



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



# UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos,  
Canales y Puertos

Diseño geotécnico de un paso inferior peatonal en el PK  
18+280 de la C-12 en Tortosa (Tarragona)

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería Civil

AUTOR/A: Cocco , Lucas Alejandro

Tutor/a: Martínez Ibáñez, Víctor

Cotutor/a: Garrido de la Torre, M<sup>a</sup> Elvira

CURSO ACADÉMICO: 2022/2023

**MEMORIA**

# Índice

1.	Objeto.....	1
2.	Situación.....	1
3.	Antecedentes .....	2
4.	Estudios previos .....	3
4.1	Geología .....	3
4.2	Topografía y cartografía .....	4
4.3	Sismología .....	5
4.4	Agresividad del medio.....	6
5.	Reconocimiento del terreno .....	6
5.1	Análisis crítico del estudio geotécnico .....	7
5.2	Parametrización del suelo .....	8
6.	Estudio de alternativas.....	9
6.1	Paso inferior .....	9
6.2	Tipología de accesos.....	14
6.3	Justificación de la solución adoptada.....	15
7.	Diseño de la solución adoptada .....	19
7.1	Normativa.....	19
7.2	Predimensionamiento.....	19
7.3	Presiones transmitidas al terreno .....	21
7.4	Empujes sobre los muros .....	22
7.5	Excavación .....	23
8.	Proceso constructivo .....	27
9.	Resumen valoración de obras .....	28
10.	Conclusiones.....	30

## 1. Objeto

En este documento se plantearán todos los temas relacionados al diseño geotécnico del paso inferior de carretera ubicado en el PK 18+280 de la carretera C-12 en el término municipal de Tortosa (Tarragona).

La carretera C-12 implica una barrera entre la Escola Ferreries situada al oeste de esta y la gran parte del núcleo urbano de Tortosa concentrado al oeste del municipio, lo que impulsa flujos peatonales abundantes en horas punta como la entrada y salida de la escuela.

Actualmente, la pasarela que existe en la zona en cuestión no cubre todas las necesidades de los viandantes debido a la escasa capacidad que presenta esta, generándose de esta forma excesivas congestiones en horas punta como las mencionadas en el párrafo anterior. Por otra parte, el ayuntamiento de Tortosa considera óptimo realizar un paso inferior a ampliar la actual pasarela originando así un menor impacto visual. Por ello, se decide realizar un paso inferior en la carretera C-12.

Es importante destacar que el presente Trabajo Fin de Grado se centra en el diseño y definición geotécnica del paso inferior de carretera en el PK 18+280 en el Municipio de Tortosa, dejando fuera el desarrollo de estudios de cálculo estructural, sistemas de drenaje, instalaciones para operarios, etc.

En este caso en concreto, a modo de simplificación se define el paso inferior como un cajón de hormigón armado, funcionando las paredes laterales como muros de contención, la misma losa como cimentación y la losa de cubrición soportando el peso de las tierras y del paquete de firmes.

Otro punto importante que se estudiará a lo largo del documento es el proceso constructivo que se llevará a cabo para la ejecución del paso inferior como los accesos al paso inferior. Este proceso se puede dividir en dos partes fundamentales. Por una parte, se estudiará los procedimientos que se llevarán a cabo para la excavación y contención del terreno y, por otra parte, los correspondientes a minorar las molestias ocasionadas en la carretera C-12 asegurando tanto el uso de esta debido a su gran influencia en la zona como una fluidez del tráfico aceptable.

## 2. Situación

Las obras se llevarán a cabo en el P.K. 12+280 de la carretera C-12 en el municipio de Tortosa situado en la provincia de Tarragona, a menos de 1 Km del río Ebro, lo cual va a garantizar la presencia del N.F., la cual puede poner en riesgo el correcto la estabilidad de las cimentaciones.



Figura 1. Localización de la zona de actuación (Fuente: Google Maps. Modificado)

### 3. Antecedentes

En el siguiente punto, se hará referencia tanto a los antecedentes del proyecto como a la documentación de partida con la que se ha contado para realizar su redacción.

En cuanto a los antecedentes del proyecto, actualmente, para acceder a la Escola Ferreries de forma segura se dispone de una pasarela que cruza la C-12 que no tiene capacidad para dar cabida a los flujos peatonales en las horas punta de entrada y salida del colegio.

Actualmente, la pasarela se encuentra muy próxima de su vida útil, además, el Ajuntament de Tortosa es más afín a realizar un paso inferior que una ampliación de la pasarela, puesto que la primera tiene un menor impacto visual.



Figura 2. Fotografía de la pasarela en dirección (Fuente: Elaboración propia)

En cuanto a la documentación relacionada a la geología y a la geotecnia del terreno, se ha podido obtener la información a partir de los ensayos/informe geotécnico realizado por la empresa ICEC by GEOPLANNING en el mes de febrero en 2022.

## 4. Estudios previos

### 4.1 Geología

En el siguiente apartado, se describirán los datos geológicos en la zona de actuación, así como la estratigrafía del terreno, con el objetivo de conocer el tipo de suelo sobre el cual va a apoyarse la obra en cuestión.

Además de ello, se incluirá el mapa geológico del terreno en cuestión. Las fuentes utilizadas han sido:

- Hoja de Tortosa 522 (32-30) del Mapa Geológico de España a escala 1:50.000 (2ª serie) proporcionado por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME).
- Avance del estudio geológico y geotécnico realizado por la empresa ICEC by GEOPLANNING

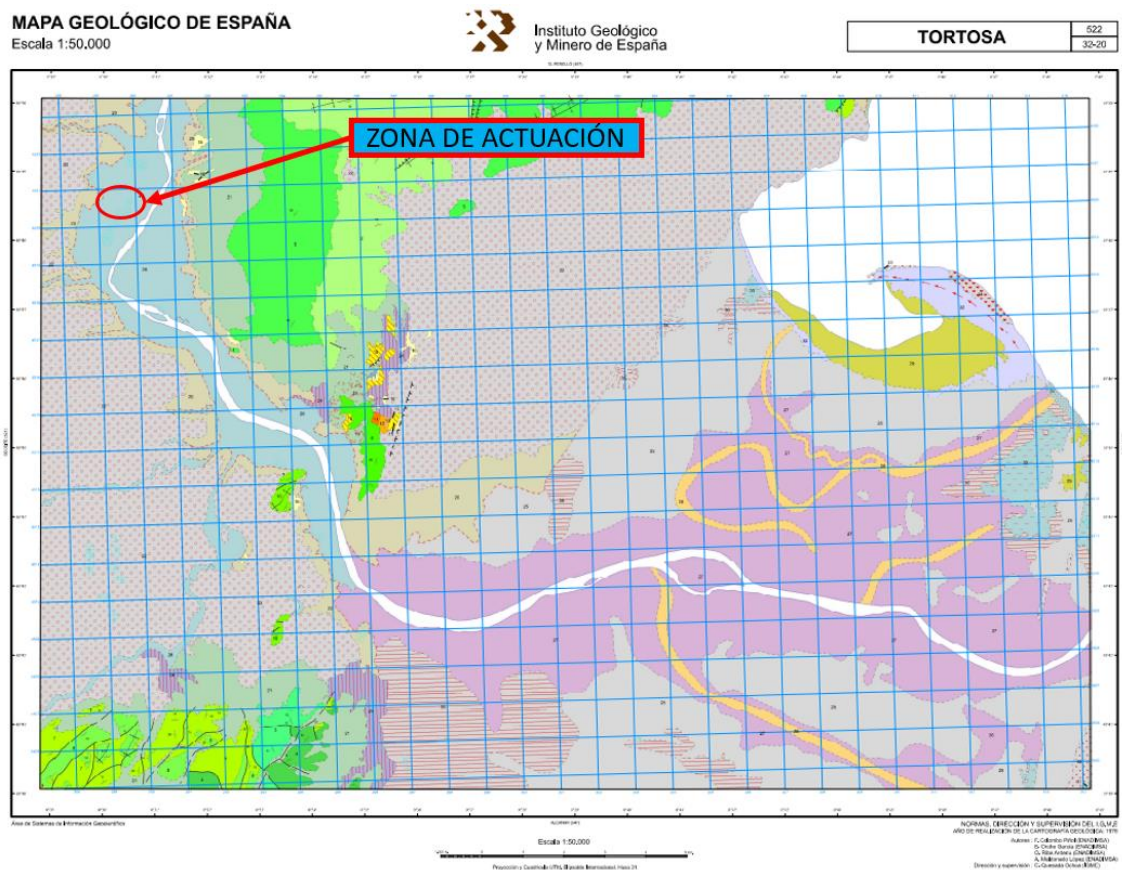


Figura 3. Mapa geológico (Fuente: IGME. Modificado)

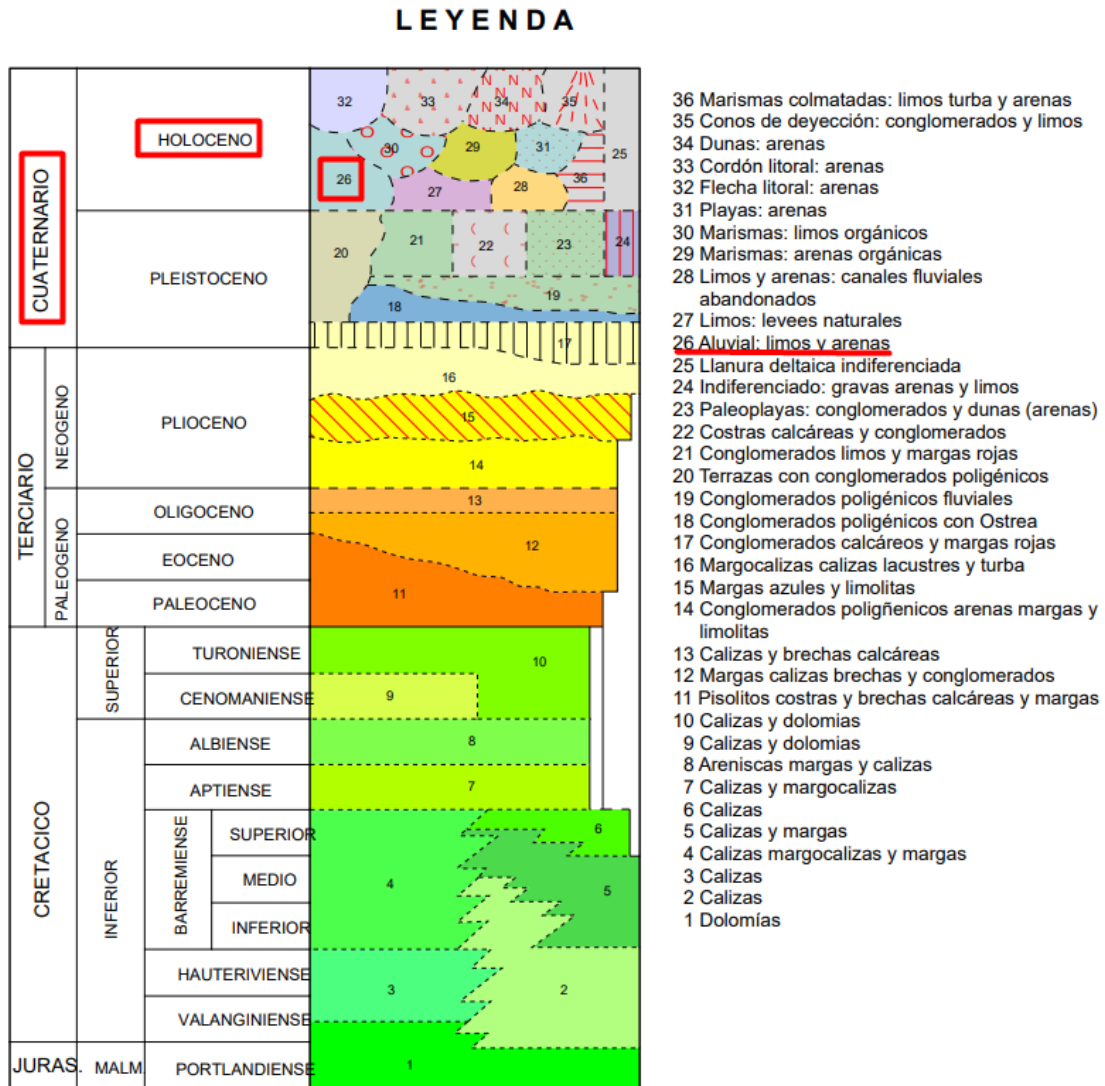


Figura 4. Leyenda mapa geológico (Fuente: IGME. Modificado)

Como puede verse en la figura 3, la zona de estudio se sitúa al noroeste de la Hoja de Tortosa 522 (32-30) del Mapa Geológico de España a escala 1:50.000 (2ª serie) proporcionado por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME). Como se puede apreciar, el paso inferior se construirá sobre materiales pertenecientes al Cuaternario. Más específicamente pertenece a la época del Holoceno (Flandriense o Posglacial). Además, según la figura 4, donde se encuentra la leyenda del mapa geológico de la hoja 522, se trata de un terreno aluvial conformado por limos y arenas.

Por otra parte, con la ayuda de los datos aportados por la campaña geotécnica realizada por la empresa ICEC by GEOPLANNING, se ha realizado un perfil estratigráfico del terreno, el cual se encuentra en el *Anejo N°5. Planos*.

## 4.2 Topografía y cartografía

Para describir la geometría de la infraestructura proyectada se ha utilizado el levantamiento taquimétrico facilitado por Infraestructures de la Generalitat de Catalunya, SAU. El taquimétrico está referido al Sistema de Referencia Geodésico ETRS89 (European Terrestrial Reference System 1989).

Por otra parte, el municipio de Tortosa es mayoritariamente llano ya que se trata de un núcleo urbano, encontrándose a una altura sobre el nivel del mar de 12 metros.

### 4.3 Sismología

Para saber si es de aplicación la Norma NCSR-02, se recurre al artículo 1.2.3. de la misma “Criterios de aplicación de la Norma”. En este caso en concreto, se trata de “construcciones de importancia normal con pórticos bien arriostrados entre sí en todas las direcciones cuando la aceleración sísmica básica  $a_b$  (art. 2.1.) sea inferior a  $0,08 \cdot g$ ”. Observando el Mapa de Peligrosidad Sísmica (Figura 1), la aceleración sísmica básica donde se ubica el paso inferior de carretera, es decir, en el municipio de Tortosa tiene un valor de  $0,04 \cdot g$ , por lo que, este caso en concreto sí es de aplicación (siendo  $g=9,81 \text{ m/s}^2$ )

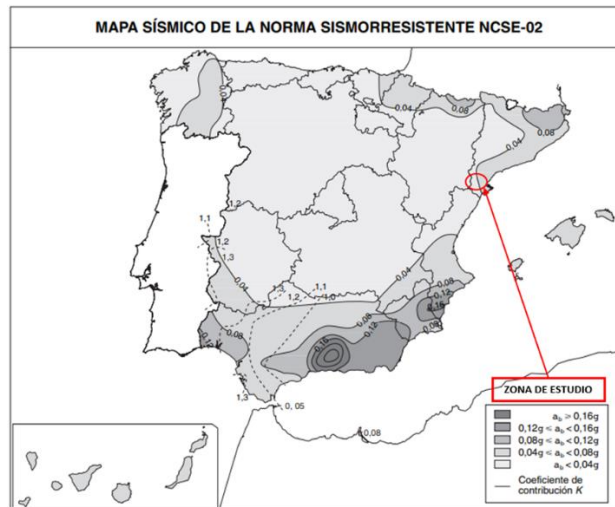


Figura 5. Mapa sísmico indicando zona de estudio (Fuente: Norma NCSE-02. Modificado)

A continuación, se procede al cálculo de la aceleración sísmica de cálculo para comprobar si es necesario tener en consideración las acciones sísmicas en el diseño de la estructura y el cálculo de la cimentación. Para poder calcularlo, se utiliza la siguiente fórmula:

$$ac = S \cdot \rho \cdot ab$$

Donde:

- $a_b$  es la aceleración sísmica básica, definida anteriormente, con un valor de  $a_b = 0,04 \text{ g}$
- $\rho$  es el coeficiente adimensional de riesgo, función de la probabilidad aceptable de que se exceda  $a_c$  en el periodo de vida para la que se proyecta la construcción. En este caso, al tratarse de una construcción de importancia normal, se adopta un valor de  $\rho = 1,0$ .
- $S$  es el coeficiente de ampliación del terreno, el cual depende de  $C$  (coeficiente de terreno):

$$\rho \cdot ab = 0,04 \cdot g \leq 0,1 \cdot g \rightarrow S = \frac{C}{1,25}$$

Según el punto 2.4 del NCSE-02 (Figura 2), los terrenos se clasifican en cuatro tipos, teniendo en cuenta las especificaciones comentadas en el punto 4.1. con relación al terreno, en este caso concreto, la clasificación del terreno es “Terreno Tipo IV: suelo granular suelto, o suelo cohesivo blando. Velocidad de propagación de las ondas elásticas transversales o de cizalla,  $v_s \leq 200,0 \text{ m/s}$ ”. Por lo tanto, el coeficiente  $C$  toma un valor de 2.



Tipo de terreno	Coefficiente $C$
I	1,0
II	1,3
III	1,6
IV	2,0

Tabla 1. Coeficientes del terreno (Fuente: Norma NCSE-02)

Por lo tanto,  $S$  tendrá un valor de 1,6:

$$S = \frac{S}{1,25} = \frac{2}{1,25} = 1,6$$

Por consiguiente, la aceleración sísmica de cálculo ( $ac$ ) resulta ser:

$$ac = S \cdot \rho \cdot ab = 1,6 \cdot 1 \cdot 0,04 \cdot g = 0,064 \cdot g$$

Como conclusión, siguiendo la NCSE-02, cuando la aceleración de cálculo es mayor a 0,06 g sería necesario tener en cuenta las acciones sísmicas en el diseño de la estructura y el cálculo de la cimentación.

#### 4.4 Agresividad del medio

Antes de realizar el diseño del paso inferior, es menester comprobar que la concentración de sulfatos no sea lo suficientemente grande como para afectar al hormigón, por lo tanto, a la vista de los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio de los sondeos facilitados por ICEC by GEOPLANNING, el terreno tiene la presencia de contenidos en sulfatos 710mg/Kg.

Teniendo en cuenta el artículo 43.3.4.1. del código técnico, en “el caso de elementos estructurales expuestos a ambientes con presencia de iones sulfato cuyos contenidos sean igual o mayor que 600 mg/l en el caso de aguas, o igual o mayor que 3.000 mg/kg, en el caso de suelos”, en nuestro caso, el contenido en sulfatos tiene un valor de 710 mg/Kg, por lo que, en caso de suelos, no se considera un suelo agresivo, no obstante, si se considera agresivo en caso de aguas.

Teniendo en cuenta la cota a la que se encuentra el N.F. de 5,30 metros, se preverá en el diseño del paso inferior de forma que el mismo se encuentre por encima del N.F., evitando de esta manera la presencia iones sulfatos a elementos estructurales ante el contacto con agua.

### 5. Reconocimiento del terreno

A continuación, en este apartado se describen aquellos aspectos del estudio geológico y geotécnico que de acuerdo con la *Guía de cimentaciones en obras de carretera* cumplen de forma correcta sus pautas o precisan de alguna mejora. Cabe destacar que el presente estudio es de vital importancia puesto que es el documento más significativo de todos con los que se ha contado para la realización de este Trabajo Fin de Grado.

## 5.1 Análisis crítico del estudio geotécnico

Antes de comenzar a desarrollar el apartado, es importante destacar que el documento del estudio geotécnico del terreno ha sido facilitado por los profesores, y por otra parte, el estudio geotécnico realizado está pensado para la adaptación a PMR en la pasarela.

En primer lugar, el presente informe cuenta con el objeto y la situación que engloba a la realización del nuevo paso inferior de carretera en el P.K. 18+280 de la C-12. Por otra parte, se hace mención de la participación de la empresa ICEC by GEOPLANNING en cuanto a la realización de la campaña geotécnica con la cual, se ha podido determinar las características del terreno.

No se tiene constancia de informes geológicos ni geotécnicos previos a la ejecución de este paso inferior de carretera, por lo que los datos facilitados por la campaña geotécnica son imprescindibles.

No obstante, si se cuenta con una cartografía proporcionada por el ICGC (Instituto Cartográfico y Geológico de Cataluña) además del marco geológico de la zona (el cual se obtiene del IGME). En cuanto al estudio geológico, teniendo en cuenta que la superficie en cuestión no es muy amplia, no será preciso redactar un anejo geológico, sino más bien hacer una descripción de las formaciones geológicas con la información facilitada por el IGME y los ensayos realizados durante la campaña geotécnica que figuran en los anejos 3 y 4 respectivamente.

En lo que respecta a los trabajos de campo realizados durante la campaña geotécnica, se han realizado ensayos de sondeos y penetrómetros, además ésta incluye información relevante como es la posición en la que se han realizado mediante un plano en planta. Por otra parte, se caracteriza geotécnicamente el terreno mediante ensayos de laboratorio como análisis granulométrico de los suelos por tamizado, la determinación de la humedad mediante secado por estufa, determinación de la agresividad del agua, determinación de los límites de Atterberg y la determinación del contenido en ión sulfato. Estos ensayos explicarán posteriormente con más detalle con el fin de definir de forma más concreta la geología tanto en planta como en profundidad. Además, también se menciona las condiciones de N.F., las cuales no tienen por qué afectar a la cimentación del paso inferior siempre y cuando se respeten las medidas adecuadas de profundidad.

En cuanto al informe de los ensayos de laboratorio, con la información facilitada en los mismos, podemos obtener valores relativos como presiones de hundimiento o deformaciones del terreno mediante correlaciones.

No obstante, la campaña geotécnica realizada carece de ensayos de resistencia como a compresión simple o a cortante, por lo que se deberán tomar datos estimativos en su ausencia. Una vez enunciadas las propiedades de los diferentes tipos de estratos, se puede dar comienzo a la definición de una solución óptima con las condiciones geotécnicas y geológicas expuestas para la cimentación del paso inferior.

Y concluyendo este apartado, se ha de mencionar la conclusión del informe donde se nombran los objetivos perseguidos por este informe para que cualquier lector pueda comprobar que se han abordado todos los puntos. Se han definido tanto los parámetros para calcular los empujes producidos por el suelo se han estimado las propiedades del suelo para el cálculo de las cimentaciones y excavaciones.

## 5.2 Parametrización del suelo

En el siguiente apartado, se describirán todos los niveles del subsuelo encontrados mediante los sondeos realizados, describiéndose sus características geotécnicas con el objetivo de determinar los parámetros del suelo sobre el cual va a apoyarse la obra en cuestión.

Como se ha mencionado anteriormente, los datos geológicos y geotécnicos son facilitados gracias al trabajo de la empresa ICEC by GEOPLANNING mediante una campaña geotécnica del terreno en cuestión, con el objetivo de determinar las propiedades del terreno, permitiendo de esta forma redactar un informe de las características más importantes de los terrenos afectados de cara al objetivo del diseño geotécnico del muro.

En el anejo 2 se encuentra la información necesaria para la explicación de este punto. Una vez estudiados los datos facilitados por ICEC by GEOPLANNING, se han extrapolado para la realización del estudio del paso inferior en cuestión.

Según los planos facilitados, se tiene constancia de que se han realizado dos penetraciones dinámicas superpesada (DPSH) hasta profundidades de 12 y 9 metros, y dos sondeos con extracción continua de testigo hasta profundidades de 9 y 7,8 metros, donde se practicaron ensayos SPT. Los puntos de investigación se situaron pilas de la pasarela actual (se puede ver en el apartado 2.1. del anejo 2) para tener un conocimiento exhaustivo del terreno en el que se va a realizar el paso inferior.

En la zona de estudio, pueden distinguirse según los sondeos los siguientes niveles estratigráficos:

- Sondeo 1 (realizado hasta una profundidad de 9m):
  - Nivel 0: Relleno conformado por tierra vegetal, limos y fragmentos de ladrillo con una potencia de 0,6 m.
  - Nivel 1: Limos arenosos marrones con una potencia de 7 m
  - Nivel 2: Arenas de grano fino de color marrón con una potencia de 0,7 m.
  - Nivel 3: Limos arenosos de color marrón-gris con una potencia de 0,7 m.
- Sondeo 2 (realizado hasta una profundidad de 7,8 m):
  - Nivel 0: Relleno conformado por tierra vegetal, limos y fragmentos de ladrillo con una potencia de 0,4 m.
  - Nivel 1: Limos arenosos, arcilla y arenas de grano fino de las cuales unas cuentan pequeños guijarros dispersos con una potencia de 7,4 m.

Se ha de destacar que la presencia de N.F. se encuentra a una profundidad de 5,3 m.

Para obtener los parámetros del suelo, se ha recurrido al análisis de los ensayos de laboratorio facilitados por ICEC by GEOPLANNING. Estos se han realizado en dos muestras (en los sondeos). Los ensayos de laboratorio que se han realizado son los siguientes:

- Análisis granulométrico de suelos por tamizado, s/UNE 103101:1995
- Determinación de la humedad mediante secado en estufa, s/UNE-EN ISO 17892-1:2015
- Determinación de los límites de Attenberg, s/UNE 103103:1994 y 103104:1993
- Determinación del contenido en ión sulfato, s/UNE 83963:2008

## 6. Estudio de alternativas

En este apartado se explicarán las diversas alternativas constructivas que se han tenido en cuenta a fin de escoger el método a seguir tanto para la ejecución del paso inferior como los accesos al mismo. Se explicarán los puntos de vista que se han tenido en cuenta además de las ventajas y desventajas que puedan tener. Cabe destacar que estas alternativas se centran en la valoración respecto a la posibilidad de ejecutar el cajón de hormigón in situ o prefabricado.

Para la elección de la alternativa óptima, se les ha dado prioridad a las siguientes características entre las diferentes alternativas:

- Se buscará una solución en la que los plazos de ejecución de los trabajos sea el mínimo, afectando el mínimo posible al tráfico de vehículos y las afecciones a la Escuela Ferreries.
- Se buscará una solución en la que los plazos de ejecución de los trabajos sea el mínimo, afectando el mínimo posible al tráfico de vehículos y las afecciones a la Escuela Ferreries.
- Se deberá garantizar la seguridad de todos los trabajadores, así como la de los peatones que circulen cerca.
- Se optimizará la magnitud de los trabajos realizados, limitando el precio final de la construcción lo máximo posible.

### 6.1 Paso inferior

#### 6.1.1 Proceso constructivo

##### 6.1.1.1 Alternativa 1

Esta solución plantea la posibilidad de disponer el cajón en su posición definitiva cortando de forma transversal la totalidad de la carretera C-12, cortando el tráfico de vehículos. No obstante, para llevar a cabo esta alternativa, es preciso crear un itinerario que supla las necesidades de la carretera C-12 debido a su gran importancia, puesto que conecta el municipio de Amposta con Lérida, de hecho, según la Generalitat de Catalunya Departament de Territori i Sostenibilitat la IMD correspondiente al año 2012 es 12.757 veh/día, que siguiendo las indicaciones por la tabla publicada por el Ministerio de Fomento se obtiene una IMD de 14.528 veh/día.

Período	Incremento anual acumulativo
2010-2012	1,08%
2013-2016	1,12%
2017 en adelante	1,44%

Tabla 2. Ponderación del crecimiento acumulativo del IMD (Fuente: Ministerio de fomento)

A continuación, se exponen los pasos más importantes del proceso constructivo para que se tenga una visión más explicativa de lo que se propone.

En primer lugar, para suplir aquellos vehículos que circulan en la carretera C-12 hacia el norte, se propondrá un itinerario realizándose un desvío en el PK 17+800 de la C-12 hacia el Carrer d'Amposta para después girar hacia la carretera València hasta llegar al cruce con Plaça 1

d'octubre justo enfrente del Club de natación Tortosa, para continuar por el Carrer de Tarragona y girar hacia la izquierda en el cruce con la Av. De Catalunya reincorporándose de nuevo a la C-12.



Figura 6. Itinerario provisional carretera C-12 en dirección norte (Fuente: Elaboración propia Google Earth. Modificado)

Por otra parte, para suplir las necesidades de aquellos vehículos que circulan en la carretera C-12 en dirección sur, se propondrá un itinerario realizándose un desvío en el PK 18+500 de la C-12 hacia la Av. Catalunya para después girar hacia el Carrer d'Hernán Cortés continuando recto por la Plaça 1 d'octubre y Carretera València para finalmente girar por el Carrer d'Amposta y reincorporarse de nuevo a la Carretera C-12.



Figura 7. Itinerario provisional carretera C-12 en dirección sur (Fuente: Elaboración propia Google Earth. Modificado)

### **6.1.1.2 Alternativa 2**

Como se ha reflejado en el apartado anterior, la carretera C-12 tiene una gran importancia en cuanto a flujo de vehículos, por lo que la segunda alternativa propuesta incluye cortar tan solo la mitad de la calzada, de esta forma, se evitaría desviar el tráfico por calles del municipio de Tortosa, evitando de esta forma una condensación excesiva de vehículos por las mismas.

Para realizar esta alternativa se situarán señales de desvíos y de limitación de velocidad indicando a parte la presencia cercana de obras. De esta forma, mientras se estén llevando a cabo los procedimientos constructivos necesarios a un lado de la carretera, por el otro se permitirá la circulación de vehículos.

Teniendo en cuenta que la carretera C-12 cuenta con 4 carriles (2 para cada sentido de circulación), se comenzará cortando los 2 carriles con dirección Norte, quedando inoperativos durante las obras, mientras que los carriles en dirección sur se podrán usar, por lo que se deberá cambiar el sentido del carril más cercano al lado de la calzada que ha quedado inoperativo. Y una finalizadas las obras en esa parte de la calzada, se repetiría el mismo proceso.

De esta forma, se permitirá la circulación por la C-12 sin tener que generar grandes embotellamientos por las calles del Municipio de Tortosa.

En la página 20, se ve reflejado un esquema de las señalizaciones necesarias para el correcto y seguro funcionamiento de la carretera C-12.

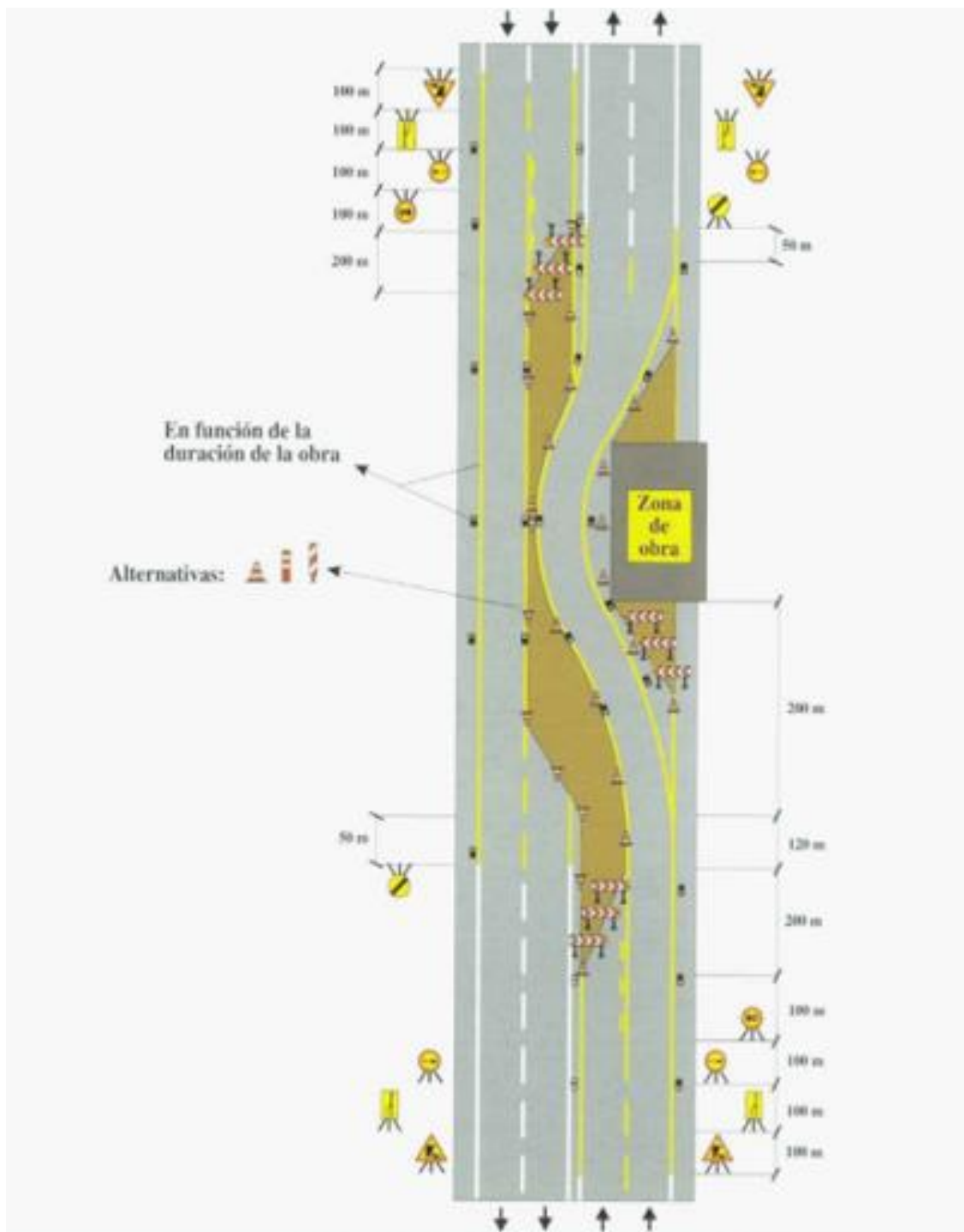


Figura 8. Señalización de obras propuesta (Fuente: Ministerio de Fomento. Dirección General de Carreteras, Señalización de Obras Fijas)

### 6.1.2 Tipología de marco

El presente apartado de la memoria trata de evaluar aquellos aspectos por los que sería más productivo de cara a las alternativas propuestas si realizar el cajón “in situ” o prefabricado.

Considerando la importancia de la carretera C-12, la influencia que provoca la realización del paso inferior es bastante importante, porque pase lo que pase, no se van a poder evitar afecciones al normal funcionamiento de la C-12, por lo tanto, desde el punto de vista de afección a terceros, la realización del paso inferior mediante hormigón “in situ” implicaría un mayor tiempo de ejecución, además del tiempo de fraguado, que alargaría considerablemente el tiempo de ejecución.

También hay que destacar que en lo que respecta a los espacios empleados para la colocación de las maquinarias, se deberá pagar un precio determinado por la ocupación de esos terrenos, por lo que al construir el cajón “in situ”, se pagará un precio más alto tanto por los terrenos reservados para las maquinarias, así como el combustible invertido para su funcionamiento, por consiguiente, tiene mayores afecciones al medioambiente.

No obstante, el hormigón “in situ” tiene la ventaja de ser más manejable respecto al hormigón prefabricado con respecto al transporte, por lo que se debe realizar un análisis donde se estudie la transportabilidad del cajón de hormigón armado desde las empresas de hormigón cercanas que dispongan del mismo.

Una de las empresas de prefabricados más cercanas a la zona de actuación, que además diseña marcos prefabricados para pasos inferiores de carretera es la empresa Prefabricados Alhosa S.L., la cual se encuentra en la comunidad de Aragón, muy próximo a Alcañiz. El recorrido a realizar tiene una longitud de 84,5 Km. El tiempo aproximado de recorrido es de 1 hora y 10 minutos, por lo que se encuentra medianamente cerca de la zona de actuación.

Por otra parte, gran parte del recorrido es por carretera, por lo que aparentemente, no tiene por qué haber problemas en el transporte.

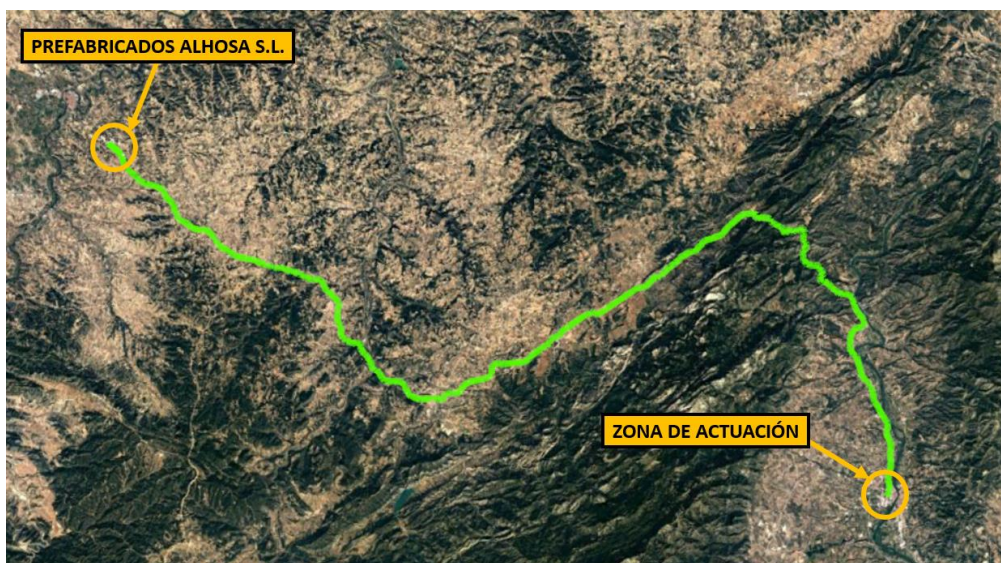


Figura 9. Itinerario provisional carretera C-12 en dirección sur (Fuente: Elaboración propia Google Earth. Modificado)



## 6.2 Tipología de accesos

En este apartado se redactarán los accesos previstos para el paso inferior de carretera, donde se analizarán principalmente las formas de accesos posibles a ejecutar, considerando las opciones como escaleras, rampas o ascensor.

Se ha de destacar que para este apartado se ha empleado la norma Orden TMA/851/2021, de 23 de julio, por la que se desarrolla el documento técnico de condiciones básicas de accesibilidad y no discriminación para el acceso y la utilización de los espacios públicos urbanizados. I. Disposiciones generales. Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. BOE-A-2021-13488.

### 6.2.1 Escaleras

Para el dimensionamiento de las escaleras, se ha tenido en cuenta el artículo 15 de la norma mencionada anteriormente. Teniendo en cuenta que la profundidad a la que debe llegar los accesos es de 3,7 m, las características geométricas de las escaleras serán las siguientes:

- Huella = 35 cm
- Contrahuella = 17 cm
- Ancho de 2,20 m
- Un rellano intermedio de 1,20 m cada uno
- Número total de escalones = 22

Se ha de mencionar la necesidad de un rellano intermedio debido a que el máximo número de escalones seguidos permitidos es de 12, por lo que se dividirá en dos tramos, contando ambos con 11 escalones, con la diferencia de que las escaleras que se encuentran en el lado de la escuela deberán tener un giro mediante un rellano para así poder realizar el acceso seguro al parking de la escuela.

Por otra parte, al igual que los cajones, la escalera será de hormigón prefabricado, por lo que los 22 escalones tendrán una contrahuella de 17 cm, sin embargo, la profundidad a la que llegan los escalones es a 3,74 m mientras que la profundidad de enrase es de 3,70 m, en consecuencia, se excavará una profundidad adicional de 4 cm para que la escalera quede perfectamente enrasada.

### 6.2.2 Rampas

Para el dimensionamiento de las rampas, se ha tenido en cuenta el artículo 14 de la norma mencionada anteriormente. Teniendo en cuenta que la profundidad a la que debe llegar los accesos es de 3,7 m, las características geométricas de las rampas serán las siguientes:

- Ancho de 2,20 m
- Cinco rellanos intermedios de 1,50 m cada uno
- Pendiente del 8%

Se ha de destacar la necesidad de cinco rellanos intermedios debido a que la máxima proyección horizontal con una pendiente del 8% es de 9 m, por lo que se dividirá en seis tramos, de los cuales cinco tienen una longitud de 9 m medidos en proyección horizontal y el último tiene una longitud de 1,20 m en proyección horizontal.

Además, con el fin de evitar ocupaciones excesivas en el terreno, se realizará un giro de 180° a partir del tercer rellano.

### **6.2.3 Ascensor**

Para el dimensionamiento de la cabina del ascensor, se ha tenido en cuenta el artículo 16 de la norma mencionada anteriormente. Teniendo en cuenta las normas que especifica la norma, las características geométricas del ascensor serán las siguientes:

- Una única puerta de 1 m de ancho
- Cabinas con dimensiones 1,20 x 1,50 m (ancho x profundidad)
- Una altura de la cabina de 2,10 m

## **6.3 Justificación de la solución adoptada**

### **6.3.1 Paso inferior**

Para la elección de la alternativa óptima de cara a la ejecución del paso inferior se ha optado por realizar un análisis multicriterio en el cual se ponderarán una serie de indicadores basados en los criterios expuestos en los anteriores apartados.

Dichos indicadores se basan principalmente en principios tanto económicos como sociales y temporales. Los cuales son los siguientes:

- Procedimiento constructivo (PC): este factor es muy importante puesto que está en función de los costes de la construcción del cajón. Su estimación será en una escala de 0 a 10, considerándose como un 10 aquella alternativa cuyos gastos no sean excesivos, y como 0 todo lo contrario.
- Costes indirectos en la empresa constructora (CI): este indicador se evaluará en un rango de valores del 0 al 5. Se dará un valor de 5 a aquella alternativa que no provoque unas pérdidas económicas desproporcionadas en la empresa constructora, y un valor de 0 a aquella que a razón de los trabajos genere un gasto desmesurado.
- Problemas en el tráfico de vehículos (TV): teniendo en cuenta las circunstancias mencionadas en anteriores apartados, la C-12 posee una gran influencia, por lo que se estimará el presente indicador en una escala del 0 al 10, dándose un valor de 10 a la alternativa que altere lo menos posible el tráfico de vehículos, y un valor de 0 a aquella que altere de forma excesiva.
- Aceptación de los conductores (AC): indicador que se valorará en una franja del 0 al 5, en la que 5 corresponde a aquella alternativa que vaya a estar socialmente aceptada entre los conductores que circulen por la carretera de forma habitual. Por el contrario, se evaluará con un valor 0 a esa alternativa que pueda perturbar gravemente en la conducción habitual de conductores.
- Aceptación del vecindario (AV): este indicador se valora en un rango comprendido entre 0 y 5, correspondiéndose 5 con una afección escasa o nula hacia el vecindario mientras que 0 correspondería a unas afecciones excesivas o inadmisibles.

- Plazos de ejecución (PE): debido a la gran influencia de este factor en el presente proyecto, se evaluará en una escala de valores del 0 al 15. Puntuándose con un 15 aquella alternativa cuyos trabajos se realicen en un breve período de tiempo, y con una puntuación de 0 aquella en la que los plazos de ejecución sean excesivos.

Para escoger la solución adoptada, cada alternativa se divide en “dos alternativas”, es decir, tanto la alternativa 1 como la alternativa 2 se pueden realizar o bien mediante prefabricados o mediante hormigonado “in situ”

Realizando un sumatorio de las ponderaciones descritas, el valor máximo posible a obtener es de 50 puntos, siendo la solución óptima aquella que contenga mayor puntuación. En la siguiente figura, se muestra una tabla donde se refleja las puntuaciones respectivas a cada alternativa en función de los indicadores mencionados previamente:

Criterio	Indicador	Alternativa 1 "in situ"	Alternativa 1 prefabricado	Alternativa 2 "in situ"	Alternativa 2 prefabricado
Económico	PC	7	9	6	8
	CI	2	4	3	4
Social	TV	1	1	5	5
	AC	0,5	0,5	2	2
	AV	0,5	1	2,5	3
Temporal	PE	7	12	5	10
$\Sigma$		<b>18</b>	<b>27,5</b>	<b>23,5</b>	<b>32</b>

Tabla 3. Puntuación de las alternativas (Fuente: Elaboración propia)

Tras ver los resultados obtenidos, se puede concluir que, según el análisis realizado, la alternativa 2 realizada mediante prefabricados es más favorable desde los criterios mencionados o al menos, menos molestos. A continuación, se justificará las puntuaciones puestas en referencia a los indicadores expuestos:

- PC: En este aspecto, lo que diferencia la inversión económica entre las alternativas 1 y 2 se centra en el empleo de hormigón “in situ” o prefabricado para la construcción del cajón. Por una parte, el coste derivado de construir el cajón “in situ” no es excesivo, pero sí que es cierto que, a comparación de realizarlo a base de prefabricados, el coste es superior debido tanto a la mano de obra como la maquinaria que se requiere. Por otra parte, se considera mejor opción construir el cajón siguiendo la alternativa 1 porque simplifica significativamente el proceso constructivo, sin tener que repetir determinados pasos, además, el realizar la construcción del cajón en dos partes significaría el encarecimiento de transporte de materiales o estructuras como puede ser los cajones prefabricado
- CI: En relación a los costes indirectos cabe destacar que, por un lado, la realización del cajón “in situ” puede derivar en variaciones económicas a largo plazo generadas por la climatología, o el incremento repentino de materiales como el hormigón o el acero corrugado, por lo tanto, el empleo de hormigón prefabricado es menos impredecible en cuanto a gastos.
- TV: En cuanto al tráfico de vehículos, ambas alternativas afectan negativamente al mismo, sin embargo, la alternativa 1 es considerablemente peor que la alternativa 2,

puesto que al cortar el tráfico de la C-12, aumenta considerablemente el tráfico en el interior del municipio de Tortosa, mientras que la alternativa 2, permite el flujo de vehículos, aunque también se vaya a producir embotellamientos, por lo que se considera mejor opción.

- AC: La aceptación de los conductores está en función de cada persona, por lo que, al no poderse evaluar de una manera objetiva, se puntúa en una escala reducida de 5 como máximo. Tras un análisis de las alternativas, se ha supuesto que la alternativa 1, generará un descontento generalizado no solo para con los conductores que circulen por la carretera C-12, sino que también a aquellos que circulen por el interior del municipio de Tortosa, mientras que la alternativa 2 también generará descontentos en los conductores de la C-12, pero sí que se permitirá el flujo de vehículos.
- AV: En referencia al vecindario, es obvio que la realización del paso inferior va a afectar negativamente a aquellas personas que viven en el interior del municipio de Tortosa debido a las afecciones al tráfico, por ello, se puntúa negativamente las dos variantes de la alternativa 1, puesto que obliga a desviar el tráfico por el interior del municipio, originando fuertes embotellamientos en las calles, por otra parte, la alternativa 2, también genera descontentos en el vecindario, sin embargo, no genera congestiones tan grandes en las calles de sus alrededores
- PE: Por último, se ha de dar especial importancia a los plazos de ejecución, se han supuesto unos tiempos de ejecución mayores en la alternativa 2 debido a que la construcción se lleva a cabo primero en una parte de la calzada y luego en la otra, mientras que en la alternativa 1, la construcción se hace directamente en la totalidad de la calzada. Por otro lado, al realizarse la construcción del cajón "in situ", los tiempos para finalizar las obras son más prolongados que mediante cajones prefabricados

Por tanto, la elección de la Alternativa 2 con cajones prefabricados es el procedimiento óptimo de cara a la ejecución del cajón.

### **6.3.2 Accesos**

Para la elección de la alternativa óptima de cara a los accesos al paso inferior, al igual que con la ejecución del paso inferior, se ha optado por realizar un análisis multicriterio en el cual se ponderarán una serie de indicadores.

Dichos indicadores se basan principalmente en principios tanto económicos como sociales. Los cuales son los siguientes:

- Procedimiento constructivo (PC): este factor es muy importante puesto que está en función de los costes de la ejecución de los accesos al paso inferior. Su estimación será en una escala de 0 a 15, considerándose como un 1 aquella alternativa cuyos gastos no sean excesivos, y como 0 todo lo contrario.
- Costes indirectos en la empresa constructora (CI): este indicador se evaluará en un rango de valores del 0 al 5. Se dará un valor de 5 a aquella alternativa que no provoque unas pérdidas económicas desproporcionadas en la empresa constructora, y un valor de 0 a aquella que a razón de los trabajos genere un gasto desmesurado.

- Problemas en la circulación de peatones (CP): teniendo en cuenta las alternativas propuestas, la ejecución de estas generarán el vallado provisional de la zona de actuación estrechándose el paso para los peatones, por lo que se estimará el presente indicador en una escala del 0 al 10, dándose un valor de 10 a la alternativa que altere lo menos posible la circulación de los peatones, y uno valor de 0 a aquella que altere de forma excesiva.
- Aceptación de PMR (APMR): indicador que se valorará en una franja del 0 al 10, en la que 5 corresponde a aquella alternativa que vaya a estar socialmente aceptada entre las PMR que circulen por el paso inferior. Por el contrario, se evaluará con un valor 0 a esa alternativa que pueda perturbar gravemente en la circulación de PMR.
- Aceptación del vecindario (AV): este indicador se valora en un rango comprendido entre 0 y 10, correspondiéndose 10 con una afección escasa o nula hacia el vecindario mientras que 0 correspondería a unas afecciones excesivas o inadmisibles.

Para escoger la solución adoptada, cada alternativa se divide en “dos alternativas”, es decir, tanto la alternativa 1 como la alternativa 2 se pueden realizar o bien mediante prefabricados o mediante hormigonado “in situ”

Realizando un sumatorio de las ponderaciones descritas, el valor máximo posible a obtener es de 50 puntos, siendo la solución óptima aquella que contenga mayor puntuación. En la siguiente figura, se muestra una tabla donde se refleja las puntuaciones respectivas a cada alternativa en función de los indicadores mencionados previamente:

Criterio	Indicador	Escaleras	Rampas	Ascensor
Económico	PC	14	10	1
	CI	4	3	1
Social	CP	8	5	8
	APMR	0	7	10
	AV	8	5	8
$\Sigma$		<b>34</b>	<b>30</b>	<b>28</b>

Tabla 4. Puntuación de las alternativas (Fuente: Elaboración propia)

Tras ver los resultados obtenidos, se puede concluir que, según el análisis realizado, la alternativa de acceso mejor valorada es el empleo de escaleras, sin embargo, también será necesario una entrada para PMR. A continuación, se justificará las puntuaciones puestas en referencia a los indicadores expuestos:

- PC: En este aspecto, lo que diferencia la inversión económica entre las diversas alternativas de accesos se centra por una parte en los costes que implican la maquinaria a emplear para su realización y, por otra parte, influye los costes derivados de las instalaciones eléctricas para el ascensor. Como puede apreciarse en la tabla, la alternativa de acceso basada en escaleras es la mejor valorada puesto que requiere poca cantidad de hormigón, además de que ocupa un espacio no demasiado amplio, además, las rampas también tiene una buena valoración, aunque menor que la de escaleras, puestos que requiere una mayor cantidad de hormigón y tiene un recorrido más amplio, y por último, la alternativa de ascensor es la peor valorada en primer lugar porque requiere de instalaciones eléctricas además de un mantenimiento a largo plazo.

- CI: En relación a los costes indirectos cabe destacar que, tanto las rampas como las escaleras no requieren excesivo mantenimiento, sin embargo, el ascensor precisa de revisiones periódicas además del consumo de electricidad.
- CP: En cuanto a los problemas de circulación de peatones, la solución óptima es el empleo de ascensor porque ocupa muy poco espacio de la acera, por lo tanto, se considera una alternativa positiva, sin embargo, el empleo de rampas y escaleras se considera desfavorable por su mayor ocupación de la acera, generando molestias a los peatones.
- APMR: En cuanto a la aceptación a las PMR, obviamente el ascensor obtiene una gran valoración por su gran utilidad para estas personas, también está la posibilidad del empleo de rampas que se valoran positivamente, por otra parte, el empleo de las escaleras se valora negativamente porque niega el acceso a las PMR.
- AV: Por último, en referencia a la aceptación por parte del vecindario, la alternativa que menos aceptación tendrá serán las rampas, la razón de ello es porque se deberá ocupar una gran superficie de espacio de peatones, además, se deberá ejecutar en la zona de aparcamientos y conllevará unas expropiaciones de 30 m<sup>2</sup> aproximadamente en la propiedad colindante a la zona de maquinarias e instalaciones de higiene y bienestar.

Por tanto, la elección de escaleras y rampas son los accesos óptimos según la *tabla 3*. Estas alternativas serán las que se empleen para los accesos al paso inferior.

## 7. Diseño de la solución adoptada

En el siguiente apartado se describirán aquellos detalles que influyen en el diseño geotécnico del paso inferior. En primer lugar, se definirán los pasos que se han seguido para establecer las dimensiones definitivas del cajón y se analizarán los esfuerzos obtenidos en el *Anejo N.º4. Comprobaciones técnicas* tanto a los que se encuentra expuesto como a los que transmite.

### 7.1 Normativa

Para la redacción de este anejo, se ha recurrido al uso de las siguientes normas:

- Guía de cimentaciones en obras de carretera (GFOC, 2009). Ministerio de Fomento, Secretaría de Estado de Planificación e Infraestructuras. Dirección General de Carreteras.
- Orden TMA/851/2021, de 23 de julio, por la que se desarrolla el documento técnico de condiciones básicas de accesibilidad y no discriminación para el acceso y la utilización de los espacios públicos urbanizados. I. Disposiciones generales. Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. BOE-A-2021-13488
- “Colección de pequeñas obras de paso: Obras de paso de carreteras” del ministerio de Obras públicas y Urbanismo.

### 7.2 Predimensionamiento

Este apartado se ha llevado a cabo principalmente con el apoyo de la guía “Colección de pequeñas obras de paso: Obras de paso de carreteras”, además se ha recurrido también a la norma correspondiente a las Disposiciones Generales, en el presente BOE-A-2021-13488, el que se “desarrolla el documento técnico de condiciones básicas de accesibilidad y no discriminación

para el acceso y la utilización de los espacios públicos urbanizados”, en el cual se marca las dimensiones mínimas que ha de tener el cajón, el gálibo, etc.

Con la ayuda mencionada previamente, se busca establecer un rango de dimensiones para finalmente adoptar las dimensiones definitivas en función de las características del problema.

Antes que nada, se ha recurrido al estudio geotécnico y geológico del terreno con el objeto de caracterizar a grandes rasgos el mismo para la obtención de parámetros requeridos para el dimensionamiento del cajón. No obstante, es preciso hacer suposiciones para que los datos de partida estén ajustados a la norma y la guía. Una vez realizadas las hipótesis, se escogen los marcos tipo 4, 5 y 6, los cuales son los que más se acercan a lo requerido por la norma. Estos marcos tipo tienen las siguientes dimensiones:

	LUZ (m)	GÁLIBO (m)	ESPESORES (m)		
			LOSA DE CIMENTCIÓN	MUROS	LOSA DE CUBRICIÓN
<b>MARCO 4</b>	3	2,5	0,4	0,35	0,4
<b>MARCO 5</b>	4	2,5	0,35	0,25	0,45
<b>MARCO 6</b>	4	3,5	0,35	0,3	0,5

Tabla 5. Características de los marcos tipos (Fuente: Colección de pequeñas obras de paso)

Una vez especificadas las dimensiones de los marcos que más se asemejan a las necesidades que engloba el paso inferior, puede realizarse una comparación entre ellos para terminar de definir las medidas previas del cajón.

Teniendo en cuenta que su uso se centra en servir de paso por debajo de la calzada correspondiente a la C-12, se debería adoptar un gálibo entre 3 y 3,5, puesto que 2,5 se considera escaso teniendo en cuenta la instalación de luminarias y demás elementos, lo cual podría generar que la altura libre fuese inferior a 2,2 m, lo cual no se puede permitir puesto que está regulado según normativa, por otra, en caso de que el gálibo fuese de 3,5 m existiría el inconveniente que la excavación se realizaría en presencia del N.F., lo cual puede encarecer considerablemente los costes de las obras, por lo tanto se considerará una un gálibo de 3 m, de forma que no haya problemas ni con la presencia de agua ni por parte de incumplimiento de la normativa.

En cuanto a la luz, se considera que 3 m es poco, pudiendo llegar a generar en el peatón la sensación de estrechez, por lo que se adopta una luz de 4 m.

Y, por último, se describen los espesores de losas y muros. En relación a la losa de cimentación, se considera buena opción adoptar un valor de 0,4 m, mientras que, para la losa de cubrición, se prefiere adoptar un espesor de 0,5 m, puesto que al tener que resistir el paso de los vehículos, requiere de una mayor cantidad de armado y un mayor espesor para resistir mejor ante esfuerzos de flexión. Y, por otro lado, el espesor de los muros podría ser de 0,35 m, pero en este caso se prefiere adoptar un espesor de 0,4 m debido a que la longitud del paso inferior es de 15 m, por lo que 0,35 se considera demasiado justo.

En la siguiente figura se puede apreciar las dimensiones definitivas del cajón:

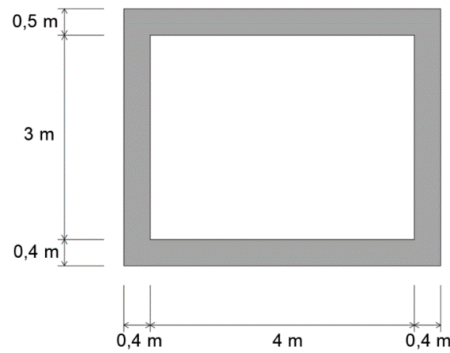


Figura 10. Dimensiones del cajón (Fuente: Elaboración propia)

### 7.3 Presiones transmitidas al terreno

Este apartado tiene como objeto describir los aspectos más importantes que engloban al terreno respecto a las cargas transmitidas por el cajón, las cargas del paquete de firmes, el relleno que se encuentra por encima de la losa de cubrición y la sobrecarga superficial de 20 KN/m<sup>2</sup> (suponiendo el paso de camiones de bomberos) y analizar los asentamientos que se pueden llegar a producir.

Los estratos afectados directamente por el cajón son el nivel 0 y 1, cuyos parámetros han sido mencionados en el apartado anterior. Por otra parte, a continuación, se define el esquema de la estructura desde arriba hasta abajo junto con sus pesos específicos y la sobrecarga de uso:

- Sobrecarga de 20 KN/m<sup>2</sup>
- 0,5 m paquete de firmes (22 KN/m<sup>3</sup>)
- 0,5 m losa de cubrición (25KN/m<sup>3</sup>)
- 3 m altura total de cajón
- 2 muros de 3 metros del alto (25 KN/m<sup>3</sup>)
- 0,4 m losa inferior (25KN/m<sup>3</sup>)
- 0,1 m hormigón de limpieza (23,5 KN/m<sup>3</sup>)
- Lámina de geotextil
- 0,2 material de machaqueo (16 KN/m<sup>3</sup>)

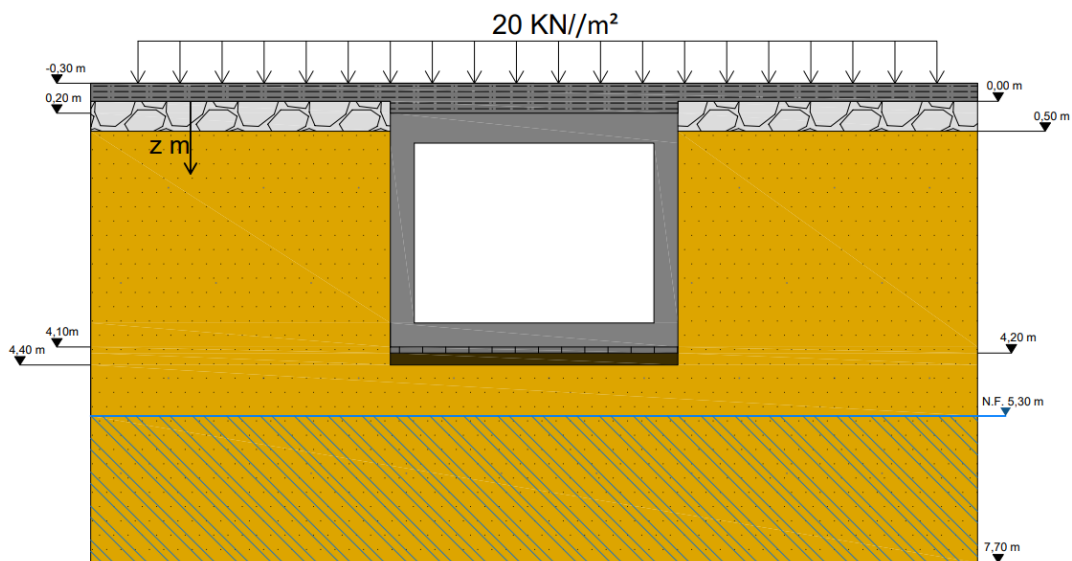


Figura 11. Visión transversal del cajón (Fuente: Elaboración propia)



Cabe destacar que se empieza a contar hacia abajo desde la parte superior del estrato correspondiente al Nivel 1, como se puede apreciar en la figura, por lo que la parte superior del paquete de firmes se encuentra a la cota -0,3 m.

Por consiguiente, se excavará hasta la profundidad de 4,4 m, para después colocar como base una capa de material de machaqueo con un espesor de 0,2 m y después verter hormigón de limpieza con un espesor de 0,1 m. Una vez dispuesta la base se ejecuta el cajón, el cual va desde la cota 4,1 m hasta 0,2 m, y encima de él, el paquete de firmes hasta la cota de -0,3 m.

### 7.3.1 Situación normal

Se deberá comprobar si las cargas transmitidas por el terreno retirado son mayores que las cargas transmitidas por la construcción del cajón. Teniendo en cuenta que la diferencia de carga es de -1.319,00 KN, no se producirán asentamientos ni hundimientos, sin embargo, se producirá hinchamiento en el terreno, lo cual puede generar problemas en la carretera a futuro, por ello se recurrirá a la teoría de asientos en semiespacios de BOUSINESQ para su cálculo.

Mediante el principio de superposición, se deduce que el asentamiento producido en el centro es el doble que en el perímetro de la zona en cuestión. Por lo tanto, el asentamiento final se ha multiplicado por 2 para considerar la situación más desfavorable.

Vistos los resultados en el *Anejo Nº4: Comprobaciones técnicas*, se puede ver que se producirá un asentamiento de -1,72 cm, lo cual quiere decir que se producirá un hinchamiento del terreno. Teniendo en cuenta el espesor del hinchamiento, se considera aceptable.

### 7.3.2 Situación accidental

En este caso en concreto, al suponer que el paso inferior se encuentra lleno de agua, la carga incorporada crecerá considerablemente debido a la carga transmitida por el agua. Por consiguiente, la diferencia de carga es de 937,00 KN, produciéndose así asentamientos, el cual recurriendo al principio de superposición y a la teoría de semiespacios de BUSINESSQ como en la situación normal, se obtiene un asentamiento de 1,22 cm, el cual se considera aceptable.

Por otro lado, en referencia a el hundimiento no es preciso realizar ningún tipo de comprobación ya que la carga transmitida neta ( $q_{tn}$ ) tiene un valor tan solo de 10,38 KN/m<sup>2</sup>, la cual es muy pequeña como para que llegue a producirse hundimiento en el terreno.

## 7.4 Empujes sobre los muros

En este punto, se estudiarán los empujes transmitidos al muro por parte del terreno, precisamente el nivel 0 y el nivel 1, el paquete de firmes y las cargas variables transmitidas al terreno por el paso de vehículos.

Para llevar a cabo este apartado, se ha empleado la teoría de Rankine para muros utilizando tres tipos de coeficientes en función del tipo de empuje que se analice. De cara a este apartado, el coeficiente a considerar es el coeficiente de empuje en reposo ( $k_0$ ) puesto que el terreno no se mueve y la estructura no sufre ninguna deformación, por lo que la distribución de tierras no actúa ni de forma pasiva ni activa en este caso.

Para el cálculo de empujes, se empezará calculando las tensiones totales, que al existir la presencia del N.F. por debajo del cajón, coincidirán con las presiones efectivas puesto que la presión intersticial del agua no interviene en los cálculos. Posteriormente se han calculado los empujes horizontales con las siguientes ecuaciones:

Teniendo en cuenta que la estructura es simétrica, los empujes transmitidos a ambos lados de la estructura son iguales. A continuación, se expone la distribución de presiones correspondientes:

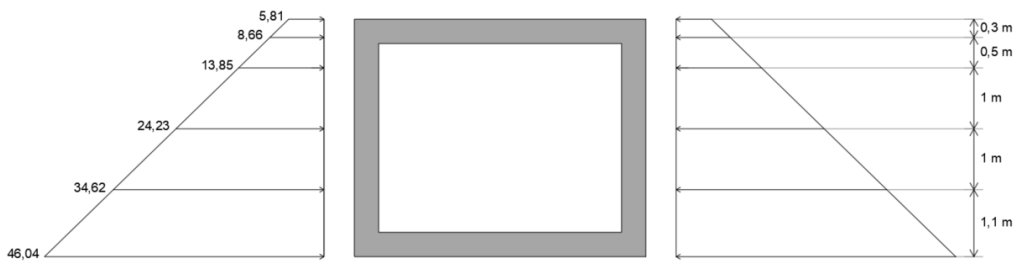


Figura 12. Distribución de empujes en reposo en  $\text{KN/m}^2$ . Situación favorable (Fuente: Elaboración propia)



Figura 13. Distribución de empujes en reposo en  $\text{KN/m}^2$ . Situación desfavorable (Fuente: Elaboración propia)

Finalmente, teniendo en cuenta las condiciones expuestas y la disposición de tierras no se requiere realizar comprobaciones frente a deslizamiento debido a la simetría de cargas que existe entre ambos muros. Además, tampoco se aprecia la posibilidad de deslizamiento longitudinal puesto que no existen cargas que lo puedan generar.

Por otra parte, tampoco se requiere la comprobación a vuelco debido a la misma razón expuesta en el párrafo anterior, puesto que al existir simetría de cargas en el momento que se produzca un momento desestabilizador, este mismo queda corregido por las tierras que envuelven el cajón.

## 7.5 Excavación

Antes de nada, para la definición de las alternativas se comprobará la forma de excavación óptima desde el punto de vista económico como técnico además de considerar la afección medioambiental, así como la seguridad frente a deslizamientos o vuelcos. Los procesos de excavación a considerar son excavación en talud a cielo abierto o la hincada de tablestaca.

### 7.5.1 Estabilidad de taludes

Esta alternativa consiste en la excavación a cielo abierto del terreno. Para la realización de esta metodología se plantea formas posibles de excavación, la primera sería el caso de realizar la excavación en talud vertical, mientras que la segunda y tercera se realizaría con un talud 1H:2V o 1H:1V respectivamente sin ningún tipo de contención de tierras.

Teniendo en cuenta que este proceso constructivo provoca severas afecciones al entorno, como es el medioambiente o las molestias provocadas a la Escuela Ferreries, se procurará que los tiempos para llevar a cabo el paso inferior sean los mínimos posibles, por ello, en caso de ser necesario, el talud máximo establecido para la excavación será de 1H:1V.

Atendiendo a los datos obtenidos en la campaña geotécnica, de donde se han definido los parámetros del terreno en cuestión (visibles en el *Anejo N°4. Comprobaciones técnicas*), se ha de comprobar si el terreno no sufrirá deslizamientos a la hora de excavar ya sea con talud vertical, 1H:2V o 1H:1V. Por ello, se ha basado el problema en la teoría del Equilibrio Límite, donde se supone que la resistencia a corte máxima del terreno puede llegar a movilizarse a lo largo de la superficie de deslizamiento. La forma de cuantificar la seguridad de un talud se obtiene mediante el cociente entre la resistencia a corte en la superficie de deslizamiento y la resistencia necesaria para evitar desequilibrios de la masa deslizante.

Hay que destacar que, del lado de la seguridad, este factor de seguridad debe ser igual o superior a 1,5 para considerarse seguro. Para realizar esta comprobación se ha recurrido al software Slide 2 (Rocscience), el cual, nos indicará mediante el factor en cuestión si es seguro llevar a cabo esta excavación o no. Se aplicará el método aproximado de Bishop.

En todas estas simulaciones se considerará una sobrecarga en coronación del talud de 20 kN/m<sup>2</sup> debido al tránsito de maquinaria de obra alrededor de la excavación, la cual es imprescindible.

La primera situación planteada corresponde a la excavación en talud vertical (Figura 3), tratándose de la posibilidad más económica a la par de menos contaminante. El factor de seguridad obtenido es de 0,853, lo que refleja que realizándose la excavación en talud vertical se producen deslizamientos. En la parte más superficial de del talud existe una alta posibilidad de producirse una rotura parcial del terreno.

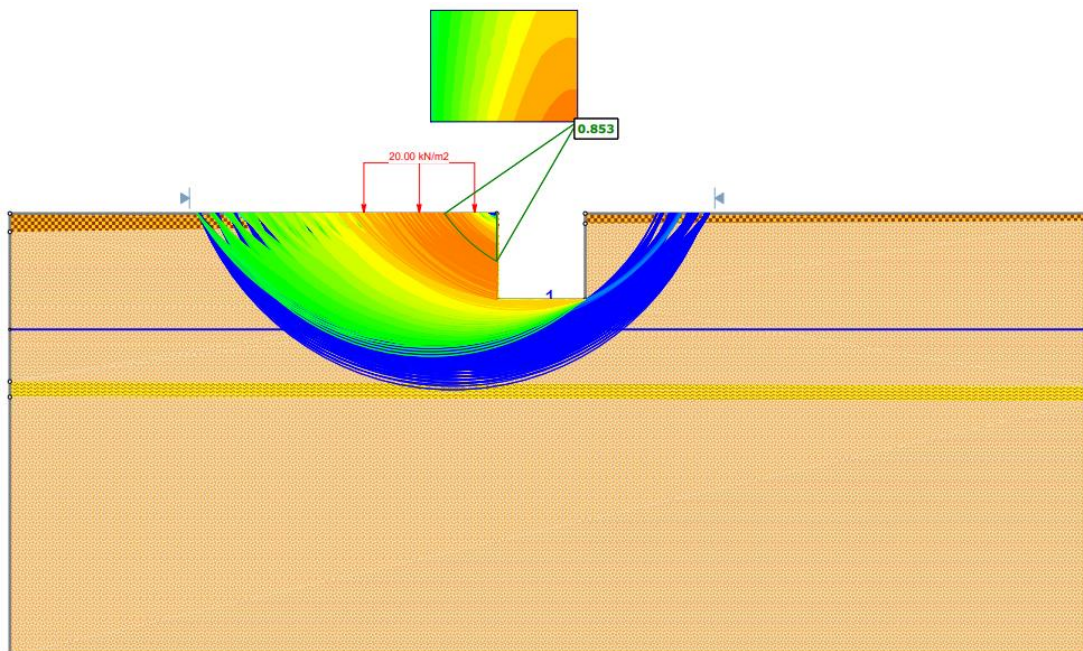


Figura 14. Gráfica de la excavación con talud vertical mediante Bishop simplificado (Fuente: Elaboración propia)

La segunda situación a analizar es la excavación en talud 1H:2V (Figura 4). El factor de seguridad obtenido es 0,931, a pesar de producirse una leve mejora, es despreciable del lado de la seguridad, puesto que aún se encuentra alejado de 1,5, por lo que, el talud 1H:2V se considera inestable puesto que también se producirá posiblemente una rotura parcial del talud.

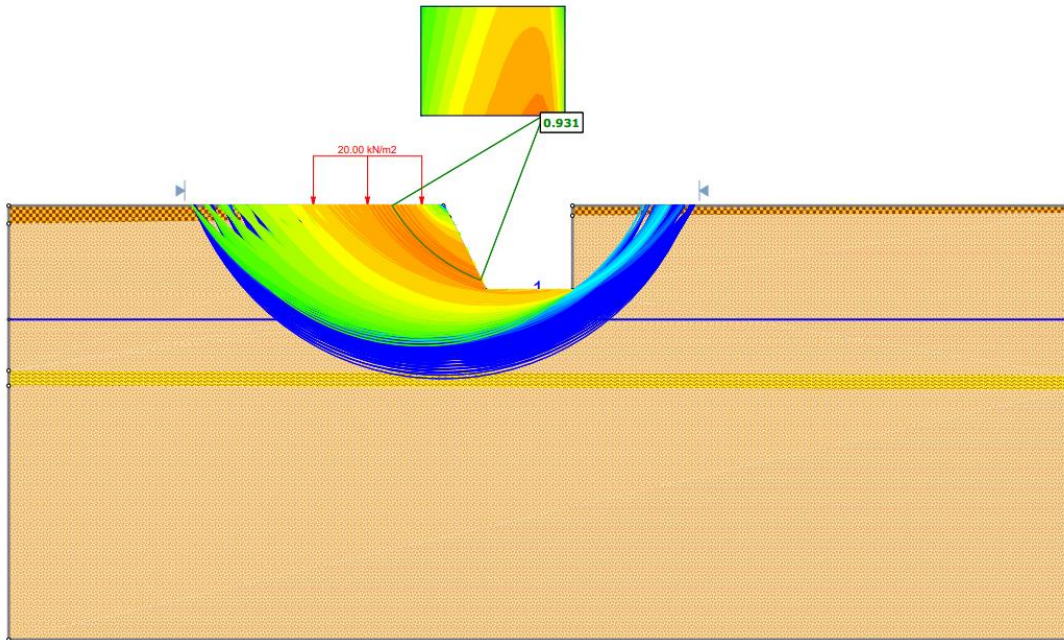


Figura 15. Gráfica de la excavación con talud 1H:2V mediante Bishop simplificado (Fuente: Elaboración propia)

La tercera y última situación a analizar corresponde a la excavación en talud 1H:1V (Figura 5). El factor de seguridad obtenido es 1,176, lo que indica que el talud 1H:1V es inestable ya que se seguirá produciendo una rotura parcial del talud.

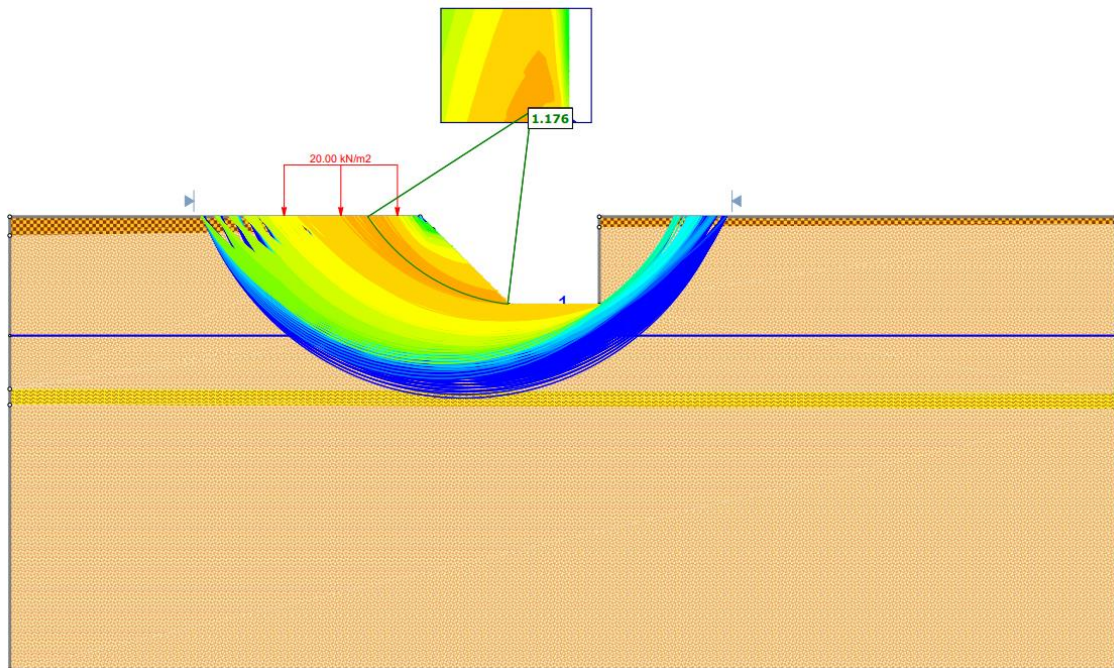


Figura 16. Gráfica de la excavación con talud 1H:1V mediante Bishop simplificado (Fuente: Elaboración propia)

En función de los resultados obtenidos se comprueba que es inviable la excavación a cielo abierto sin sistemas de contención puesto que se tendrían que realizar excavaciones de grandes dimensiones para lograr el talud necesario, lo que conlleva un mayor coste por el tiempo de uso de la maquinaria y la parcela y una gran afección al medioambiente.

Para finalizar la explicación, se ha de mencionar que la razón por la que el terreno no aguanta lo suficiente como para poder llevarse a cabo la excavación a cielo abierto es porque el terreno a excavar está conformado mayoritariamente por limos arenosos de muy baja cohesión, lo cual dificulta considerablemente la estabilidad de los taludes frente a excavaciones.

En el apéndice adjunto al *Anejo N°3. Excavación*, se encuentra el *Apéndice: Gráficos de Salida. Slide 2 (Rocscience)*.

### 7.5.2 Tablestacado

Desde el punto de vista estructural, como se ha podido comprobar en el apartado previo, al no poderse realizar la excavación mediante estabilidad de taludes, ni mediante el hincado del cajón, se recurre al empleo de tablestacas puesto el empleo de muros pantalla se ve innecesario debido a su encarecimiento. Pueden estar fabricadas a partir de materiales como el hormigón armado o pretensado y la madera, pero en este caso, al requerirse flexibilidad de las tablestacas para evitar el vuelco, se recurrirá al empleo de acero. Estos elementos se hincan en el terreno mediante golpeo o vibración y gracias a una determinada forma que poseen en sus laterales se consigue un acoplamiento entre tablestacas que forman entre sí un muro de contención.

Por otro lado, este sistema trae consigo una serie de ventajas como es el bajo coste que conlleva respecto a otros como el muro pantalla, un gran rendimiento y una gran calidad en los acabados.

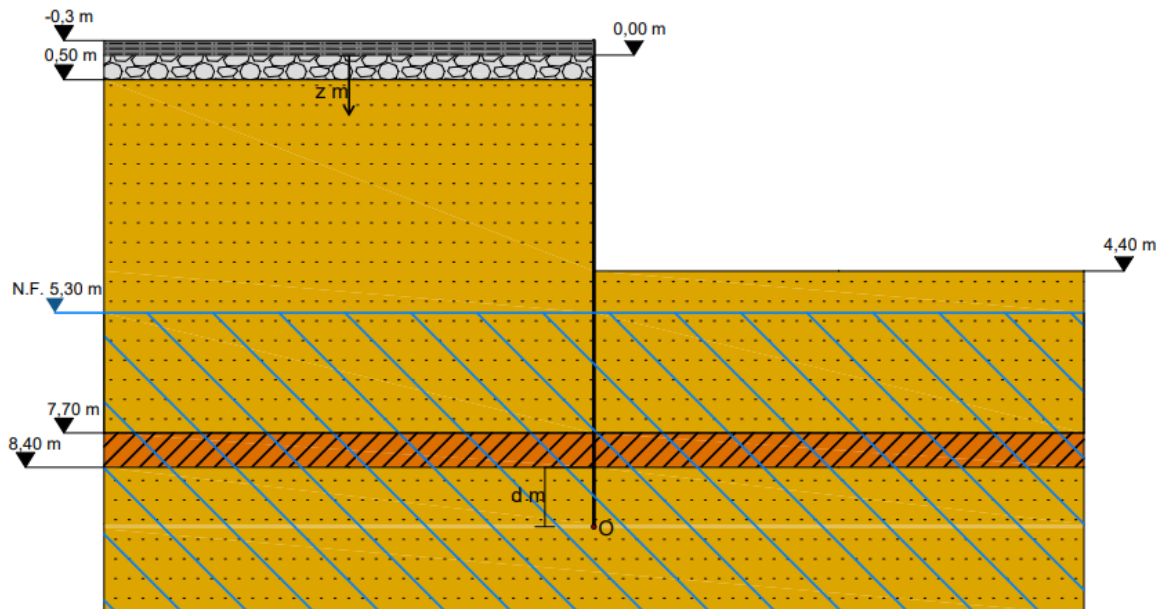


Figura 17. Perfil estratigráfico con tablestaca hincada en función de 'd' (Fuente: Elaboración propia)

Para la obtención de la longitud de las tablestacas, se ha recurrido a la teoría de Rankine de cara a los cálculos. Con los parámetros del terreno definidos según el estudio geotécnico del terreno y los coeficientes de empuje activo ( $K_a$ ) y pasivo ( $K_p$ ), calculados en el *Anejo N°3. Excavación*, se

extraen los empujes tanto activos como pasivos sobre la tablestaca, los cuales están en función de 'd', dicha incógnita permite conocer la longitud de empotramiento de la tablestaca.

De esta forma, se consigue mediante la pantalla de tablestacas evitar el vuelco, obteniéndose el valor de 'd' ( $d=1,21$  m). Este valor demuestra que la tablestaca sobrepasará por completo el estrato de arenas de grano fino llegando al estrato de limos arenosos situado en el nivel 3.

Es importante mencionar que no se ha requerido añadir el empuje del agua porque el N.F. (a una profundidad de 5,3 m) se encuentra por debajo de la profundidad a excavar (4,4 m), por lo tanto, el empuje producido por el agua se contrarresta puesto que es igual tanto en el intradós como en el trasdós. Por lo tanto, no se producirá sifonamiento y, por otra parte, al estar conformado el suelo en cuestión en gran parte por estratos de gran potencia de limos arenosos, no habrá riesgo de levantamiento de fondo.

Para la obtención de la longitud total de la tablestaca se tienen en cuenta los siguientes criterios:

- Longitud en voladizo= 4,4 m.
- El espesor del paquete de firmes= 0,3 m
- Longitud de empotramiento=  $4+d= 5,21$  m.
- Del lado de la seguridad, se incrementa el empotramiento calculado en un 20%, por lo tanto, tomando una longitud de 6,25 m.
- Para facilitar la retirada de las tablestacas una vez colocado el cajón de hormigón, se tomará un valor adicional de las tablestacas de 0,5 m sobresaliendo por encima de la superficie del terreno.

Por lo tanto, la longitud de la tablestaca es:

$$L_{Tablestaca} \approx 13 \text{ m}$$

## 8. Proceso constructivo

A continuación, se exponen todas las acciones que han de llevarse a cabo para construir el paso inferior de carretera en la carretera C-12.

En primer lugar, se realizarán los desvíos correspondientes como se puede apreciar en la página 20, con las respectivas señalizaciones necesarias con el objeto de regular el tráfico y velar por la seguridad de los conductores, cortándose el tráfico del lado de la calzada que va en dirección noreste. Además, se deberán realizar los desvíos necesarios para los peatones para los accesos al paso inferior.

En cuanto a la ocupación de una parte de la calzada es importante que se ocupará un poco más de la misma (1-1,5 m), permitiendo de esta forma que, al comenzar las obras en la otra mitad de la calzada, ya estén colocados los marcos en parte de la misma, facilitando así la unión entre marcos.

Justo después, se da comienzo a la demolición del firme existente mediante una máquina fresadora y su posterior retirada a vertedero.

En cuanto finalizan las actividades de demolición del firme, se procede al hincado de tablestacas de 13 m de longitud formando una pantalla de tablestacas como sistema de contención de tierras.

Acto seguido, se iniciará la excavación en la zona correspondiente al paso inferior sin necesidad de puntales ni acodamientos ya que se ha tenido en cuenta a la hora de dimensionar la longitud de las tablestacas. En una primera estancia se excavará hasta la profundidad de 4,2 m y no a la profundidad de 4,4 m, la razón de ello es para evitar en el caso de que se produzcan vertidos inesperados en la zona en cuestión, pueda afectar a la cimentación de la infraestructura o simplemente evitar la presencia de restos de materiales que entorpezcan la puesta la puesta en obra de materiales de machaqueo, hormigón de limpieza, etc.

Por otra parte, también se realizarán las respectivas excavaciones en la zona de la escalera y de la rampa que, teniendo en cuenta que las pendientes de la mismas son muy tendidas no se requieren sistemas de contención de tierras como en el paso inferior.

En cuanto al paso inferior, al finalizar la excavación a la cota deseada, se introduce una capa de 20 cm de material de machaqueo como base, encima de la misma capa se coloca una lámina geotextil y sobre la misma una capa de hormigón de limpieza con un espesor de 10 cm.

Tras el fraguado del hormigón de limpieza se colocarán los marcos de hormigón prefabricado teniendo un especial cuidado en la unión entre los mismos para prevenir posibles filtraciones a futuro en el paso inferior.

Después de la colocación de los cajones, se retirarán las tablestacas que funcionan como muros de contención y acto seguido se procede al relleno de tierras que hayan generado las tablestacas y su posterior compactación.

Seguidamente se ejecuta el paquete de firmes, que, como se puede observar en la Figura 14, el paquete de firmes se encuentra presente justo arriba del cajón, con un espesor de 0,5 m (0,2 m hasta la cota de la superficie del nivel de tierra vegetal y rellenos y 0,3 m hasta la cota superficial donde transitan los vehículos).

A continuación, se colocará la escalera en la ubicación estipulada en los planos y se construirá la rampa para PMR.

Al finalizar la ejecución del paquete de firmes se procede a la retirada de todo el material de señalización y desvíos y su posterior colocación en la otra mitad de la calzada para repetir el mismo proceso en el otro lado de la calzada.

Existe una gran diferencia entre esta parte de la calzada que va en dirección suroeste con la que va en dirección noreste, y es que la acera colinda con una propiedad privada, de la cual se tendrá que expropiar aproximadamente 50 m<sup>2</sup> para evitar que los accesos al paso inferior puedan influir en el acceso al parking de la Escuela Ferreries.

## 9. Resumen valoración de obras

En el presente apartado se redactará en grandes rasgos los resultados obtenidos en el *Anejo N°6. Valoración económica*, donde se hará hincapié en aquellas unidades de obra que albergan la gran parte del presupuesto de la ejecución del paso inferior.

De cara a la valoración económica se ha de mencionar que se ha tenido en cuenta que la construcción la llevará a cabo una empresa especialista en geotecnia y estructuras, por lo que de cara a los capítulos correspondientes, no se han tenido en cuenta capítulos como firmes y

pavimentos o señalización, por lo tanto el presupuesto final no será el Presupuesto Base de Licitación, sino el Presupuesto por Contrata con IVA incluido, puesto que otras partes de la obra serán encargadas a otras empresas constructoras. Los 4 capítulos correspondientes son los siguientes:

- Capítulo 1. Demoliciones y trabajos previos
- Capítulo 2. Movimiento de tierras
- Capítulo 3. Estructuras
- Capítulo 4. Otros

Cabe destacar que para la obtención de la valoración económica se han estimado las unidades de obra más características basadas en las siguientes bases de precios:

- Generador de precios de la construcción. España. Desarrollado por CYPE Ingenieros, S.A.
- Bases de precios de Referencia de la Dirección General de Carreteras. (2021). Desarrollado por el Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana
- Libro titulado "Valoración de obras de Ingeniería Civil" desarrollado por *Amalia Sanz Benlloch, Miguel Mondría García, Eugenio Pellicer Armiñana y Joaquín Catalá Alís. Editorial Univeristat Politècnica de València (2004).*

Entre los diversos capítulos, cabe destacar el *Capítulo 2. Movimiento de tierras* ocupando más de un 50% del PEM, donde predominan partidas como la N°3 y N°4 del mismo capítulo teniendo un precio de 40.578,04 € y 37.261,10 € respectivamente. Por otra parte, le sigue el *Capítulo 3. Estructuras* ocupando poco más del 35 % del PEM, donde predominan partidas como la N°1 y N°6 del mismo capítulo teniendo un precio de 33.082,04 € y 11.171,50 €.

Según los resultados obtenidos en el Anejo N°6, se obtiene un valor de Presupuesto de Ejecución Material de 150.470,64 €. A continuación, se muestra el resumen del presupuesto general por contrata.

Presupuesto de Ejecución Material (PEM).....	150.470,64 €
16% GASTOS GENERALES (s/PEM).....	24.075,30 €
6% BENEFICIO INDUSTRIAL (s/PEM).....	9.028,24 €
<hr/>	
TOTAL.....	183.574,18 €
I.V.A: 21%. (s/PEM+GG+BI).....	38.550,58 €
<hr/>	
TOTAL.....	222.124,76 €

*Asciende el Presupuesto DE EJECUCIÓN POR CONTRATA CON IVA a la expresada cantidad de DOS CIENTOS VEINTIDÓS MIL CIENTO VEINTICUATRO EUROS CON SETENTA Y SEIS CÉNTIMOS (222.124,76 €).*



## 10. Conclusiones

En el presente Trabajo Fin de Grado se han estudiado las condiciones geológicas y geotécnicas del paso inferior que conformará el paso inferior por la carretera C-12 en el municipio de Tortosa (Tarragona).

Para su realización se ha extrapolado la información geológica y geotécnica de los trabajos de campo realizados en las inmediaciones de la obra, dos sondeos rotativos y dos ensayos de penetración dinámica, con los cuales se han realizado diferentes ensayos de laboratorio para la obtención de las características del terreno.

También se ha realizado un estudio acerca de las posibles alternativas a llevar a cabo en relación al paso inferior y los accesos en función del tráfico de la carretera C-12, el bienestar de los viandantes y tipo de cajón (prefabricado o in situ). Tras realizar un análisis de las alternativas se ha optado por realizar un proceso constructivo en que las obras se llevarán a cabo por calzadas, permitiendo así la circulación por la otra calzada cambiando el sentido del carril más próximo al centro de la carretera, por otra parte, para la tipología de marco se ha optado por realizarlo cajones de hormigón prefabricado transportados desde una empresa de prefabricados (Prefabricados Alhosa S.L.) y en cuanto a los accesos, por temas económicos y adaptabilidad a PMR se opta por la ejecución de escaleras y rampas.

Una vez evaluadas la totalidad de las propiedades geotécnicas, se ha estipulado la excavabilidad a llevar a cabo durante las obras concluyéndose que se precisa del uso de tablestacas para la contención de tierras puesto de realizarse excavación en talud, para que la excavación sea estable sin contención deberían ejecutarse taludes 3H:2V, suponiendo una sobreexcavación excesiva imposible de llevar a cabo en una zona urbana al lado de la Escuela Ferreries y en medio de la C-12 donde el espacio es limitado. Estas tablestacas serán de 13 metros de profundidad

Por otra parte, con las propiedades geotécnicas mencionadas en el párrafo anterior, se ha resuelto el diseño del paso inferior mediante la construcción de un cajón que se ha diseñado conforme a la "Colección de pequeñas obras de paso: Obras de paso de carreteras" y la norma siguiendo una serie de condiciones para escoger cuál es el cajón idóneo para conformar el paso inferior llegando a la conclusión de tener unas dimensiones de 4,80x3,90 metros con unos tanto en los muros como en la losa de cimentación de 0,40 metros y de 0,50 metros en la losa de cubrición.

Por último, se ha realizado una valoración económica de lo que supondría la construcción del paso inferior.

En conclusión, se puede afirmar que en este Trabajo Fin de Grado se ha estudiado la totalidad de actuaciones previstas, entendiéndose así que se ha cubierto el diseño geotécnico del paso inferior frente a aquellas situaciones límite a las que va a estar expuesto como puede ser el empuje del terreno, hundimiento, etc.

Valencia, noviembre de 2022

# **ANEJOS**

## **Anejo nº1: Documentación fotográfica**

## **Índice**

**1. Objeto**

**2. Documentación fotográfica**

**3. Plano de situación**

## 1. Objeto

El presente anejo tiene como finalidad realizar una breve descripción de la zona de actuación mediante un reportaje fotográfico realizado previamente, de esta manera se ilustra de una manera más concreta lo que engloba la zona en concreto.

## 2. Documentación fotográfica

A continuación, se expondrán una serie de fotografías más relevantes realizadas en las proximidades de la zona de actuación con el objeto descrito en el anterior apartado:



*Figura 1. Visión general de la carretera C-12 en dirección noreste del lado izquierdo de la calzada*



*Figura 2. Visión general de la carretera C-12 en dirección sur del lado izquierdo de la calzada*



*Figura 3. Visión del puente sobre la carretera C-12 del lado izquierdo de la calzada*



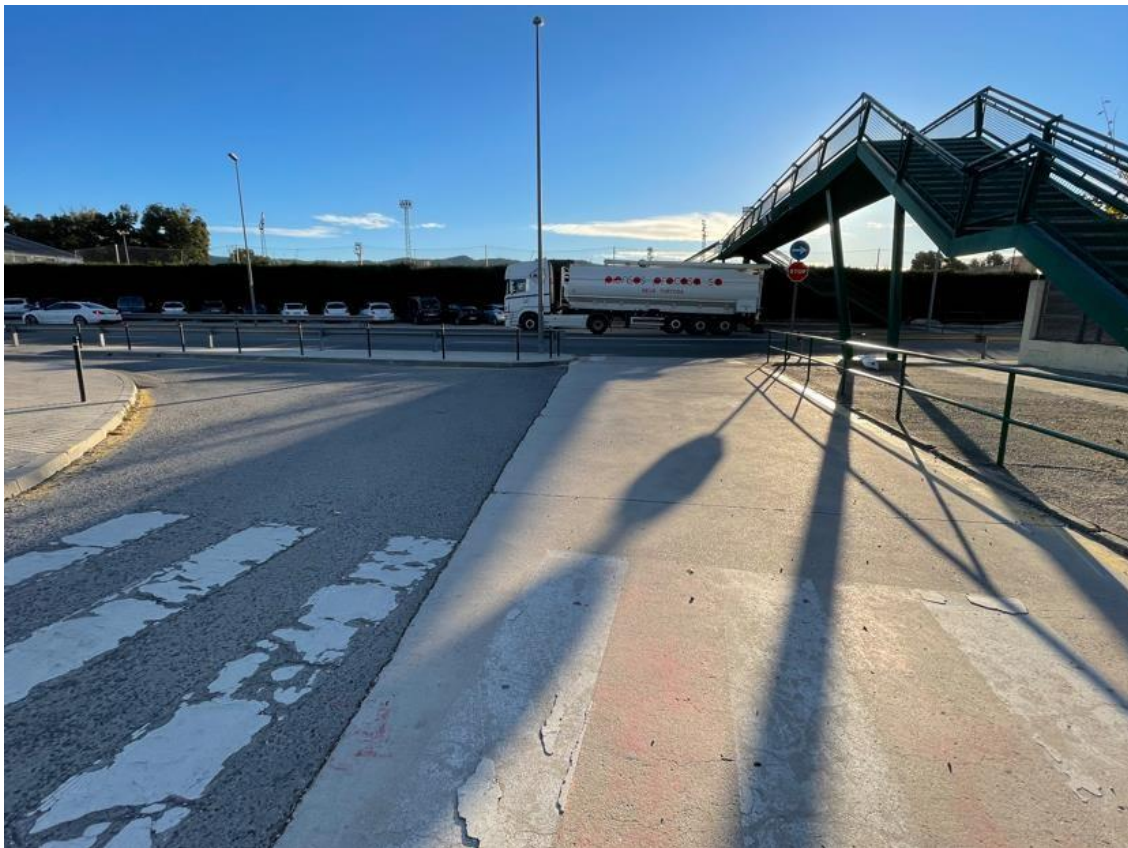
*Figura 4. Paso de peatones del lado derecho de la calzada*



*Figura 5. Acceso al aparcamiento de la Escuela*



*Figura 6. Visión general de la pasarela*



*Figura 7. Visión de la carretera C-12 desde el aparcamiento de la escuela Ferreries*





*Figura 8. Visión desde abajo del puente que conecta con la Vías Verdes del Baix Ebre*



*Figura 9. Intersección entre el camí del Condonyers y la carretera C-12*



*Figura 10. Visión del pabellón Municipal de Deportes*



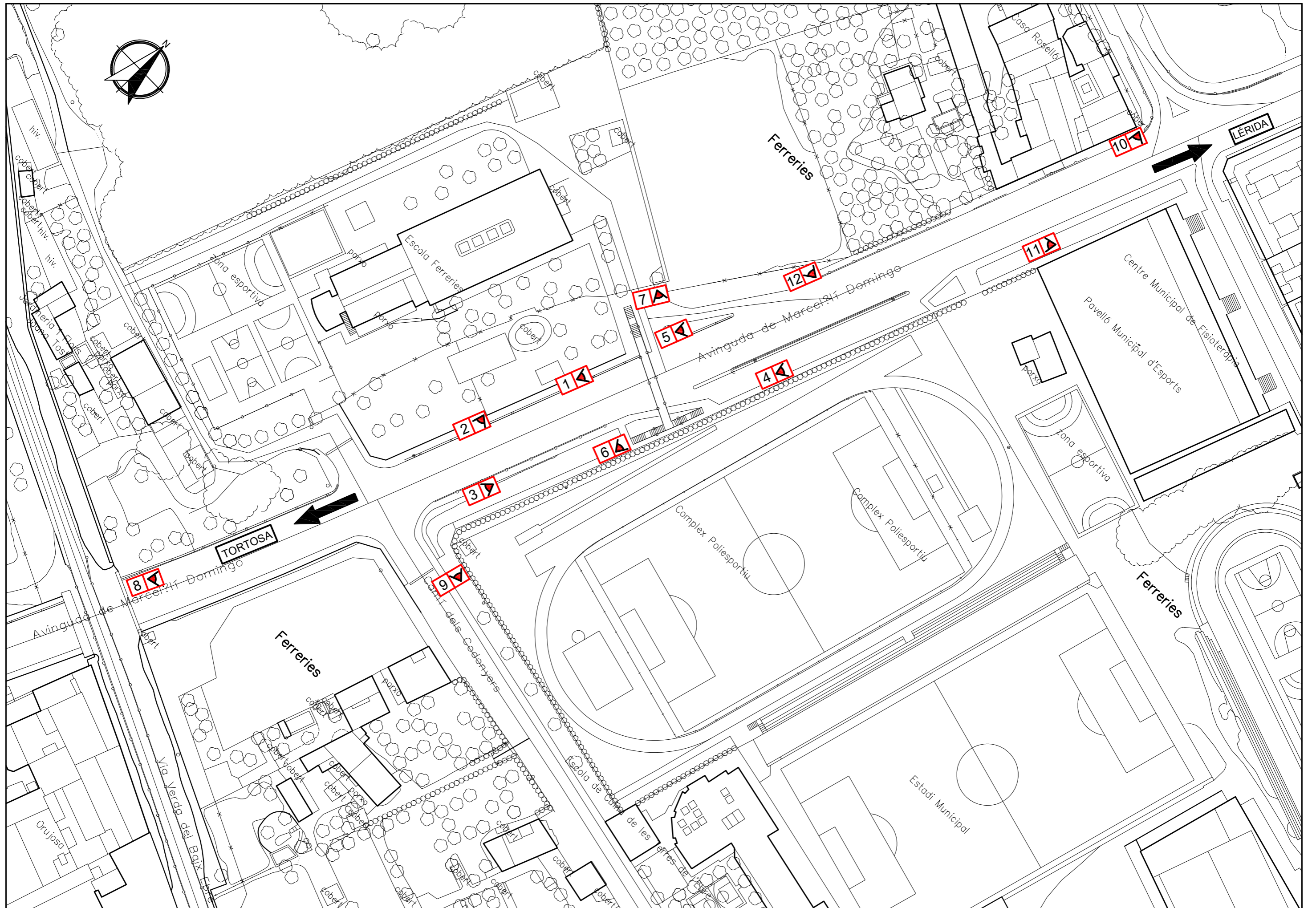
*Figura 11. Paso de peatones del lado izquierdo de la calzada y visión de la escuela Ferreries*



*Figura 12. Zona reservada para instalaciones de higiene y bienestar, además de maquinaria*

### **3. Plano de situación**

A continuación, se adjunta un plano de situación en el cual se podrán ver los puntos desde donde se han tomado las fotografías con el fin facilitar la ubicación de las mismas en planta.



	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA E.T.S.I. CAMINOS, CANALES Y PUERTOS	TITULACIÓN: GRADO EN INGENIERÍA CIVIL	PROYECTO TIPO: PROFESIONAL	AUTOR DEL PROYECTO: LUCAS ALEJANDRO COCCO	ESCALAS: 1:1000	TAMAÑO: A 3	TÍTULO DEL PROYECTO FINAL DE GRADO: DISEÑO GEOTÉCNICO DE UN PASO INFERIOR PEATONAL EN EL PK 18+280 DE LA C-12 EN TORTOSA (TARRAGONA)	NÚM.: 3.	DESIGNACIÓN: PLANO DE SITUACIÓN	FECHA: OCTUBRE 2022
--	--	--	-------------------------------	--	--------------------	----------------	---	-------------	------------------------------------	------------------------

## **Anejo nº2: Antecedentes y documentación de partida**

# Índice

## 1. Trabajos de campo

1.1. Localización de los trabajos de campo

1.2. Ensayos de penetración dinámica

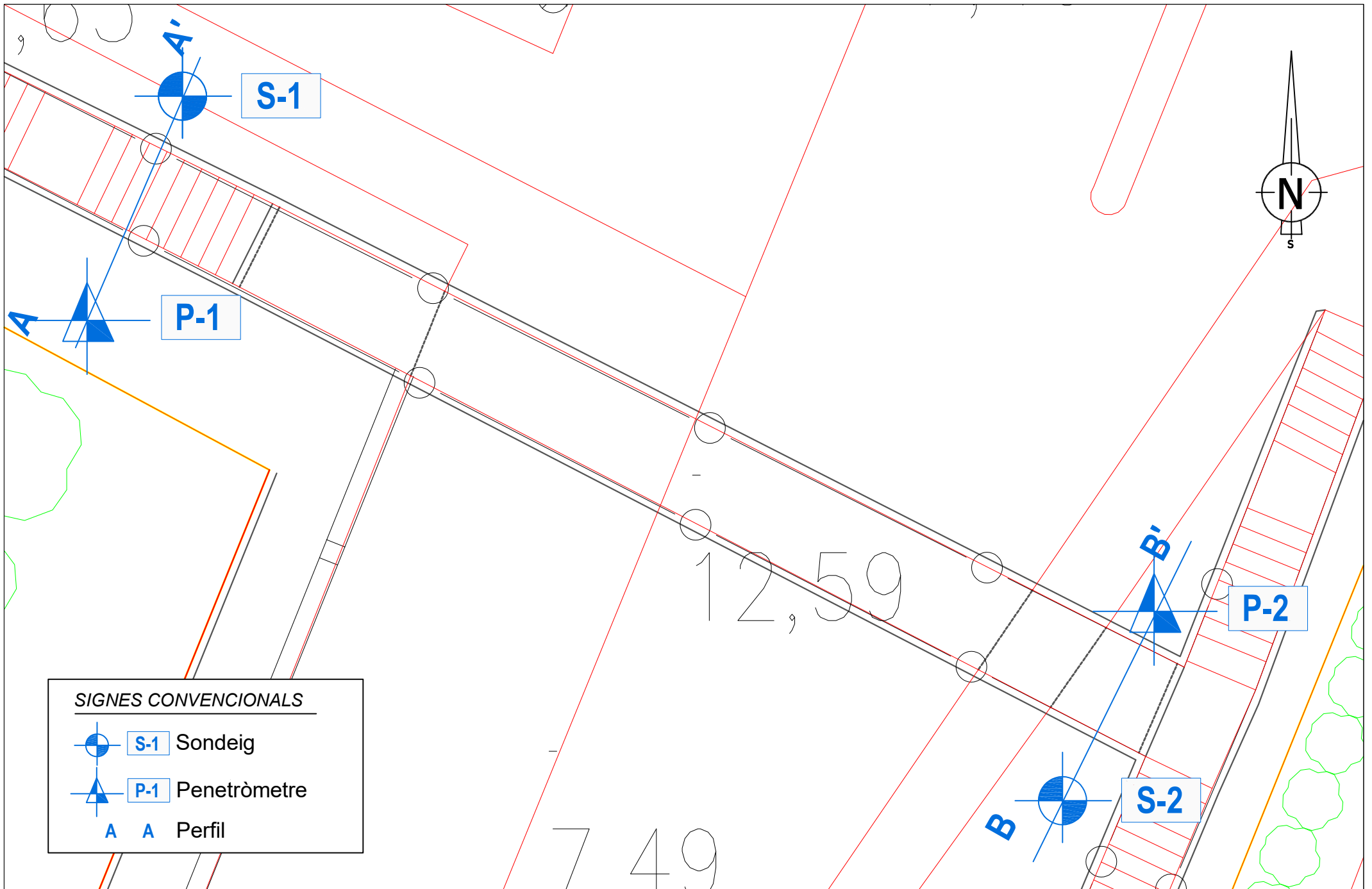
1.3. Ensayos de sondeos

## 2. Ensayos de laboratorio




# **1. Trabajos de campo**

## **1.1. Localización de los trabajos de campo**

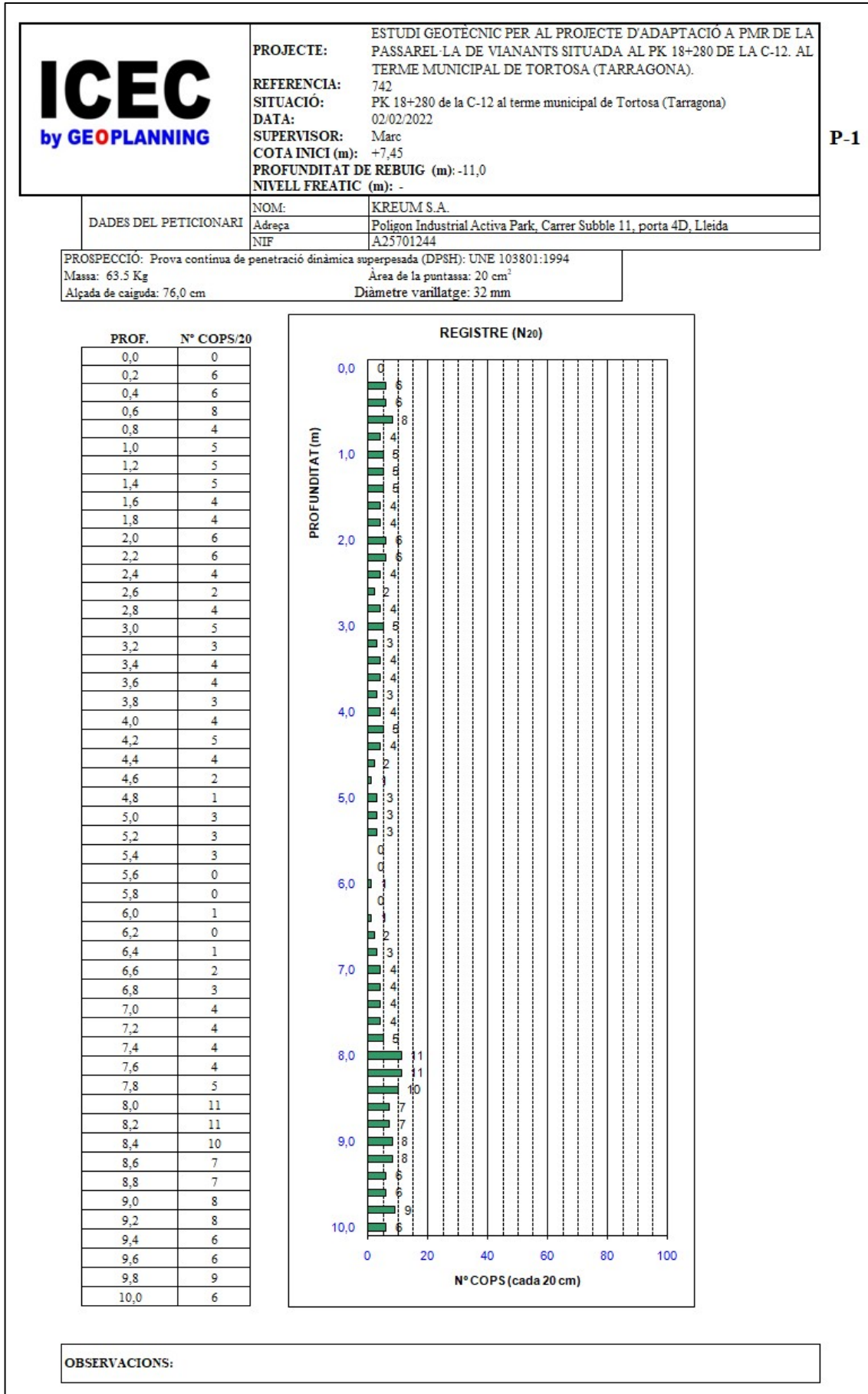




**SIGNES CONVENCIONALS**

-  **S-1** Sondeig
-  **P-1** Penetròmetre
-  **A A** Perfil

## **1.2. Ensayos de penetración dinámica**



Estudi geotècnic per al projecte d'adaptació a PMR de la passarel·la de vianants situada al PK 18+280 de la C-12. al terme municipal de Tortosa (Tarragona).



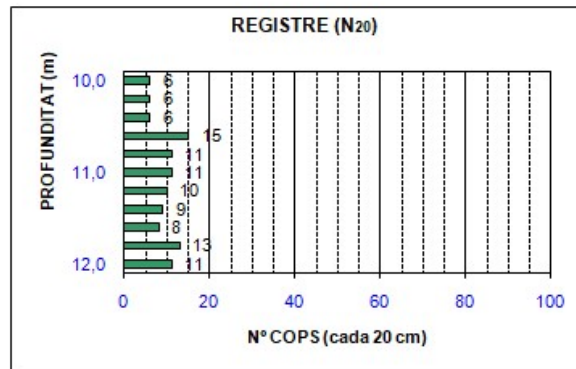
**PROJECTE:** ESTUDI GEOTÈCNIC PER AL PROJECTE D'ADAPTACIÓ A PMR DE LA PASSARELLA DE VIANANTS SITUADA AL PK 18+280 DE LA C-12. AL TERME MUNICIPAL DE TORTOSA (TARRAGONA).  
**REFERENCIA:** 742  
**SITUACIÓ:** PK 18+280 de la C-12 al terme municipal de Tortosa (Tarragona)  
**DATA:** 02/02/2022  
**SUPERVISOR:** Marc  
**COTA INICI (m):** +7,45  
**PROFUNDITAT DE REBUIG (m):** -12,0  
**NIVELL FREATIC (m):** -

P-1

**DADES DEL PETICIONARI**  
**NOM:** KREUM S.A.  
**Adreça:** Poligon Industrial Activa Park, Carrer Subble 11, porta 4D, Lleida  
**NIF:** A25701244

**PROSPECCIÓ:** Prova contínua de penetració dinàmica superpesada (DPSH): UNE 103801:1994  
**Massa:** 63,5 Kg **Àrea de la puntassa:** 20 cm<sup>2</sup>  
**Alçada de caiguda:** 76,0 cm **Diàmetre varilatge:** 32 mm

PROF.	Nº COPS/20
10,0	6
10,2	6
10,4	6
10,6	15
10,8	11
11,0	11
11,2	10
11,4	9
11,6	8
11,8	13
12,0	11



OBSERVACIONS:



### **1.3. Ensayos de sondeos**

DADES DE L'ESTUDI: DATA: 01/02/2022 COORD: \_\_\_\_\_ COTA: +7,63 m Geòleg de camp: \_\_\_\_\_ Sondista: MARC GREGORI Màquina: RL-46L FULL: 1 DE: 1

PERFORACIÓ			TALL LITOLÒGIC	DESCRIPCIÓ DEL TERRENY	RECUPERACIÓ %					RQD %			FRACTURES (30cm)		GRAU DE METEORIZACIÓ	MOSTRES I ASSAIGS		ASSAIGS DE LABORATORI																										
TIPOUS	Ø (mm)	REVESTIMENT			PROFUNDITAT MANIOBRA (m)	PROFUNDITAT (m)	20-40-60-80				20-40-60-80			1		2	3	TIPUS I COTA	N/30	HUMIDAT NATURAL (%)	DENSITAT SECA (gr/cm <sup>3</sup> )	DENSITAT APARENT (gr/cm <sup>3</sup> )	DENSITAT REL·LAT (gr/cm <sup>3</sup> )	LIMITS ATTERBERG		GRANULOMETRIA (%PASA)			SULFATS (SO <sub>4</sub> ) (mg/kg)	RESISTÈNCIA AL TALL		COMPRESSIÓ SIMPLE (kg/cm <sup>2</sup> )	RESIST. TRACCIÓ (kg/cm <sup>2</sup> )	BAUMANN-GULLY (mg/kg)	CLASSIFICACIÓ U.S.C.S	OBSERVACIONS								
							WL	IP	#5	#2	#0,08	C'	φ'																															
B-W	101	NO		0,6	REBLERT HETEROGENI (R) Terra vegetal i llims, fragments de toxo																																							
				1	QUATERNARI (Q) Llims sorrencs marrons. A partir de 3 m humits i a partir de 5,3 m saturats per la presència del nivell freàtic																																							
				2																																								
				3																																								
				4																																								
				5																																								
				6																																								
				7																																								
				8																																								
				9																																								
10																																												
NF: 5,3 m 																																												
SPT - 1: 4 5 7 10 SPT - 2: 3 3 3 4 SPT - 3: 3 2 2 2 SPT - 5: 2 2 5 5					Mostra d'aigua: 01/02/2022 pH: 7,3 Magnes: 226 mg/l CO <sub>2</sub> Agressiu: 0 mg/l Sulfat: 710 mg/l Amoni: 0 mg/l Residu sec: 2547mg/l Grau agressivitat: <b>MIG</b>																																							
B-W	86	NO		7,6	Sorres de gra fi de color marró																																							
				8,3	Llims sorrencs de color marró - gris.																																							
FI DE SONDEIG: 9,00 m																																												

(1) LLEVAMOSTRA: S.P.T. E. ESTANDAR (UNE 103800:1992) / BATERIA SIMPLE (XP P94-202) / M.I: MOSTRA INALTERADA (XP P94-202) / T.P: TESTIMONI PARAFINAT  
 B: Bateria senzilla T: Bateria doble D: Diamant W: Widia J.R.C: Joint Rugosity Coefficient Ox: Òxids Py: Piritita Ca: Calcita Q: Quars Ar: Argila S: Sorra

OBSERVACIONS: Es detecta N.F. a 5,3 m.

Data d'emissió: 25/02/2022

Notes:

# SONDEIG S-1



EMPLAÇAMENT SONDEIG



CAIXA N°1. DE 0,00 A 3,00 m.



CAIXA N°2. DE 3,00 A 6,00 m.



CAIXA N°3. DE 6,00 A 9,00 m.  
FI DE SONDEIG



SPT N°1. DE 6,00 A 6,60 m.



SPT N°2. DE 8,00 A 8,60 m.



# SONDEIG S-1



SPT N°3. DE 1,00 A 1,60 m.

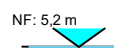


SPT N°4. DE 6,00 A 6,60 m.



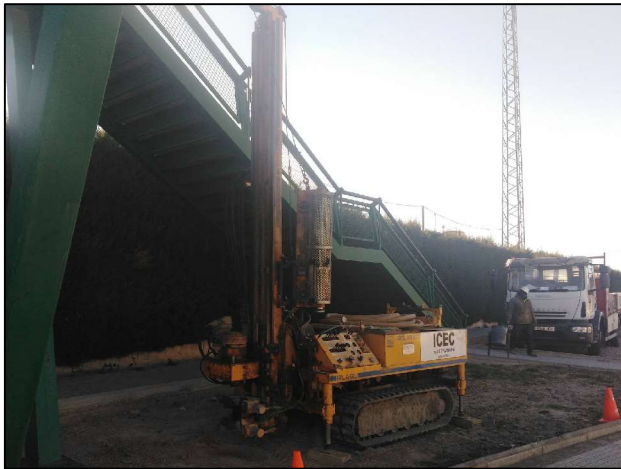
SPT N°5. DE 8,00 A 8,60 m.

<b>DADES DE L'ESTUDI:</b> DATA: <u>          02/02/2022          </u> COORD: <u>                    </u> COTA: <u>          +7,45 m          </u> Geòleg de camp: <u>                    </u>	Sondista: <u>          MARC GREGORI          </u> Màquina: <u>          RL-46L          </u>	FULL: <u>          1          </u> DE: <u>          1          </u>
---	--	---

PERFORACIÓ				PROFUNDITAT (m.)	TALL LITOLÒGIC	DESCRIPCIÓ DEL TERRENY	RECUPERACIÓ %				RQD %				FRACTURES (30cm)		GRAU DE METEORIZACIÓ	MOSTRES I ASSAIGS		ASSAIGS DE LABORATORI																
TIPUS	Ø (mm)	REVESTIMENT	PROFUNDITAT MANIOBRA (m.)				20-80				20-80				1-3			TIPUS I COTA	N/30	HUMIDAT NATURAL (%)	DENSITAT SECA (gr/cm <sup>3</sup> )	DENSITAT APARENT (gr/cm <sup>3</sup> )	DENSITAT REL·LAFI (gr/cm <sup>3</sup> )	LIMITS ATTERBERG		GRANULOMETRIA (%PASA)			SULFATS (SO <sub>4</sub> ) (mg/kg)	RESISTÈNCIA AL TALL		COMPRESSIÓ SIMPLE (gr/cm <sup>2</sup> )	RESIST. TRACCIÓ (kg/cm <sup>2</sup> )	BAUMANN-GULLY (mm/kg)	CLASSIFICACIÓ USCS	OBSERVACIONS
							WL	IP	#5	#2	#0.08	C'	ø'																							
B-W	101	NO		0,4	REBLERT HETEROGENI (R): Terra vegetal i llims, fragments de totxo...																															
				1	QUATERNARI (Q) Llims sorrenca i argila i sorres de gra fi de color marró amb petits còdols dispersos i sorra de gra fi. A partir de 5,2 m saturats per la presència del nivell freàtic.																															
				2	 NF: 5,2 m																															
				3																																
				4																																
				5																																
				6																																
				7	SPT - 6														10																	
				8	FI DE SONDEIG: 7,80 m																															
				9																																
				10																																

<b>(1) LLEVAMOSTRA:</b> S.P.T: E.ESTANDAR (UNE 103800:1992) / BATERIA SIMPLE (XP P94-202) / M.I: MOSTRA INALTERADA (XP P94-202) / T.P: TESTIMONI PARAFINAT B: Bateria senzilla T: Bateria doble D: Diamant W: Widia J.R.C: Joint Rugosity Coefficient Ox: Òxids Py: Pirita Ca: Calcita Q: Quars Ar: Argila S: Sorra	<b>OBSERVACIONS:</b> Es detecta N.F. a 5,2 m	Data d'emissió: 25/02/2022
Notes:		

# SONDEIG S-2



EMPLAÇAMENT SONDEIG



CAIXA N°1. DE 0,00 A 3,00 m.



CAIXA N°2. DE 3,00 A 6,00 m.



CAIXA N°3. DE 6,00 A 7,20 m.  
FI DE SONDEIG



SPT N°1. DE 6,00 A 6,60 m.



SPT N°2. DE 8,00 A 8,60 m.

# SONDEIG S-2



SPT N°3. DE 1,00 A 1,60 m.



SPT N°4. DE 6,00 A 6,60 m.

## **2. Ensayos de laboratorio**

**PETICIONARI:**

KREUM S.A.

Pol. Ind. Activa Park, carrer Subblé 11, porta 4D  
25191 - LLEIDA  
LLEIA

**ACTA DE RESULTATS D'ASSAIGS**

PSC 01.04

**OBRA:** Adaptació a PMR de la passarel·la peatonal situada al PK 18+280 de la C-12. Tortosa. Clau: PC-XIE-19014

		DATA
Mostres recollides pel laboratori	Alb-121930-R	01/02/2022

**REFERÈNCIA**

M-1: Mostra de llims sorrenca sondeig S-1, fondària de 0,6 m a 1,2 m

**ASSAIGS REALITZATS**

- 1 Anàlisi granulomètrica de sòls per tamisat, s/ UNE 103101:1995
- 1 Determinació de la humitat mitjançant assecat en estufa, s/ UNE-EN ISO 17892-1:2015
- 1 Determinació dels límits d'Atterberg, s/ UNE 103103:1994 i 103104:1993
- 1 Determinació del contingut en ió sulfat, s/UNE 83963:2008

Lleida, 23 de febrer de 2022

TÈCNIC DIRECTOR DE L'ÀMBIT

TÈCNIC DIRECTOR LABORATORI

Joan I. Torres Solanilla

Miquel Mateus Gorgues

Laboratori d'Assaigs amb Declaració Responsable per al control de qualitat. L'abast d'actuació està inclòs a la Declaració Responsable està inscrita al Registre General del Codi Tècnic de l'Edificació i es pot consultar a [www.gencat.cat](http://www.gencat.cat) i [www.codigotecnico.org](http://www.codigotecnico.org). Més informació de Geoplanning Estudis Geotècnics S.L. a [www.icecontrol.com](http://www.icecontrol.com). Els resultats lliurats en aquesta Acta de Resultats d'Assaigs es refereixen només a la mostra recollida o remesa al Laboratori i a les normes de referència de cada assaig. Es prohibeix la reproducció i publicació total o parcial d'aquesta Acta de Resultats d'Assaigs sense el consentiment previ de Geoplanning Estudis Geotècnics SL.

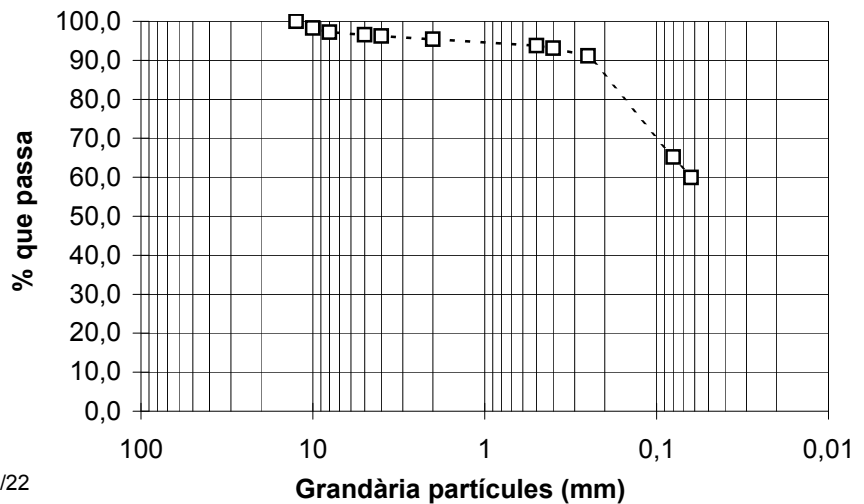
<b>PETICIONARI</b>	KREUM S.A.
<b>OBRA</b>	Adaptació a PMR de la passarel·la peatonal situada al PK 18+280 de la C-12. Tortosa. Clau: PC-XIE-19014
<b>DATA</b>	01/02/2022
<b>REFERÈNCIA:</b>	<b>M-1: Mostra de llims sorrenca sondeig S-1, fondària de 0,6 m a 1,2 m</b>

## RESULTATS

### ANÀLISI GRANULOMÈTRICA DE SÒLS PER TAMISAT

TAMÍS UNE (mm)	% QUE PASSA Mostra
12,5	100,0
10	98,3
8	97,2
5	96,5
4	96,2
2	95,4
0,5	93,8
0,4	93,1
0,25	91,1
0,08	65,2
0,063	59,9

Data inici assaig: 07/02/22 / Data fi assaig: 11/02/22



**HUMITAT DE LA MOSTRA:** **9,9 %**

Data inici assaig: 04/02/22 / Data fi assaig: 05/02/22

### LÍMITS ATTERBERG

Límit Líquid: **20,4**

Límit Plàstic: **16,6**

Índex Plasticitat: **3,8**

TIPUS DE MATERIAL: **Sòls de gra fi tipus ML**

CLASSIFICACIÓ DEL SÒL s/H.R.B.: **Sòls llimosos**

Grup i Subgrup:

A-4

Índex Grup= 5

### DETERMINACIÓ CONTINGUT IÓ SULFAT

Contingut de l'ió sulfat, s/UNE 83963:2008

**3 mg/Kg sòl sec**

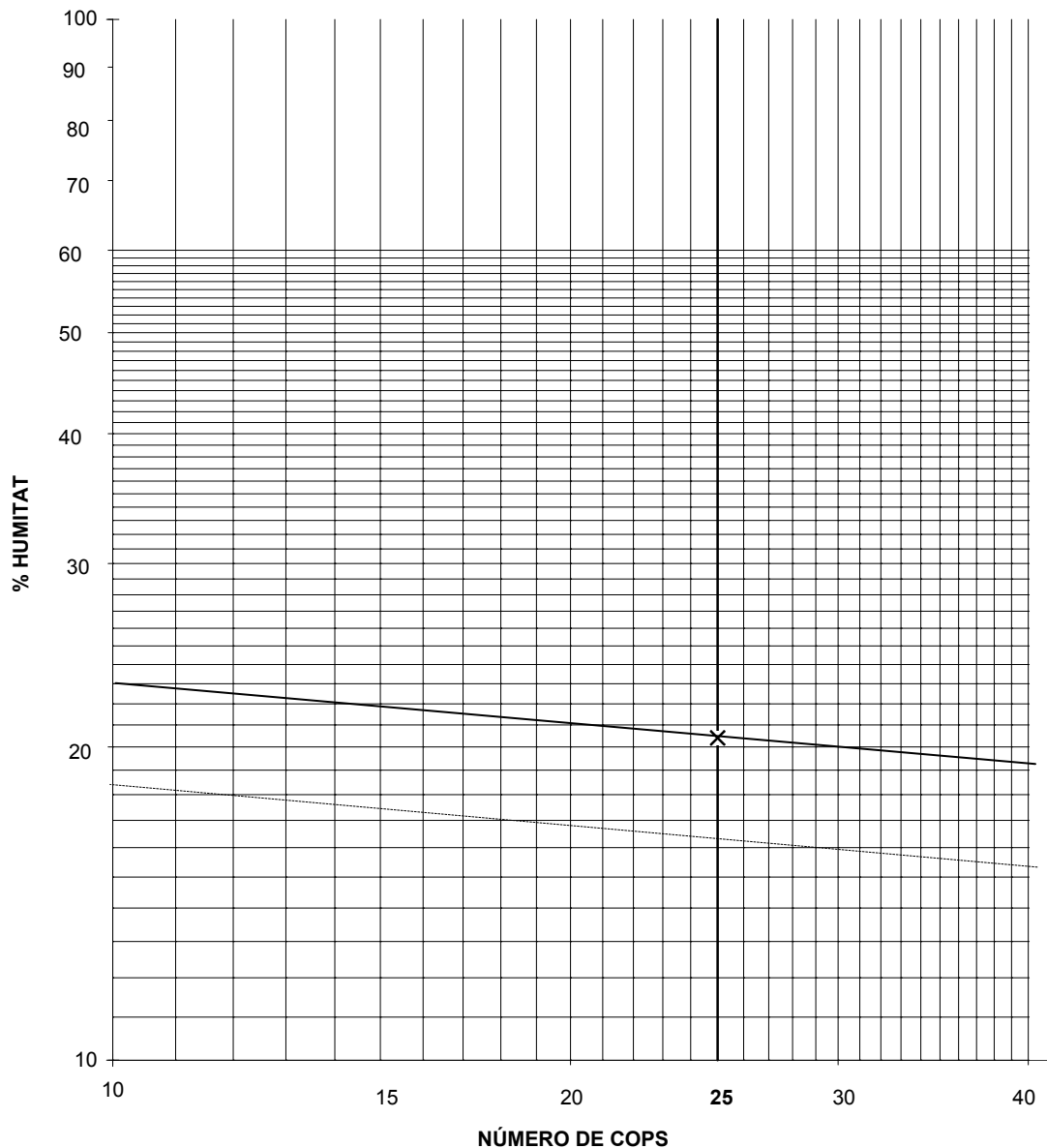
Observacions: En aquesta mostra s'avalua el tipus d'exposició com "No agressiu" segons l'article 8.2.3 de l'EHE i l'article 27.1 del codi estructural 2021

Data inici assaig: 08/02/22 / Data fi assaig: 23/02/22

**PETICIONARI** KREUM S.A.  
**OBRA** Adaptació a PMR de la passarel·la peatonal situada al PK 18+280 de la C-12. Tortosa. Clau: PC-XIE-19014  
**DATA** 01/02/2022  
**REFERÈNCIA:** M-1: Mostra de llims sorrencs sondeig S-1, fondària de 0,6 m a 1,2 m

## RESULTATS

### LÍMITS D'ATTERBERG



Límit Líquid: **20,4** Límit Plàstic: **16,6** Índex de Plasticitat: **3,8**

Data inici assaig: 07/02/22 / Data fi assaig: 15/02/22



KREUM S.A.

Pol. Ind. Activa Park, carrer Subblé 11, porta 4D  
25191 - LLEIDA  
LLEIA

**ACTA DE RESULTATS D'ASSAIGS**

PSC 01.04

**OBRA:** Adaptació a PMR de la passarel·la peatonal situada al PK 18+280 de la C-12. Tortosa. Clau: PC-XIE-19014

**DATA**

Mostres recollides pel laboratori	Alb-121930-R	01/02/2022
-----------------------------------	--------------	------------

**REFERÈNCIA**

M-2: Mostra de llims sorrenca sondeig S-2, fondària de 1,4 m a 2,0 m

**ASSAIGS REALITZATS**

- 1 Anàlisi granulomètrica de sòls per tamisat, s/ UNE 103101:1995
- 1 Determinació de la humitat mitjançant assecat en estufa, s/ UNE-EN ISO 17892-1:2015
- 1 Determinació dels límits d'Atterberg, s/ UNE 103103:1994 i 103104:1993
- 1 Determinació del contingut en ió sulfat, s/UNE 83963:2008

Lleida, 23 de febrer de 2022

TÈCNIC DIRECTOR DE L'ÀMBIT

TÈCNIC DIRECTOR LABORATORI

Joan I. Torres Solanilla

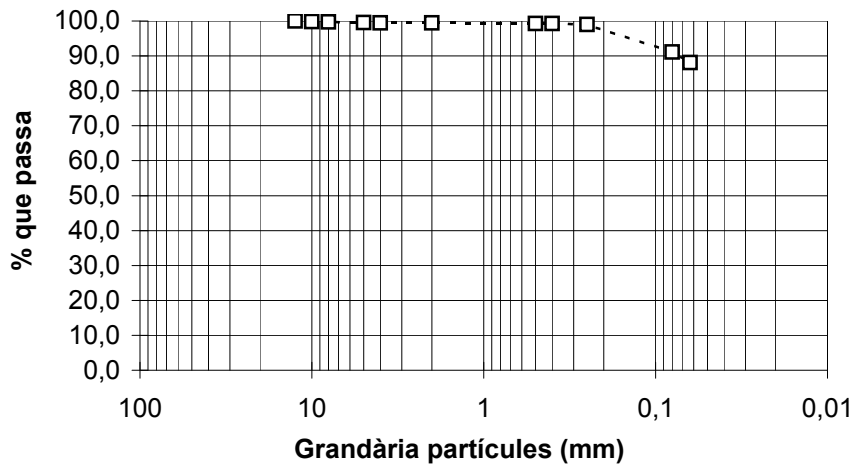
Miquel Mateu Gorgues

<b>PETICIONARI</b>	KREUM S.A.
<b>OBRA</b>	Adaptació a PMR de la passarel·la peatonal situada al PK 18+280 de la C-12. Tortosa. Clau: PC-XIE-19014
<b>DATA</b>	01/02/2022
<b>REFERÈNCIA:</b>	<b>M-2: Mostra de llims sorrenca sondeig S-2, fondària de 1,4 m a 2,0 m</b>

## RESULTATS

### ANÀLISI GRANULOMÈTRICA DE SÒLS PER TAMISAT

TAMÍS UNE (mm)	% QUE PASSA Mostra
12,5	100,0
10	99,8
8	99,7
5	99,5
4	99,5
2	99,4
0,5	99,2
0,4	99,2
0,25	99,0
0,08	91,1
0,063	88,1



Data inici assaig: 07/02/22 / Data fi assaig: 11/02/22

**HUMITAT DE LA MOSTRA:** 16,1 %

Data inici assaig: 04/02/22 / Data fi assaig: 05/02/22

### LÍMITS ATTERBERG

Límit Líquid: 26,1

Límit Plàstic: 16,3

Índex Plasticitat: 9,8

TIPUS DE MATERIAL: Sòls de gra fi tipus CL

CLASSIFICACIÓ DEL SÒL s/H.R.B.: Sòls llimosos

Grup i Subgrup:

A-4

Índex Grup= 8

### DETERMINACIÓ CONTINGUT IÓ SULFAT

Contingut de l'ió sulfat, s/UNE 83963:2008

196 mg/Kg sòl sec

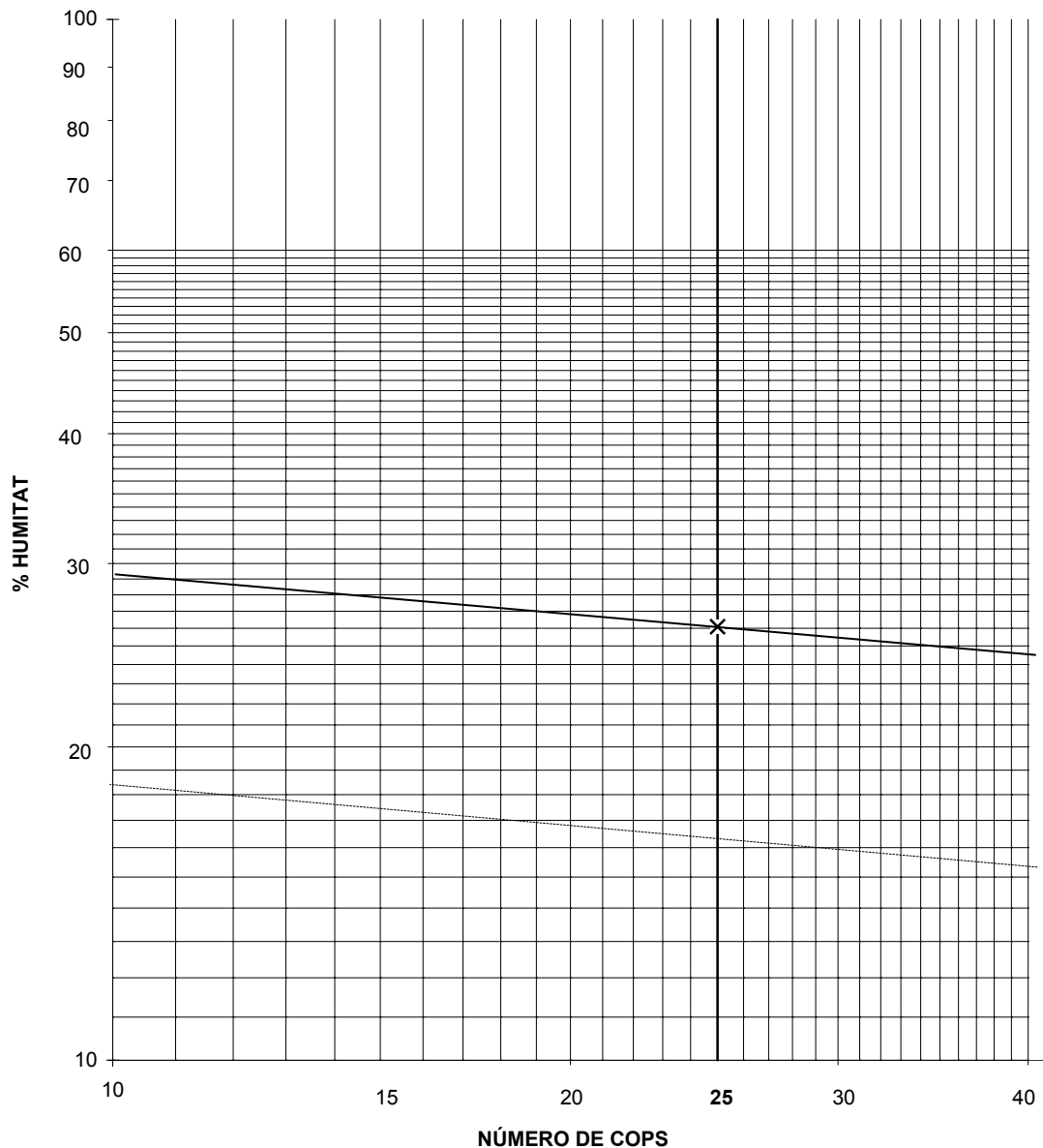
Observacions: En aquesta mostra s'avalua el tipus d'exposició com "No agressiva" segons l'article 8.2.3 de l'EHE i l'article 27.1 del codi estructural 2021

Data inici assaig: 08/02/22 / Data fi assaig: 23/02/22

**PETICIONARI** KREUM S.A.  
**OBRA** Adaptació a PMR de la passarel·la peatonal situada al PK 18+280 de la C-12. Tortosa. Clau: PC-XIE-19014  
**DATA** 01/02/2022  
**REFERÈNCIA:** M-2: Mostra de llims sorrencs sondeig S-2, fondària de 1,4 m a 2,0 m

## RESULTATS

### LÍMITS D'ATTERBERG



Límit Líquid: **26,1** Límit Plàstic: **16,3** Índex de Plasticitat: **9,8**

Data inici assaig: 07/02/22 / Data fi assaig: 15/02/22

**PETICIONARI:**

KREUM S.A.

Pol. Ind. Activa Park, carrer Subblé 11, porta 4D  
25191 - LLEIDA  
LLEIA

**ACTA DE RESULTATS DELS ASSAIGS**

PAAGRESC 04.08

**OBRA:** Adaptació a PMR de la passarel·la peatonal situada al PK 18+280 de la C-12. Tortosa. Clau: PC-XIE-19014

**DATA**

Mostres recollides pel laboratori	Alb-121930-R	01/02/2022
-----------------------------------	--------------	------------

**REFERÈNCIA**

Mostra d'aigua nivell freàtic a 5,3 m

**ASSAIGS SOL·LICITATS**

- 1 Determinació de l'agressivitat de l'aigua. Assaigs s/EHE 2008.

Lleida, 25 de Febrer de 2022

TÈCNIC DIRECTOR DE L'ÀMBIT

TÈCNIC DIRECTOR LABORATORI

Enric Lopez Novau

Miquel Mateu Gorgues

<b>PETICIONARI</b>	KREUM S.A.
<b>OBRA</b>	Adaptació a PMR de la passarel·la peatonal situada al PK 18+280 de la C-12. Tortosa. Clau: PC-XIE
<b>DATA</b>	01/02/2022
<b>REFERÈNCIA:</b>	<b>Mostra d'aigua nivell freàtic a 5,3 m</b>

## RESULTATS

### DETERMINACIÓ DE L'AGRESSIVITAT DE L'AIGUA AL FORMIGÓ ASSAIGS SEGONS EHE-08

PARÀMETRE	RESULTATS	
	MOSTRA 1	GRAU D'AGRESSIVITAT
- Acidesa expressada pel seu pH s/UNE 83952: 2008	7,3	<b>MIG</b>
- CO <sub>2</sub> agressiu (mg/l) s/UNE-EN 13.577: 2008	0	
- Ió amoni (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ) (mg/l) s/UNE 83954: 2008	0	
- Ió magnesi (Mg <sub>2</sub> <sup>+</sup> ) (mg/l) s/UNE 83955: 2008	226	
- Ió sulfat (SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> ) (mg/l) s/UNE 83956: 2008	710	
- Residu sec (mg/l) s/UNE 83957: 2008	2547	

## **Anejo nº 3: Excavación**

## **Índice**

### **1. Objeto**

### **2. Estabilidad de taludes**

### **3. Tablestacado**

#### **3.1. Cálculo de empujes**

#### **3.2. Dimensionamiento de las tablestacas**

### **4. Conclusiones**

## 1. Objeto

El objeto del presente anejo consiste en la elección en la metodología a llevar a cabo para la excavación ya comentada con el fin de evitar la producción de deslizamientos de tierras, los cuales pueden ocasionar daños tanto materiales como humanos. Para la elección del tipo de contención se ha recurrido a herramientas como SLIDE 2 (Rocscience), el cual servirá para cuantificar la estabilidad del terreno en función de diversos taludes en excavación. Por lo tanto, se determinará cual es el sistema más adecuado de contención atendiendo a aspectos como el medioambiente y las mínimas molestias al correcto uso de la carretera C-12, además, obviamente, de que no se produzcan accidentes evitables.

En este caso se trata de una excavación que cuenta con una profundidad de 4,4 m (sin tener en cuenta el nivel del paquete de firmes, puesto que la referencia de cota empieza la parte superior del estrato correspondiente al nivel 0) y un volumen de tierras de 346,8 m<sup>3</sup>, conformado por limos arenosos y tierra vegetal y parte del firme de carretera.

Las metodologías que se van a estudiar son las siguientes:

- Excavación a cielo abierto
- Tablestacado

## 2. Estabilidad de taludes

Se ha de comprobar si el terreno no sufrirá deslizamientos a la hora de excavar ya sea con talud vertical, 1H:2V o 1H:1V. Por ello, se ha basado el problema en la teoría del Equilibrio Límite, donde se supone que la resistencia a corte máxima del terreno puede llegar a moverse a lo largo de la superficie de deslizamiento.

Para este caso, se aplicará el método de las rebanadas, que consiste en dividir en capas verticales la masa deslizante, también recibe el nombre de dovelas. Este método no es exacto, lo cual quiere decir que no cumple la totalidad de las ecuaciones de la estática.

La forma de cuantificar la seguridad de un talud depende de un factor de seguridad que se obtiene mediante el cociente entre la resistencia a corte en la superficie de deslizamiento y la resistencia necesaria para evitar desequilibrios de la masa deslizante, dicho factor de seguridad debe ser mayor o igual a 1,5 del lado de la seguridad.

Para hallar la superficie de rotura exacta se recurre a un proceso de iteración donde se calculan los factores de seguridad de diversas superficies de rotura, obteniéndose dicha superficie de rotura pésima con el factor de seguridad mínimo obtenido.

Para realizar esta comprobación se ha recurrido al software Slide 2 (Rocscience), el cual se basa en la teoría de las dovelas, recurriendo al método aproximado de Bishop.

En el método de Bishop, la estabilidad de los taludes se analiza en una única sección transversal del mismo talud puesto que el problema se considera bidimensional. Aquella superficie del terreno que tiene unos niveles altos de sufrir deslizamientos se parte en una serie de capas verticales estudiándose el equilibrio de cada una de ellas. A partir de la Figura 1 obtenida por Omar Castro Abril y Alexander Vesga Tavera, se muestra las fuerzas actuantes sobre una capa vertical.



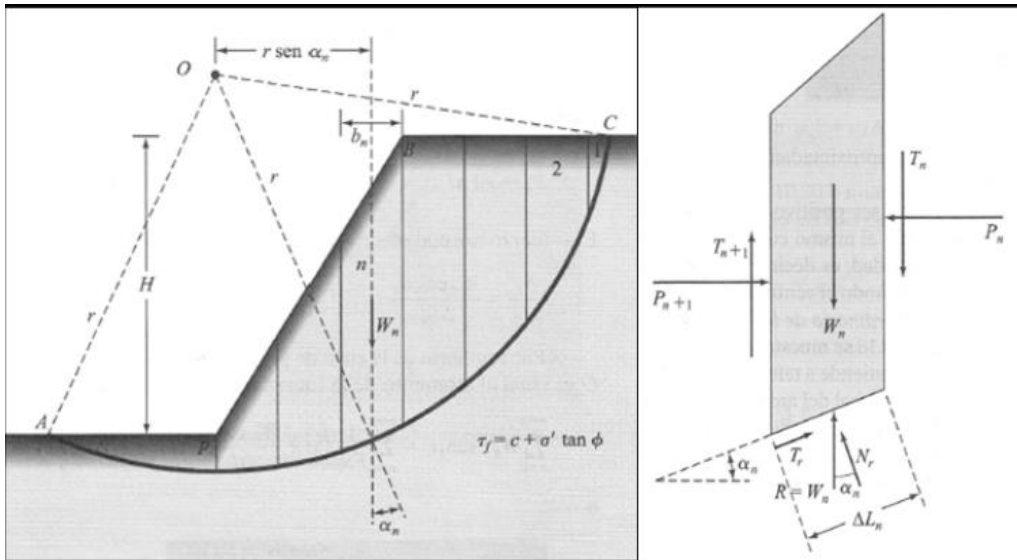


Figura 1. Fuerzas actuantes sobre una capa vertical n (Fuente: Slideplayer. Estabilidad de taludes)

En todas estas simulaciones se considerará una sobrecarga en coronación del talud de 20 kN/m<sup>2</sup> debido al tránsito de maquinaria de obra alrededor de la excavación, la cual es imprescindible.

La primera situación planteada corresponde a la excavación en talud vertical (Figura 2), tratándose de la posibilidad más económica a la par de menos contaminante. El factor de seguridad obtenido es de 0,853, lo que refleja que realizándose la excavación en talud vertical se producen deslizamientos. En la parte más superficial de del talud existe una alta posibilidad de producirse una rotura parcial del terreno.

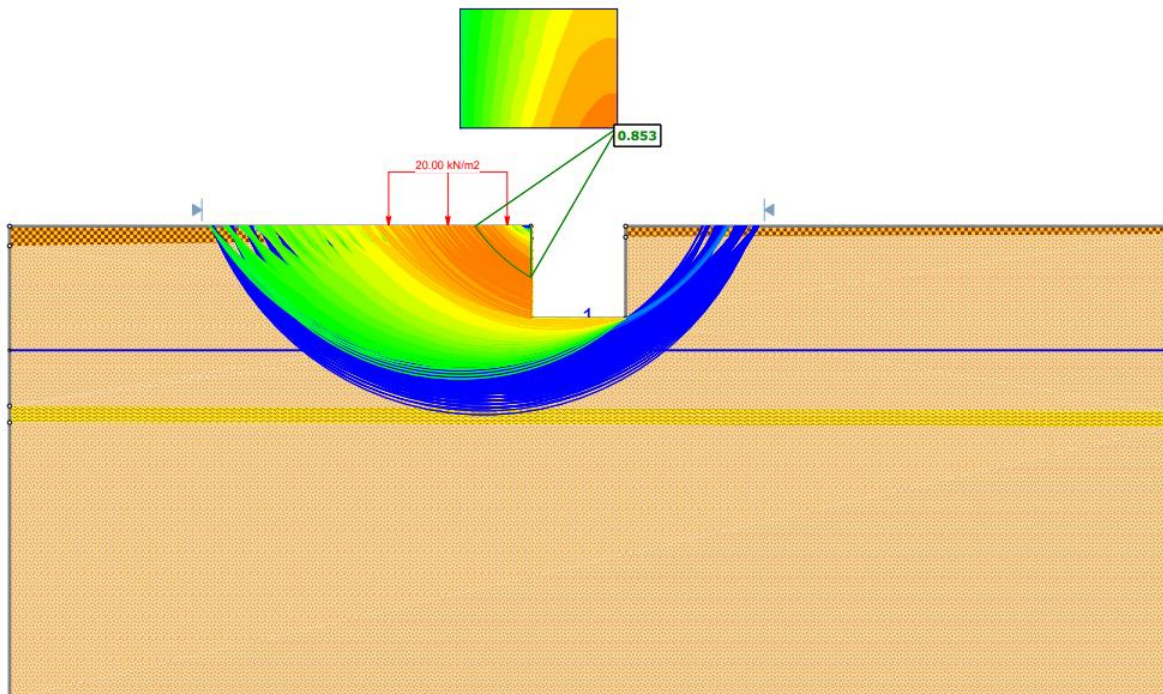


Figura 2. Gráfica de la excavación con talud vertical mediante Bishop simplificado (Fuente: Software Slide 2)

La segunda situación a analizar es la excavación a realizar con un talud 1H:2V (Figura 3). El factor de seguridad obtenido es 0,931, a pesar de producirse una leve mejora, es despreciable del lado

de la seguridad, puesto que aún se encuentra alejado de 1,5, por lo que, el talud 1H:2V se considera inestable puesto que también se producirá posiblemente una rotura parcial del talud.

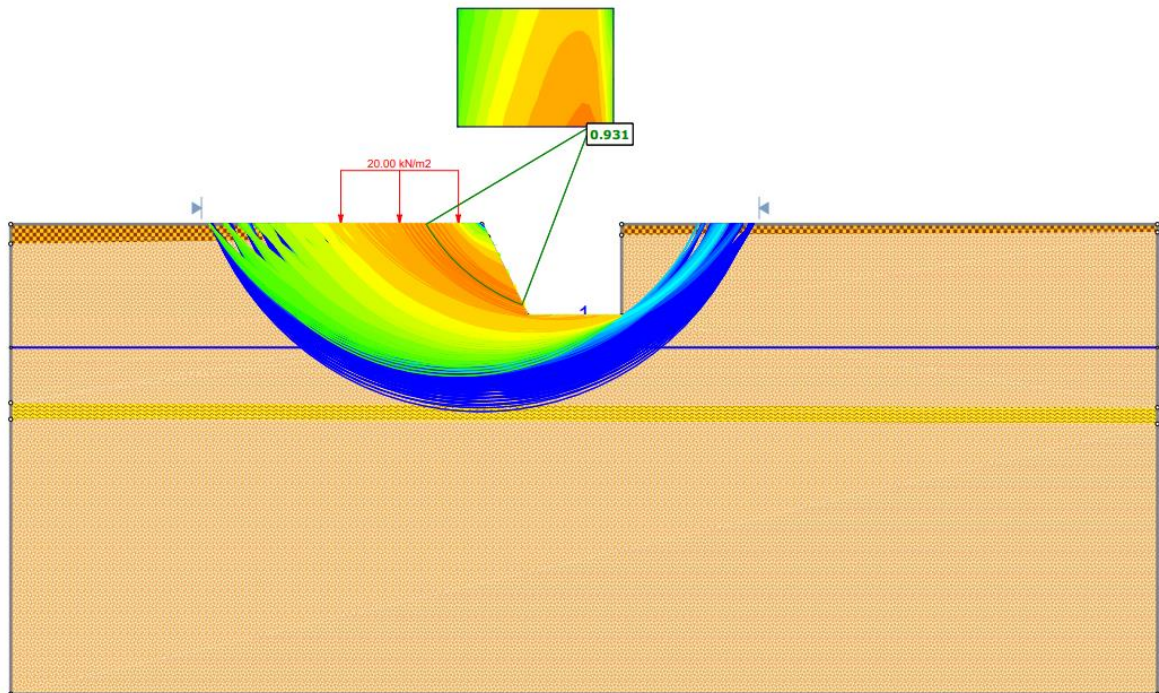


Figura 3. Gráfica de la excavación con talud 1H:2V mediante Bishop simplificado (Fuente: Software Slide 2)

La tercera y última situación a analizar corresponde a la excavación en talud 1H:1V (Figura 4). El factor de seguridad obtenido es 1,176, lo que indica que el talud 1H:1V es inestable ya que se seguirá produciendo una rotura parcial del talud.

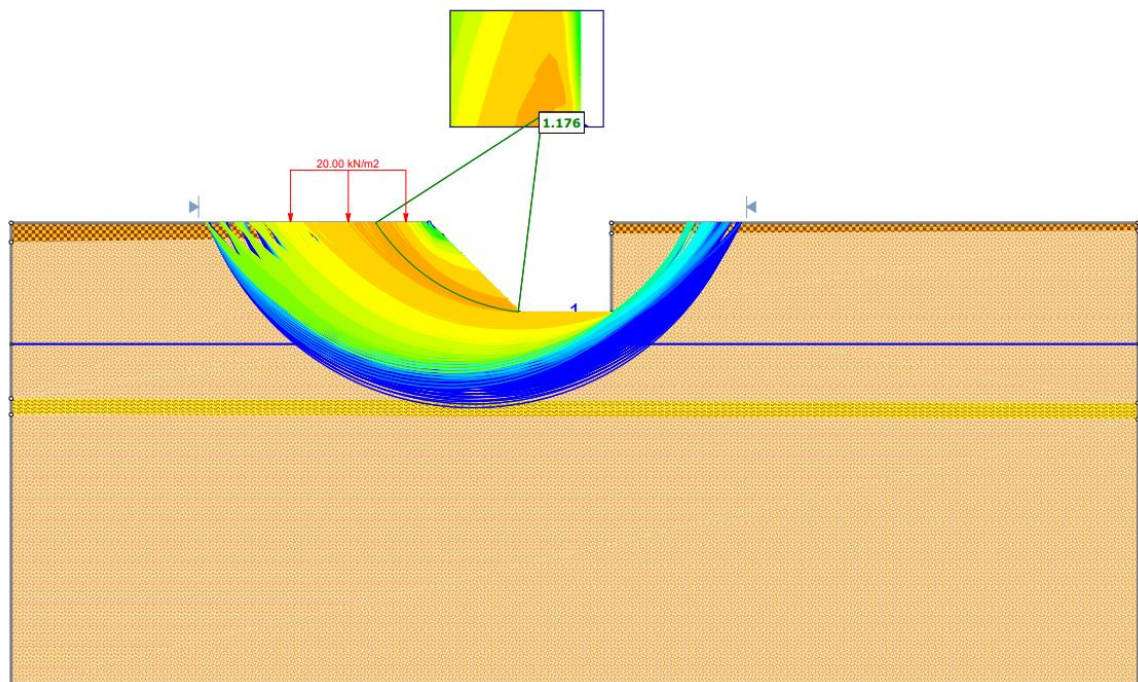


Figura 4. Gráfica de la excavación con talud 1H:1V mediante Bishop simplificado (Fuente: Software Slide 2)

En función de los resultados obtenidos se comprueba que es inviable la excavación a cielo abierto sin sistemas de contención puesto que se tendrían que realizar excavaciones de grandes dimensiones para lograr el talud necesario, lo que conlleva un mayor coste por el tiempo de uso de la maquinaria y la parcela y una gran afección al medioambiente.

Para finalizar la explicación, se ha de mencionar que la razón por la que el terreno no aguanta lo suficiente como para poder llevarse a cabo la excavación a cielo abierto es porque el terreno a excavar está conformado mayoritariamente por limos arenosos de muy baja cohesión, lo cual dificulta considerablemente la estabilidad de los taludes frente a excavaciones.

### 3. Tablestacado

Desde el punto de vista estructural, como se ha podido comprobar en el apartado previo, al no poderse realizar la excavación mediante estabilidad de taludes, se recurre al empleo de tablestacas ya que se ve innecesario el empleo de muros pantalla debido a su encarecimiento. Las tablestacas consisten en perfiles laminados de acero, que con un tipo de ensamblaje particular se consigue la formación de paredes onduladas. Estos elementos contienen una gran resistencia a flexión además de una gran versatilidad.

Para la obtención de la longitud necesaria del tablestacado se recurrirá al cálculo de empujes mediante la teoría de Rankine. En la Figura 5 se observa el perfil estratigráfico con la tablestaca hincada en el terreno, en función de la profundidad 'd', y las cotas relativas de cada estrato respecto a la superficie.

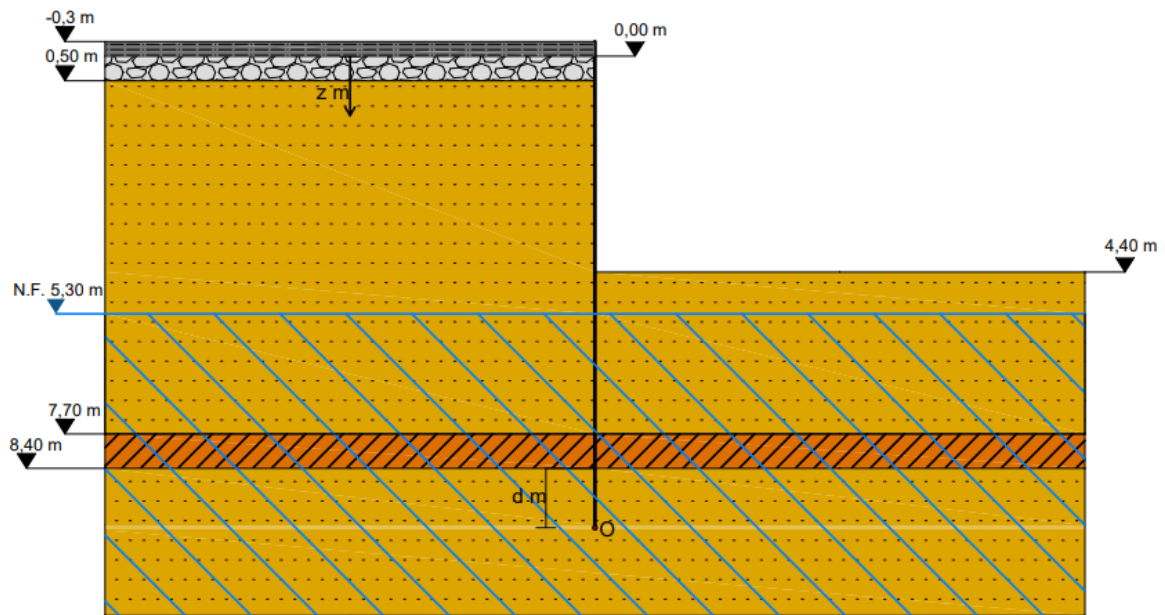


Figura 5. Perfil estratigráfico con tablestaca hincada en función de 'd' (Fuente: elaboración propia AutoCAD)

#### 3.1. Cálculo de empujes

El objeto del presente apartado consiste en la obtención tanto de los empujes activos como los pasivos del terreno, para que, haciendo posteriormente equilibrio de momentos, obtener la longitud de empotramiento.

En este caso en concreto, los empujes a tener en cuenta son el empuje activo, en el cual el muro “se desplaza” y el terreno “se comprime” y el empuje pasivo donde el muro “se desplaza” y el terreno “se comprime”.

A continuación, se expone una tabla donde se refleja todos y cada uno de los parámetros necesarios para la obtención de los empujes en los diferentes estratos

PAQUETE DE FIRMES			
$\gamma$ (KN/m <sup>3</sup> )		22	
NIVEL 0: RELLENOS Y TIERRA VEGETAL			
$\gamma$ (KN/m <sup>3</sup> )	16	$K_a$	0,422
$c'$ (KN/m <sup>2</sup> )	0	$K_p$	2,371
$\phi'$ (°)	24	$K_o$	0,593
NIVEL 1: LIMOS ARENOSOS			
$\gamma$ (KN/m <sup>3</sup> )	17,5	$K_a$	0,422
$c'$ (KN/m <sup>2</sup> )	6	$K_p$	2,371
$\phi'$ (°)	24	$K_o$	0,593
NIVEL 2: ARENAS DE GRANO FINO			
$\gamma$ (KN/m <sup>3</sup> )	17	$K_a$	0,333
$c'$ (KN/m <sup>2</sup> )	0	$K_p$	3,000
$\phi'$ (°)	30	$K_o$	0,500
NIVEL 3: LIMOS ARENOSOS			
$\gamma$ (KN/m <sup>3</sup> )	17,5	$K_a$	0,422
$c'$ (KN/m <sup>2</sup> )	10	$K_p$	2,371
$\phi'$ (°)	24	$K_o$	0,593

Tabla 1. Valores representativos para cálculo de tablestaca (Fuente: elaboración propia)

En la anterior tabla, se puede observar valores como el peso específico seco ( $\gamma$ ), la cohesión efectiva ( $c'$ ) y el ángulo de rozamiento efectivo ( $\phi'$ ). Por otra parte, se pueden apreciar en la columna en la parte derecha los valores de los coeficientes de empuje activo, pasivo y en reposo, los cuales se han obtenido a partir del ángulo de rozamiento del propio nivel. Como ya se ha mencionado previamente, se va a calcular los empujes con la teoría de Rankine, por lo tanto, los coeficientes de empuje se han calculado con las siguientes ecuaciones:

$$K_a = \frac{1 - \sin\phi'}{1 + \sin\phi'} \quad K_p = \frac{1 + \sin\phi'}{1 - \sin\phi'} \quad K_o = 1 - \sin\phi'$$

Para el cálculo de empujes, se han calculado directamente las presiones efectivas, puesto que al encontrarse el N.F. por debajo de la zona a excavar, los empujes producidos por el agua son iguales a ambos lados, por lo que se anulan entre sí, por lo que no será preciso realizar los cálculos con presiones totales ni calcular las presiones intersticiales debido a que no influye en el cálculo de la tablestaca. Posteriormente se han calculado los empujes horizontales con las siguientes ecuaciones:

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

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

Las ecuaciones mostradas se emplearán en función de si se calcula el empuje activo o pasivo. A continuación, se muestran los valores más representativos del empuje activo.

		$\sigma'_v$ (KN/m <sup>2</sup> )	$e_a'$ (KN/m <sup>2</sup> )
PAQUETE DE FIRMES	z=-0,3 m	20,00	0,00
	z=0 m	26,60	0,00
NIVEL 0	z=0 m	26,60	11,22
	z=0,5m	34,60	14,59
NIVEL 1	z=0,5m	34,60	6,80
	z=7,7 m	160,60	59,94
NIVEL 2	z=7,7 m	160,60	53,53
	z=8,4 m	172,50	57,50
NIVEL 3	z=8,4 m	172,50	59,76
	z=8,4+d m	172,5+17,5·d	7,385·d+59,803

Tabla 2. Valores representativos empujes activos sobre tablestaca (Fuente: elaboración propia)

Como se puede ver, se han realizado los cálculos en la situación más desfavorable considerando la sobrecarga de 20 KN/m<sup>2</sup> por el paso de vehículos. En la siguiente figura se muestra la distribución de empujes unitarios efectivos.

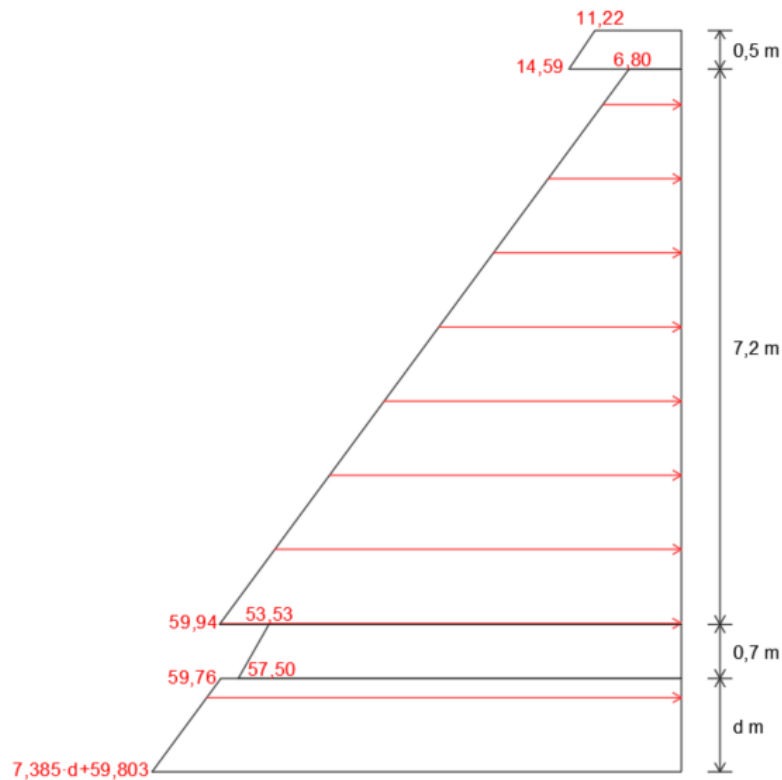


Figura 6. Distribución de empujes unitarios efectivos activos en KN/m<sup>2</sup> (Fuente: elaboración propia mediante AutoCAD)

Ahora se reflejará la tabla correspondiente a los empujes activos sobre la tablestaca ( $E_a'$ ), los cuales se pueden ver reflejados en la Figura 7.

	$E_a'$ (KN/m)
$E_{a1}'$	5,61
$E_{a2}'$	0,84
$E_{a3}'$	48,95
$E_{a4}'$	191,30
$E_{a5}'$	37,47
$E_{a6}'$	1,39
$E_{a7}'$	$59,76 \cdot d$
$E_{a8}'$	$3,6925 \cdot d^2 + 0,0213 \cdot d$
$E_a'$ TOTAL	<b><math>3,6925 \cdot d^2 + 59,781 \cdot d + 285,563</math></b>

Tabla 3. Empujes activos del terreno sobre tablestaca (Fuente: elaboración propia mediante Excel)

En la siguiente figura se ven reflejados los empujes activos del terreno sobre la tablestaca:

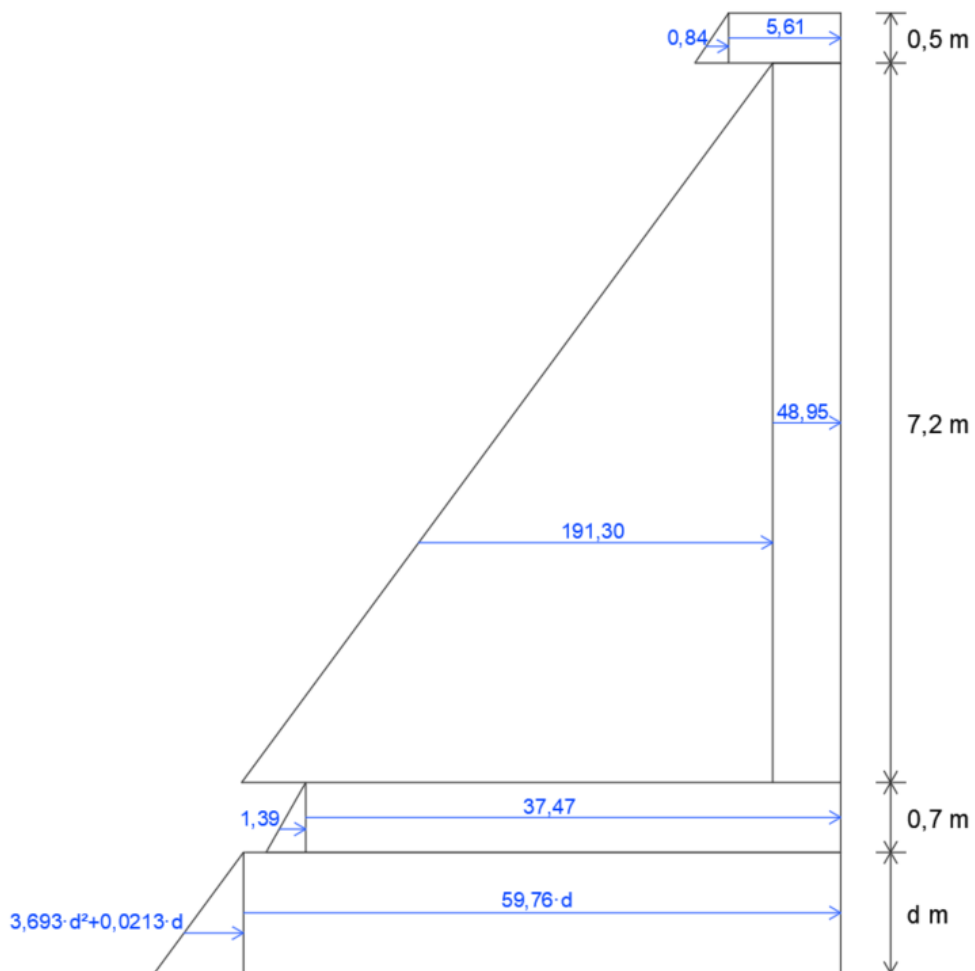


Figura 7. Distribución de empujes efectivos activos en KN/m (Fuente: AutoCAD 2022)

Por otro lado, se muestran los valores más representativos del empuje pasivo.

Diseño geotécnico de un paso inferior peatonal en el PK 18+280 de la C-12 en Tortosa (Tarragona)

		$\sigma'_v$ (KN/m <sup>2</sup> )	$e'_p$ (KN/m <sup>2</sup> )
NIVEL 1	z=4,4 m	0,00	18,48
	z=7,7 m	57,75	155,41
NIVEL 2	z=7,7 m	57,75	173,25
	z=8,4 m	69,65	208,95
NIVEL 3	z=8,4 m	69,65	195,95
	z=8,4+d m	69,65+17,5·d	41,493·d+195,936

Tabla 4. Resultantes empujes pasivos del terreno sobre tablestaca (Fuente: elaboración propia)

En la siguiente figura se ve reflejado la distribución de empujes pasivos unitarios producidos.

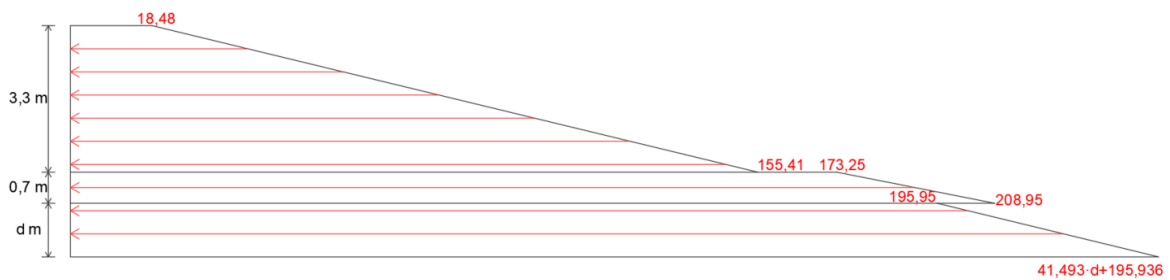


Figura 8. Distribución de empujes unitarios efectivos pasivos en KN/m<sup>2</sup> (Fuente: elaboración propia mediante AutoCAD)

Ahora se reflejará la tabla correspondiente a los empujes pasivos sobre la tablestaca ( $E_p'$ ), los cuales se pueden ver reflejados en la Figura 9.

	$E_p'$ (KN/m)
$E_{p1}'$	60,98
$E_{p2}'$	225,94
$E_{p3}'$	121,28
$E_{p4}'$	12,50
$E_{p5}'$	195,95·d
$E_{p6}'$	20,746·d <sup>2</sup> -0,0069·d
$E_a'$ TOTAL	<b>20,746·d<sup>2</sup>+195,943·d+420,693</b>

Tabla 5. Empujes pasivos del terreno sobre tablestaca (Fuente: elaboración propia)

En la siguiente figura se ven reflejados los empujes activos del terreno sobre la tablestaca:

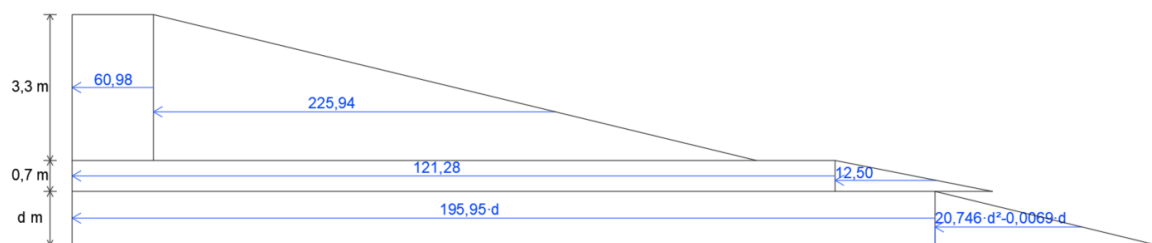


Figura 9. Distribución de empujes efectivos pasivos en KN/m (Fuente: AutoCAD 2022)

### 3.2. Dimensionamiento de las tablestacas

Para el dimensionamiento de la longitud de la tablestaca se recurrirá al método de BLUME, el cual plantea el problema como un modelo isostático donde se busca la igualdad de empujes en función del empotramiento de la tablestaca. Por lo tanto, se plantearán equilibrio de momentos respecto a la base de la tablestaca (O), dicho punto se puede observar en la figura 5.

Por consiguiente, se calcularán la resultante de los empujes tanto activos como pasivos acompañados de la distancia a sus puntos de aplicación. En las tablas 6 y 7 se observan los resultados obtenidos.

$E_a'$ (KN/m)		$X_{ai}$ (m)		Resultante empuje activo (KN·m/m)	
$E_{a1}'$	5,609	$X_{a1}$	d+7,95	$E_{a1}' \cdot X_{a1}$	5,609·d+44,592
$E_{a2}'$	0,843	$X_{a2}$	d+7,867	$E_{a2}' \cdot X_{a2}$	0,843·d+6,632
$E_{a3}'$	48,953	$X_{a3}$	d+4,3	$E_{a3}' \cdot X_{a3}$	48,953·d+210,498
$E_{a4}'$	191,297	$X_{a4}$	d+3,1	$E_{a4}' \cdot X_{a4}$	191,297·d+593,021
$E_{a5}'$	37,473	$X_{a5}$	d+0,35	$E_{a5}' \cdot X_{a5}$	37,473·d+13,116
$E_{a6}'$	1,388	$X_{a6}$	d+0,233	$E_{a6}' \cdot X_{a6}$	1,388·d+0,323
$E_{a7}'$	59,76·d	$X_{a7}$	d/2	$E_{a7}' \cdot X_{a7}$	29,88·d <sup>2</sup>
$E_{a8}'$	3,6925·d <sup>2</sup> +0,0213·d	$X_{a8}$	d/3	$E_{a8}' \cdot X_{a8}$	1,231·d <sup>3</sup> +0,0071·d <sup>2</sup>
$E_{a'TOTAL} \cdot X_{Ea'TOTAL}$			<b>1,231·d<sup>3</sup>+29,887·d<sup>2</sup>+285,563·d+868,181</b>		

Tabla 6. Resultante de empujes activos (Fuente: elaboración propia)

$E_p'$ (KN/m)		$X_{pi}$ (m)		Resultante empuje pasivo (KN·m/m)	
$E_{p1}'$	60,979	$X_{p1}$	d+2,35	$E_{p1}' \cdot X_{p1}$	60,979·d+143,301
$E_{p2}'$	225,944	$X_{p2}$	d+1,8	$E_{p2}' \cdot X_{p2}$	225,944·d+406,669
$E_{p3}'$	121,275	$X_{p3}$	d+0,35	$E_{p3}' \cdot X_{p3}$	121,275·d+42,446
$E_{p4}'$	12,495	$X_{p4}$	d+0,233	$E_{p4}' \cdot X_{p4}$	12,495·d+2,911
$E_{p5}'$	195,95·d	$X_{p5}$	d/2	$E_{p5}' \cdot X_{p5}$	97,975·d <sup>2</sup>
$E_{p6}'$	20,7463·d <sup>2</sup> -0,00685·d	$X_{p6}$	d/3	$E_{p6}' \cdot X_{p6}$	6,915·d <sup>3</sup> -0,00283·d <sup>2</sup>
$E_{p'TOTAL} \cdot X_{Ep'TOTAL}$			<b>6,915·d<sup>3</sup>+97,973·d<sup>2</sup>+420,693·d+595,357</b>		

Tabla 7. Resultante de empujes pasivos (Fuente: elaboración propia)

Tras realizar el cálculo de las resultantes de empujes activos y pasivos, se procede a igualar ambas partes. De esta forma, se consigue que la pantalla de tablestacas no vuelque y, obteniéndose de esta manera la profundidad 'd', necesaria para conseguir la longitud de empotramiento de la tablestaca.

$$\begin{aligned}
 1,231 \cdot d^3 + 29,887 \cdot d^2 + 285,563 \cdot d + 868,181 &= \\
 = 6,915 \cdot d^3 + 97,973 \cdot d^2 + 420,693 \cdot d + 595,357 & \\
 d = 1,21 \text{ m} &
 \end{aligned}$$

Por lo tanto, este valor de 'd' afirma que la longitud de empotramiento sobrepasa el estrato de arenas de grano fino (nivel 2) llegando al estrato de limos arenosos (nivel 3). Al encontrarse el N.F. por debajo de la profundidad a excavar, no se producirá sifonamiento y, por otra parte, al estar conformado el suelo en cuestión en gran parte por estratos de gran potencia de limos arenosos, no habrá riesgo de levantamiento de fondo.



Para la obtención de la longitud total de la tablestaca se tienen en cuenta los siguientes criterios:

- Longitud en voladizo= 4,4 m.
- El espesor del paquete de firmes= 0,3 m
- Longitud de empotramiento=  $4+d= 5,21$  m.
- Del lado de la seguridad, se incrementa el empotramiento calculado en un 20%, por lo tanto, tomando una longitud de 6,25 m.
- Para facilitar la retirada de las tablestacas una vez colocado el cajón de hormigón, se tomará un valor adicional de las tablestacas de 0,5 m sobresaliendo por encima de la superficie del terreno.

Por lo tanto, la longitud de la tablestaca es:

$$L_{Tablestaca} = 5,21 \text{ m} + 6,25 \text{ m} + 0,5 \text{ m} + 0,3 \text{ m} = 12,26 \text{ m} \approx 13 \text{ m}$$

## 4. Conclusiones

En el presente anejo se han estudiado las alternativas para llevar a cabo la excavación hasta la profundidad deseada sin llegar a producirse deslizamientos del terreno, excesivas contaminaciones medioambientales, buscándose la solución más efectiva.

Con ayuda del software SLIDE 2 (Rocscience), basándose en el método simplificado de Bishop, se ha podido comprobar que, llevando a cabo la excavación del terreno sin sistemas de contención, ya sea en talud vertical, como 1H:2V o 1H:1V existen altas probabilidades de producirse deslizamientos de tierras debido a que no poseen un factor de seguridad apto.

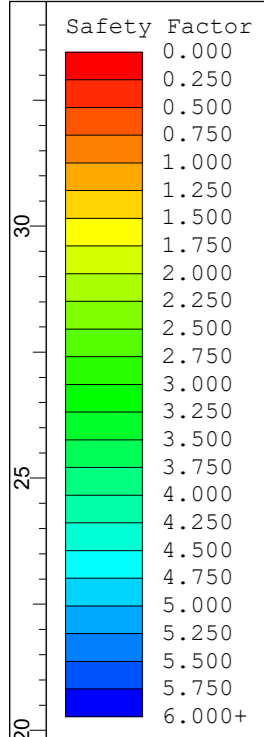
Por lo tanto, para evitar dicha inestabilidad, se debería excavar con un talud más tendido, suponiendo una sobreexcavación que derive unos niveles mayores de contaminación, una mayor ocupación respecto a la necesaria y un aumento en los plazos de ejecución de la construcción. Así pues, se recurre al empleo de sistemas de contención como el tablestacado

Para el dimensionamiento de las tablestacas se ha recurrido al método de Blume, obteniéndose una longitud de 13 m, apoyadas en el estrato respectivo al nivel 3 (limos arenosos) a la cota de 12,8 m, teniendo en cuenta los 0,5 m que se dejan para retirar la tablestaca tras realizar la construcción del cajón y los 0,3 m correspondientes al paquete de firmes.

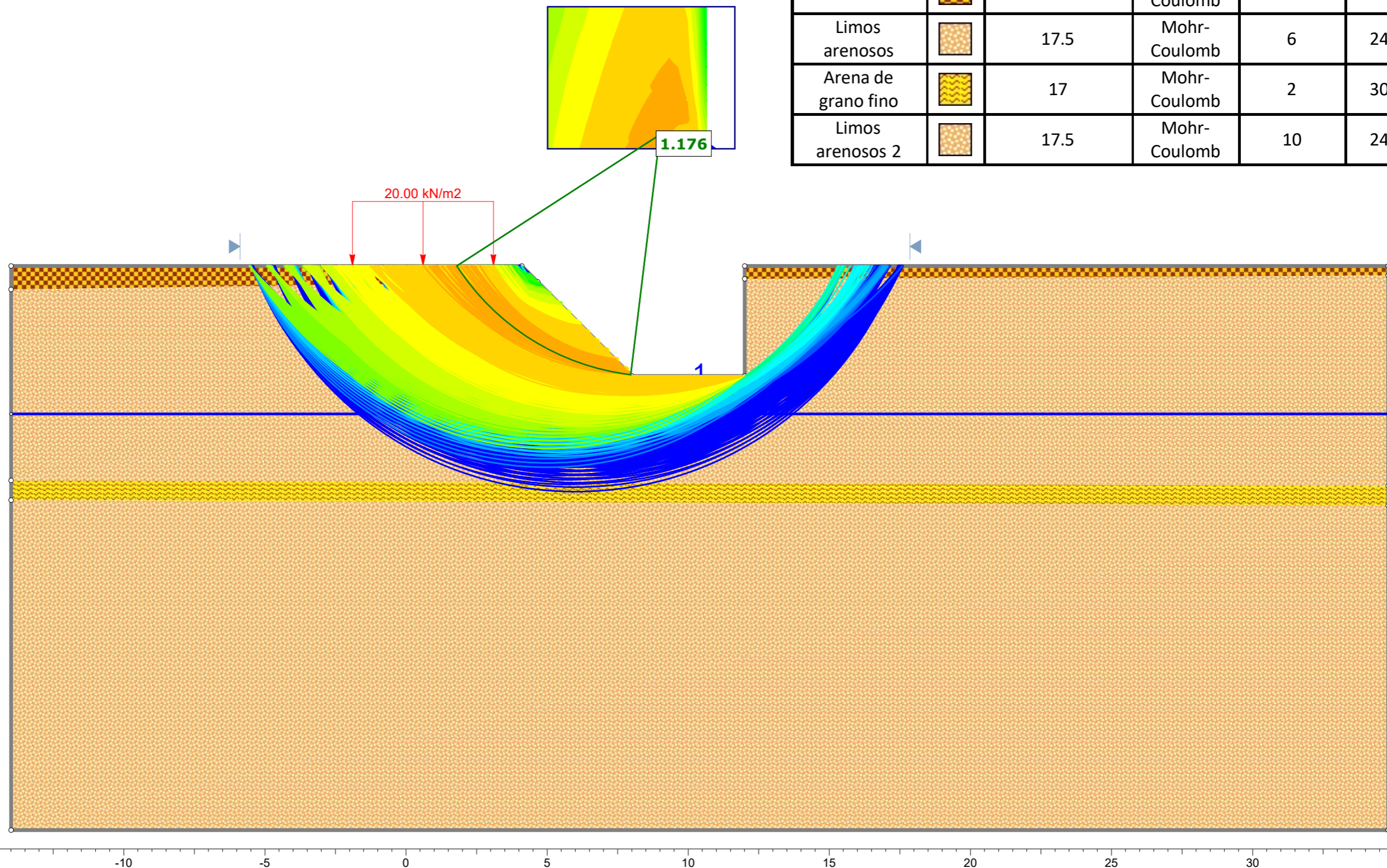
No existe la posibilidad de inestabilidad hidráulica ya que el N.F. se encuentra por debajo de la cota de excavación, por otra parte, tampoco existe la posibilidad de levantamiento de fondo puesto que el terreno está conformado mayoritariamente por estratos limosos.

**Apéndice: Gráficos de salida. SLIDE 2 (ROCSCIENCE)**

# TALUD 1H:1V



Material Name	Color	Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (deg)
Tierra vegetal		16	Mohr-Coulomb	2	24
Limos arenosos		17.5	Mohr-Coulomb	6	24
Arena de grano fino		17	Mohr-Coulomb	2	30
Limos arenosos 2		17.5	Mohr-Coulomb	10	24



SLIDEINTERPRET 9.022

Trabajo Fin de Grado

## Diseño geotécnico de un paso inferior peatonal en el PK 18+280 de la C-12 en Tortosa (Tarragona)

Localización

Tortosa

Curso

2021-2022

Análisis

Estabilidad de taludes

Escala

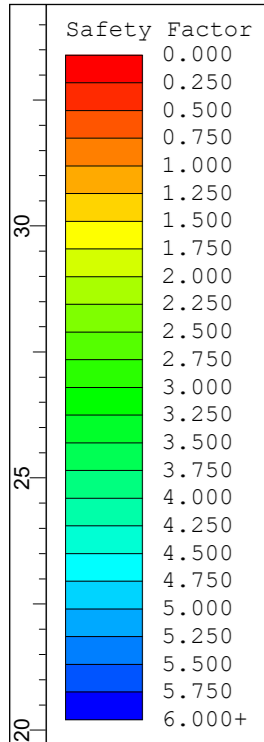
1/150

Fecha

24/07/2022

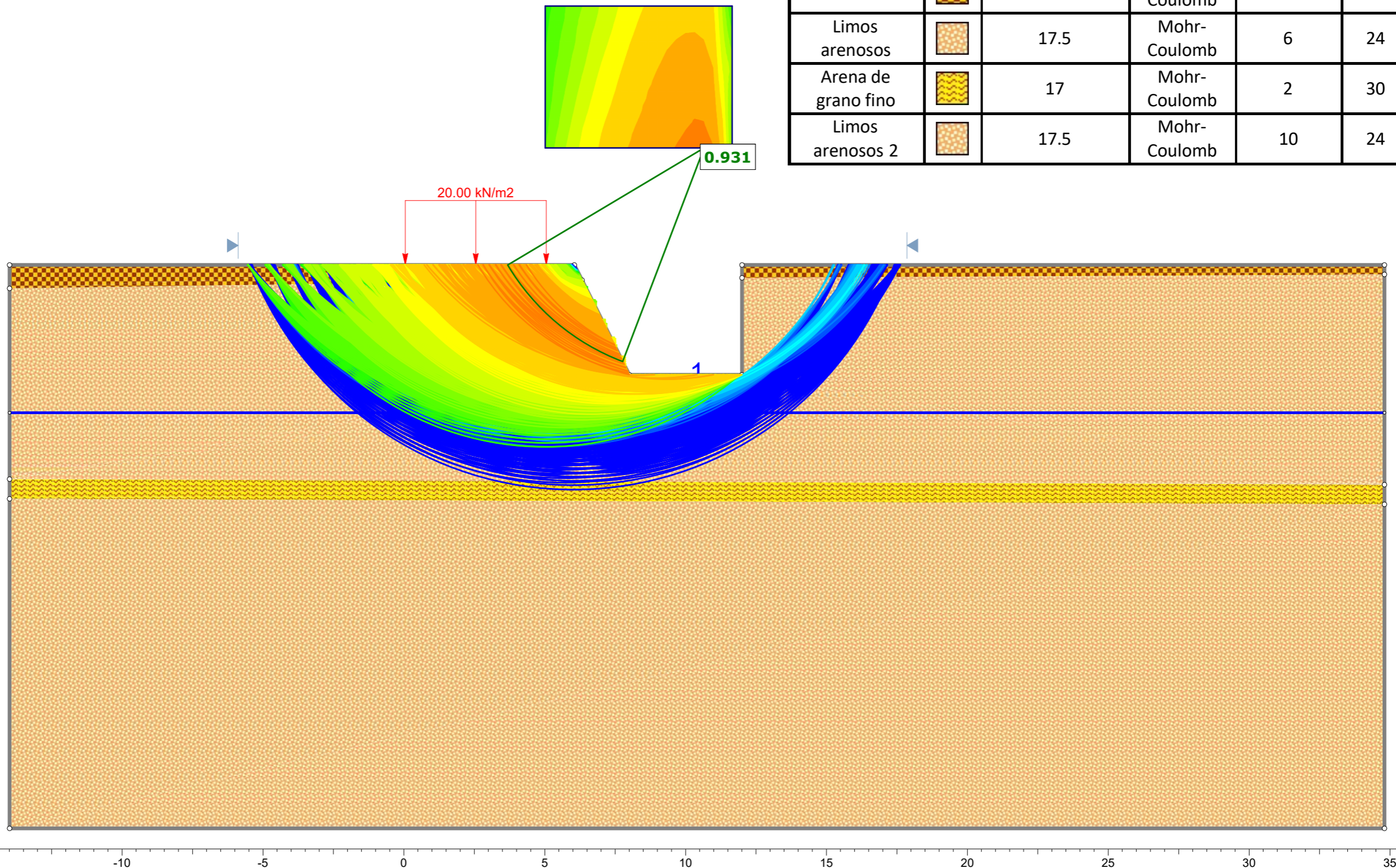
Fichero

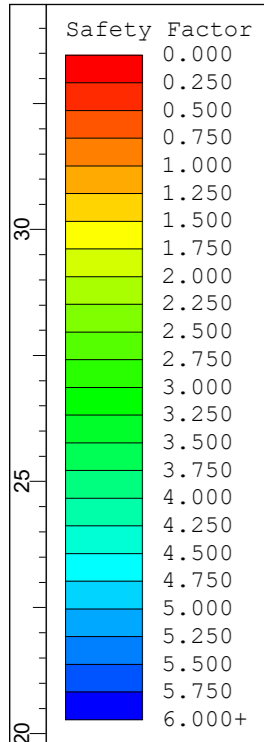
Caso 3. Talud 1H:1V



TALUD 1H:2V

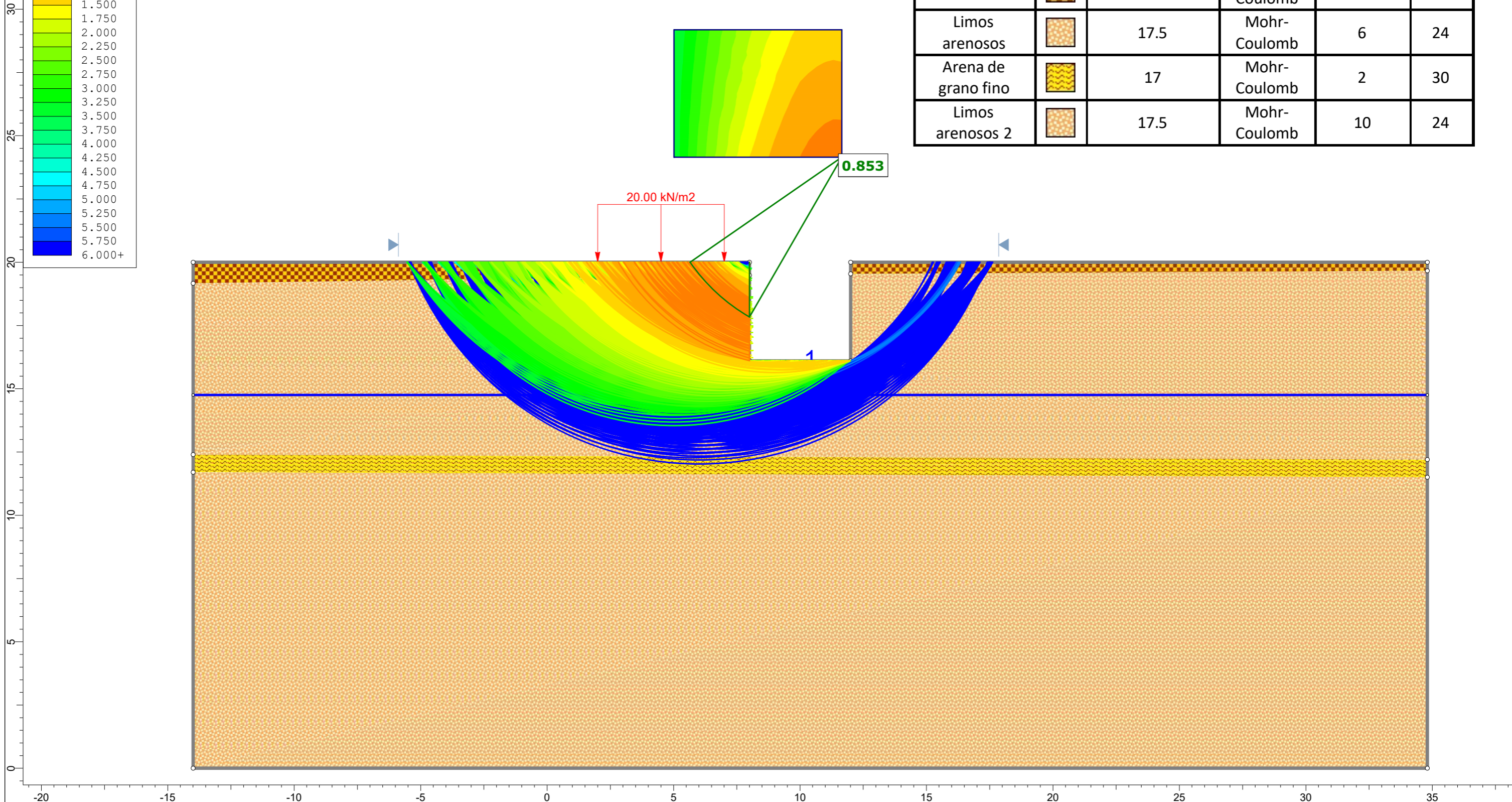
Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (deg)
Tierra vegetal		16	Mohr-Coulomb	2	24
Limos arenosos		17.5	Mohr-Coulomb	6	24
Arena de grano fino		17	Mohr-Coulomb	2	30
Limos arenosos 2		17.5	Mohr-Coulomb	10	24





# TALUD VERTICAL

Material Name	Color	Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (deg)
Tierra vegetal		16	Mohr-Coulomb	2	24
Limos arenosos		17.5	Mohr-Coulomb	6	24
Arena de grano fino		17	Mohr-Coulomb	2	30
Limos arenosos 2		17.5	Mohr-Coulomb	10	24



## **Anejo nº4: Comprobaciones técnicas**

# Índice

## 1. Introducción

## 2. Normativa

## 3. Dimensionamiento del cajón

## 4. Bases de cálculo

### 4.1. Acciones permanentes

### 4.2. Acciones variables

### 4.3. Acciones accidentales

## 5. Parámetros geomecánicos de los estratos

## 6. Presiones transmitidas del terreno

### 6.1. Deformaciones en el terreno

#### 6.1.1. Situación normal

#### 6.1.2. Situación accidental

## 7. Empujes sobre los muros

### 7.1. Método de cálculo

### 7.2. Empujes activos

### 7.3. Empujes en reposo

### 7.4. Comprobaciones a realizar

## 8. Conclusiones

## 1. Introducción

El objeto de este anejo consiste en la explicación del procedimiento a seguir para el diseño geotécnico del cajón de hormigón armado que formará el paso inferior de carretera en cuestión. También se analizarán las acciones ejercidas a la estructura, así como las ejercidas al terreno de cimentación.

En primer lugar, se propondrá un dimensionamiento del cajón, del cual se realizarán las comprobaciones correspondientes, consiguiendo de esta manera, obtener la a adoptar para el diseño del paso inferior.

Por otra parte, es importante mencionar que en el presente anejo no se entrará en detalle en el estudio de los esfuerzos internos del hormigón y armaduras, puesto que este TFG se centra en el diseño geotécnico de un paso inferior de carretera. No obstante, se expondrán los métodos de cálculo relacionados a los esfuerzos transmitidos al hormigón por parte del terreno y aquellos esfuerzos transmitidos al cajón y elementos de la carretera al terreno.

## 2. Normativa

Para la redacción de este anejo, se ha recurrido al uso de las siguientes normas:

- Guía de cimentaciones en obras de carretera (GFOC, 2009). Ministerio de Fomento, Secretaría de Estado de Planificación e Infraestructuras. Dirección General de Carreteras.
- Orden TMA/851/2021, de 23 de julio, por la que se desarrolla el documento técnico de condiciones básicas de accesibilidad y no discriminación para el acceso y la utilización de los espacios públicos urbanizados. I. Disposiciones generales. Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. BOE-A-2021-13488.
- “Colección de pequeñas obras de paso: Obras de paso de carreteras” del ministerio de Obras públicas y Urbanismo.

## 3. Dimensionamiento del cajón

En el presente punto, se plantea el dimensionamiento de la geometría del cajón, para ello, se tendrá en cuenta unas consideraciones previas para el establecimiento de las dimensiones definitivas. Teniéndose que comprobar su evolución respecto a la carga transmitida al terreno en función de las medidas.

Para el dimensionamiento del cajón se ha recurrido a la ayuda de las Disposiciones Generales, presente en el BOE-A-2021-13488, donde se “desarrolla el documento técnico de condiciones básicas de accesibilidad y no discriminación para el acceso y la utilización de los espacios públicos urbanizados”, en el cual se marca las dimensiones mínimas que ha de tener el cajón, el gálibo, etc.

Además, se ha empleado la guía “Colección de pequeñas obras de paso: Obras de paso de carreteras” del ministerio de Obras públicas y Urbanismo. En esta guía se muestra una recopilación de obras de paso de carreteras en la que se detallan las características de los marcos de hormigón además de las dimensiones de luz y gálibo vertical para los diversos tipos de marco.



Es importante mencionar que, previamente al comienzo del análisis de los tipos de marcos, se han tenido en cuenta como consideraciones son el terreno de cimentación, el N.F. y el terreno adyacente a los muros.

Los tipos de marco visibles en la guía que cumplen la norma con relación al gálibo y anchura son los marcos tipo 4,5 y 6. Cabe destacar que, en función del tipo de marco, los espesores de muros, losas de cimentación y de cubrición irán variando.

En primer lugar, se caracteriza las propiedades del terreno adyacente a los muros, donde predomina principalmente los limos arenosos (cuyos parámetros geotécnicos se encuentran visibles en el apartado 5), por lo que, siguiendo la tabla 2.8 de la guía, se considera un terreno tipo T3. La razón por la que se ha considerado éste, es debido a que presenta ciertas similitudes con el Nivel 1 (limos arenosos) contando con un peso específico aparente de  $19 \text{ KN/m}^3$ , un módulo de deformabilidad de  $7 \text{ MPa}$  y un ángulo de rozamiento interno de  $24^\circ$  mientras que el terreno tipo T3 presenta un peso específico aparente de  $18 \text{ KN/m}^3$ , un módulo de deformabilidad de  $30 \text{ MPa}$  y un ángulo de rozamiento interno de  $24^\circ$ . El terreno tipo T3 se corresponde con un terreno de baja plasticidad, por lo que concuerda con el terreno existente, el cual presenta una baja plasticidad.

A continuación, se ha caracterizado el terreno de cimentación (Nivel 1), el cual va a actuar como un terreno tipo C-4 siguiendo la tabla 2.11 de la guía, ya que, como se ha mencionado previamente, se considera un marco rígido. El nivel presenta un módulo de deformabilidad de  $7 \text{ MPa}$ , un coeficiente de Poisson de  $0,35$ , un ángulo de rozamiento interno de  $24^\circ$  y una tensión admisible de  $100 \text{ KPa}$  mientras que, el terreno tipo C-4a presenta un módulo de deformabilidad de entre  $10$  y  $30 \text{ MPa}$ , un coeficiente de Poisson de entre  $0,35$  y  $0,4$ , un ángulo de rozamiento interno de  $25^\circ$  y una tensión admisible de  $350 \text{ KPa}$ , ya que se trata de una estructura cerrada en seco, ya que no le afecta el N.F., como se verá posteriormente.

Teniendo en cuenta que se trata de un marco, siguiendo la tabla 2.12 se adopta como índice de terreno 5.

A continuación, para el tipo de instalación se ha considerado que la estructura va a estar ubicada bajo el plano de terreno natural, por lo tanto, se ha adoptado como instalación de tipo 2.

Con todo lo expuesto previamente, se empieza a comparar las características de los tres tipos de marcos seleccionados además de comprobar cuales serían los esfuerzos que transmitirían al terreno. Por lo que señalará las acciones que efectuará el propio cajón y la sobrecarga debida al paso de vehículos (descrita en el apartado 4).

En la Tabla 1 se indican las características geométricas de los marcos tipos escogidos de la colección de obras de paso:

	LUZ (m)	GÁLIBO (m)	ESPESORES (m)		
			LOSA DE CIMENTCIÓN	MUROS	LOSA DE CUBRICIÓN
MARCO 4	3	2,5	0,4	0,35	0,4
MARCO 5	4	2,5	0,35	0,25	0,45
MARCO 6	4	3,5	0,35	0,3	0,5

Tabla 1. Características de los marcos tipos (Fuente: Colección de pequeñas obras de paso)

Una vez especificadas las dimensiones de los marcos que más se asemejan a las necesidades que engloba el paso inferior, puede realizarse una comparación entre ellos para terminar de definir las medidas previas del cajón.

Teniendo en cuenta que su uso se centra en servir de paso por debajo de la calzada correspondiente a la C-12, se debería adoptar un gálibo entre 3 y 3,5, puesto que 2,5 se considera escaso teniendo en cuenta la instalación de luminarias y demás elementos, lo cual podría generar que la altura libre fuese inferior a 2,2 m, lo cual no se puede permitir puesto que está regulado según normativa, por otra, en caso de que el gálibo fuese de 3,5 m existiría el inconveniente que la excavación se realizaría en presencia del N.F., lo cual puede encarecer considerablemente los costes de las obras, por lo tanto se considerará una un gálibo de 3 m, de forma que no haya problemas ni con la presencia de agua ni por parte de incumplimiento de la normativa.

En cuanto a la luz, se considera que 3 m es poco, pudiendo llegar a generar en el peatón la sensación de estrechez, por lo que se adopta una luz de 4 m.

Y, por último, se describen los espesores de losas y muros. En relación a la losa de cimentación, se considera buena opción adoptar un valor de 0,4 m, mientras que, para la losa de cubrición, se prefiere adoptar un espesor de 0,5 m, puesto que al tener que resistir el paso de los vehículos, requiere de una mayor cantidad de armado y un mayor espesor para resistir mejor ante esfuerzos de flexión. Y, por otro lado, el espesor de los muros podría ser de 0,35 m, pero en este caso se prefiere adoptar un espesor de 0,4 m debido a que la longitud del paso inferior es de 15 m, por lo que 0,35 se considera demasiado justo.

En la siguiente figura se puede apreciar las dimensiones definitivas del cajón:

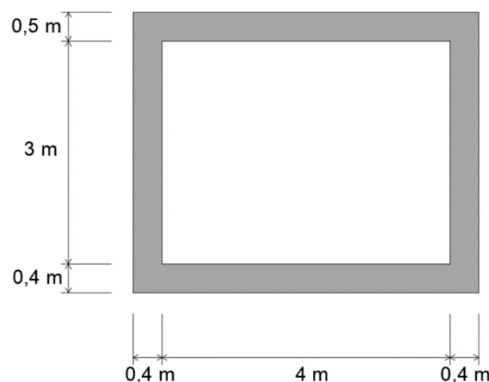


Figura 1. Dimensiones del cajón (Fuente: AutoCAD 2022)

## 4. Bases de cálculo

### 4.1. Acciones permanentes

Se considerarán aquellos elementos que implican la actuación en cualquier momento y que su magnitud y posición es constante. Estos son principalmente el peso propio de la estructura y aquellas cargas transmitidas por el paquete de firmes y la fina capa que cubre la losa de cubrición:

- Peso propio: Se puede determinar a partir de la geometría del cajón, considerándose un peso específico del hormigón de  $25 \text{ kN/m}^3$ .
- Cargas muertas: Se tendrá en cuenta la carga del paquete de firmes, las capas de terreno correspondiente a material de machaqueo que se encuentran tanto en la parte superior como inferior a la losa de cubrición y la capa de hormigón de limpieza

- Empuje del terreno: Se entiende como el esfuerzo horizontal repartido por toda la superficie de los muros del cajón. Actuarán aquellas tierras que colinden con dicha superficie.

#### 4.2. Acciones variables

Para concretar las acciones imprescindibles para obtener las solicitaciones de cálculo se ha utilizado la Guía de Cimentaciones en Obra de Carretera:

- Sobrecargas de uso
  - Sobrecarga de vehículos (20 KN/m<sup>2</sup>). Se ha de tener en cuenta la posibilidad del paso de camiones de bombero circulando por la carretera.

#### 4.3. Acciones accidentales

En referencia a las acciones accidentales que pueden llegar a darse se destaca aquellas originadas por el agua, en el supuesto caso de fuertes lluvias, considerando como peso específico del agua 10 KN/m<sup>2</sup>.

### 5. Parámetros geomecánicos de los estratos

En este apartado se definirán en detalle todos los niveles encontrados en el terreno en cuestión mediante los resultados de los sondeos realizados. Además, se expondrán sus parámetros geomecánicos con el objetivo de averiguar sobre qué tipo de terreno va a apoyarse el paso inferior.

No obstante, como se ha reflejado en el “Análisis del Estudio Geológico y Geotécnico”, los ensayos realizados carecen de los mismos datos, por lo que estos mismos se supondrán en unos valores aproximados.

#### Nivel 0. Rellenos y suelo vegetal

Se trata del primer nivel de la serie estratigráfica. En este estrato se puede diferenciar la presencia principalmente de tierra vegetal, además se pueden apreciar limos y fragmentos de ladrillo. En la siguiente tabla puede verse la profundidad que alcanza este estrato dependiendo del ensayo, ya sea sondeo 1 o 2.

Sondeo	Espesor (m)
SR-1	0,00-0,60
SR-2	0,00-0,40

Tabla 2. Espesores nivel 0 (Fuente: Ensayos realizados por ICEC by GEOPLANNING)

No obstante, este nivel no posee gran relevancia geotécnica, ya que se procede a su excavación para dar comienzo a las obras, por lo que no se requerirá realizar más análisis de los datos facilitados de laboratorio.

- $\phi'$  (Angulo de rozamiento efectivo) = 24°
- $c'$  (Cohesión efectiva) = 0 KN/m<sup>2</sup>
- $\gamma$  (densidad aparente) = 18 kN/m<sup>3</sup>
- $\gamma_d$  (densidad seca) = 16 kN/m<sup>3</sup>

### **Nivel 1. Limos arenosos**

Este estrato es el de mayor potencia de toda la serie estratigráfica y está compuesto principalmente por limos arenosos con color marrón contando con una plasticidad baja y una densidad media. A la profundidad de 5,25 m se encuentra el N.F.

Sondeo	Espesor (m)
SR-1	0,60-7,60
SR-2	0,40-7,80

Tabla 3. Espesores nivel 1 (Fuente: Ensayos realizados por ICEC by GEOPLANNING)

Además, se han realizado ensayos de laboratorio obteniéndose así el índice de plasticidad (IP=3,8 %), la humedad (W=9,9 %) y otros datos geotécnicos adoptados:

- $\phi'$  (Angulo de rozamiento efectivo) = 24°
- $c'$  (Cohesión efectiva) = 6 kN/m<sup>2</sup>
- $\gamma$  (densidad aparente) = 19 kN/m<sup>3</sup>
- $\gamma_d$  (densidad seca) = 17,5 kN/m<sup>3</sup>
- $\gamma_{sat}$  (densidad saturada) = 20 kN/m<sup>3</sup>
- $E'$  (módulo de elasticidad) = 7 MPa
- $\nu$  (Coeficiente de Poisson) = 0,35

Es imprescindible hacer hincapié en las características de este terreno, ya que será el que soportará tanto las cargas cajón como las de los vehículos.

Además, se ha de tener en cuenta que al encontrarse la presencia del N.F. por debajo del plano de cimentación, ésta no influirá en las obras previstas, por lo tanto, de cara a los cálculos a realizar, las tensiones totales serán igual a las tensiones efectivas hasta la cota de 5,3 m.

No obstante, según los ensayos S.P.T., se han obtenido un resultado de 4 golpes, lo cual indica que el terreno no es lo suficientemente consistente, no obstante, en el siguiente apartado se realizarán las comprobaciones necesarias para verificar que el paso inferior no corre riesgo de hundimiento.

Tanto la cohesión como el módulo de elasticidad tienen valores tan bajos debido a lo mencionado en el párrafo anterior.

### **Nivel 2. Arenas de grano fino**

Se trata de un estrato con una potencia de 0,7 m, compuesto principalmente por arenas de grano fino, el cual separa los dos niveles de limos arenosos. Este nivel se encuentra bajo el N.F., por lo que su peso específico será saturado.

Sondeo	Espesor (m)
SR-1	7,60-8,30

Tabla 4. Espesores nivel 2 (Fuente: Ensayos realizados por ICEC by GEOPLANNING)

Por lo tanto, estos serían los parámetros geotécnicos más importantes:

- $\phi'$  (Angulo de rozamiento efectivo) = 30°
- $c'$  (Cohesión efectiva) = 0 kN/m<sup>2</sup>
- $\gamma$  (densidad aparente) = 17,5 kN/m<sup>3</sup>
- $\gamma_d$  (densidad seca) = 17 kN/m<sup>3</sup>
- $\gamma_{sat}$  (densidad saturada) = 19 kN/m<sup>3</sup>
- $E'$  (módulo de elasticidad) = 15 MPa

### Nivel 3. Limos arenosos

Este estrato es el último que se ha podido reflejar según los ensayos mostrados en la campaña geotécnica, se trata del mismo material presente en el nivel 1.

Sondeo	Espesor (m)
SR-1	8,30-9,00

Tabla 5. Espesores nivel 3 (Fuente: Ensayos realizados por ICEC by GEOPLANNING)

Por lo tanto, estos serían los parámetros geotécnicos más importantes:

- $\phi'$  (Angulo de rozamiento efectivo) = 24°
- $c'$  (Cohesión efectiva) = 10 kN/m<sup>2</sup>
- $\gamma$  (densidad aparente) = 19 kN/m<sup>3</sup>
- $\gamma_d$  (densidad seca) = 17,5 kN/m<sup>3</sup>
- $\gamma_{sat}$  (densidad saturada) = 20 kN/m<sup>3</sup>
- $E'$  (módulo de elasticidad) = 10 MPa

A diferencia del nivel 1, donde el terreno se encuentra seco y saturado por la presencia del N.F., en este nivel el terreno se haya totalmente saturado debido a la profundidad a la que se encuentra.

Además, según los ensayos S.P.T., se observa una diferenciación en el número de golpes en comparación al nivel 1, ya que se han obtenido un número de golpes de 8, lo cual indica que el terreno es suficientemente consistente, no obstante, en el siguiente apartado se realizarán las comprobaciones necesarias para verificar que el paso inferior no corre riesgo de hundimiento.

Por lo tanto, la cohesión y el módulo de elasticidad tendrán unos valores superiores a los del nivel 1.

## 6. Presiones transmitidas al terreno

En este apartado del presente anejo, se desarrollarán aquellos cálculos realizados y su posterior análisis con relación a las presiones transmitidas al terreno de cimentación como como son las ejercidas por el cajón, como la capa del paquete de firmes e incluso sobrecargas ocasionadas por el paso de vehículos.

En primer lugar, se exponen los estratos afectados directamente por el cajón son el nivel 0 y 1, cuyos parámetros han sido mencionados en el apartado anterior. Por otra parte, a continuación, se define el esquema de la estructura desde arriba hasta abajo junto con sus pesos específicos y la sobrecarga de uso:

- Sobrecarga de 20 KN/m<sup>2</sup>
- 0,5 m paquete de firmes (22 KN/m<sup>3</sup>)
- 0,5 m losa de cubrición (25KN/m<sup>3</sup>)
- 3 m altura total de cajón
- 2 muros de 3 metros del alto (25 KN/m<sup>3</sup>)
- 0,4 m losa inferior (25KN/m<sup>3</sup>)
- 0,1 m hormigón de limpieza (23,5 KN/m<sup>3</sup>)
- Lámina de geotextil
- 0,2 material de machaqueo (16 KN/m<sup>3</sup>)

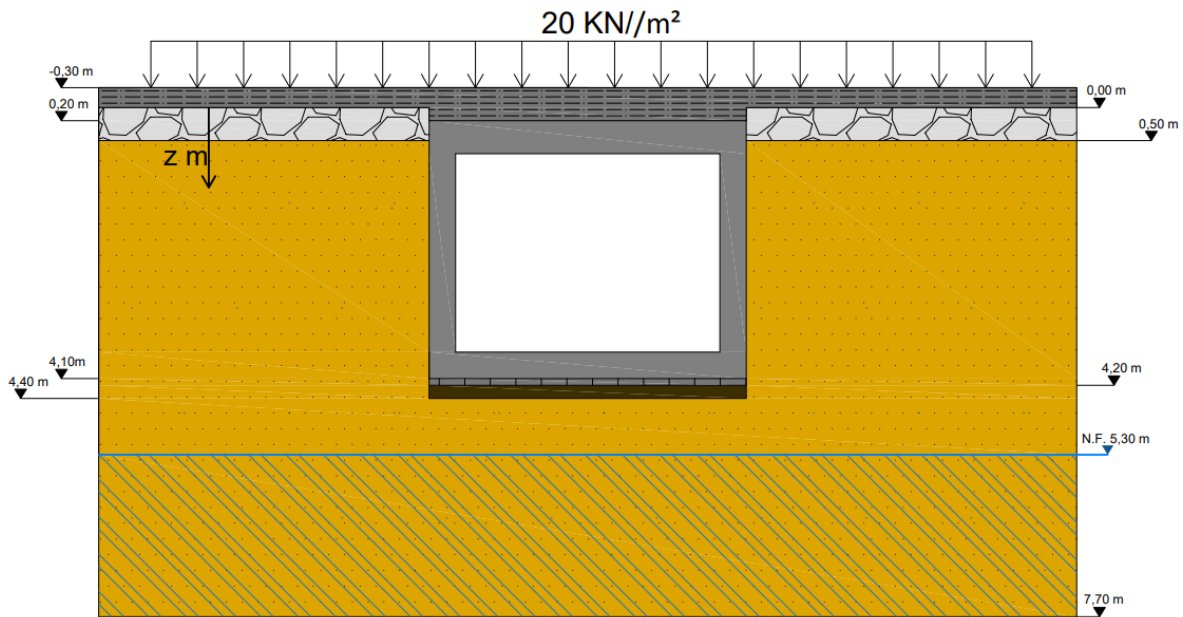


Figura 2. Visión transversal del cajón (Fuente: AutoCAD 2022)

Cabe destacar que se empieza a contar hacia abajo desde la parte superior del estrato correspondiente al Nivel 1, como se puede apreciar en la figura, por lo que la parte superior del paquete de firmes se encuentra a la cota -0,3 m.

Por consiguiente, se excavará hasta la profundidad de 4,4 m, para después colocar como base una capa de material de machaqueo con un espesor de 0,2 m y después verter hormigón de limpieza con un espesor de 0,1 m. Una vez dispuesta la base se ejecuta el cajón, el cual va desde la cota 4,1 m hasta 0,2 m, y encima de él, el paquete de firmes alcanzando la cota de -0,3 m.

## 6.1. Deformaciones en el terreno

Con relación a las deformaciones que puedan darse en el terreno, se distinguen dos posibles casos, el primero se considera la "situación normal", es decir, situación en la que el paso se encuentra libre de cargas dentro del mismo y la "situación accidental", situación en la que el paso inferior se encuentre completamente lleno de agua.

### 6.1.1. Situación normal

Como se puede apreciar en la Figura 1 superior, el cajón tendrá un ancho total de 4,8 (teniendo en cuenta los muros) y la longitud del paso inferior se ha podido comprobar que es de un total

de 18,8 metros, con estos datos y los facilitados anteriormente se han calculado las cargas respectivas a las dos situaciones mencionadas.

PESO RETIRADO					
<b>LIMOS ARENOSOS</b>		<b>T. VEG. LIMOS + FRAG.LADRILLOS</b>		<b>FIRME</b>	
P1 BAJO	4,40	P1 BAJO	0,60	ESPESOR	0,50
P1 ALTO	0,60	P1 ALTO	0,00	<b>PESO ESP.PAQUETE DE FIRME (KN/m³)</b>	22,00
P2 BAJO	4,40	P2 BAJO	0,40	VOLUMEN TOT (m³)	37,60
P2 ALTO	0,40	P2 ALTO	0,00	CARGA (KN)	827,20
VOLUMEN R (m³)	342,91	VOLUMEN R (m³)	36,10	<b>CARGAS TOTALES</b>	
VOLUMEN TR (m³)	9,02	VOLUMEN TR (m³)	9,00	VOLUMEN RETIRADO (m³)	434,66
VOLUMEN TOT (m³)	351,94	VOLUMEN TOT (m³)	45,12	TENSIÓN RETIRADA (KN)	7.708,00
<b>PESO ESPECIFICO (kN/m³)</b>	17,50	<b>PESO ESPECIFICO (kN/m³)</b>	16,00		
CARGA (KN)	6.158,88	CARGA (KN)	721,92		

Tabla 6. Carga retirada en situación normal y accidental (Fuente: Software Excel)

PESO INCORPORADO					
<b>CARGAS PERMANENTES</b>					
<b>PESO ESP. HORMIGÓN ARMADO (KN/m³)</b>	25,00	<b>PESO ESP.PAQUETE DE FIRME (KN/m³)</b>	22,00	<b>PESO ESP. MATERIAL BASE DE MACHAQUEO (KN/m³)</b>	16,00
<b>LOSA CIMENTACIÓN</b>		<b>PAQUETE DE FIRMES</b>		<b>CAPA MATERIAL BASE DE MACHAQUEO</b>	
ESPESOR (m)	0,40	ESPESOR (m)	0,50	ESPESOR (m)	0,20
VOLUMEN TOT (m³)	36,10	VOLUMEN TOT (m³)	45,12	VOLUMEN TOT (m³)	18,05
TENSIÓN (KN)	902,00	CARGA (KN)	992,64	CARGA (KN)	288,77
<b>LOSA CUBRICIÓN</b>		<b>PESO ESP. HORMIGÓN DE LIMPIEZA (KN/m³)</b>	23,50	<b>CARGAS VARIABLES</b>	
ESPESOR (m)	0,50				
VOLUMEN TOT (m³)	45,10	<b>CAPA DE HORMIGÓN DE LIMPIEZA</b>		<b>SOBRECARGA (KN/m²)</b>	20,00
TENSIÓN (KN)	1128,00	ESPESOR (m)	0,10	<b>SUPERFICIE (m²)</b>	90,24
<b>MUROS</b>		VOLUMEN TOT (m³)	9,03	CARGA (KN)	1.804,80
ESPESOR (m)	0,40	CARGA (KN)	144,38		
VOLUMEN TOT (m³)	45,10	<b>CARGAS TOTALES</b>			
TENSIÓN (KN)	1.128,00	<b>TENSIÓN INCORPORADA (KN)</b>	6.389,00		
			<b>qtn (KN/m²)</b>	-14,62	

Tabla 7. Carga incorporada en situación normal (Fuente: Software Excel)

Según los cálculos realizados en Excel, se ha retirado una cantidad de material equivalente a una carga total de 7.708,00 KN, mientras que la carga incorporada total tiene un valor de 6.389,00 KN, por lo que no se producirá asentamiento. Aun así, existe más carga retirada que incorporada, por lo tanto, no se producirá asentamiento. Sin embargo, la diferencia entre cargas es de -1.319,00 KN, por lo que no se generará ningún tipo de hundimiento, sino todo lo contrario, se generará un hinchamiento en el terreno.

Para su cálculo, se procede a calcular el respectivo asentamiento del terreno siguiendo la teoría de asientos en semiespacios de BOUSSINESQ, por la cual se sigue la siguiente ecuación:

$$S_i = I_s \cdot q_{tn} \cdot B \cdot (1 - \nu^2) \cdot \frac{1}{E}$$

Siendo:

- $I_s$ = Coeficiente de influencia. Al tratarse de una carga rectangular, se calcula de la siguiente forma:

$$I_s = \frac{1}{\pi} \left[ \ln \left( n + \sqrt{1 + n^2} \right) + n \cdot \ln \frac{1 + \sqrt{1 + n^2}}{n} \right]$$

Siendo  $n=L/B$ ;  $B$ =Lado menor=4,8 m;  $L$ =Lado mayor=18,80 m

- $q_{tn}$ =Carga transmitida neta=-1.052,4/ (15·4,8) = -14,62 KN/m<sup>2</sup>
- $B$ = Lado menor= 4,80 m
- $\nu$ =Coeficiente de Poisson= 0,35
- $E$ = Módulo de Elasticidad= 7 MPa

Por lo que, se obtiene como resultado:

CÁLCULO ASENTAMIENTO	
q <sub>tn</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	-14,62
L (m)	18,80
B (m)	4,80
ν	0,35
E (KN/m <sup>2</sup> )	7.000,00
n	3,92
I <sub>s</sub>	0,975
S <sub>i</sub> (m)	-0,0172
S <sub>i</sub> (cm)	-1,72

Tabla 8. Cálculo asentamiento del terreno en situación normal (Fuente: Software Excel)

Para obtener el asentamiento producido, se ha recurrido al principio de superposición, por el cual se deduce que el asentamiento producido en el centro es el doble que en el perímetro de la zona en cuestión. Por lo tanto, el asentamiento final se ha multiplicado por 2 para considerar la situación más desfavorable.

Visto el resultado en la tabla, se puede ver que se producirá un asentamiento de -1,72 cm, lo cual quiere decir que se producirá un hinchamiento del terreno. Teniendo en cuenta el espesor del hinchamiento, se considera aceptable.

### 6.1.2. Situación accidental

Considerando los datos facilitados anteriormente se han calculado las cargas respectivas a la situación accidental en la que el paso inferior se encuentra lleno totalmente de agua.



Por un lado, las cargas retiradas siguen siendo las mismas que pueden apreciarse en la Tabla 6, puesto que no existe ninguna variación, pero sí que existen en las cargas incorporadas. En la Tabla 9 se observa las cargas incorporadas en situación accidental.

CARGA INCORPORADA (SITUACIÓN ACCIDENTAL)			
<b>CARGAS PERMANENTES</b>			
<b>PESO ESP. HORMIGÓN ARMADO (KN/m³)</b>	25,00	<b>PESO ESP. PAQUETE DE FIRME (KN/m³)</b>	22,00
		<b>PESO ESP. MATERIAL BASE DE MACHAQUEO (KN/m³)</b>	16,00
<b>LOSA CIMENTACIÓN</b>		<b>PAQUETE DE FIRMES</b>	
ESPELOR (m)	0,40	ESPELOR (m)	0,50
VOLUMEN TOT (m³)	36,10	VOLUMEN TOT (m³)	45,12
CARGA (KN)	902,40	CARGA (KN)	992,64
<b>LOSA CUBRICIÓN</b>		<b>PESO ESP. HORMIGÓN DE LIMPIEZA (KN/m³)</b>	
ESPELOR (m)	0,50		23,5
VOLUMEN TOT (m³)	45,12	<b>CARGAS VARIABLES</b>	
TENSIÓN (KN)	1128,00		
<b>MUROS</b>		<b>CAPA DE HORMIGÓN DE LIMPIEZA</b>	
ESPELOR (m)	0,40	ESPELOR (m)	0,10
VOLUMEN TOT (m³)	45,12	VOLUMEN TOT (m³)	9,02
CARGA (KN)	1128,00	CARGA (KN)	144,38
<b>CARGAS ACCIDENTALES</b>			
<b>PESO ESP. AGUA (10 KN/m³)</b>	10,00	<b>CARGAS TOTALES</b>	
<b>AGUA</b>		<b>CARGA INCORPORADA (KN)</b>	8.645,00
VOLUMEN TOT (m³)	225,60	<b>q<sub>tn</sub> (KN/m²)</b>	10,38
CARGA (KN)	2.256,00		

Tabla 9. Carga incorporada en situación accidental (Fuente: Software Excel)

Según los cálculos realizados en Excel, se ha retirado una cantidad de material equivalente a una carga total de 7.708,00 KN, mientras que la carga incorporada total tiene un valor de 8.645,00 KN, por lo que si se producirá asentamiento. Como se puede apreciar, existe una carga incorporada superior a la retirada, por consiguiente, se producirá asentamiento, existiendo una diferencia entre cargas de 937,00 KN, cuya carga es demasiado pequeña para que pueda llegar a producirse hundimiento suficientemente significativo.

Para su cálculo, se recurre a la misma teoría de asientos utilizada previamente, obteniéndose:

$$S_i = I_s \cdot q_{tn} \cdot B \cdot (1 - \nu^2) \cdot \frac{1}{E}$$

Siendo:

- $I_s$  = Coeficiente de influencia. Al tratarse de una carga rectangular, se calcula de la siguiente forma:

$$I_s = \frac{1}{\pi} \left[ \ln \left( n + \sqrt{1 + n^2} \right) + n \cdot \ln \frac{1 + \sqrt{1 + n^2}}{n} \right]$$

Siendo  $n=L/B$ ;  $B$ =Lado menor=4,8 m;  $L$ =Lado mayor=18,80 m

- $q_{tn}$ =Carga transmitida neta=747,6/ (15·4,8) = 10,38 KN/m²
- $B$ = Lado menor= 4,80 m

- $\nu$  = Coeficiente de Poisson = 0,35
- E = Módulo de Elasticidad = 7 MPa

Obteniéndose como resultado:

CÁLCULO ASENTAMIENTO	
qtn (kN/m <sup>2</sup> )	10,38
L (m)	18,80
B (m)	4,80
$\nu$	0,35
E (kN/m <sup>2</sup> )	7000
n	3,92
Is	0,975
Si (m)	0,0122
Si (cm)	1,22

Tabla 10. Cálculo asentamiento del terreno en situación accidental (Fuente: Software Excel)

Visto el resultado en la tabla, se puede ver que se producirá un asentamiento de 1,22 cm, el cual se puede considerar aceptable.

## 7. Empujes sobre los muros

En este punto, se estudiarán los empujes transmitidos al muro por parte del terreno, el paquete de firmes y las cargas variables transmitidas al terreno por el paso de vehículos.

### 7.1. Método de cálculo

Para la resolución de este punto, se ha recurrido al método de Rankine, con el cual se explicarán los diferentes aspectos a tener en cuenta en relación a elementos de contención de tierras, como son los muros del propio cajón.

Previamente a la explicación del método del cálculo, se ha de hacer hincapié en que se ha considerado el cajón de hormigón como un sólido rígido.

Una vez descritos los fundamentos sobre los cuales se han realizado los cálculos, se procede a describir el procedimiento empleado.

En primer lugar, se han enumerado las distintas cargas que actuarán sobre los muros. Para ello se ha hecho una distinción en función de la existencia de pasos de vehículos actuando o no actuando sobre el cajón, mostrando tanto la situación favorable como la más desfavorable.

Las cargas actuantes permanentes en los muros del cajón se encuentran divididos en dos estratos, la primera carga es la correspondiente al terreno nivel 0, conformado por rellenos y suelo vegetal y la segunda es la perteneciente al nivel 1 conformado por limos arenosos. Además, se consideran las cargas permanentes pertenecientes al paquete de firmes y la sobrecarga variable ante la presencia de vehículos con una sobrecarga lineal de 20 kN/m<sup>2</sup> (en el supuesto caso en que sea preciso el paso de camiones de bomberos del lado de la seguridad).

A continuación, se muestran los valores representativos de cada nivel para el cálculo de los empujes:

PAQUETE DE FIRMES			
$\gamma$ (KN/m <sup>3</sup> )		22	
NIVEL 0: TIERRA VEGETAL			
$\gamma$ (KN/m <sup>3</sup> )	16	$K_a$	0,422
$c'$ (Kpa)	0	$K_p$	2,371
$\phi'$ (°)	24	$K_o$	0,593
NIVEL 1: LIMOS ARENOSOS			
$\gamma$ (KN/m <sup>3</sup> )	17,5	$K_a$	0,422
$c'$ (Kpa)	6	$K_p$	2,371
$\phi'$ (°)	24	$K_o$	0,593

Tabla 11. Valores representativos para cálculo de empujes (Fuente: Software Excel)

En la anterior tabla, se puede observar valores como el peso específico, la cohesión efectiva y el ángulo de rozamiento efectivo. Por otra parte, se pueden apreciar en la columna en la parte derecha los valores de los coeficientes de empuje activo, pasivo y en reposo, los cuales se han obtenido a partir del ángulo de rozamiento del propio nivel, para obtener estos coeficientes se ha recurrido a la teoría de Rankine, del cual se obtienen las siguientes fórmulas:

$$K_a = \frac{1 - \sin\phi'}{1 + \sin\phi'} \quad K_p = \frac{1 + \sin\phi'}{1 - \sin\phi'} \quad K_o = 1 - \sin\phi'$$

De cara a este apartado, el coeficiente a considerar es el coeficiente de empuje en reposo ( $k_o$ ) puesto que el terreno no se mueve, por lo que la distribución de tierras no actúa ni de forma pasiva ni activa en este caso. Sin embargo, se mostrarán también los resultados obtenidos de los cálculos realizados suponiendo dicho empuje activo con el fin de comprobar que tipo de empuje es más desfavorable.

Teniendo en cuenta que la estructura es simétrica, los empujes transmitidos a ambos lados de la estructura son iguales.

Para el cálculo de empujes, se empezará calculando las tensiones totales, que al existir la presencia del N.F. por debajo del cajón, coincidirán con las presiones efectivas puesto que la presión intersticial del agua no interviene en los cálculos. Posteriormente se han calculado los empujes horizontales con las siguientes ecuaciones:

$$e'_o = K_o \cdot \sigma'_v$$

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

Las ecuaciones mostradas se emplearán en función de si se calcula el empuje en reposo o activo. A continuación, se muestran los valores más representativos los casos expuestos.

## 7.2. Empujes activos

A continuación, se muestran los resultados obtenidos tras realizar los procedimientos expuestos en el anterior subapartado considerando que no pasan vehículos.

		$\sigma'_v$ (KN/m <sup>2</sup> )	$e_a'$ (KN/m <sup>2</sup> )
PAQUETE DE FIRMES	z=-0,3 m	0,00	0,00
	z=0 m	6,60	0,00
NIVEL 0	z=0 m	6,60	0,00
	z=0,2 m	9,80	4,13
	z=0,5m	14,60	6,16
NIVEL 1	z=0,5m	14,60	-1,64
	z=1 m	23,35	2,05
	z=2 m	40,85	9,43
	z=3 m	58,35	16,82
	z=4,1 m	77,60	24,93

Tabla 12. Valores característicos empujes horizontales activos. Situación favorable (Fuente: Software Excel)

Como se puede observar en la Tabla 10, en la separación entre el nivel de estrato 0 y nivel 1, se aprecia un descenso del empuje sobre el terreno, incluso llegando a producirse grietas de tracción, esto se debe a la diferencia de cohesión entre los terrenos.

La siguiente figura representa las distribuciones de presiones correspondientes:

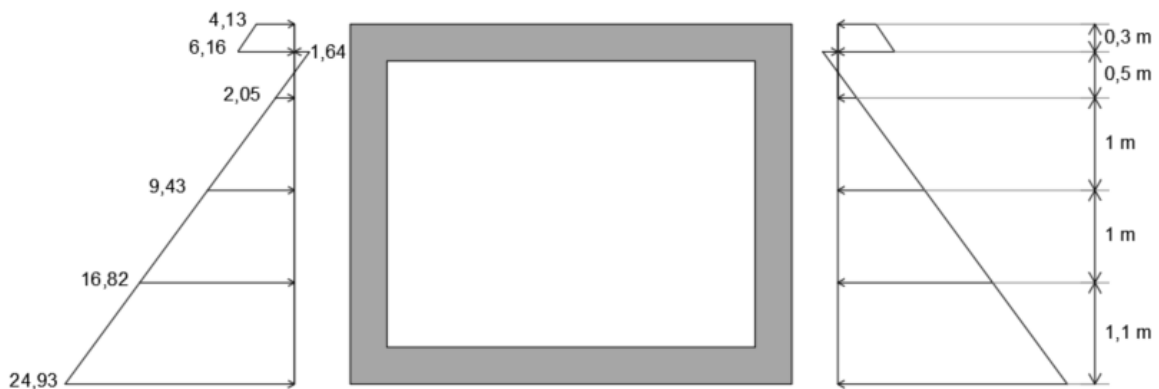


Figura 3. Distribución de empujes activos en KN/m<sup>2</sup>. Situación favorable (Fuente: AutoCAD 2022)

		$\sigma'_v$ (KN/m <sup>2</sup> )	$e_a'$ (KN/m <sup>2</sup> )
PAQUETE DE FIRMES	z=-0,3 m	20,00	0,00
	z=0 m	26,60	0,00
NIVEL 0	z=0 m	26,60	0,00
	z=0,2 m	29,80	12,57
	z=0,5m	34,60	14,59
NIVEL 1	z=0,5m	34,60	6,80
	z=1 m	43,35	10,49
	z=2 m	60,85	17,87
	z=3 m	78,35	25,25
	z=4,1 m	97,60	33,37

Tabla 13. Valores característicos empujes horizontales activos. Situación desfavorable (Fuente: Software Excel)

Por otro lado, en la tabla superior se reflejan los empujes activos correspondientes al nivel 0 y el nivel 1 teniendo en cuenta la sobrecarga debida al paso de vehículos de 20 KN/m<sup>2</sup>.

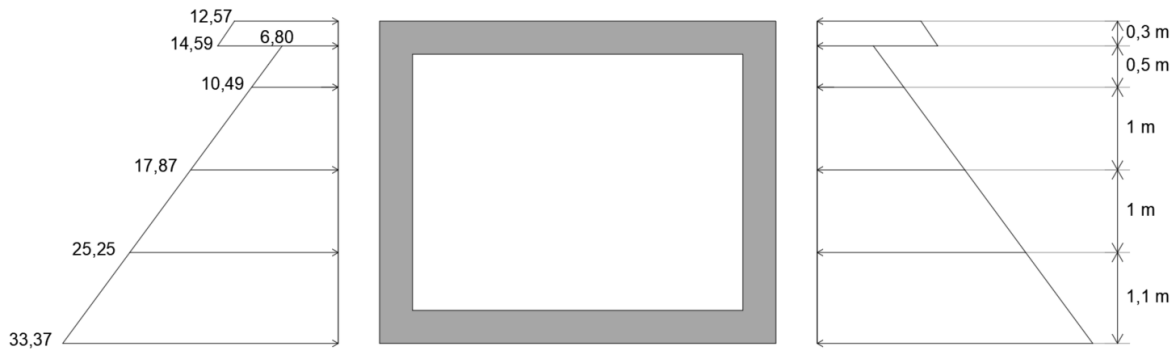


Figura 4. Distribución de empujes activos en  $\text{KN/m}^2$ . Situación desfavorable (Fuente: AutoCAD 2022)

### 7.3. Empujes en reposo

Por último, se va a realizar un análisis de los valores de empujes en reposo comparados con los empujes activos.

En este caso en concreto, la estructura apenas sufre deformaciones ocupando un estado intermedio entre el empuje activo y pasivo.

A diferencia del empuje activo, el empuje en reposo no tiene en consideración la cohesión efectiva y como se ha podido comprobar en la Tabla 12, en el supuesto caso de que no circulen vehículos se producen grietas de tracción, por consiguiente, los empujes en reposo serán superiores que los empujes activos, por lo que, del lado de la seguridad se considerará la distribución de empujes en reposo tratándose de la situación más desfavorable.

En la siguiente tabla se refleja la distribución de tensiones verticales y empujes en reposo producidos sin sobrecargas:

		$\sigma'_v$ (KN/m <sup>2</sup> )	$e_o'$ (KN/m <sup>2</sup> )
PAQUETE DE FIRMES	z=-0,3 m	0,00	0,00
	z=0 m	6,60	0,00
NIVEL 0	z=0 m	6,60	0,00
	z=0,2 m	9,80	5,81
	z=0,5m	14,60	8,66
NIVEL 1	z=0,5m	14,60	8,66
	z=1 m	23,35	13,85
	z=2 m	40,85	24,23
	z=3 m	58,35	34,62
	z=4,1 m	77,60	46,04

Tabla 14. Valores característicos empujes horizontales en reposo. Situación favorable (Fuente: Software Excel)

Como se ha mencionado anteriormente, se puede comprobar que los empujes producidos en reposo son más desfavorables. A continuación, se expone la distribución de presiones correspondientes:



Figura 5. Distribución de empujes en reposo en  $\text{KN/m}^2$ . Situación favorable (Fuente: AutoCAD 2022)

		$\sigma'_v$ (KN/m <sup>2</sup> )	$e_o'$ (KN/m <sup>2</sup> )
PAQUETE DE FIRMES	z=-0,3 m	20,00	0,00
	z=0 m	26,60	0,00
NIVEL 0	z=0 m	26,60	0,00
	z=0,2 m	29,80	17,68
	z=0,5m	34,60	20,53
NIVEL 1	z=0,5m	34,60	20,53
	z=1 m	43,35	25,72
	z=2 m	60,85	36,10
	z=3 m	78,35	46,48
	z=4,1 m	97,60	57,90

Tabla 15. Valores característicos empujes horizontales en reposo. Situación desfavorable (Fuente: Software Excel)

Por otro lado, en la tabla superior se muestra los empujes en reposo producidos considerándose la sobrecarga producida por el paso de vehículos de  $20 \text{ KN/m}^2$ . Si comparamos el empuje activo ( $33, \text{ KN/m}^2$ ) del empuje en reposo ( $57,90 \text{ KN/m}^2$ ) producido a la cota de  $4,1 \text{ m}$  se aprecia una gran diferencia provocada por la influencia de la cohesión efectiva. En la siguiente figura se muestra la distribución de empujes en reposo.



Figura 6. Distribución de empujes en reposo en  $\text{KN/m}^2$ . Situación desfavorable (Fuente: AutoCAD 2022)

#### 7.4. Comprobaciones a realizar

Teniendo en cuenta las condiciones expuestas y la disposición de tierras, no se requiere ninguna comprobación geotécnica en el presente apartado.

Por una parte, no se requiere realizar comprobaciones frente a deslizamiento debido a la simetría de cargas que existe entre ambos muros. Además, tampoco se aprecia la posibilidad de deslizamiento longitudinal puesto que no existen cargas que lo puedan generar.

Por otra parte, tampoco se requiere la comprobación a vuelco debido a la misma razón expuesta en el párrafo anterior, puesto que al existir simetría de cargas en el momento que se produzca un momento desestabilizador, este mismo queda corregido por las tierras que envuelven el cajón.

## **8. Conclusiones**

En este anejo se ha llevado a cabo un estudio de las diferentes acciones a las que se encuentran expuestas el cajón que formará el paso inferior de carretera.

Se ha buscado principalmente mostrar los procedimientos realizados para el dimensionamiento geotécnico del cajón. Para ello, se ha llevado un proceso de selección en función de las características del terreno, la presencia del N.F. y tanto de la norma como la guía para adoptar las dimensiones precisas para el problema en cuestión.

En función de las dimensiones del cajón, se han calculado los esfuerzos transmitidos por el terreno junto a los esfuerzos debidos a la sobrecarga variable debida al paso de vehículos para la comprobación de la infraestructura frente a hundimiento, deslizamiento y vuelco.

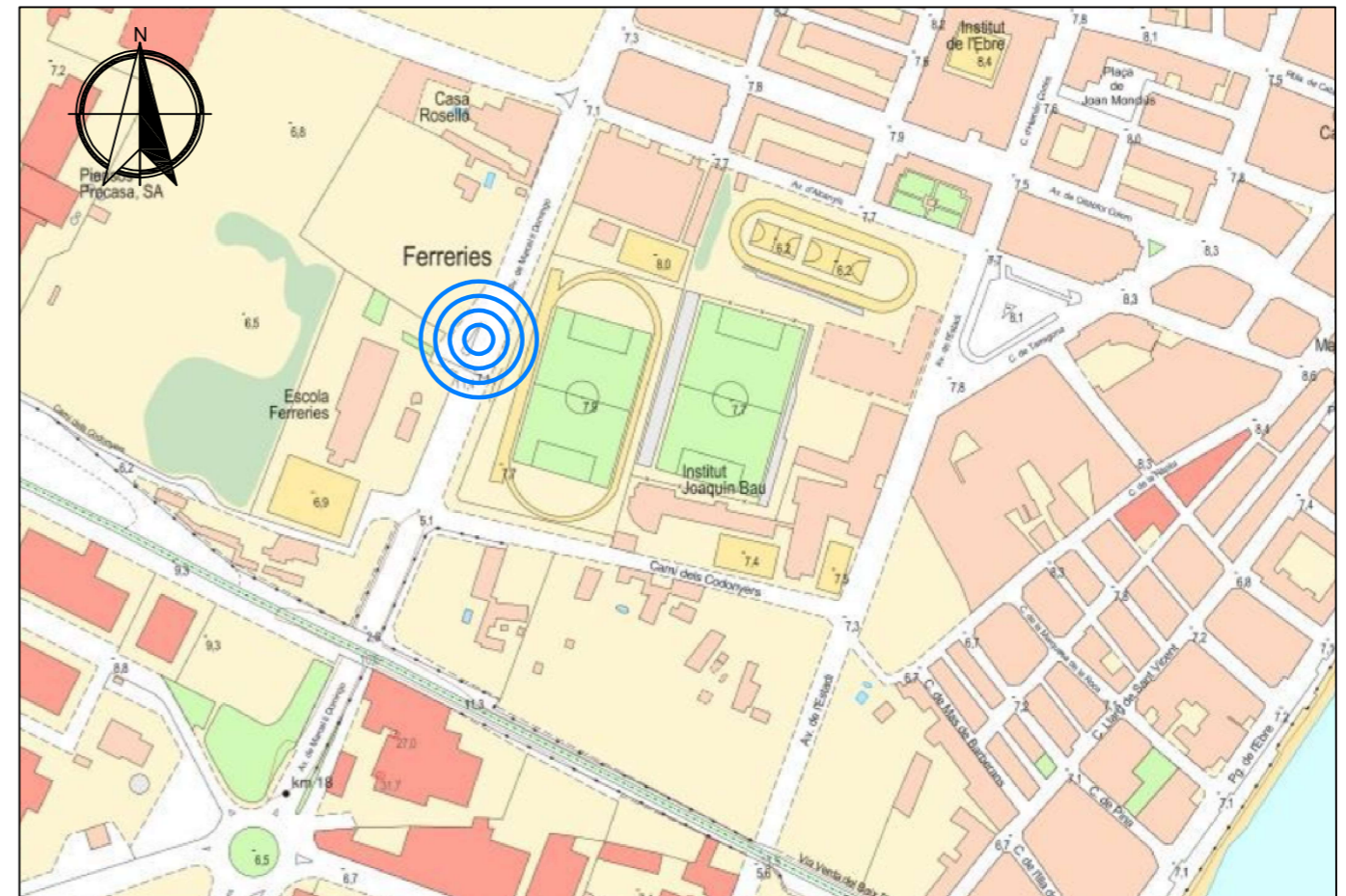
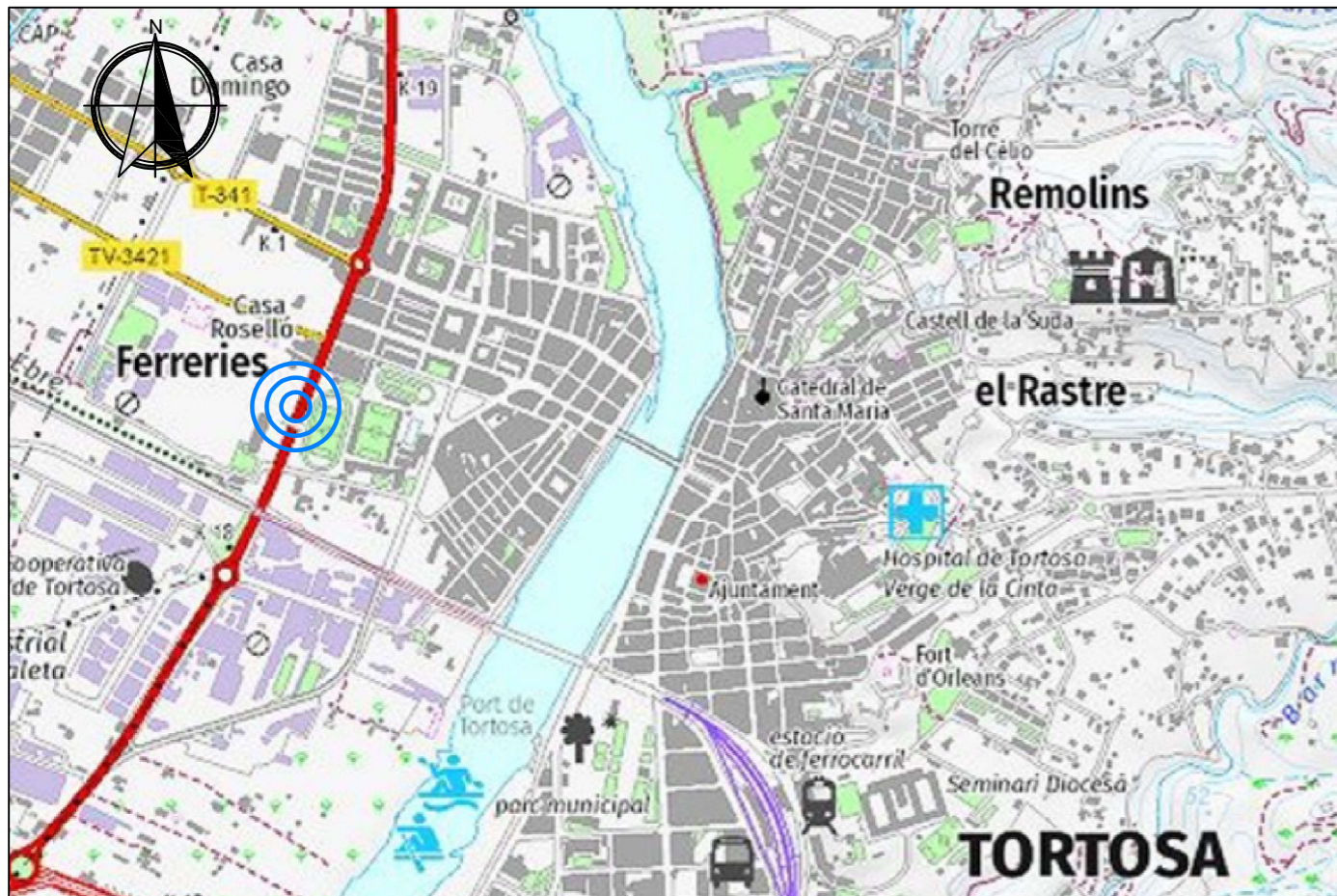
Por lo tanto, se ha comprobado que se han abordado todos los puntos de interés en referencia a la redacción de este anejo.

## **Anejo nº5: Planos**



## **Índice**

- 1. Situación actual y emplazamiento**
- 2. Perfil estratigráfico**
- 3. Planta general**
- 4. Procedimiento constructivo**
  - 4.1. Fase 1**
  - 4.2. Fase 2**
- 5. Definición de los accesos**
  - 5.1. Visión en planta**
  - 5.2. Rampas**
  - 5.3. Escaleras**
- 6. Definición del paso**



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA  
E.T.S.I. CAMINOS, CANALES Y PUERTOS



TITULACIÓN:  
GRADO EN  
INGENIERÍA CIVIL

PROYECTO TIPO:  
PROFESIONAL

AUTOR DEL PROYECTO:  
LUCAS ALEJANDRO COCCO

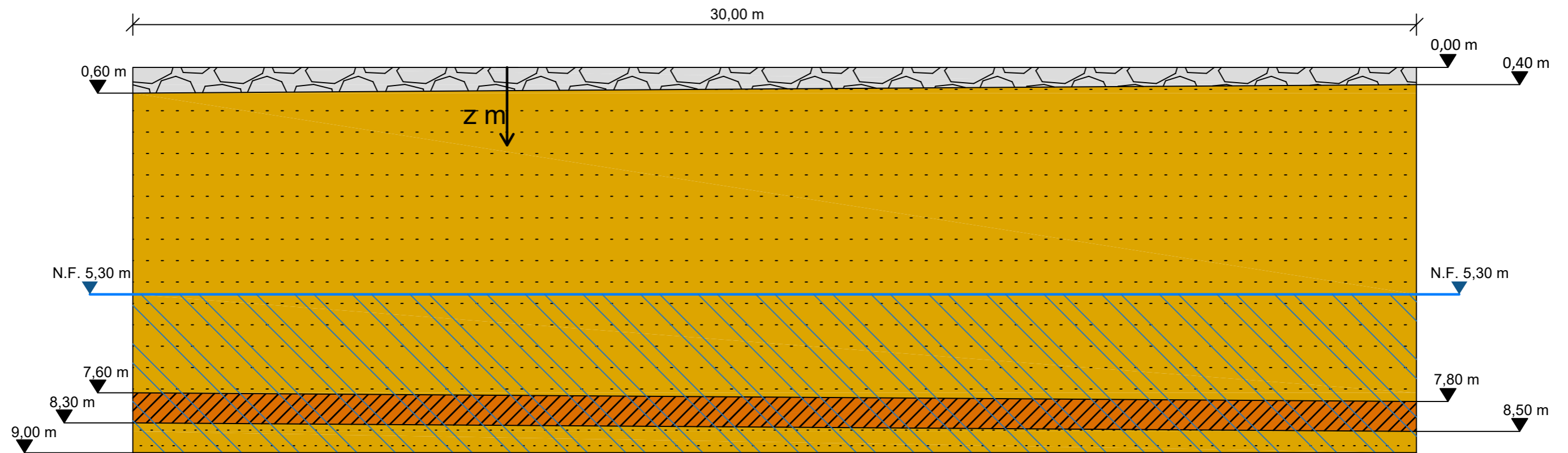
ESCALAS:  
-  
TAMAÑO:  
A 3

TÍTULO DEL PROYECTO FINAL DE GRADO:  
DISEÑO GEOTÉCNICO DE UN PASO INFERIOR PEATONAL  
EN EL PK 18+280 DE LA C-12 EN TORTOSA (TARRAGONA)

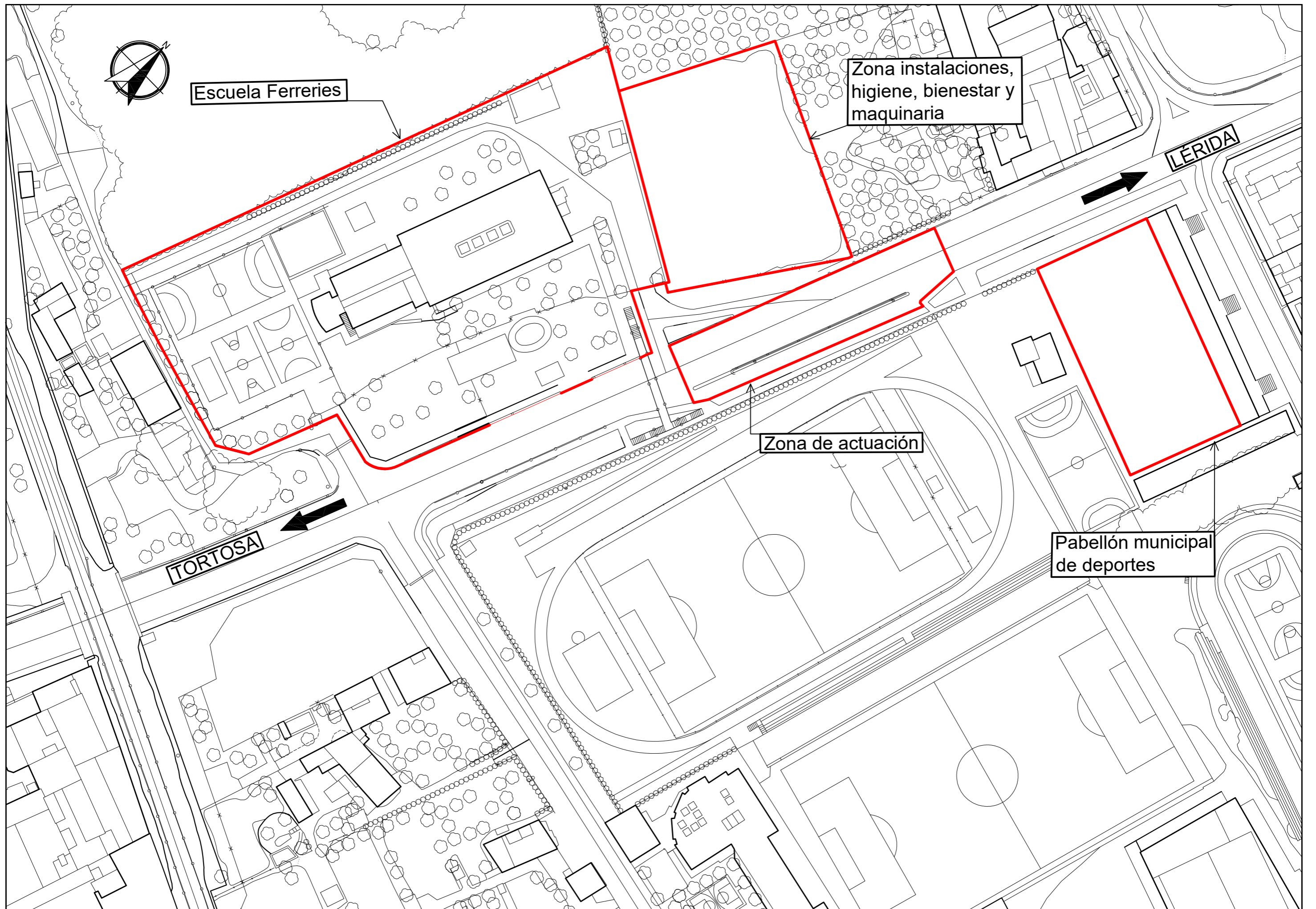
NUM.:  
1.

DESIGNACIÓN:  
SITUACIÓN ACTUAL  
Y EMPLAZAMIENTO

FECHA:  
OCTUBRE  
2022



LEYENDA	
	Tierra vegetal, limos y fragmentos de ladrillo
	Limos arenosos
	Arenas de grano fino
	Presencia de agua por N.F.



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA  
E.T.S.I. CAMINOS, CANALES Y PUERTOS



TITULACIÓN:  
GRADO EN  
INGENIERÍA CIVIL

PROYECTO TIPO:  
PROFESIONAL

AUTOR DEL PROYECTO:  
LUCAS ALEJANDRO COCCO

ESCALAS:  
1 : 1000

TAMAÑO:  
A 3

TÍTULO DEL PROYECTO FINAL DE GRADO:  
DISEÑO GEOTÉCNICO DE UN PASO INFERIOR PEATONAL  
EN EL PK 18+280 DE LA C-12 EN TORTOSA (TARRAGONA)

NÚM.:  
3.

DESIGNACIÓN:  
PLANTA GENERAL

FECHA:  
OCTUBRE  
2022

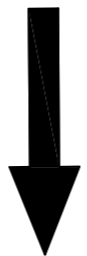


LÉRIDA



FASE 1.  
Se comenzarán las obras del lado de la calzada en dirección a Lérida

Mientras se realizan la obras en la otra calzada, se habilitará un carril de la calzada en dirección Tortosa para el paso de los vehículos.



TORTOSA

Complex Poliesportiu

Complex Poliesportiu



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA  
E.T.S.I. CAMINOS, CANALES Y PUERTOS



TITULACIÓN:  
GRADO EN  
INGENIERÍA CIVIL

PROYECTO TIPO:  
PROFESIONAL

AUTOR DEL PROYECTO:  
LUCAS ALEJANDRO COCCO

ESCALAS:  
1 : 400

TAMAÑO:  
A 3

TÍTULO DEL PROYECTO FINAL DE GRADO:  
DISEÑO GEOTÉCNICO DE UN PASO INFERIOR PEATONAL  
EN EL PK 18+280 DE LA C-12 EN TORTOSA (TARRAGONA)

NUM.:  
4.1

DESIGNACIÓN:  
PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO.  
FASE 1

FECHA:  
OCTUBRE  
2022



**FASE 2.**  
Tras finalizar la Fase 1, se comienzan las obras del lado de la calzada en dirección sur

Se realizarán unos accesos temporales tanto para los peatones como para los vehículos a la escuela

Mientras se realizan la obras en la otra calzada, se habilitará un carril de la calzada en dirección Lérida para el paso de los vehículos.

LÉRIDA



TORTOSA



Complex Poliesportiu

Complex Poliesportiu



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA  
E.T.S.I. CAMINOS, CANALES Y PUERTOS



TITULACIÓN:  
GRADO EN  
INGENIERÍA CIVIL

PROYECTO TIPO:  
PROFESIONAL

AUTOR DEL PROYECTO:  
LUCAS ALEJANDRO COCCO

ESCALAS:  
1 : 400

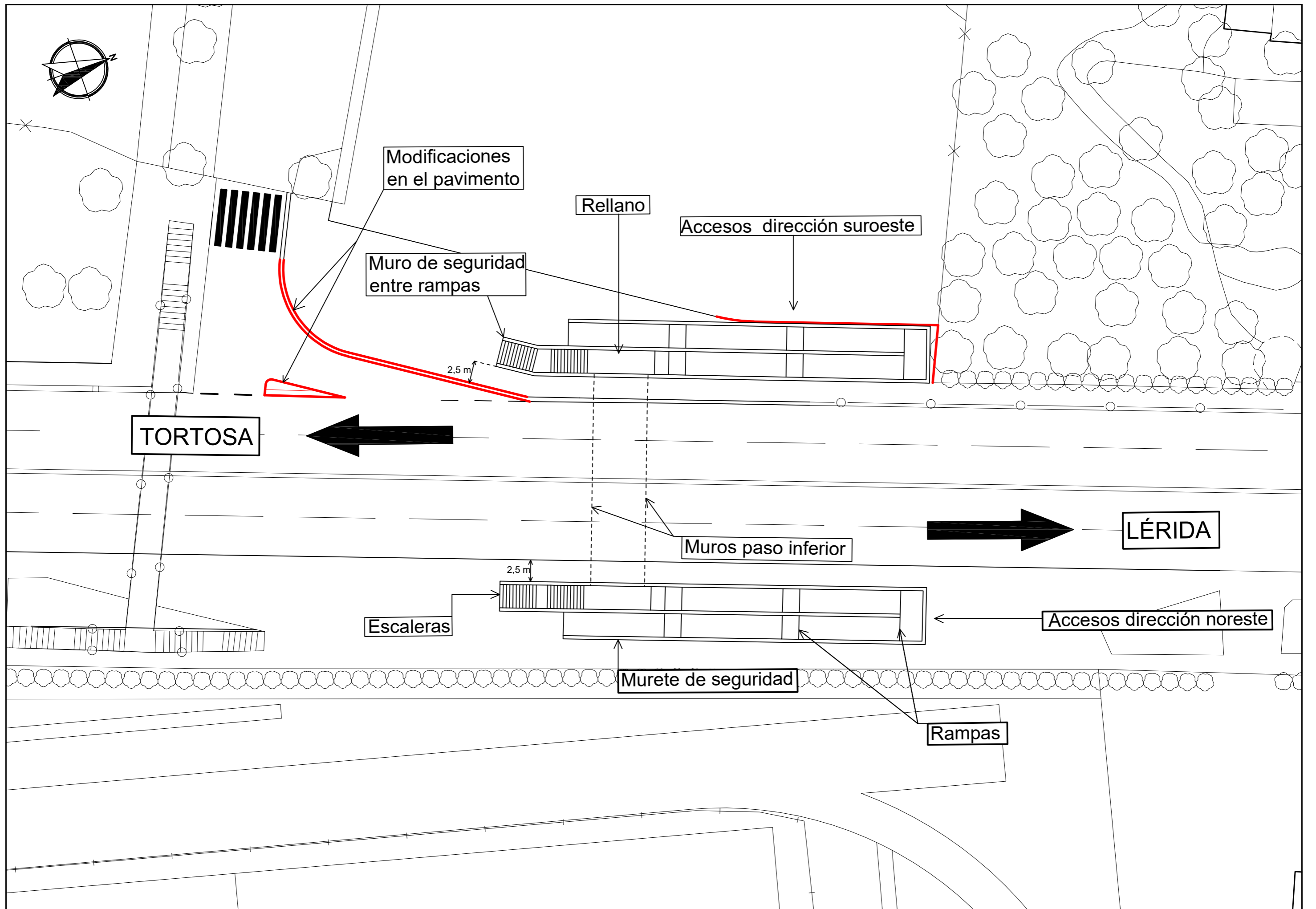
TAMAÑO:  
A 3

TÍTULO DEL PROYECTO FINAL DE GRADO:  
DISEÑO GEOTÉCNICO DE UN PASO INFERIOR PEATONAL  
EN EL PK 18+280 DE LA C-12 EN TORTOSA (TARRAGONA)

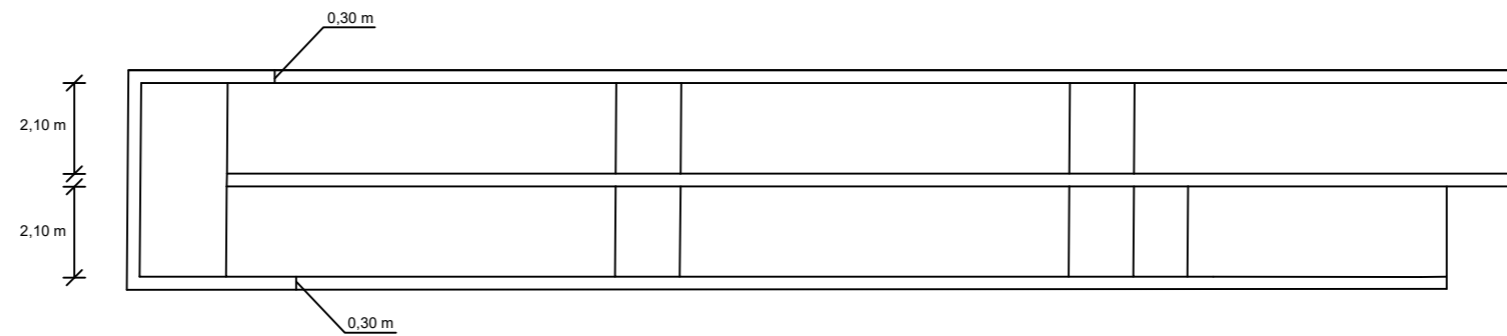
NUM.:  
4.2

DESIGNACIÓN:  
PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO.  
FASE 2

FECHA:  
OCTUBRE  
2022



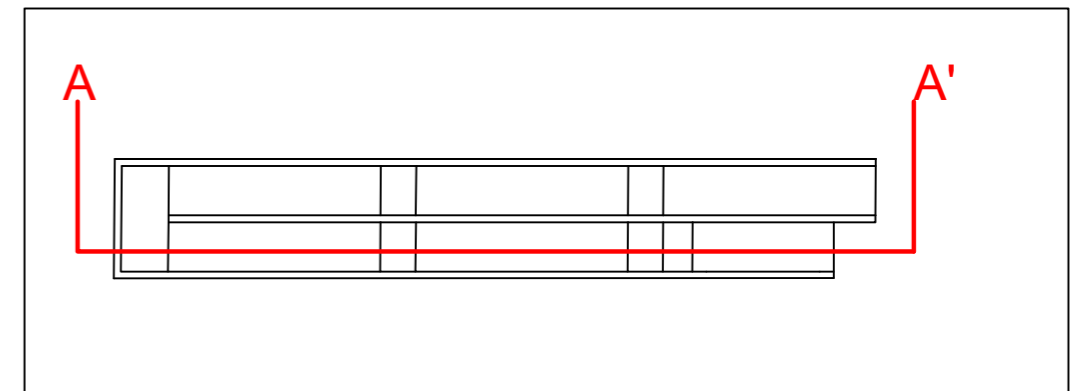
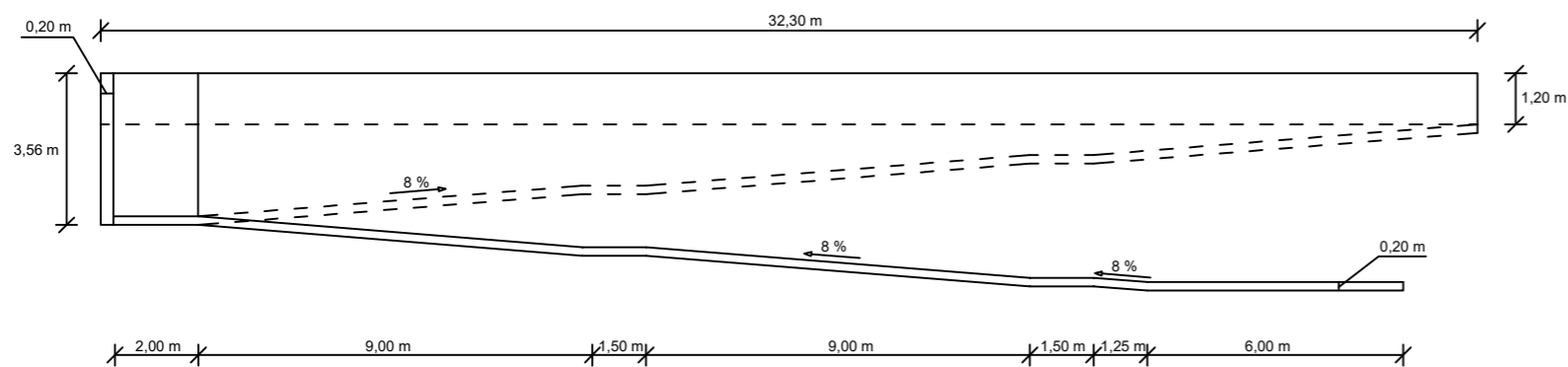
# PLANTA



# ALZADO

A

A'



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA  
E.T.S.I. CAMINOS, CANALES Y PUERTOS



TITULACIÓN:  
GRADO EN  
INGENIERÍA CIVIL

PROYECTO TIPO:  
PROFESIONAL

AUTOR DEL PROYECTO:  
LUCAS ALEJANDRO COCCO

ESCALAS:  
1 : 175

TAMAÑO:  
A 3

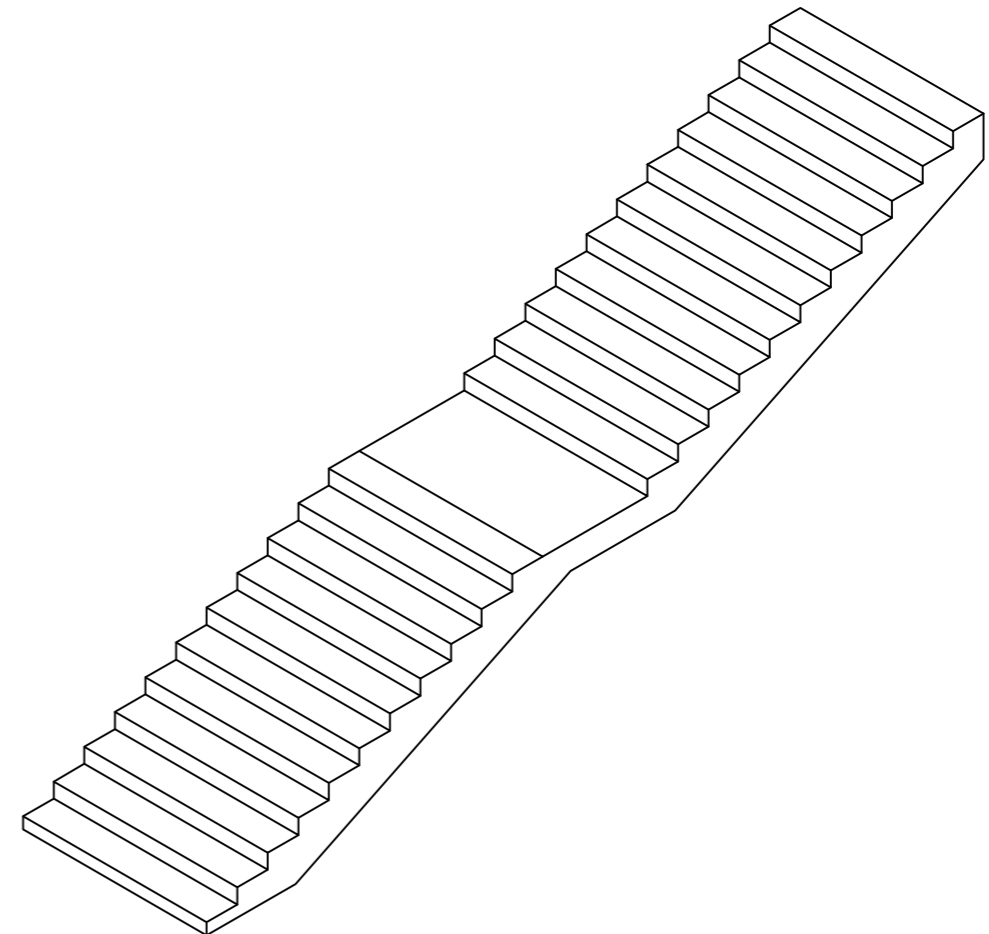
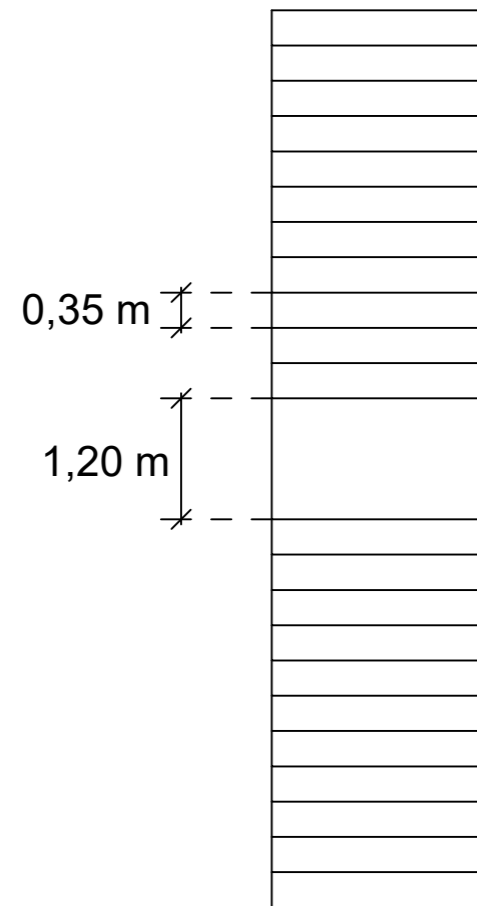
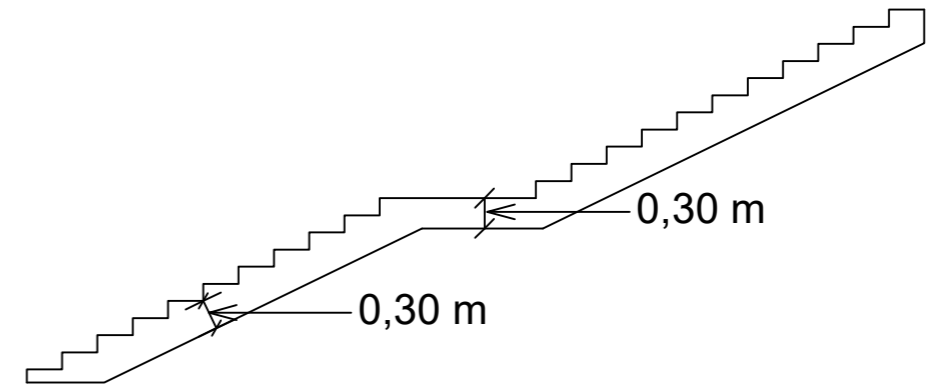
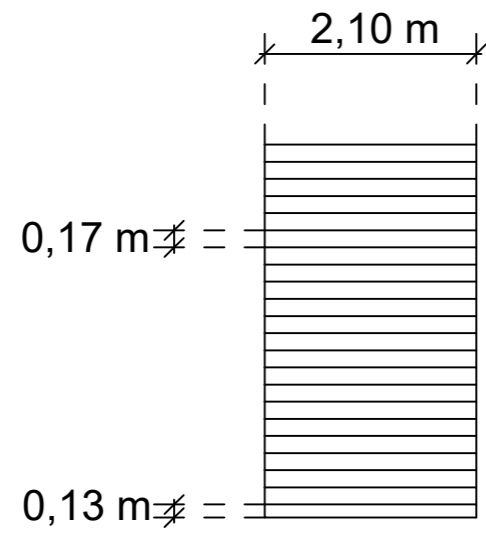
TÍTULO DEL PROYECTO FINAL DE GRADO:  
DISEÑO GEOTÉCNICO DE UN PASO INFERIOR PEATONAL  
EN EL PK 18+280 DE LA C-12 EN TORTOSA (TARRAGONA)

NÚM.:  
5.2

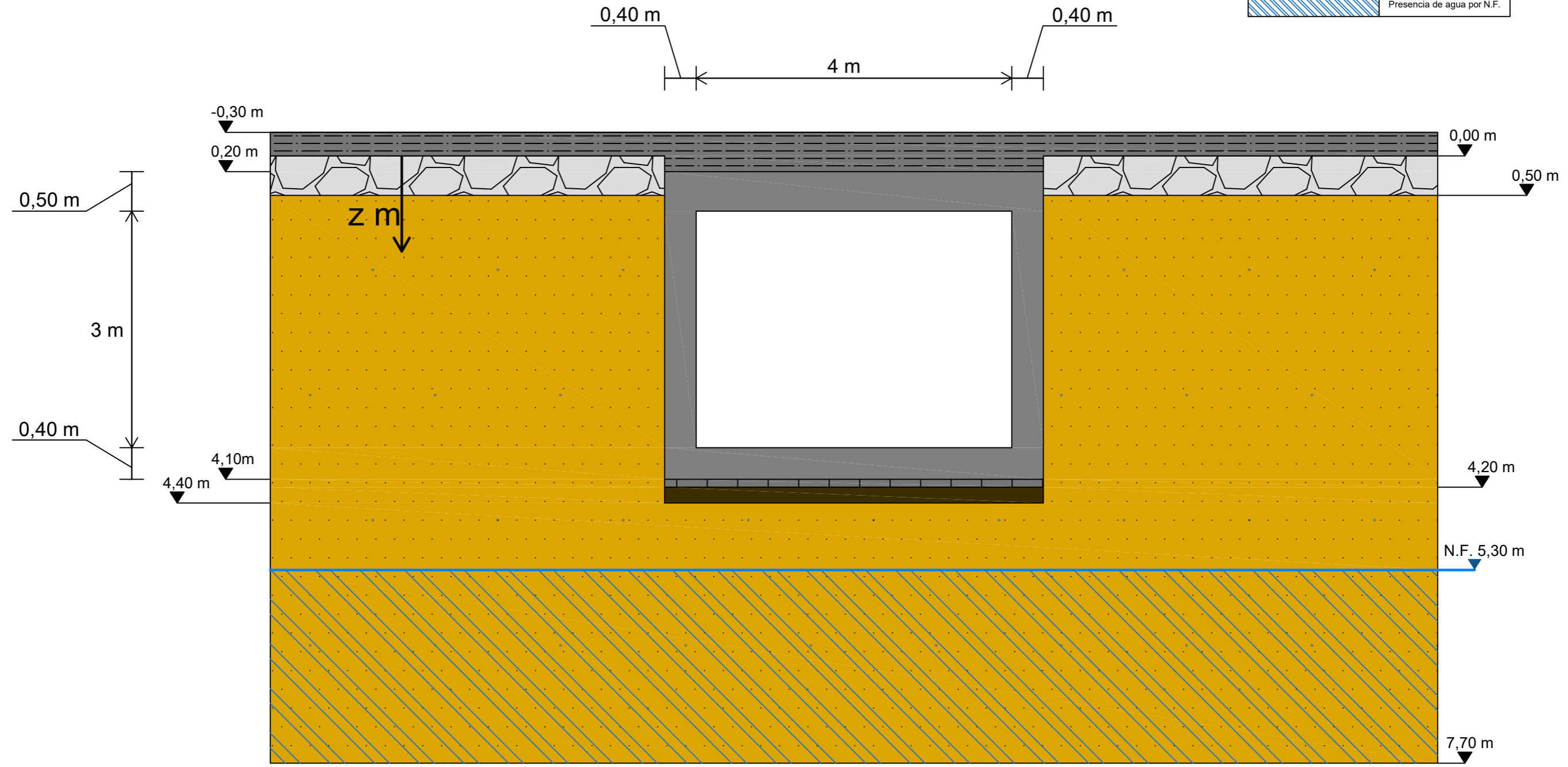
DESIGNACIÓN:  
RAMPAS

FECHA:  
OCTUBRE  
2022





LEYENDA	
	Paquete de firme
	Material de relleno
	Tierra vegetal, limos y fragmentos de ladrillos
	Cajón hormigón armado
	Hormigón de limpieza
	Limos arenosos
	Presencia de agua por N.F.



## **Anejo nº 6: Valoración de obra**

## **Índice**

### **1. Introducción**

### **2. Mediciones**

### **3. Justificación de precios**

### **4. Valoración PEM**

### **5. Resumen**

## 1. Introducción

El siguiente anejo tiene como objeto aclarar los costes económicos de la alternativa constructiva adoptada en el apartado 6 de la memoria, por ello, se procede a la realización de una valoración económica de aquellas actividades imprescindibles para el correcto funcionamiento de las obras.

Antes de proceder con la valoración económica de la obra, se ha de mencionar que se ha tenido en cuenta que la construcción la llevará a cabo una empresa especialista en geotecnia y estructuras, por lo que de cara a los capítulos correspondientes, no se han tenido en cuenta capítulos como firmes y pavimentos o señalización, por lo tanto el presupuesto final no será el Presupuesto Base de Licitación, sino el Presupuesto por Contrata con IVA incluido, puesto que otras partes de la obra serán encargadas a otras empresas constructoras. Los 4 capítulos son los siguientes:

- Capítulo 1. Demoliciones y trabajos previos
- Capítulo 2. Movimiento de tierras
- Capítulo 3. Estructuras
- Capítulo 4. Otros

Para llevar a cabo la valoración, se deberá tener en cuenta principalmente el coste del procedimiento constructivo. Para su obtención se han estimado las unidades de obra más características basadas en las siguientes bases de precios:

- Generador de precios de la construcción. España. Desarrollado por CYPE Ingenieros, S.A. (2022)
- Bases de precios de Referencia de la Dirección General de Carreteras. (2021). Desarrollado por el Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana
- Libro titulado "Valoración de obras de Ingeniería Civil" desarrollado por *Amalia Sanz Benlloch, Miguel Mondría García, Eugenio Pellicer Armiñana y Joaquín Catalá Alís*. Editorial *Univeritat Politècnica de València* (2004).

En función de los datos facilitados por éstos, se han podido dimensionar las unidades de obra con el objeto de estimar el precio de ejecución material de la alternativa adoptada.

## 2. Mediciones

N	UM	DEFINICIÓN	UD.	LARGO	ANCHO	ALTO	PARCIAL	TOTAL
<b>Capítulo 1. Demoliciones y trabajos previos</b>								
1	m <sup>2</sup>	Demolición de firme o pavimento existente de cualquier tipo o espesor i/ bajas por rendimiento por paso de vehículos, demolición de aceras, isletas, bordillos y toda clase de piezas especiales de pavimentación, desescombro, carga y transporte de material demolido a gestor autorizado hasta una distancia de 60 km. Demolición de firme o pavimento existente	1	25,00	10,60		265,00	<b>265,00 m<sup>3</sup></b>
2	m <sup>2</sup>	Fresado de pavimento bituminoso o de hormigón existente i/ carga, barrido, retirada y transporte de residuos a lugar de empleo y/o gestor autorizado hasta una distancia de 60 km. Fresado de pavimento bituminoso o de hormigón existente	1	25,00	18,80		470,00	<b>470,00 m<sup>2</sup></b>
3	m	Levantamiento de barrera metálica bionda i/ desmontaje, arranque de postes, demolición, desescombro, carga y transporte de material demolido a gestor autorizado hasta una distancia de 60 km. Levantamiento de barrera metálica bionda	14	4,00			56,00	<b>56,00 m</b>
<b>Capítulo 2. Movimiento de tierras</b>								
1	m <sup>3</sup>	Excavación en vaciado entre pantallas en cualquier tipo de terreno a cielo abierto i/ carga y transporte a vertedero hasta una distancia de 10 km o al lugar de utilización dentro de la obra sea cual sea la distancia. Excavación en zona de accesos al paso inferior Excavación en zona del paso inferior	1	25,00	14,60	3,70	1.350,50	<b>1.812,50 m<sup>3</sup></b>
			1	15,00	7,00	4,40	462,00	
2	m <sup>3</sup>	Relleno localizado en zanjas, pozos y cimientos con material procedente de préstamo, yacimiento granular y/o cantera i/ canon de préstamo o cantera, carga y transporte al lugar de empleo hasta una distancia de 5 km, extendido, humectación, compactación, terminación y refinado de la superficie de la coronación y refinado de taludes (en su caso). Base del paso inferior Rellenos tras retirada de tablestaca	1	28,00	11,35	0,60	191,00	<b>191,00 m<sup>3</sup></b>
3	Ud.	Transporte, puesta en obra y retirada de equipo completo de vibrohincador-extractor hidráulico, para hinca de tablestacas metálicas en el terreno, con carácter provisional o definitivo, a una distancia de hasta 50 km. El precio incluye el desplazamiento a la obra del personal especializado. Transporte, puesta en obra y retirada de equipo completo de maquinaria para hinca de tablestacas.	4				4,00	<b>4 Ud.</b>
4	m <sup>2</sup>	Pantalla autoportante de tablestacas metálicas solapadas, hincadas en el terreno de manera provisional, hasta alcanzar como máximo 5 m de profundidad en terreno de arenas, formada por perfiles metálicos de acero laminado, con forma grecada de 600 mm de ancho de perfil, 8 mm de espesor y módulo de resistencia de 242 cm <sup>3</sup> /m de pared. Pantalla autoportante de tablestacas metálicas		105,00		3,54	372,09	<b>372,09 m<sup>2</sup></b>
<b>Capítulo 3. Estructuras</b>								
1	m	Marco prefabricado de hormigón armado de medidas interiores H:3,50 x V:3,50 m según planos i/ suministro, altura de tierras sobre clave < 8 m, montaje, solera de hormigón en masa hm-20 de 15 cm de espesor, arena de nivelación de 10 cm de espesor, junta, totalmente instalado. Marco prefabricado	2	9,50			19,00	<b>19,00 m</b>

## Diseño geotécnico de un paso inferior peatonal en el PK 18+280 de la C-12 en Tortosa (Tarragona)

N	UM	DEFINICIÓN	UD.	LARGO	ANCHO	ALTO	PARCIAL	TOTAL
2	m <sup>3</sup>	Capa de hormigón de limpieza y nivelado de fondos de cimentación, de 10 cm de espesor, de hormigón HL-150/B/20, fabricado en central y vertido desde camión, en el fondo de la excavación previamente realizada. Solera de asentamiento	1	15,00	5,00	0,10	7,50	<b>7,50 m<sup>3</sup></b>
3	m <sup>2</sup>	Geotextil de material virgen (100%) tipo 2 i/ p.p. de solapes, totalmente colocado como separador, y con las siguientes propiedades físicas: resistencia a la tracción longitudinal desde 11,9 KN/m hasta 18,5 KN/m, resistencia a la tracción transversal desde 12,1 KN/m hasta 17,7 KN/m, elongación longitudinal en rotura desde 56% hasta 60%, elongación transversal en rotura hasta 60%, punzonamiento estático (CBR) desde 1961 n hasta 3020 n, perforación dinámica (caída cono) desde 18 mm hasta 13 mm y permeabilidad al agua desde 6,1 10 <sup>-6</sup> /m <sup>2</sup> /s hasta 7,2 10 <sup>-6</sup> /m <sup>2</sup> /s. Suministro y colocación de geotextil	1	18,80	7,00		131,60	<b>131,60 m<sup>2</sup></b>
4	m <sup>2</sup>	Losa de escalera de hormigón armado de 15 cm de espesor, con peldaño de hormigón, realizada con hormigón HA-25/F/20/XC2 fabricado en central, y vertido con cubilote, y acero UNE-EN 10080 B 500 S, con una cuantía aproximada de 18 kg/m <sup>2</sup> ; montaje y desmontaje de sistema de encofrado, con acabado tipo industrial para revestir en su cara inferior y laterales, en planta de hasta 3 m de altura libre, formado por: superficie encofrante de tablonos de madera de pino, amortizables en 10 usos, estructura soporte horizontal de tablonos de madera de pino, amortizables en 10 usos y estructura soporte vertical de puntales metálicos, amortizables en 150 usos. Incluso alambre de atar, separadores y líquido desencofrante, para evitar la adherencia del hormigón al encofrado. El precio incluye la elaboración de la ferralla (corte, doblado y conformado de elementos) en taller industrial y el montaje en el lugar definitivo de su colocación en obra. Losa de escalera de hormigón armado	1	7,60	2,20		16,72	<b>16,72 m<sup>2</sup></b>
5	m <sup>3</sup>	Base de hormigón en masa de 15 cm de espesor, con juntas, realizada con hormigón HM-20/B/20/X0 fabricado en central y vertido desde camión, extendido y vibrado manual, con acabado maestreado, para su posterior uso como soporte de pavimento Hormigón en masa para para rampas	1	105,60	2,20	0,15	34,85	<b>34,85 m<sup>3</sup></b>
6	m <sup>3</sup>	Muro de hormigón armado 2C, de hasta 3 m de altura, espesor 30 cm, superficie plana, realizado con hormigón HA-25/F/20/XC2 fabricado en central, y vertido con cubilote, y acero UNE-EN 10080 B 500 S, con una cuantía aproximada de 50 kg/m <sup>3</sup> , ejecutado en condiciones complejas; montaje y desmontaje de sistema de encofrado con acabado tipo industrial para revestir, realizado con paneles metálicos modulares, amortizables en 150 usos. Incluso alambre de atar, separadores, pasamuros para paso de los tensores y líquido desencofrante, para evitar la adherencia del hormigón al encofrado. El precio incluye la elaboración y el montaje de la ferralla en el lugar definitivo de su colocación en obra.	2	30,00	2,90	0,20	17,40	<b>34,80 m<sup>3</sup></b>
<b>Capítulo 4. Otros</b>								
1	Ud.	Seguridad y Salud	1				1 Ud.	<b>1Ud.</b>
2	Ud.	Gestión de residuos	1				1 Ud.	<b>1Ud.</b>
3	Ud.	Señalización provisional en obras	1				1 Ud.	<b>1Ud.</b>

### 3. Justificación de precios

N	Unidad	Definición	Precio unitario (euros)	Total (euros)
<b>Capítulo 1. Demoliciones y trabajos previos</b>				
1	m <sup>2</sup>	Demolición de firme o pavimento existente de cualquier tipo o espesor i/ bajas por rendimiento por paso de vehículos, demolición de aceras, isletas, bordillos y toda clase de piezas especiales de pavimentación, desescombro, carga y transporte de material demolido a gestor autorizado hasta una distancia de 60 km.		
	h	Capataz	0,09	
	h	Peón especialista	0,16	
	h	Excavadora hidráulica sobre rueda. De 22 t de masa	0,66	
	h	Martillos demoledores hidráulicos. De 1.000 kg de masa	0,06	
	h	Cargadoras sobre ruedas. De 125 kW de potencia (3m <sup>3</sup> )	0,60	
	h	Camión. Con caja basculante 6x6. De 258 kW de potencia	2,10	
	%	Costes directos complementarios	0,22	
				<b>3,88</b>
2	m <sup>2</sup>	Fresado de pavimento bituminoso o de hormigón existente i/ carga, barrido, retirada y transporte de residuos a lugar de empleo y/o gestor autorizado hasta una distancia de 60 km.		
	h	Capataz	0,01	
	h	Peón ordinario	0,04	
	h	Camión. Con caja basculante 4x4. De 199 kW de potencia	0,22	
	h	Fresadora. De 2.000 mm de anchura y 297 kW de potencia	0,16	
	h	Retrocargadoras sobre ruedas. De 75 kW de potencia	0,04	
	h	Barredora y aspirador de polvo. Autopropulsada de 9 m <sup>3</sup>	0,02	
	%	Costes directos complementarios	0,03	
				<b>0,52</b>
3	m	Levantamiento de barrera metálica bionda i/ desmontaje, arranque de postes, demolición, desescombro, carga y transporte de material demolido a gestor autorizado hasta una distancia de 60 km.		
	h	Capataz	0,09	
	h	Peón ordinario	0,71	
	h	Camión. Con caja basculante 6x6. De 258 kW de potencia	3,15	
	h	Retrocargadoras sobre ruedas. De 75 kW de potencia	0,80	
	h	Martillos demoledores hidráulicos. De 600 kg de masa	0,09	
	%	Costes directos complementarios	0,29	
				<b>5,13</b>
<b>Capítulo 2. Movimiento de tierras</b>				
1	m <sup>3</sup>	Excavación en vaciado entre pantallas en cualquier tipo de terreno a cielo abierto i/ carga y transporte a vertedero hasta una distancia de 10 km o al lugar de utilización dentro de la obra sea cual sea la distancia.		
	h	Capataz	0,05	
	h	Peón especialista	0,22	
	h	Excavadora hidráulica sobre rueda. De 22 t de masa	0,91	
	h	Camión. Con caja basculante 6x6. De 258 kW de potencia	2,89	
	%	Costes directos complementarios	0,24	
				<b>4,31</b>
2	m <sup>3</sup>	Relleno localizado en zanjas, pozos y cimientos con material procedente de préstamo, yacimiento granular y/o cantera i/ canon de préstamo o cantera, carga y transporte al lugar de empleo hasta una distancia de 5 km, extendido, humectación, compactación, terminación y refino de la superficie de la coronación y refino de taludes (en su caso).		
	h	Capataz	0,13	
	h	Peón especialista	1,09	
	m <sup>3</sup>	Agua	0,15	
	m <sup>3</sup>	Canon tierras de préstamos	2,00	
	h	Retrocargadoras sobre ruedas. De 75 kW de potencia	1,21	
	h	Compactadores de conducción manual. Bandejas vibrantes. De 1.000 kg de masa	0,51	
	h	Camión cisterna para riego. Para una cantidad de 8.000 litros	0,73	
	h	Camión. Con caja basculante 6x6. De 258 kW de potencia	2,10	
	%	Costes directos complementarios	0,48	
				<b>8,40</b>



## Diseño geotécnico de un paso inferior peatonal en el PK 18+280 de la C-12 en Tortosa (Tarragona)

N	Unidad	Definición	Precio unitario (euros)	Total (euros)
3	Ud.	Transporte, puesta en obra y retirada de equipo completo de vibrohincador-extractor hidráulico, para hincas de tablestacas metálicas en el terreno, con carácter provisional o definitivo, a una distancia de hasta 50 km. El precio incluye el desplazamiento a la obra del personal especializado.		
	Ud.	Transporte, puesta en obra y retirada de martillo percutor de doble efecto, con motor, para hincas y extracción de tablestacas recuperables, a una distancia de hasta 50 km	9.945,60	
	%	Costes directos complementarios	198,91	
				<b>10.144,51</b>
4	m <sup>2</sup>	Pantalla autoportante de tablestacas metálicas machihembradas, hincadas en el terreno de manera provisional, hasta alcanzar como máximo 5 m de profundidad en terreno de arenas, formada por perfiles metálicos de acero laminado, con forma grecada de 800 mm de ancho de perfil, 8 mm de espesor y módulo de resistencia de 1060 cm <sup>3</sup> /m de pared.		
	m <sup>2</sup>	Tablestaca recuperable para 25 usos formada por perfiles de acero laminado con forma grecada, de 600 mm de ancho de perfil y 8 mm de espesor, con un módulo resistente de 242 cm <sup>3</sup> /m de pared; sistema de unión mediante solape.	8,1	
	h	Grúa autopropulsada de brazo telescópico con una capacidad de elevación de 30 t y 27 m de altura máxima de trabajo.	21,39	
	h	Martillo percutor de doble efecto, con motor	62,79	
	h	Ayudante estructurista	5,9	
	%	Costes directos complementarios	1,96	
				<b>100,14</b>
<b>Capítulo 3. Estructuras</b>				
1	m	Marco prefabricado de hormigón armado de medidas interiores H:3,50 x V:3,50 m según planos i/ suministro, altura de tierras sobre clave < 8 m, montaje, solera de hormigón en masa hm-20 de 15 cm de espesor, arena de nivelación de 10 cm de espesor, junta, totalmente instalado.		
	h	Capataz	0,93	
	h	Oficial 1ª	25,77	
	h	Peón especialista	39,72	
	m	Marco prefabricado, 3,50 X 3,50 m	1.313,20	
	m <sup>3</sup>	Hormigón en masa HM-20 de consistencia plástica y tamaño máximo del árido 20 mm	33,28	
	t	Arenas calizas	3,03	
	h	Grúas de carretera (desplazamiento rápido) de más de 221 t. Para carga máxima de 300 t	226,67	
	%	Costes directos complementarios	98,56	
				<b>1.741,16</b>
2	m <sup>3</sup>	Capa de hormigón de limpieza y nivelado de fondos de cimentación, de 10 cm de espesor, de hormigón HL-150/B/20, fabricado en central y vertido desde camión, en el fondo de la excavación previamente realizada.		
	m <sup>3</sup>	Hormigón de limpieza HL-150/B/20, fabricado en central.	69,3	
	h	Oficial 1ª estructurista, en trabajos de puesta en obra del hormigón.	1,85	
	h	Ayudante estructurista, en trabajos de puesta en obra del hormigón.	3,5	
	h	Costes directos complementarios	1,49	
				<b>76,14</b>
3	m <sup>2</sup>	Geotextil de material virgen (100%) tipo 2 i/ p.p. de solapes, totalmente colocado como separador, y con las siguientes propiedades físicas: resistencia a la tracción longitudinal desde 11,9 KN/m hasta 18,5 KN/m, resistencia a la tracción transversal desde 12,1 KN/m hasta 17,7 KN/m, elongación longitudinal en rotura desde 56% hasta 60%, elongación transversal en rotura hasta 60%, punzonamiento estático (CBR) desde 1961 n hasta 3020 n, perforación dinámica (caída cono) desde 18 mm hasta 13 mm y permeabilidad al agua desde 6,1 10-6/m <sup>2</sup> /s hasta 7,2 10-6/m <sup>2</sup> /s.		
	h	Oficial 1ª	0,79	
	h	Ayudante	0,92	
	h	Peón ordinario	1,13	
	m <sup>2</sup>	Suministro de geotextil no tejido tipo3	1,80	
	h	Camión. Con caja fija y grúa auxiliar. Para 16 t	0,06	
	%	Costes directos complementarios	0,28	
				<b>4,98</b>

## Diseño geotécnico de un paso inferior peatonal en el PK 18+280 de la C-12 en Tortosa (Tarragona)

N	Unidad	Definición	Precio unitario (euros)	Total (euros)
4	m <sup>2</sup>	Losa de escalera de hormigón armado de 15 cm de espesor, con peldaño de hormigón, realizada con hormigón HA-25/F/20/XC2 fabricado en central, y vertido con cubilote, y acero UNE-EN 10080 B 500 S, con una cuantía aproximada de 18 kg/m <sup>2</sup> ; montaje y desmontaje de sistema de encofrado, con acabado tipo industrial para revestir en su cara inferior y laterales, en planta de hasta 3 m de altura libre, formado por: superficie encofrante de tablonos de madera de pino, amortizables en 10 usos, estructura soporte horizontal de tablonos de madera de pino, amortizables en 10 usos y estructura soporte vertical de puntales metálicos, amortizables en 150 usos. Incluso alambre de atar, separadores y líquido desencofrante, para evitar la adherencia del hormigón al encofrado. El precio incluye la elaboración de la ferralla (corte, doblado y conformado de elementos) en taller industrial y el montaje en el lugar definitivo de su colocación en obra.		
	m <sup>2</sup>	Tablón de madera de pino, de 20x7,2 cm.	4,74	
	m <sup>2</sup>	Sistema de encofrado para formación de peldaño en losas inclinadas de escalera de hormigón armado, con puntales y tableros de madera.	3,48	
	Ud.	Puntal metálico telescópico, de hasta 3 m de altura.	0,31	
	m <sup>3</sup>	Madera de pino.	1,07	
	kg	Puntas de acero de 20x100 mm.	0,35	
	l	Agente desmoldeante, a base de aceites especiales, emulsionable en agua, para encofrados metálicos, fenólicos o de madera.	0,05	
	Ud.	Separador homologado para losas de escalera.	0,27	
	kg	Ferralla elaborada en taller industrial con acero en barras corrugadas, UNE-EN 10080 B 500 S, de varios diámetros.	28,8	
	kg	Alambre galvanizado para atar, de 1,30 mm de diámetro.	0,41	
	m <sup>3</sup>	Hormigón HA-25/F/20/XC2, fabricado en central.	19,57	
	h	Oficial 1 <sup>º</sup> encofrador.	17,63	
	h	Ayudante encofrador.	16,73	
	h	Oficial 1 <sup>º</sup> ferrallista.	5,6	
	h	Ayudante ferrallista.	5,31	
	h	Oficial 1 <sup>º</sup> estructurista, en trabajos de puesta en obra del hormigón.	1,16	
	h	Ayudante estructurista, en trabajos de puesta en obra del hormigón.	4,47	
	%	Costes directos complementarios	2,2	
				<b>112,15</b>
5	m <sup>3</sup>	Base de hormigón en masa de 15 cm de espesor, con juntas, realizada con hormigón HM-20/B/20/X0 fabricado en central y vertido desde camión, extendido y vibrado manual, con acabado maestreado, para su posterior uso como soporte de pavimento		
	m <sup>3</sup>	Hormigón HM-20/B/20/X0, fabricado en central.	80,44	
	h	Oficial 1 <sup>º</sup> estructurista, en trabajos de puesta en obra del hormigón.	1,22	
	h	Ayudante estructurista, en trabajos de puesta en obra del hormigón.	5,84	
	%	Costes directos complementarios	1,75	
				<b>89,25</b>
6	m <sup>3</sup>	Muro de hormigón armado 2C, de hasta 3 m de altura, espesor 30 cm, superficie plana, realizado con hormigón HA-25/F/20/XC2 fabricado en central, y vertido con cubilote, y acero UNE-EN 10080 B 500 S, con una cuantía aproximada de 50 kg/m <sup>3</sup> , ejecutado en condiciones complejas; montaje y desmontaje de sistema de encofrado con acabado tipo industrial para revestir, realizado con paneles metálicos modulares, amortizables en 150 usos. Incluso alambre de atar, separadores, pasamuros para paso de los tensores y líquido desencofrante, para evitar la adherencia del hormigón al encofrado. El precio incluye la elaboración y el montaje de la ferralla en el lugar definitivo de su colocación en obra.		
	m <sup>2</sup>	Paneles metálicos modulares, para encofrar muros de hormigón de hasta 3 m de altura.	8,8	
	Ud.	Estructura soporte de sistema de encofrado vertical, para muros de hormigón a dos caras, de hasta 3 m de altura, formada por tornapuntas metálicos para estabilización y aplomado de la superficie encofrante.	12,10	
	l	Agente desmoldeante, a base de aceites especiales, emulsionable en agua, para encofrados metálicos, fenólicos o de madera.	0,36	
	Ud.	Pasamuros de PVC para paso de los tensores del encofrado, de varios diámetros y longitudes.	3,60	
	Ud.	Separador homologado para muros.	0,48	
	kg	Acero en barras corrugadas, UNE-EN 10080 B 500 S, suministrado en obra en barras sin elaborar, de varios diámetros.	62,22	
	kg	Alambre galvanizado para atar, de 1,30 mm de diámetro	0,98	
	m <sup>3</sup>	Hormigón HA-25/F/20/XC2, fabricado en central.	84,92	
	h	Oficial 1 <sup>º</sup> encofrador.	42,16	
	h	Ayudante encofrador.	43,65	
	h	Oficial 1 <sup>º</sup> ferrallista	11,24	
	h	Ayudante ferrallista	16,58	

## Diseño geotécnico de un paso inferior peatonal en el PK 18+280 de la C-12 en Tortosa (Tarragona)

<b>N</b>	<b>Unidad</b>	<b>Definición</b>	<b>Precio unitario (euros)</b>	<b>Total (euros)</b>
	h	Oficial 1ª estructurista, en trabajos de puesta en obra del hormigón.	6,39	
	h	Ayudante estructurista, en trabajos de puesta en obra del hormigón.	24,25	
	%	Costes directos complementarios	6,29	
				<b>321,02</b>
<b>Capítulo 4. Otros</b>				
	Ud.	Seguridad y Salud		<b>2.125,00</b>
	Ud.	Gestión de residuos		<b>1.420,00</b>
	Ud.	Señalización provisional en obras		<b>4.250,00</b>

## 4. Valoración PEM

N	Unidad	Definición	Medición	Precio	Importe
<b>Capítulo 1. Demoliciones y trabajos previos</b>					<b>1.560,73 €</b>
1	m <sup>2</sup>	Demolición de firme o pavimento existente de cualquier tipo o espesor i/ bajas por rendimiento por paso de vehículos, demolición de aceras, isletas, bordillos y toda clase de piezas especiales de pavimentación, desescombros, carga y transporte de material demolido a gestor autorizado hasta una distancia de 60 km.	265,00	3,88 €	1.029,05 €
2	m <sup>2</sup>	Fresado de pavimento bituminoso o de hormigón existente i/ carga, barrido, retirada y transporte de residuos a lugar de empleo y/o gestor autorizado hasta una distancia de 60 km.	470,00	0,52 €	244,40 €
3	m	Levantamiento de barrera metálica bionda i/ desmontaje, arranque de postes, demolición, desescombros, carga y transporte de material demolido a gestor autorizado hasta una distancia de 60 km.	56,00	5,13 €	287,28 €
<b>Capítulo 2. Movimiento de tierras</b>					<b>87.255,41 €</b>
1	m <sup>3</sup>	Excavación en vaciado entre pantallas en cualquier tipo de terreno a cielo abierto i/ carga y transporte a vertedero hasta una distancia de 10 km o al lugar de utilización dentro de la obra sea cual sea la distancia.	1.812,50	4,31 €	7.811,88 €
2	m <sup>3</sup>	Relleno localizado en zanjas, pozos y cimientos con material procedente de préstamo, yacimiento granular y/o cantera i/ canon de préstamo o cantera, carga y transporte al lugar de empleo hasta una distancia de 5 km, extendido, humectación, compactación, terminación y refino de la superficie de la coronación y refino de taludes (en su caso).	191,00	8,40 €	1.604,40 €
3	Ud.	Transporte, puesta en obra y retirada de equipo completo de vibrohincador-extractor hidráulico, para hincas de tablestacas metálicas en el terreno, con carácter provisional o definitivo, a una distancia de hasta 50 km. El precio incluye el desplazamiento a la obra del personal especializado.	4,00	10.144,51 €	40.578,04 €
4	m <sup>2</sup>	Pantalla autoportante de tablestacas metálicas solapadas, hincadas en el terreno de manera provisional, hasta alcanzar como máximo 5 m de profundidad en terreno de arenas, formada por perfiles metálicos de acero laminado, con forma grecada de 600 mm de ancho de perfil, 8 mm de espesor y módulo de resistencia de 242 cm <sup>3</sup> /m de pared.	372,09	100,14 €	37.261,10 €
<b>Capítulo 3. Estructuras</b>					<b>53.859,51 €</b>
1	m	Marco prefabricado de hormigón armado de medidas interiores H:3,50 x V:3,50 m según planos i/ suministro, altura de tierras sobre clave < 8 m, montaje, solera de hormigón en masa hm-20 de 15 cm de espesor, arena de nivelación de 10 cm de espesor, junta, totalmente instalado.	19,00	1.741,16 €	33.082,04 €
2	m <sup>3</sup>	Capa de hormigón de limpieza y nivelado de fondos de cimentación, de 10 cm de espesor, de hormigón HL-150/B/20, fabricado en central y vertido desde camión, en el fondo de la excavación previamente realizada.	7,50	76,14 €	571,05 €

## Diseño geotécnico de un paso inferior peatonal en el PK 18+280 de la C-12 en Tortosa (Tarragona)

3	m <sup>2</sup>	Geotextil de material virgen (100%) tipo 2 i/ p.p. de solapes, totalmente colocado como separador, y con las siguientes propiedades físicas: resistencia a la tracción longitudinal desde 11,9 KN/m hasta 18,5 KN/m, resistencia a la tracción transversal desde 12,1 KN/m hasta 17,7 KN/m, elongación longitudinal en rotura desde 56% hasta 60%, elongación transversal en rotura hasta 60%, punzonamiento estático (CBR) desde 1961 n hasta 3020 n, perforación dinámica (caída cono) desde 18 mm hasta 13 mm y permeabilidad al agua desde 6,1 10 <sup>-6</sup> /m <sup>2</sup> /s hasta 7,2 10 <sup>-6</sup> /m <sup>2</sup> /s.	131,60	4,98 €	655,37 €
4	m <sup>2</sup>	Losa de escalera de hormigón armado de 15 cm de espesor, con peldaño de hormigón, realizada con hormigón HA-25/F/20/XC2 fabricado en central, y vertido con cubilote, y acero UNE-EN 10080 B 500 S, con una cuantía aproximada de 18 kg/m <sup>2</sup> ; montaje y desmontaje de sistema de encofrado, con acabado tipo industrial para revestir en su cara inferior y laterales, en planta de hasta 3 m de altura libre, formado por: superficie encofrante de tablonos de madera de pino, amortizables en 10 usos, estructura soporte horizontal de tablonos de madera de pino, amortizables en 10 usos y estructura soporte vertical de puntales metálicos, amortizables en 150 usos. Incluso alambre de atar, separadores y líquido desencofrante, para evitar la adherencia del hormigón al encofrado. El precio incluye la elaboración de la ferralla (corte, doblado y conformado de elementos) en taller industrial y el montaje en el lugar definitivo de su colocación en obra.	16,72	112,15 €	1.875,15 €
5	m <sup>3</sup>	Base de hormigón en masa de 15 cm de espesor, con juntas, realizada con hormigón HM-20/B/20/X0 fabricado en central y vertido desde camión, extendido y vibrado manual, con acabado maestreado, para su posterior uso en rampas	34,85	186,64 €	6.504,41 €
6	m <sup>3</sup>	Muro de hormigón armado 2C, de hasta 3 m de altura, espesor 30 cm, superficie plana, realizado con hormigón HA-25/F/20/XC2 fabricado en central, y vertido con cubilote, y acero UNE-EN 10080 B 500 S, con una cuantía aproximada de 50 kg/m <sup>3</sup> , ejecutado en condiciones complejas; montaje y desmontaje de sistema de encofrado con acabado tipo industrial para revestir, realizado con paneles metálicos modulares, amortizables en 150 usos. Incluso alambre de atar, separadores, pasamuros para paso de los tensores y líquido desencofrante, para evitar la adherencia del hormigón al encofrado. El precio incluye la elaboración y el montaje de la ferralla en el lugar definitivo de su colocación en obra.	34,80	321,02 €	11.171,50 €
<b>Capítulo 4. Otros</b>					<b>7.795,00 €</b>
1		Seguridad y Salud			2.125,00 €
2		Gestión de residuos			1.420,00 €
3		Señalización provisional en obras			4.250,00 €
<b>TOTAL</b>					<b>150.470,64 €</b>

*Asciende el Presupuesto de Ejecución Material a la expresada cantidad de CIENTO CINCUENTA MIL CUATROCIENTOS SETENTA EUROS CON SESENTA Y CUATRO CÉNTIMOS (150.470,64 €)*

## 5. RESUMEN

Presupuesto de Ejecución Material (PEM).....	150.470,64 €
16% GASTOS GENERALES (s/PEM).....	24.075,30 €
6% BENEFICIO INDUSTRIAL (s/PEM).....	9.028,24 €
<hr/>	
TOTAL .....	183.574,18 €
I.V.A.: 21% (s/PEM+GG+BI).....	38.550,58 €
<hr/>	
TOTAL .....	222.124,76 €

*Asciende el Presupuesto DE EJECUCIÓN POR CONTRATA CON IVA a la expresada cantidad de DOS CIENTOS VEINTIDÓS MIL CIENTO VEINTICUATRO EUROS CON SETENTA Y SEIS CÉNTIMOS (222.124,76 €)*