTRA | GRAVA (%) | ARENA (%) | FINOS (%) | LL | LP | IP | CLASIFIC. | HUMEDAD (%) | DENSIDAD SECA (g/cm³) | MATERIA ORGÁNICA | CARBONATOS (%) | SULFATOS (%) | SPT (N) | qu (Kg/cm²) | Ø (º) | COHESIÓN (Kg/cm²) | MATERIAL GEOTÉCNICO |
| S-6 | 16,50-16,95 | SPT-9 | 12,0 | 68,9 | 19,1 | 27,3 | 15,1 | 12,2 | SC | 6,2 | | | | | 36 | | | | Arenas y arcillas |
| S-6 | 19,50-19,95 | MI-3 | 19,0 | 45,8 | 35,2 | 27,4 | 15,0 | 12,4 | SC | 11,0 | 2,02 | | | | | | (*) | (*) | Arenas y arcillas |

(*) No pudo realizarse el ensayo por tratarse de material no cohesivo