



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos,
Canales y Puertos

Estudio de soluciones de sistemas de contención para la
excavación de un edificio residencial en Barbastro
(Huesca)

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería Civil

AUTOR/A: Albarran López, Dayana Carolina

Tutor/a: Torrijo Echarri, Francisco Javier

CURSO ACADÉMICO: 2022/2023



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos,
Canales y Puertos

Estudio de soluciones de sistemas de contención para la
excavación de un edificio residencial en Barbastro
(Huesca)

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería Civil

AUTOR/A: Albarrán López, Dayana Carolina

Tutor/a: Torrijo Echarri, Francisco Javier

CURSO ACADÉMICO: 2022/2023

INDICE

- I. MEMORIA
- II. ANEJO I: ESTUDIO GEOLÓGICO Y GEOTÉCNICO
- III. ANEJO II: ESTUDIO DE LAS ALTERNATIVAS
- IV. ANEJO III: DISEÑO GEOTÉCNICO DE LA SOLUCIÓN ELEGIDA
- V. ANEJO IV: RESULTADOS DEL SOFTWARE CYPE
- VI. ANEJO V: PLANOS
- VII. ANEJO VI: VALORACIÓN ECONÓMICA

MEMORIA

Índice

1. Introducción	6
1.1 Objeto del estudio	6
1.2 Antecedentes	6
1.3 Ubicación del Proyecto.....	6
1.4 Descripción de la estructura.....	7
2. Alcance	7
2.1 Normativa empleada.....	7
2.2 Software empleado	7
3. Estudio geológico	7
3.1 Marco geológico	7
3.2 Geomorfología.....	7
3.3 Hidrología e Hidrogeología.....	8
3.4 Peligrosidad Sísmica	8
4. Campaña Geotécnica.....	8
4.1 Trabajos De Campo	9
4.1.1Sondeos	9
4.1.2 Ensayo de penetración dinámica estándar (S.P.T.)	9
4.1.3 Ensayo de penetración dinámica tipo Borro's	9
4.1.4 Nivel Freático.....	9
4.2 Ensayos de laboratorio y correlaciones posteriores	10
4.3 Análisis de datos.....	10
4.3.1 Caracterización de los materiales del terreno	10
4.3.2 Parametrización del terreno	11
4.3.3 Perfil litológico.....	11
4.4 Conclusiones y recomendaciones	11
5. Estudio de Soluciones.....	12
5.1 Alternativas posibles	12
5.2 Análisis multicriterio.....	12
5.3 Solución adoptada.....	13
6. Diseño geotécnico de la solución adoptada.....	13
6.1 Procedimiento constructivo	13
6.2 Dimensionamiento de la solución adoptada.....	14
6.3 Comprobaciones geotécnicas:	14
6.3.1 Estabilidad global:	14

6.3.2 Estabilidad del fondo de la excavación	14
6.3.3 Estabilidad de la propia pantalla	15
6.3.4 Estabilidad en las edificaciones próximas	15
7. Valoración económica	15
8. Conclusiones.....	16

1. Introducción

1.1 Objeto del estudio

El objeto de este Trabajo de Fin de Grado consiste en plantear un estudio de soluciones de sistemas de contención para la excavación del sótano de un edificio residencial que pretende ser utilizado como un parking, en la localidad de Barbastro, específicamente en la calle Saint Gaudens y, además, realizar el diseño geotécnico de la solución elegida.

1.2 Antecedentes

Siguiendo las pautas establecidas por el Código Técnico de la Edificación (CTE), siendo, tal cual como se indica en este, el marco normativo por el que se regulan las exigencias básicas que deben cumplir los edificios en España, para la construcción de edificaciones se debe contar con un estudio geotécnico. Este estudio permite conocer las características del terreno en relación con el tipo de edificio previsto y el entorno donde se ubica, siendo una información esencial para realizar el análisis y diseño adecuado de los cimientos del edificio.

Para la realización del presente TFG se tiene como datos de base un estudio del terreno realizado por la empresa PROYEX SA.

1.3 Ubicación del Proyecto

El proyecto se realizará en el municipio de Barbastro en Huesca, específicamente en la calle Saint Gaudens, 10, en un solar que cuenta con una superficie de 375 m².



Figura 1. Ubicación de la zona de estudio. Fuente: Wikipedia, Google Maps

El perímetro del solar se encuentra delimitado por:

- Norte: Calle Antonio Machado.
- Sur: Edificio colindante de 2 plantas.
- Este: Calle Saint Gaudens.
- Oeste: Edificio colindante de 4 plantas.

Ambos edificios colindantes, al sur y el oeste del solar, disponen de cimentaciones superficiales y transmiten una sobrecarga al terreno de 10 kN/m² por planta, debiendo así tenerse en cuenta para el

diseño del sistema de contención la mayor sobrecarga transmitida al terreno siendo esta la del edificio de 4 plantas con una carga total de 40 kN/m².

1.4 Descripción de la estructura

La estructura a estudiar es el elemento de contención de tierras para la excavación de un edificio residencial de 6 pisos con unas dimensiones en planta de 15x25 m², es decir toda la superficie que abarca el solar.

La carga permanente que transmitirá la estructura al terreno será de 30 kN/m² y la sobrecarga de 10 kN/m² siendo un total de 40 kN/m² transmitido por todas las plantas del edificio.

2. Alcance

El alcance del proyecto se limita al ámbito geológico-geotécnico, por lo cual el dimensionamiento del sistema de contención a desarrollar y sus respectivas comprobaciones serán desde el punto de vista geotécnico, dejando por fuera el análisis estructural del elemento.

2.1 Normativa empleada

Se empleará el uso del Código técnico de Edificación CTE.

2.2 Software empleado

- Microsoft Word: Es un software de procesamiento de textos que se utiliza para crear y editar documentos de texto. Se ha empleado para el desarrollo de todo el Trabajo de Grado.
- Microsoft Excel: Es una herramienta que permite crear y editar hojas de cálculo. Se ha empleado para la realización de tablas y cálculos.
- CYPE 2023: Es un software para arquitectura, ingeniería y construcción. Se ha empleado para el dimensionamiento de la solución final del sistema de contención y el desarrollo de la valoración económica.
- Autodesk AutoCAD 2023: Es un programa de diseño asistido por ordenador (CAD) que permite crear y editar dibujos técnicos. Se ha empleado para la realización de los planos del proyecto.

3. Estudio geológico

En este apartado se desarrollará un resumen de la geología que presenta la zona de estudio, encontrándose en el Anejo I "Estudio geológico y geotécnico" la información mucho más detallada.

3.1 Marco geológico

La zona de estudio está conformada principalmente por materiales del Cuaternario tales como conglomerados, gravas y arenas, por otra parte, también se encuentran presentes materiales del Terciario, específicamente del periodo del Neógeno tales como areniscas, lutitas y conglomerados.

3.2 Geomorfología

La superficie del terreno a estudiar está compuesta por gravas, arenas y limos, correspondiéndose efectivamente a materiales del Cuaternario de tipo terraza baja, ligadas a la actividad del río Cinca.

3.3 Hidrología e Hidrogeología

En cuanto a la hidrología se tiene que la principal cuenca hidrográfica en Barbastro es la cuenca del río Vero. Además, Barbastro al ser del periodo cuaternario, desde el punto de vista hidrogeológico tiene una permeabilidad alta por la porosidad intergranular.

3.4 Peligrosidad Sísmica

Siguiendo la Norma de Construcción Sismorresistente: Parte general y edificación (NCSRE-02) y en primer lugar su artículo 1.2.3 "Criterios de aplicación de la Norma" se indica que la aplicación de dicha norma no será obligatoria en las edificaciones de importancia normal o especial cuando la aceleración sísmica básica sea inferior a 0,04g, siendo g la aceleración de la gravedad.

Por lo que observando el mapa sísmico de norma NCSE-02 siguiente mapa se determina que el término municipal de Barbastro presenta, una aceleración sísmica básica menor de 0,04g por lo que no será necesario aplicar la citada norma para el diseño de las cimentaciones.

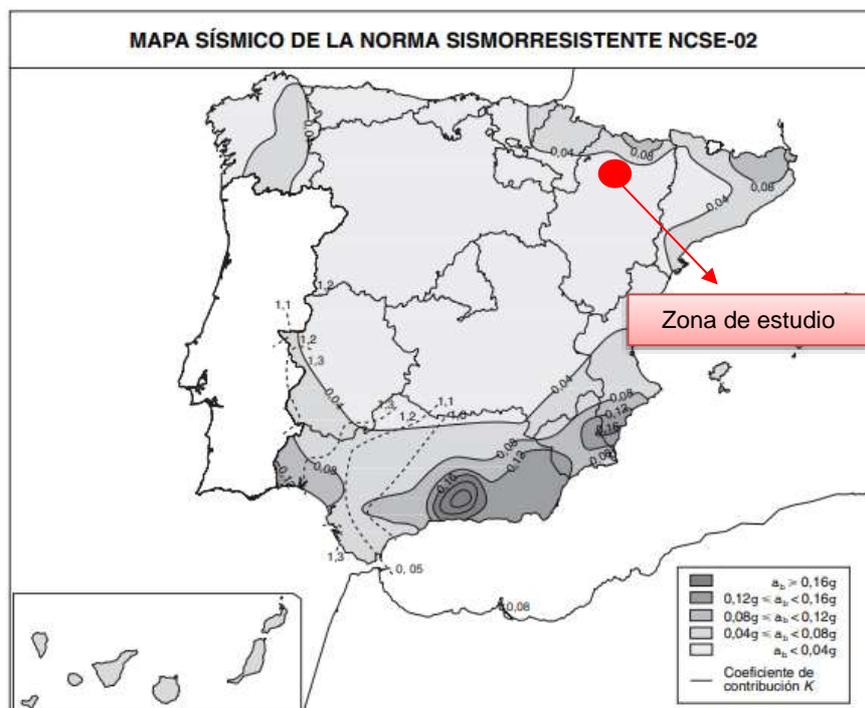


Figura 2. Mapa sísmico. Fuente: NCSE-02

4. Campaña Geotécnica

Para el análisis geotécnico se dispone de un estudio del terreno realizado por la empresa Proyex, este estudio se basa en la ejecución de un sondeo geotécnico, un ensayo de penetración dinámica estándar (S.P.T.) y cinco ensayos de penetración dinámica tipo Borro's.

En el momento de la ejecución de los trabajos la superficie del terreno se encontraba prácticamente horizontal, por lo que puede considerarse que todos los ensayos se comenzaron a la misma cota.

4.1 Trabajos De Campo

4.1.1 Sondeos

Se realizó 1 sondeo con un total de 10'60 m perforados, el cual se indica a continuación.

Sondeo nº 1

Entre 0'00 y 0'30 m.	Rellenos de limos marrones oscuros a negruzcos, con cantos, restos de ladrillos etc.
Entre 0'30 y 2'50 m.	Arenas algo limosas marrones con algún canto y restos carbonosos. Posible relleno.
Entre 2'50 y 3'70 m.	Gravas medias-gruesas y gravillas con matriz de arenas marrones.
Entre 3'70 y 4'70 m.	Gravas medias con gravillas y matriz arcillo-arenosa.
Entre 4'70 y 5'10 m.	Arenas algo arcillosas con cantos de tamaño grava fina y gravilla.
Entre 5'10 y 6'10 m.	Limolita a arenisca alterada de color marrón.
Entre 6'10 y 7'50 m.	Limolita a arenisca sana versicolor.
Entre 7'50 y 8'10 m.	Arenisca de grano fino color marrón grisáceo.
Entre 8'10 y 10'10 m.	Gravillas y gravas con algo de matriz arcillosa. Microconglomerado poco cementado.
Entre 10'10 y 10'50 m.	Arenas limosas con cantos de tamaño grava y gravilla.
Entre 10'50 y 10'60 m.	Areniscas y limolitas versicolores.

4.1.2 Ensayo de penetración dinámica estándar (S.P.T.)

Para este ensayo se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 1. Resultados ensayo S.P.T. Fuente: Propia

Ensayo nº	Prof. m	Nº de golpes			
		N ₁₅	N ₁₅	N ₁₅	N _{SPT}
1	1'90-2'50	9	13	11	24
1	4'15-4'52	19	52	Rzo	Rzo.

4.1.3 Ensayo de penetración dinámica tipo Borro's

Para estos ensayos se alcanzó el rechazo, es decir la imposibilidad a continuar la penetración en todos los ensayos a profundidades variables entre 1'40 metros y 4'60 metros, al presentar el terreno una elevada resistencia.

4.1.4 Nivel Freático

En el sondeo realizado se ha detectado un nivel de agua a 3'00 metros de profundidad. Este nivel de agua se encuentra asociado al nivel de gravas.

4.2 Ensayos de laboratorio y correlaciones posteriores

Los ensayos realizados fueron:

- a) Análisis granulométrico por tamizado (NLT-104).
- b) Límites de Atterberg para poder clasificarlas por el procedimiento de Casagrande (NLT-105-106).
- c) Ensayo de compresión simple (UNE 103400).
- d) Determinación de la humedad natural y densidad aparente (NLT-102).

A partir de estos se determinaron las correlaciones correspondientes.

Los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio y también de campo se encuentran detallados en el Anejo I "Estudio geológico y geotécnico".

4.3 Análisis de datos

4.3.1 Caracterización de los materiales del terreno

A partir del estudio geológico realizado y de los resultados obtenidos de los ensayos de campo se determina un terreno constituido fundamentalmente por 3 niveles que se representan en el perfil litológico adjunto, y que se describen a continuación:

NIVEL I

Constituido por arenas algo limosas, con cantos, restos carbonosos y restos de ladrillos.

Los ensayos SPT dan un valor de 24 golpes, y los ensayos de penetración dinámica tipo Borro's dan valores de golpeo típicos de 4-8, con datos máximos de 13-17 golpes, lo que indica un grado de compactación bajo.

NIVEL II

Corresponde a materiales de cuaternario, ligadas a la actividad del río Cinca.

Se encuentra constituido por gravas y gravillas con intercalaciones de arenas algo arcillosas con cantos de pequeño tamaño y limos. Este nivel se localiza hasta los 5'10 metros de profundidad en la zona del sondeo 1.

Granulométricamente se clasifican como "gravas y arenas con finos limosos no plásticos" (GP-GM según los criterios de Casagrande).

NIVEL III

Corresponde a las formaciones detríticas terciarias. Los espesores de estas formaciones suelen ser de varias decenas de metros.

Se encuentra constituido por una alternancia de limolitas, arenitas de grano fino y arenitas de grano grueso a microconglomerado, las cuales se presentan alteradas en su parte más superficial.

Aparece a partir de 5'10 metros en el sondeo 1, encontrándose alteradas hasta 6'10 metros. En los ensayos de penetración dinámica tipo Borro's no se ha alcanzado este nivel.

4.3.2 Parametrización del terreno

En la tabla 4 se han concluido los parámetros a disponer para cada estrato del terreno

Tabla 2. Parametrización final del terreno. Fuente: Propia

Nivel	Prof. base (m)	Descripción litológica	E (kN/m ²)	γ (kN/m ³)	φ (°)	q _u (kN/m ²)	SO ₃ (%)
I	2'50	Arenas algo limosas	--	--	--	--	<0'10
II	5'10	Gravas y arenas con finos limosos, no plásticos (GP-GM)	60.000	Seco: 20 Sumer: 12	39	--	<0'10
II	--	Sustrato rocoso Alternancia de limolitas y arenitas	2500-2750	2'28	--	2.677,2	--

4.3.3 Perfil litológico

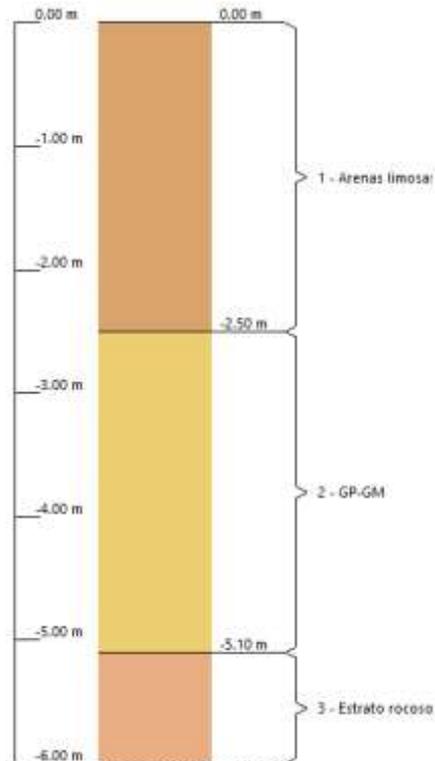


Figura 3. Perfil litológico del terreno. Fuente: Propia

4.4 Conclusiones y recomendaciones

A partir de los resultados obtenidos se deberá tener en cuenta, a parte de las características del

terreno, el nivel de agua, situándose a una profundidad de 3'0 metros, aproximadamente, desde la cota de inicio del sondeo, y ya se encuentra asociado al río Cinca, por lo que, aunque el río no se considera caudaloso se podrían producirse en él algunas variaciones estacionales.

5. Estudio de Soluciones

5.1 Alternativas posibles

Tabla 3. Cuadro comparativo de las alternativas. Fuente: Propia

Alternativa	Ventajas	Desventajas
Muro de sótano por bataches	Menos costoso que el resto de las alternativas.	Se deberá emplear alguna técnica de mejora del terreno al ser poco compacto, para que no se derrumben los bataches. Inseguro al realizar los bataches en suelos sin cohesión. Se debe rebajar el nivel freático previo a su construcción, lo cual podría afectar los edificios y viales próximos.
Tablestacas	Impide el derrumbe del terreno sobre la excavación. Pueden ejecutarse bajo el nivel freático. Fácil manejo, debido a su reducido peso. Recuperables.	Elevado costo económico. Fácilmente oxidables. Su hincas puede ocasionar daños en las cimentaciones colindantes.
Muro pantalla	Impide el derrumbe del terreno sobre la excavación. Pueden construirse bajo el nivel freático. Permite la excavación de sótanos a grandes profundidades. Rápido de construirse. No afecta a las cimentaciones colindantes.	Elevado costo económico.

5.2 Análisis multicriterio

Para la realización del análisis multicriterio se han desarrollado dos métodos, en primer lugar, el método PATTERN o análisis de preferencias y en segundo lugar un análisis de sensibilidad.

Para el método de PATTERN la metodología de análisis se basará en el desarrollo del siguiente proceso:

1- Determinación de los criterios más adecuados para la elección del sistema de contención. Para el

caso de estudio se han definido como criterios: Economía, seguridad, efectos externos, rapidez, conservación e impacto ambiental.

2- Asignación de pesos, estos representan la importancia relativa de cada criterio.

3- Puntuaciones ponderadas.

4- Comparación de las alternativas.

Para el análisis de sensibilidad se realiza un ajuste en los pesos de los criterios.

El desarrollo detallado de todo el análisis multicriterio se encuentra en el Anejo II "Estudio de soluciones".

5.3 Solución adoptada

Realizo el estudio de soluciones y analizando las alternativas se ha obtenido que la mejor alternativa es disponer de un sistema de contención previo a la excavación, siendo éste muros pantalla de hormigón in situ, evitándose así el riesgo al daño de las cimentaciones y viales colindantes a la parcela donde se realizará la obra, cabe destacar que para el desarrollo de esta alternativa se empleará el uso de Well Points para rebajar el nivel freático, al ser un método efectivo de instalar en estratos de arena.

6. Diseño geotécnico de la solución adoptada

6.1 Procedimiento constructivo

La ejecución de los muros pantallas se realiza por tramos de manera alternada, siguiendo los siguientes pasos:

1- Ejecución del murete guía: los muretes guía son elementos de hormigón armado que se construyen en la parte superior de la excavación para, como bien lo indica su nombre, servir de guía a la excavación de las pantallas. Los muretes guía se colocan a lo largo del perímetro de la excavación y se unen entre sí con vigas transversales.

2- Perforación de zanjas: las zanjas se excavan generalmente con cucharas bivalvas, bajo un fluido estabilizante, normalmente lodo tixotrópico. El lodo estabiliza la excavación durante el proceso constructivo hasta el hormigonado y luego se recicla el fluido estabilizante.

3- Colocación de juntas entre paneles: para asegurar la impermeabilidad y asegurar los distintos paneles del muro pantalla

4- Colocación de armaduras: se colocan en forma de jaula suspendiéndolas al aire para que no se muevan durante el transporte además estas deben incluir rigidizadores para disminuir las cargas a las que están sometidas.

5- Hormigonado: se realiza mediante el sistema "tremie", este sistema consiste en un embudo que permite introducir el concreto por un tubo vertical de acero con facilidad. El extremo inferior de este tubo queda siempre embebido en el concreto por lo menos 3 m, previniendo así considerablemente la segregación y el lavado.

7- Desmochado de las cabezas de las pantallas: tras terminarse el hormigonado, antes de comenzar el vaciado del sótano se demuele la parte superior del muro pantalla, el cual se encuentra contaminado por el lodo.

6- Ejecución de la viga de coronación: finalmente luego de demoler las cabezas de la pantalla se construye una viga de atado en la coronación del muro

6.2 Dimensionamiento de la solución adoptada

Para el dimensionamiento del muro se ha hecho empleo del Software CYPE, el cual dispone de un asistente para la ejecución de muros pantalla de hormigón armado en edificación que facilita determinar las dimensiones del muro, para ello se debe ir indicando paso a paso la fase de construcción y servicio a seguir y las variantes que actúan en cada fase, a continuación, se indica el procedimiento seguido.

1-Indicar la profundidad de excavación, siendo la dispuesta de 3m.

2- Indicar los estratos que forman al terreno, posteriormente se deberán modificar los parámetros de estos ya que el software los predetermina. Indicar la cota del nivel freático y la sobrecarga aplicada en el terreno, siendo estas de -3 m y 40 kN/m² respectivamente.

3- Indicar la cota y el método de anclaje de las etapas intermedias de la excavación, siendo en este caso un puntal colocado a -0,10 m.

4- Indicar las dimensiones de los forjados y su cota para la fase de construcción; siendo el forjado de cimentación de 0,40 m con la cota dispuesta a -2,6 m; y el forjado de la planta baja de 0,20 m de canto.

5- indicar las cargas y sobrecargas de uso que se aplicaran durante la fase de servicio para cada forjado, siendo estas de 240 kN/m y 5 kN/m respectivamente.

Posteriormente, el software ejecuta un muro con determinadas dimensiones, las cuales la altura se ha modificado para así hacer el muro lo más viable posible. Además, se han cambiado los parámetros del terreno, colocando los obtenidos en el Anejo I "Estudio geológico y geotécnico", para finalmente obtener unas dimensiones del muro de

En el Anejo III "Diseño geotécnico de la solución adoptada" se encuentra detallado el proceso de dimensionamiento llevado a cabo en el software.

6.3 Comprobaciones geotécnicas

Para la comprobación de las siguientes estabilidades se empleará el Código Técnico de Edificación, Documento Básico de Seguridad Estructural y Cimientos (CTE DB SE-C).

Las comprobaciones analizadas se indican a continuación.

6.3.1 Estabilidad global: esta comprobación se ha obtenido por medio del software CYPE, en el cual se verifica la estabilidad para el círculo de deslizamiento pésimo para un factor de seguridad establecido de 1,5. Los valores obtenidos del factor de seguridad fueron mucho mayores que el mínimo establecido, esto debido a que el muro se encuentra apoyado justamente en el estrato rocoso siendo poco probable el deslizamiento.

6.3.2 Estabilidad del fondo de la excavación: en cuanto esta estabilidad se ha analizado que no será necesario de calcular ya que por un lado el terreno no cuenta con un suelo cohesivo por lo que la rotura y levantamiento de fondo no se producirán y por otra parte dado que el nivel freático en la fase de servicio del sótano se mantiene a igual cota en el intradós y en el trasdós del muro no habrá una diferencia de carga hidráulica al no existir una diferencia de altura del nivel freático, con lo cual si se puede concluir que no se producirá inestabilidad por sifonamiento.

6.3.3 Estabilidad de la propia pantalla: se ha comprobado que la pantalla resiste hundimiento al ser la carga de trabajo que soporta ésta mucho mayor que la carga vertical que se le transmite, realizando la misma comprobación utilizada para cimentaciones profundas, en principio se ha calculado la resistencia frente a la carga vertical que produce el hundimiento, tal que:

$$Q_h = Q_p + Q_f$$

Donde:

Q_h: la resistencia frente a la carga vertical que produce el hundimiento.

Q_p: la parte de la resistencia que se supone soportada por la punta.

Q_f: la parte de la resistencia que se supone soportada por el fuste.

Luego se ha obtenido la carga de diseño aplicando un factor de seguridad de 3 y 1,5 para la punta y el fuste, respectivamente. Y finalmente se ha calculado la carga por trabajo del muro siendo esta la carga de diseño menos el peso del muro:

$$Q_{\text{muro}} = Q_d - W$$

En cuanto a la estabilidad frente a roturas por rotación o traslación, esta puede comprobar por distintos métodos entre ellos métodos basados en modelos de tipo Winkler, siendo este el empleado por el programa de Muros Pantalla de Cypecad, por lo cual se ha comprobado que se cumple por medio de la comprobación realizada por el propio software.

6.3.4 Estabilidad en las edificaciones próximas: para la estimación de los asientos y movimientos horizontales en el trasdós de la pantalla que pueden afectar a los edificios colindantes, en el estado límite de servicio, se ha recurrido a las recomendaciones propuestas por Oteo (2003), obteniéndose un asiento de 27 cm, el cual se considera óptimo al ser menor de 50 cm.

7. Valoración económica

Se ha realizado una estimación de los costes económicos que presenta la solución adoptada, estos se basan específicamente en el proceso constructivo para la ejecución del muro pantalla y las estructuras empleadas en estas fases, es decir los apoyos.

En primer lugar, se ha estimado los precios de las unidades de obra referentes al transporte, la puesta en obra y retirada de la maquinaria utilizada y luego se han indicado los precios para cada unidad de obra empleada durante el proceso constructivo.

Para la estimación de cada uno de los precios se ha utilizado el software de CYPE, el cual dispone de un generador de precios de la construcción, por lo cual estos, así como los códigos indicados a continuación son generados por el software.

Finalmente se ha obtenido que el proceso constructivo del muro pantalla, desde el comienzo de su construcción con la realización del murete guía hasta que se disponga del segundo forjado, el de planta baja, teniendo en cuenta además la maquinaria a emplear tendrá un coste directo de 9.709,41 euros

En el Anejo VI "Valoración económica" se detallan las unidades de obra empleada, así como los precios de cada una.

8. Conclusiones

Se puede concluir que el sistema óptimo para la realización de la excavación del sótano es muro pantalla, obteniéndose una ponderación mayor al resto al realizar el análisis multicriterio. Por otra parte, con las dimensiones establecidas previamente de un ancho de 0,45 m y una altura de 5,10 m se cumple con las comprobaciones geotécnicas realizadas por lo cual es viable para su ejecución.

ANEJO I

Estudio geológico y geotécnico

Índice

1.	Introducción	3
2.	Estudio geológico	3
2.1	Marco geológico	3
2.2	Geomorfología.....	4
2.3	Hidrología e Hidrogeología	6
2.4	Peligrosidad Sísmica	8
3.	Campaña geotécnica	9
3.1	Trabajos De Campo.....	9
3.1.1	Sondeos	9
3.1.2	Ensayo de penetración dinámica estándar (S.P.T.).....	10
3.1.3	Ensayo de penetración dinámica tipo Borro's	11
3.1.4	Nivel Freático.....	12
3.2	Ensayos de laboratorio y correlaciones posteriores.....	12
4.	Análisis de datos.....	13
4.1	Caracterización de los materiales del terreno.....	13
4.2	Parametrización del terreno.....	14
4.3	Perfil litológico.....	15
5.	Conclusiones y recomendaciones	15

1. Introducción

El presente anejo está enfocado en el estudio geológico y geotécnico del terreno donde estará situado el sistema de contención para la excavación del edificio residencial objeto de este trabajo de fin de grado.

Se desarrollará, tanto el estudio de la geología general de la zona, como la información de la campaña geotécnica y los ensayos de laboratorio de los que se disponen, para finalmente analizar estos datos y obtener la caracterización de los materiales por los que está conformado el terreno.

2. Estudio geológico

2.1 Marco geológico

La zona de estudio se encuentra ubicada en Barbastro, Huesca, por lo que como punto de inicio del estudio geológico se ha obtenido el siguiente mapa geológico y su respectiva leyenda de la cartografía del Instituto Geológico y Minero de España (IGME).

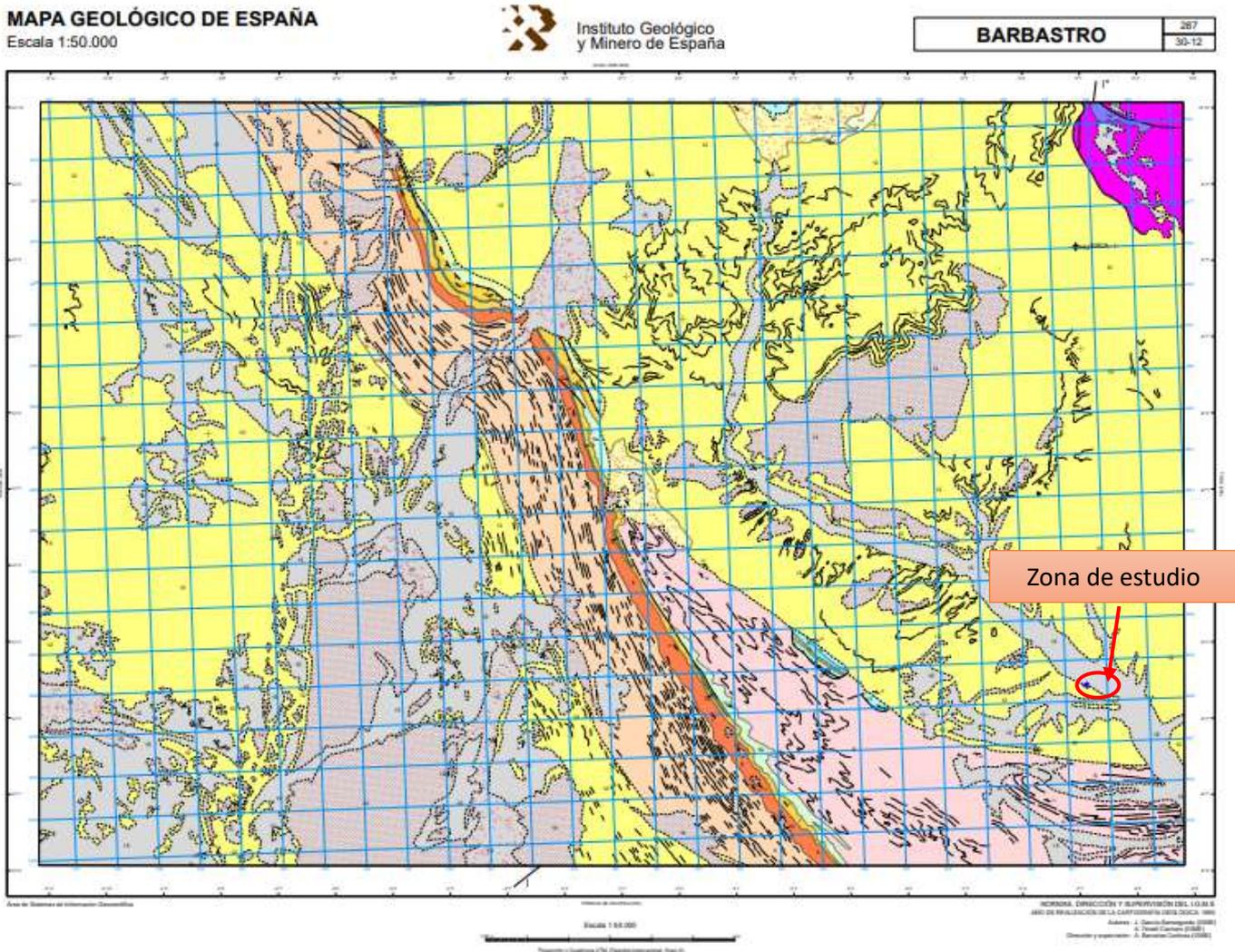


Figura 1. Situación geológica de la zona de estudio. Detalle de la hoja 30-12 a escala 1.50.000 del Mapa Geológico Nacional. Fuente: IGME. Editado

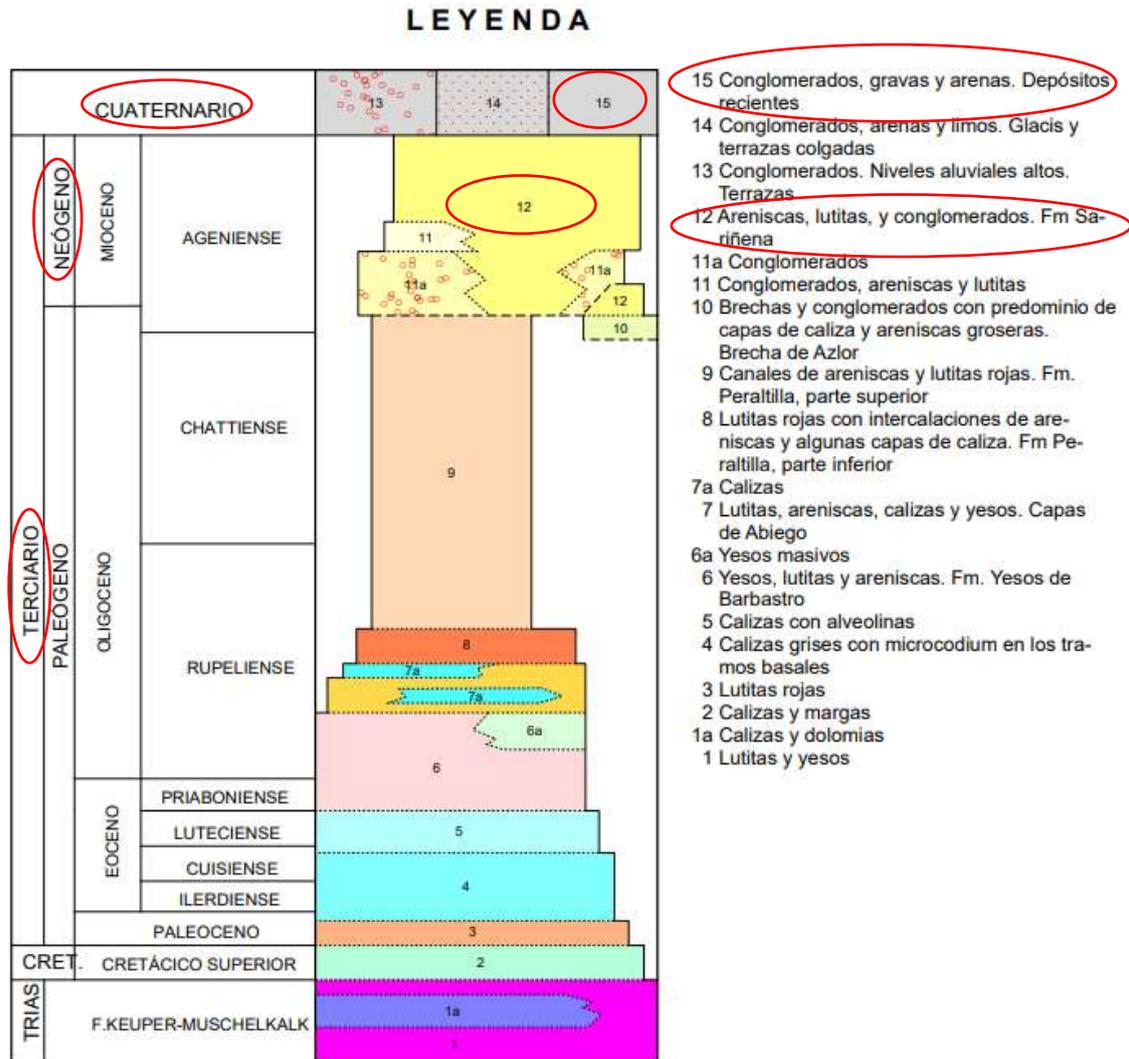


Figura 2. Leyenda del marco geológico. Fuente: IGME

Desde el punto de vista geológico se puede observar que la zona de estudio está conformada principalmente por materiales del Cuaternario tales como conglomerados, gravas y arenas, por otra parte, también se encuentran presentes materiales del Terciario, específicamente del periodo del Neógeno tales como areniscas, lutitas y conglomerados.

2.2 Geomorfología

A partir del IGME se ha obtenido el siguiente mapa correspondiente a la geomorfología de la zona de estudio junto con su leyenda, en la Hoja de Barbastro los depósitos cuaternarios se encuentran bien representados; principalmente en los alrededores del río Alcanadre y en la mitad suroriental de la hoja. La parte NE de la hoja corresponde a un sector desprovisto de estos depósitos, o bien se encuentran mal representados. En el mapa geomorfológico, por un lado, se han diferenciado los depósitos fluviales correspondientes a terrazas colgadas y lechos actuales de ríos; por otro lado, se han diferenciado los depósitos poligénicos, correspondientes a los depósitos de glacis, aluvial-coluvial y fondo de valle o valés y finalmente los coluviones como depósitos de ladera. En lo referente a los depósitos de las terrazas fluviales, en general, corresponden a limos y gravas organizadas y con cantos bien redondeados, de origen pirenaico. Los depósitos fluviales actuales se componen de arenas y gravas que forman barras de morfología variada.

Estudio de soluciones de sistemas de contención para la excavación de un edificio residencial en Barbastro (Huesca)

MAPA GEOMORFOLÓGICO
Escala 1:50.000

Instituto Geológico
y Minero de España

BARBASTRO 287
30-12

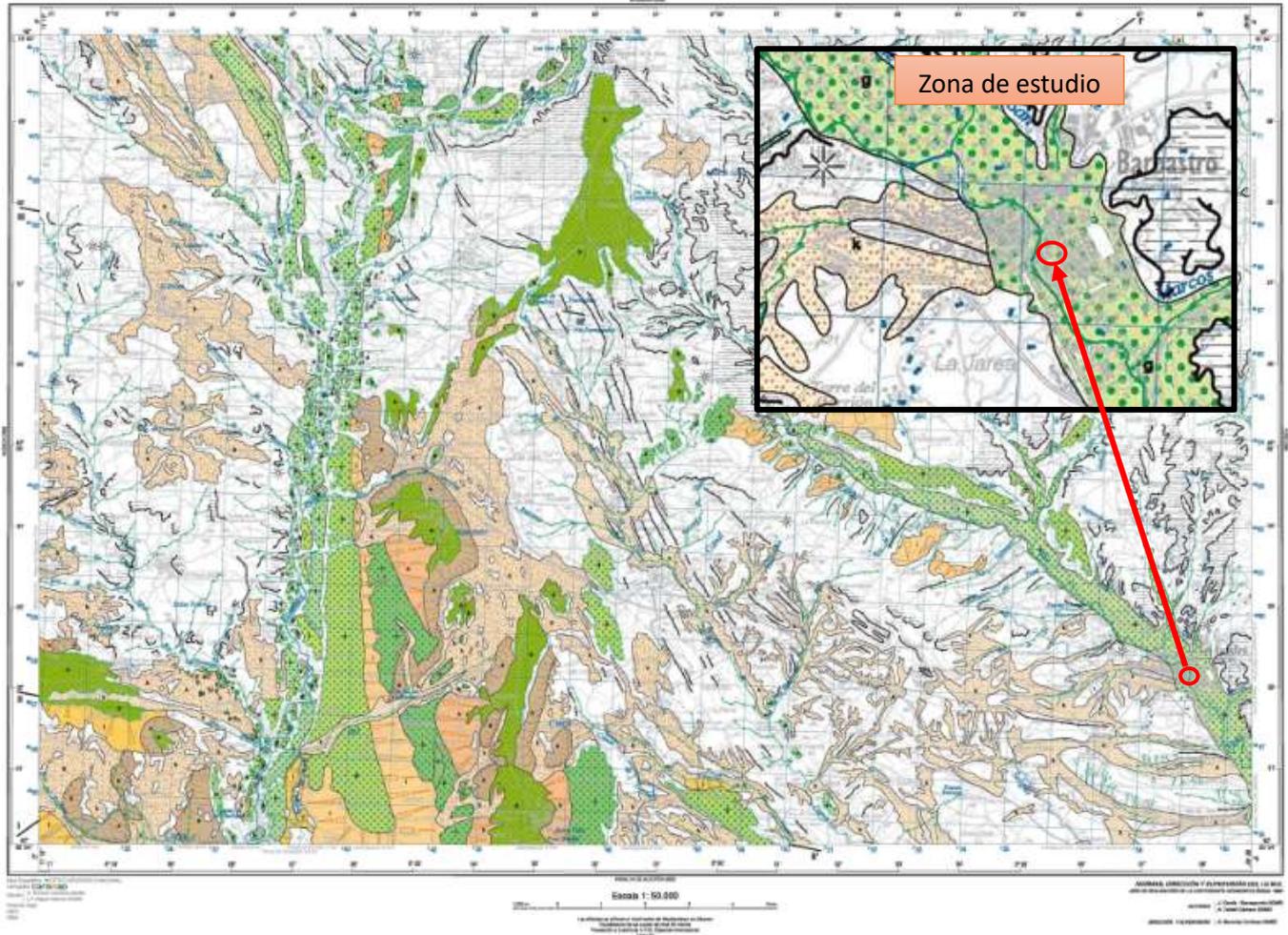


Figura 3. Mapa geomorfológico. Fuente: IGME. Modificado

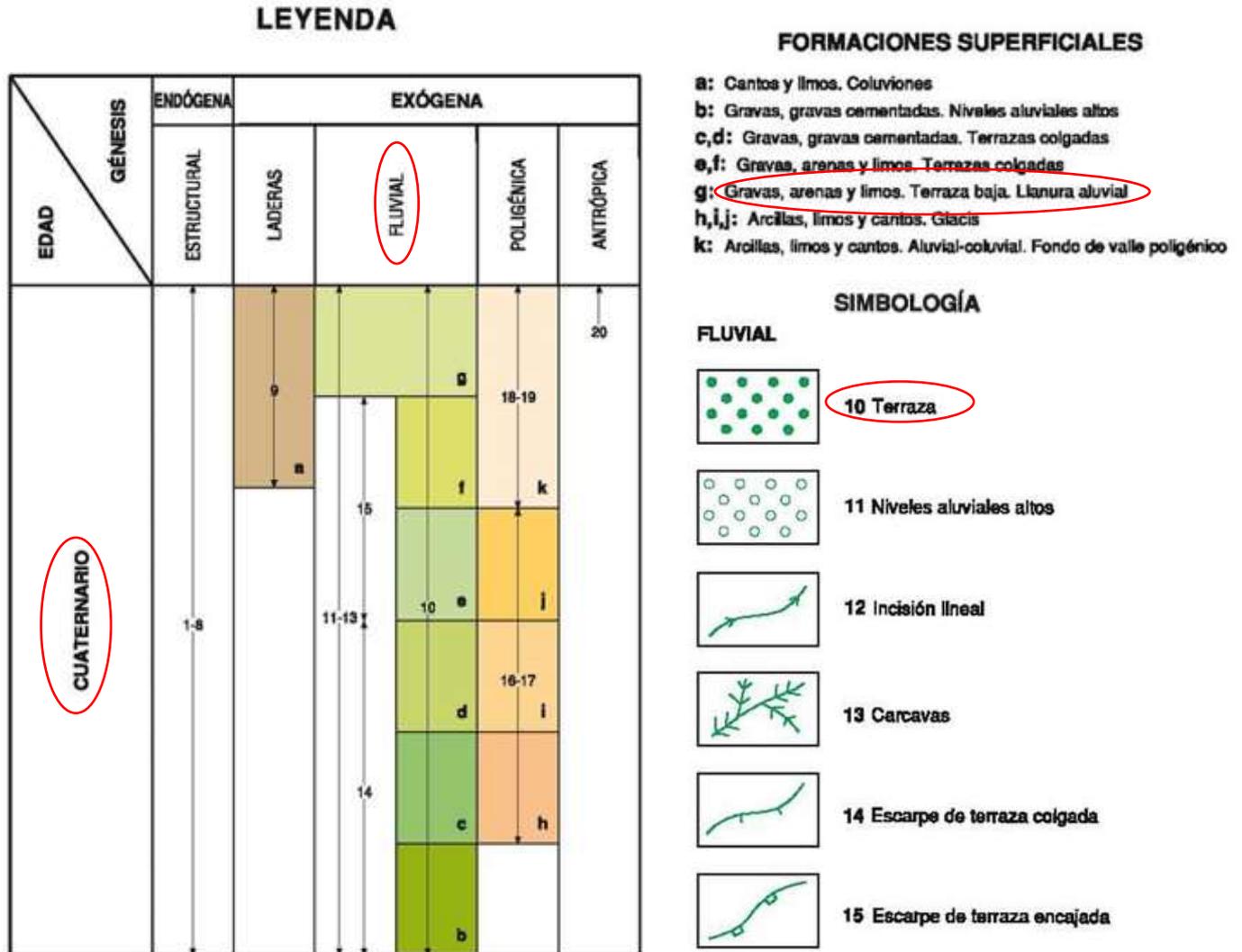


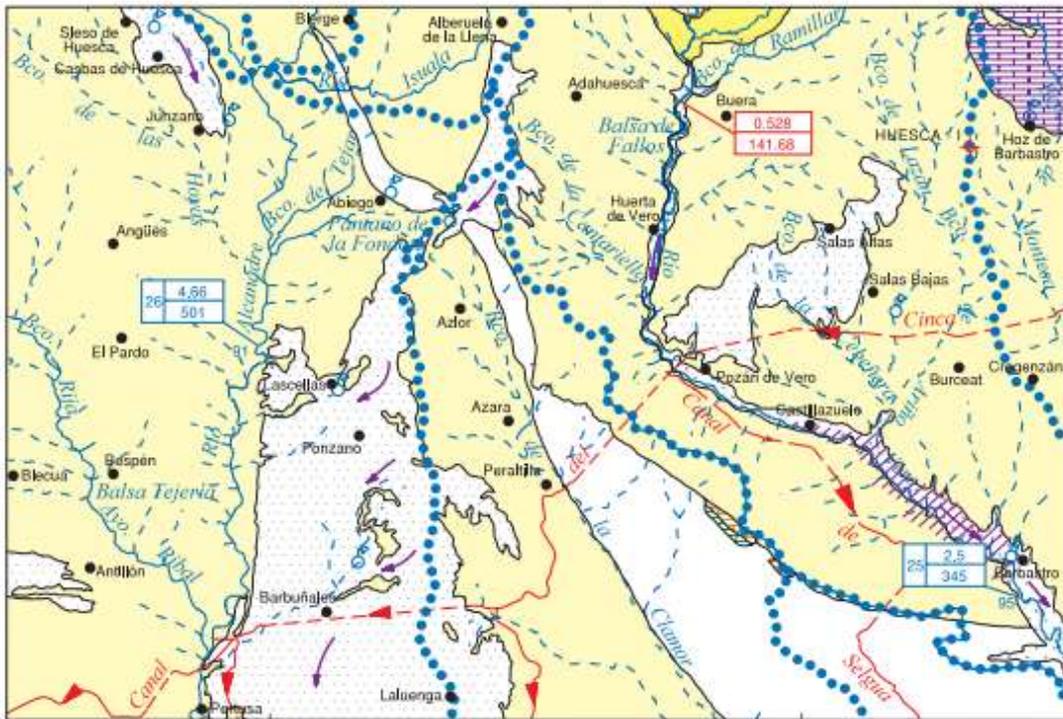
Figura 4. Leyenda del mapa geomorfológico. Fuente: IGME

Del anterior mapa obtenido del IGME y modificado para una mejor visualización se puede apreciar que en la superficie del terreno a estudiar está compuesta por gravas, arenas y limos. Además, éstos efectivamente se corresponden a materiales del Cuaternario de tipo terraza baja, ligadas a la actividad del río Vero.

2.3 Hidrología e Hidrogeología

De la información obtenida del IGME respecto a la cartografía geológica de Barbastro, se puede determinar que la principal cuenca hidrográfica en Barbastro, específicamente en la zona de estudio es la cuenca del río Vero, siendo la más cercana a la zona de interés. Este río, es un afluente del río Cinca, abarca una extensión de 170 km² en la parte oriental de la región, con un cauce que discurre sobre materiales terciarios continentales. El río Vero cuenta con una única estación de aforo ubicada cerca de su desembocadura, aguas abajo de Barbastro (E.A. nº 95). Presenta una aportación media anual de 77 hm³. Es un río poco caudaloso, por cual exhibe un flujo moderado y es ampliamente utilizado para riego

ESQUEMA HIDROGEOLÓGICO



Escala 1:200.000



Figura 5. Esquema hidrogeológico. Fuente: IGME

ESQUEMA HIDROGEOLÓGICO



Figura 6. Leyenda del mapa hidrogeológico. Fuente: IGME

Respecto a la zona de estudio en el esquema hidrogeológico se aprecia que esta al ser del periodo cuaternario tiene una permeabilidad alta por la porosidad intergranular.

2.4 Peligrosidad Sísmica

La susceptibilidad por sismo en Barbastro, Huesca está considerada como muy baja siguiendo la escala macrosísmica Europea (EMS), al no ser una zona sísmicamente activa.

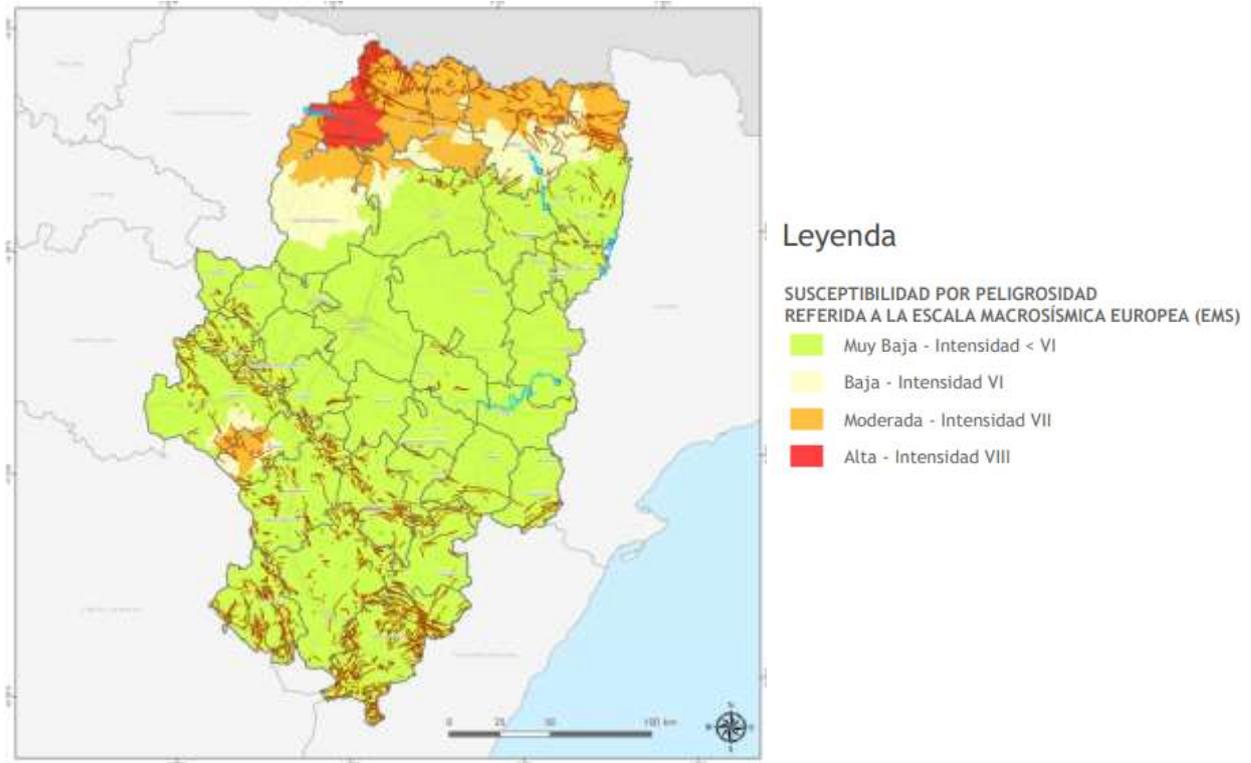


Figura 7. Riesgo por Sismos. Fuente: Plan Territorial de Protección. Gobierno de Aragón.

Siguiendo la Norma de Construcción Sismorresistente: Parte general y edificación (NCSRE-02) y en primer lugar su artículo 1.2.3 "Criterios de aplicación de la Norma" se indica que la aplicación de dicha norma no será obligatoria en las edificaciones de importancia normal o especial cuando la aceleración sísmica básica a_b sea inferior a $0,04g$, siendo g la aceleración de la gravedad.

Por lo que observando el mapa sísmico de norma NCSE-02 siguiente mapa se determina que el término municipal de Barbastro presenta, una aceleración sísmica básica menor de $0,04g$ por lo que no será necesario aplicar la citada norma para el diseño de las cimentaciones.

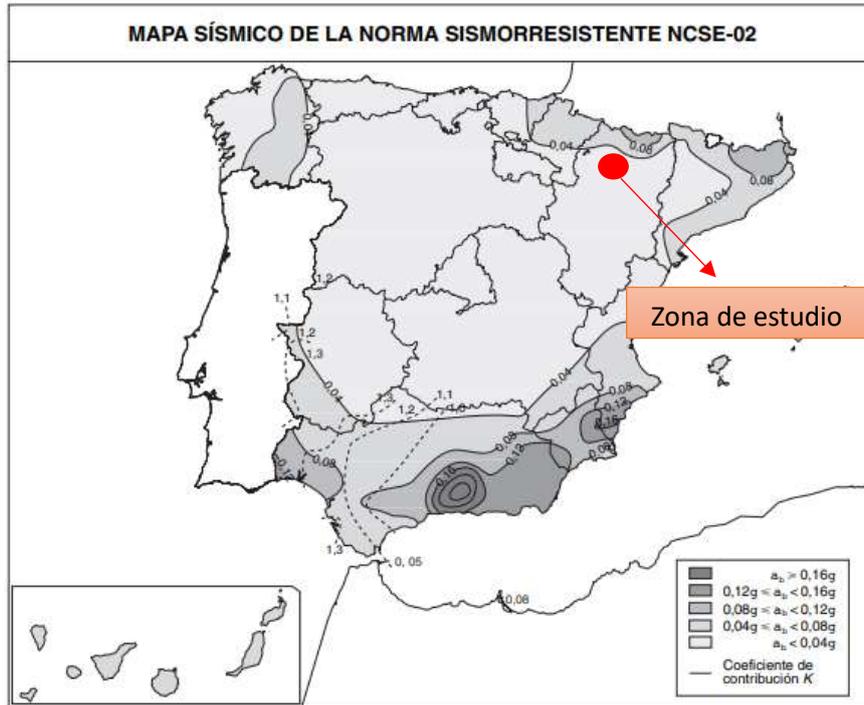


Figura 8. Mapa sísmico. Fuente: NCSE-02

3. Campaña geotécnica

Para el análisis geotécnico se dispone de un estudio del terreno realizado por la empresa Proyex, este estudio se basa en la ejecución de un sondeo geotécnico, un ensayo de penetración dinámica estándar (S.P.T.) y cinco ensayos de penetración dinámica tipo Borro's.

En el momento de la ejecución de los trabajos la superficie del terreno se encontraba prácticamente horizontal, por lo que puede considerarse que todos los ensayos se comenzaron a la misma cota.

3.1 Trabajos De Campo

3.1.1 Sondeos

Los trabajos de campo se realizaron durante la segunda semana del mes de Enero de 2000.

Se realizó 1 sondeo con un total de 10'60 m perforados.

Para la realización de los trabajos se empleó una máquina de rotación sobre camión, con un diámetro máximo de 131 mm.

Dada la naturaleza del terreno atravesado hubo que utilizar tubería de revestimiento para evitar el desmoronamiento de las paredes; la tubería se retiró una vez finalizado el sondeo.

La extracción de muestras y testigos se realizó por medio de tomamuestras de pared delgada (de 75, 85 ó 90 mm) y batería de pared sencilla con corona de Widia (de 113 y 101 mm).

Las muestras se colocaron en cajas adecuadas, debidamente etiquetadas, para su posterior traslado y estudio en el Laboratorio.

En el Laboratorio se conservaron en la cámara húmeda hasta el momento de su apertura para estudio.

Para conocer la capacidad portante de los diferentes niveles atravesados se realizaron, "in situ", ensayos de penetración dinámica, cuyo procedimiento operatorio y resultados se incluyen más adelante.

A continuación, se describen los materiales atravesados en el sondeo realizado:

Sondeo nº 1

Entre 0'00 y 0'30 m.	Rellenos de limos marrones oscuros a negruzcos, con cantos, restos de ladrillos etc.
Entre 0'30 y 2'50 m.	Arenas algo limosas marrones con algún canto y restos carbonosos. Posible relleno.
Entre 2'50 y 3'70 m.	Gravas medias-gruesas y gravillas con matriz de arenas marrones.
Entre 3'70 y 4'70 m.	Gravas medias con gravillas y matriz arcillo-arenosa.
Entre 4'70 y 5'10 m.	Arenas algo arcillosas con cantos de tamaño grava fina y gravilla.
Entre 5'10 y 6'10 m.	Limolita a arenisca alterada de color marrón.
Entre 6'10 y 7'50 m.	Limolita a arenisca sana versicolor.
Entre 7'50 y 8'10 m.	Arenisca de grano fino color marrón grisáceo.
Entre 8'10 y 10'10 m.	Gravillas y gravas con algo de matriz arcillosa. Microconglomerado poco cementado.
Entre 10'10 y 10'50 m.	Arenas limosas con cantos de tamaño grava y gravilla.
Entre 10'50 y 10'60 m.	Areniscas y limolitas versicolores.

3.1.2 Ensayo de penetración dinámica estándar (S.P.T.)

Se define el ensayo de penetración dinámica estándar (S.P.T.) como el número de golpes necesarios para conseguir una penetración de treinta centímetros (30 cm.) de un tomamuestras con una maza de 63,5 Kg. cayendo desde una altura de setenta y cinco centímetros (75 cm.).

La descripción del ensayo se encuentra recogida en la norma UNE 103-800-92 o en la nueva norma UNE-EN ISO 22476-3:2006. El valor que se obtiene se denomina resistencia a la penetración estándar N_{30Spt} .

Resultados obtenidos:

Tabla 1. Resultados ensayo S.P.T. Fuente: Propia

Ensayo nº	Prof. m	Nº de golpes				Litología
		N ₁₅	N ₁₅	N ₁₅	N _{SPT}	
1	1'90-2'50	9	13	11	24	Arenas algo limosas (posible relleno) Gravas medias y gravillas con matriz arcillo-arenosa
1	4'15-4'52	19	52	Rzo	Rzo.	

3.1.3 Ensayo de penetración dinámica tipo Borro's

El ensayo continuo de penetración dinámica consiste en clavar en el terreno, una puntaza maciza de hierro, situada en el extremo de una varilla.

La hincas se consiguen golpeando el conjunto en su parte superior con una maza en caída libre.

Este varillaje tiene un diámetro inferior al de la puntaza para evitar, en lo posible, el rozamiento del mismo con el suelo.

La resistencia del terreno, a la penetración dinámica, se expresa por el número de golpes necesarios para clavar la varilla una longitud de 20 cm. Dicho número de golpes se designará, en lo sucesivo, por n₂₀.

La descripción del ensayo se encuentra recogida en la norma UNE 103809:2023.

Resultados obtenidos:

Tabla 2. Resultados obtenidos del ensayo tipo Borro's. Fuente: Propia

Ensayo nº	Prof. mts.	Nº de golpes (N ₂₀)	
		Min	Max
1	0'00-0'60	4	6
1	0'80-1'80	8	17
1	2'00-4'60	24	Rzo.
2	0'00-0'60	6	11
2	0'80-3'00	20	59
2	3'20-3'40	3	8
2	3'60-4'00	15	23
2	4'20-4'60	50	Rzo.
3	0'00-0'60	5	13
3	0'80-1'40	25	Rzo.

4	0'00-0'60	6	12
4	0'80-2'60	20	49
4	2'80-4'20	11	17
4	4'40-4'60	60	Rzo.
5	0'00-0'60	4	8
5	0'80-2'60	16	31
5	2'80-3'00	15	19
5	3'20-4'60	23	Rzo.

Rzo (Rechazo) significa, imposibilidad a continuar la penetración, por presentar el terreno una elevada resistencia.

Como puede verse, se ha alcanzado el rechazo a la penetración en todos los ensayos a profundidades variables entre 1'40 metros (pd-3) y 4'60 metros (pd-1, pd-2, pd-4 y pd-5).

El material correspondiente a este nivel de rechazo está constituido por gravas y gravillas del cuaternario aluvial del río Cinca.

3.1.4 Nivel Freático

En el sondeo realizado se ha detectado un nivel de agua a 3'00 metros de profundidad.

Este nivel de agua se encuentra asociado al nivel de gravas correspondiente al cuaternario de terraza baja del sistema aluvial del río Cinca.

Por ello, este nivel podría presentar algunas variaciones estacionales como consecuencia de la dinámica fluvial del río.

3.2 Ensayos de laboratorio y correlaciones posteriores

Las muestras, una vez en el Laboratorio, fueron examinadas por personal especializado y agrupadas de modo conveniente. Se decidió someter a ensayo una muestra representativa de cada uno de los tipos de suelo aparecidos.

Los ensayos realizados fueron:

- a) Análisis granulométrico por tamizado (NLT-104).
- b) Límites de Atterberg para poder clasificarlas por el procedimiento de Casagrande (NLT-105-106).
- c) Ensayo de compresión simple (UNE 103400).
- d) Determinación de la humedad natural y densidad aparente (NLT-102).
- e) Determinación del contenido en sulfatos solubles (UNE 103201).

Posterior a los ensayos de laboratorio se calcularon parámetros geotécnicos que caracterizan el terreno a través de correlaciones, tales como el ángulo de rozamiento (ϕ), cohesión a corto plazo, sin drenaje, (C_u) y módulo de deformación (E).

Resultados obtenidos:

Tabla 3. Parámetros geotécnicos de los suelos. Fuente: Propia

Sondeo nº	Potencia (m)	Prof. base (m)	Clasific. Casagran .	Finos %<0'0 8 mm	LL %	LP %	IP	Hn %	q_u (kg/cm ²)	SO ₃ = %	ρ (gr/cm ³)	C_u (kg/cm ²)	E (kg/cm ²)	ϕ (º)
1	≅ 1'80-2'50	1,8-2,50	--	--	--	--	--	--	--	<0'10	--	--	--	--
1	2'50	≅ 5'10	Gravas y arenas con finos limosos no plásticos (GP-GM)	8'9	NO	NO	NP	--	--	<0'10	Seca: 2'0 Sumer: 1'2	--	600-625	39-40
1	>5'50	--	--	--	--	--	--	8'0	27'3	--	2'28	12,5	2500-2750	--

4. Análisis de datos

4.1 Caracterización de los materiales del terreno

A partir del estudio geológico realizado y de los resultados obtenidos de los ensayos de campo se determina un terreno constituido fundamentalmente por 3 niveles que se representan en el perfil litológico adjunto, y que se describen a continuación:

NIVEL I

Constituido por arenas algo limosas, con cantos, restos carbonosos y restos de ladrillos.

Los ensayos SPT dan un valor de 24 golpes, y los ensayos de penetración dinámica tipo Borro's dan valores de golpeo típicos de 4-8, con datos máximos de 13-17 golpes, lo que indica un grado de compactación bajo.

NIVEL II

Corresponde a materiales de cuaternario, ligadas a la actividad del río Cinca. Se encuentra constituido por gravas y gravillas con intercalaciones de arenas algo arcillosas con cantos de pequeño tamaño y limos. Este nivel se localiza hasta los 5'10 metros de profundidad en la zona del sondeo 1.

Granulométricamente se clasifican como "gravas y arenas con finos limosos no plásticos" (GP-GM según los criterios de Casagrande).

NIVEL III

Corresponde a las formaciones detríticas terciarias. Los espesores de estas formaciones suelen ser de varias decenas de metros.

Se encuentra constituido por una alternancia de limolitas, arenitas de grano fino y arenitas de grano grueso a microconglomerado, las cuales se presentan alteradas en su parte más superficial.

Aparece a partir de 5'10 metros en el sondeo 1, encontrándose alteradas hasta 6'10 metros. En los ensayos de penetración dinámica tipo Borro's no se ha alcanzado este nivel.

4.2 Parametrización del terreno

A partir de los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio se han concluido en la siguiente tabla los parámetros de cada estrato del terreno para el cual se realizará posteriormente el análisis de soluciones y el diseño más óptimo del sistema de contención para la excavación objeto de este proyecto.

Tabla 4. Parametrización final del terreno. Fuente: Propia

Nivel	Prof. Base (m)	Descripción litológica	E (Kn/m ²)	γ (Kn/m ³)	∅ (°)	q _u (Kn/m ²)	SO ₃ (%)
I	2'50	Arenas algo limosas	--	--	--	--	<0'10
II	5'10	Gravas y arenas con finos limosos, no plásticos (GP-GM)	60.000	Seco: 20 Sumer: 12	39	--	<0'10
II	--	Sustrato rocoso Alternancia de limolitas y arenitas	2500-2750	2'28	--	2.677,2	--

4.3 Perfil litológico

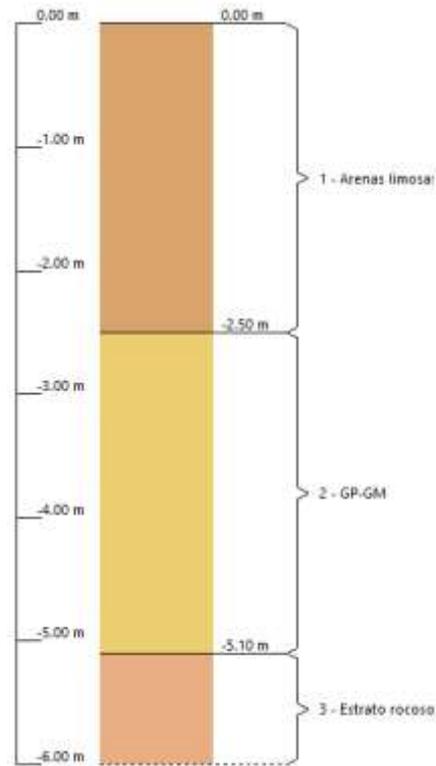


Figura 9. Perfil litológico del terreno. Fuente: Propia

5. Conclusiones y recomendaciones

A partir de los resultados obtenidos se deberá tener en cuenta a parte de las características del terreno, lo siguiente:

- El nivel de agua se sitúa a una profundidad de 3'0 metros, aproximadamente, desde la cota de inicio del sondeo, y se encuentra asociado al río Vero, afluente del río Cinca, por lo que podrían producirse en él algunas variaciones estacionales, aunque el río no se considera caudaloso.
- El contenido en sulfatos solubles determinado en laboratorio dio valores inferiores al 0'10%, lo que clasifica al terreno natural como no agresivo hacia el hormigón según la instrucción EHE. Por lo tanto, no será necesario emplear cementos sulfuresistentes para los elementos de la obra en contacto con el terreno natural.

ANEJO II

Estudio de Soluciones

Índice

1. Introducción	3
2. Descripción de las alternativas	3
3. Alternativas posibles	5
4. Análisis multicriterio	6
4.1 Método PATTERN.....	6
4.1.1 Metodología a seguir	6
4.1.2 Criterios de valoración	6
4.1.3 Asignación de pesos.....	7
4.1.4 Evaluación de las alternativas.....	7
4.1.5 Ponderación	7
4.2 Análisis de sensibilidad	8
5. Solución Adoptada	8

1. Introducción

En este anejo se desarrollarán detalladamente las alternativas a considerar para el sistema de contención para la excavación del sótano del edificio residencial, por lo cual en primer lugar se plantearán las alternativas, luego se determinarán los aspectos positivos y negativos de cada una de ellas para finalmente realizar un análisis multicriterio que permita obtener el sistema de contención más adecuado a emplear.

2. Descripción de las alternativas

A continuación, se desarrollarán las posibles alternativas de sistemas de contención para la ejecución de la excavación de un sótano del edificio residencial objeto de estudio.

Alternativa 0: No realizar ninguna actuación

Dada las condiciones del terreno y los condicionantes externos de la parcela, si no se dispusiera de ningún sistema de contención y se realizara la excavación directamente el terreno podría derrumbarse, además de ocasionar daños a los edificios y viales colindantes.

Alternativa 1: Muro de sótano mediante bataches

Esta alternativa plantea no realizar ningún sistema de contención provisional para excavar, ejecutando un muro de sótano convencional a medida que se realiza la excavación por bataches, construyéndose de esta forma la contención definitiva del terreno mientras se va excavando.

Debido a que el terreno donde se realizaría la ejecución del muro es granular, estando compuesto por arenas algo limosas poco compactas y por gravas con alternancia de arenas con finos limosos no plásticos, en principio, se debería compactar el terreno mejorando así la estabilidad de éste.

La excavación por bataches es un método que permite vaciar un terreno mediante etapas. En primer lugar, se realizaría un retiro de las tierras del centro de la parcela dejando así una berma perimetral de 3 metros de profundidad para luego excavar ésta por tramos alternados, siendo el batache la excavación que queda vertical entre dos espaldones que actúan como contrafuerte de terreno evitando que se derrumbe.

Una vez descubiertos los bataches se cubrirán por los muros de sótano, realizando esta acción a medida que se va excavando cada batache.

Para la excavación se contaría con las antiguas Normas Tecnológicas de la Edificación (NTE), del Ministerio de la Vivienda, que proporcionan las dimensiones que deberían tener los bataches. Estas normas, aunque están en desuso, siguen siendo útiles como indicadores de las magnitudes a considerar, sirviendo así como recomendaciones. Según la NTE:

- La anchura del batache (E) debe ser menor o igual a 2 metros y la altura (HE) menor o igual a 3 metros.

- La berma superior del espaldón (B) deberá ser mayor a la mitad de la anchura (E) del batache, esto ayudaría a garantizar que el espaldón sea lo suficientemente resistente para soportar el peso del terreno.
- La distancia de la parte inferior del espaldón al paramento vertical (A) deberá ser mayor que su altura (H_E), para evitar que el espaldón se derrumbe.
- Además, la anchura del espaldón (N_E), deberá ser mayor que la anchura del paramento vertical (A), proporcionando un mayor apoyo para el terreno.

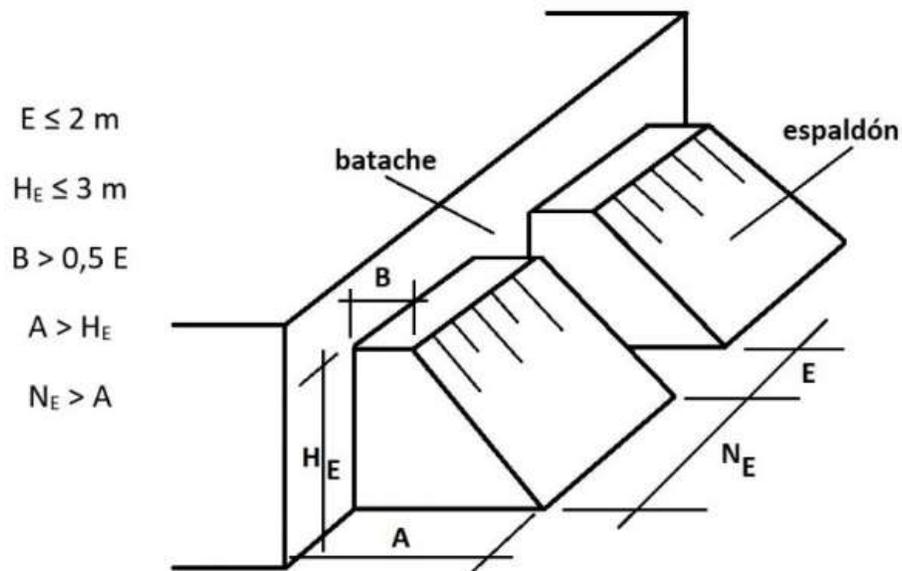


Figura 1. Esquema de batache, con las condiciones impuestas por NTE-CCT. Fuente: Blogs Victor Yepes

Alternativa 2: Tablestacas

La alternativa 2 consiste en utilizar como sistema de contención, pantallas de tablestacas de acero, estas son las más utilizadas gracias a su capacidad de resistencia, durabilidad, bajo peso, además de que impiden que el agua avance sobre el terreno y pueden ser reutilizadas.

El proceso constructivo consiste en hincar la tablestaca y dejarla empotrada en el terreno, de esta forma una vez hincada y a medida que se va realizando la excavación, la tablestaca empieza a absorber los empujes producidos por el terreno y por el agua, y a transmitirlos a través de la longitud de empotramiento.

Dado que el terreno de la parcela de este estudio, aparte de estar compuesto por arena algo limosa poco compacta, también tiene una capa de gravas que deberá atravesarse al estar a una profundidad de 2.5 metros y ser la excavación de 3 metros, la hincada por vibración no sería suficiente por ser el suelo granular e incluso la hincada por percusión sería muy difícil, por lo que resulta conveniente reforzarla con hincada hidráulica, la cual utiliza chorros de agua y presión o en cuyo caso realizar perforaciones verticales previas.

Alternativa 3: Muro pantalla

La última alternativa consiste en la realización de muros pantallas de hormigón in situ, estos según el Código Técnico de Edificación (CTE-DB-SE C) son elementos de contención de tierras que se emplean para realizar excavaciones verticales en aquellos casos en los que el terreno, los edificios u otras estructuras cimentadas en las inmediaciones de la excavación, no serían estables sin sujeción, o bien, se trata de eliminar posibles filtraciones de agua a través de los taludes de la excavación y eliminar o reducir a límites admisibles las posibles filtraciones a través del fondo de la misma, o de asegurar la estabilidad de éste frente a fenómenos de sifonamiento.

Son muros de contención que se construyen antes de efectuar el vaciado de tierras, absorben los empujes tanto laterales como verticales y además posibilitan la excavación del terreno con toda seguridad frente al colapso y a la entrada de agua. El espesor de la pantalla es constante y relativamente pequeño (espesores comprendidos entre 450 y 1000 mm).

El proceso constructivo se puede dividir en las siguientes etapas: ejecución del murete guía, excavación de la zanja con empleo de lodos tixotrópicos, colocación de las juntas o encofrados laterales, colocación de la armadura, hormigonado, construcción de la viga de coronación y excavación del recinto exterior.

Cabe destacar que, para todas las alternativas, menos la alternativa 0, se deberá rebajar el nivel freático para el vaciado del sótano. En el caso de la alternativa 1 deberá ser antes de comenzar la ejecución de los muros de sótano por bataches, y en la alternativa 2 y 3 podrá ser luego de construcción de las pantallas. En cualquier caso, se puede emplear el uso de pozos drenantes o Well Point al tener un suelo arenoso.

3. Alternativas posibles

Para el desarrollo de este apartado se realizará un cuadro comparativo que permita visualizar las ventajas y desventajas de cada alternativa para posteriormente realizar el análisis multicriterio.

No se tomará en cuenta la alternativa 0 por no ser inicialmente una opción viable.

Tabla 1. Cuadro comparativo de alternativas. Fuente: Propia

Alternativa	Ventajas	Desventajas
Muro de sótano por bataches	Menos costoso que el resto de las alternativas.	Se deberá emplear alguna técnica de mejora del terreno al ser poco compacto, para que no se derrumben los bataches. Inseguro al realizar los bataches en suelos sin cohesión. Se debe rebajar el nivel freático previo a su construcción, lo cual podría afectar los edificios y viales próximos.

Tablestacas	Impide el derrumbe del terreno sobre la excavación. Pueden ejecutarse bajo el nivel freático. Fácil manejo, debido a su reducido peso. Recuperables.	Elevado costo económico. Fácilmente oxidables. Su hincado puede ocasionar daños en las cimentaciones colindantes.
Muro pantalla	Impide el derrumbe del terreno sobre la excavación. Pueden construirse bajo el nivel freático. Permite la excavación de sótanos a grandes profundidades. Rápido de construirse. No afecta a las cimentaciones colindantes.	Elevado costo económico.

4. Análisis multicriterio

Para la realización del análisis multicriterio se desarrollarán dos métodos, en primer lugar, el método PATTERN o análisis de preferencias y en segundo lugar un análisis de sensibilidad, los cuales se definen a continuación.

4.1 Método PATTERN

Es un método cuantitativo de análisis de decisiones que se utiliza para comparar alternativas en función de varios criterios. Este método asigna pesos a cada criterio, según su importancia relativa, y luego asigna puntuaciones a cada alternativa en función de su rendimiento en cada criterio. Las alternativas se comparan entonces en función de su puntuación total.

4.1.1 Metodología a seguir

La metodología de análisis se basará en el desarrollo del siguiente proceso:

- 1- Determinación de los criterios más adecuados para la elección del sistema de contención.
- 2- Asignación de pesos, estos representan la importancia relativa de cada criterio.
- 3- Puntuaciones ponderadas.
- 4- Comparación de las alternativas.

4.1.2 Criterios de valoración

Se han elegido los siguientes criterios para evaluar cada alternativa:

Economía: Coste total del proceso constructivo de la obra.

Seguridad: Riesgo de daño que pueden sufrir los trabajadores durante la ejecución de la obra.

Efectos externos: Posibilidad de generar daños a los elementos estructurales colindantes.

Rapidez: Tiempo de ejecución de la obra.

Conservación: Mayor conservación en el tiempo y menor coste de mantenimiento.

Impacto ambiental: Emisiones y residuos generados por la obra.

4.1.3 Asignación de pesos

Los pesos que se le asignarán a cada criterio para reflejar su importancia en la decisión final serán los recogidos en la tabla 2, siendo el peso mayor el de más relevancia y obteniéndose como puntuación final de todos los pesos la suma de la unidad. Para establecer los pesos se ha tomado en consideración que el parámetro más restrictivo será el precio de la obra, siguiéndole están los factores externos, ya que se quiere evitar perjudicar en cualquier grado las edificaciones colindante; la seguridad, rapidez y conservación se consideran requisitos igual de importantes y por último para este caso el impacto ambiental será considerado como el menos restrictivo.

Tabla 2. Pesos de los criterios. Fuente: Propia

Criterios	Pesos
Economía	0,25
Seguridad	0,15
Efectos externos	0,20
Rapidez	0,15
Conservación	0,15
Impacto ambiental	0,1

4.1.4 Evaluación de las alternativas

Se evaluará cada sistema de contención en función de cada criterio en una escala de, 1 a 10, donde 1 es muy deficiente, 5 es aceptable y 10 es excelente. Obteniéndose así una matriz de evaluación para cada sistema en relación con cada criterio.

Tabla 3. Evaluación de las alternativas. Fuente: Propia

Alternativas	Criterios						Total
	Economía	Seguridad	Efectos externos	Rapidez	Conservación	Impacto ambiental	
Alternativa 1	7	2	3	3	8	7	30
Alternativa 2	5	8	1	8	4	4	30
Alternativa 3	3	9	10	6	7	4	39

4.1.5 Ponderación

Se multiplica las evaluaciones de cada sistema por los pesos asignados a los criterios correspondientes y con la suma de los productos se obtiene una puntuación ponderada para cada sistema en función de todos los criterios.

Alternativa 1. Puntuación= $0,25*7+0,15*2+0,20*3+0,15*3+0,15*8+0,1*7= 5$

Alternativa 2. Puntuación= $0,25*5+0,15*8+0,20*1+0,15*8+0,15*4+0,1*4= 4,84$

Alternativa 3. Puntuación= $0,25*3+0,15*9+0,20*10+0,15*6+0,15*7+0,1*4= 6,45$

Por lo que se puede concluir que la alternativa preferible es la 3, un muro pantalla.

4.2 Análisis de sensibilidad

Este análisis consiste en aplicar combinaciones de pesos válidas restringidas a un rango determinado para cada criterio, de manera que queden fuera del análisis combinaciones que sobreponderan o infraponen excesivamente algún factor, distorsionando el análisis.

Se realizará un análisis de sensibilidad ajustando los pesos de los criterios. Para este caso ha parecido prudente dar más importancia a los efectos externos que la obra pueda producir a sus alrededores, tomando en cuenta que esta está limitada por viales y cimientos cuya afección puede ser grave, además de dar mayor importancia a la seguridad de los trabajadores de la obra, considerando que estos dos criterios previamente mencionados deben ser más importantes que la rapidez y el propio coste de la obra.

Tabla 4. Pesos Nuevos. Fuente: Propia

Criterios	Pesos
Economía	0,20
Seguridad	0,20
Efectos externos	0,25
Rapidez	0,10
Conservación	0,15
Impacto ambiental	0,10

Siendo su respectiva ponderación final:

Alternativa 1. Puntuación= $0,20*7+0,20*2+0,25*3+0,10*3+0,15*8+0,10*7= 4,75$

Alternativa 2. Puntuación= $0,20*5+0,20*8+0,25*1+0,10*8+0,15*4+0,10*4= 4,65$

Alternativa 3. Puntuación= $0,20*3+0,20*9+0,25*10+0,10*6+0,15*7+0,10*4= 6,95$

Obteniéndose como resultado de nuevo que la mejor opción sigue siendo la ejecución de un muro pantalla.

5. Solución Adoptada

Como conclusión se obtiene que la mejor alternativa es disponer de un sistema de contención previo a la excavación, siendo éste muros pantalla de hormigón in situ, evitándose así el riesgo al daño de las cimentaciones y viales colindantes a la parcela donde se realizará la obra, cabe destacar que para el desarrollo de esta alternativa se empleará el uso de Well Points para rebajar el nivel freático, al ser un método efectivo de instalar en estratos de arena.

ANEJO III

Diseño geotécnico de la solución elegida

Índice

1. Introducción	3
2. Dimensionamiento del muro en CYPE.....	3
3. Comprobaciones geotécnicas.....	7
3.1 Normativa	7
3.2 Estabilidad	7
3.2.1 Estabilidad Global	7
3.2.2 Estabilidad del fondo de la excavación.....	9
3.2.3 Estabilidad de la propia de la pantalla.....	12
3.2.4 Estabilidad en las edificaciones próximas	16
4. Conclusiones.....	17

1. Introducción

En el presente anejo se dimensionará el muro pantalla, para lo cual se hará empleo del Software CYPE, y así posteriormente se realizarán las comprobaciones geotécnicas que debe cumplir éste, de forma analítica y con ayuda del software.

2. Dimensionamiento del muro en CYPE

Para el dimensionamiento se utilizará el asistente de Muros pantalla de hormigón armado en edificación.

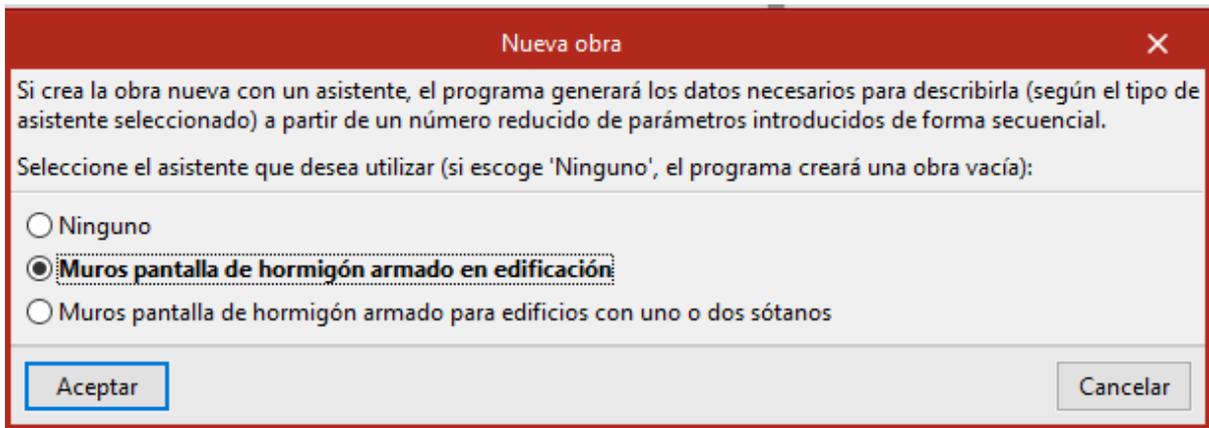


Figura 1. Captura de pantalla del asistente a utilizar en el software CYPE. Fuente: Propia

A continuación, se indicarán paso a paso los datos introducidos en el software para la fase constructiva y la fase de servicio a seguir.

1- Datos Generales:

En cuanto a la profundidad de excavación al ser un solo sótano se ha dispuesto que sea de 3 metros.



Figura 2. Captura de pantalla de datos generales en el software CYPE. Fuente: Propia

2- Terreno:

- Se indica que la cota del nivel freático se encuentra a -3 metros.
- Se definen las cotas donde se encuentra cada estrato, la arena algo limosa, la grava y arena con finos limosos y el estrato rocoso, posteriormente se cambiarán los parámetros de estos ya que el software genera parámetros estándar al inicio para cada suelo.
- En cuanto a la sobrecarga del terreno (Q) se establece que será de 40 kN/m² ya que la parcela donde se ejecutarán los muros tiene edificios y viales colindantes, siendo el más restrictivo un edificio de 4 plantas, que se deduce que tendrá una sobrecarga al terreno de 10 kN/m² por planta.

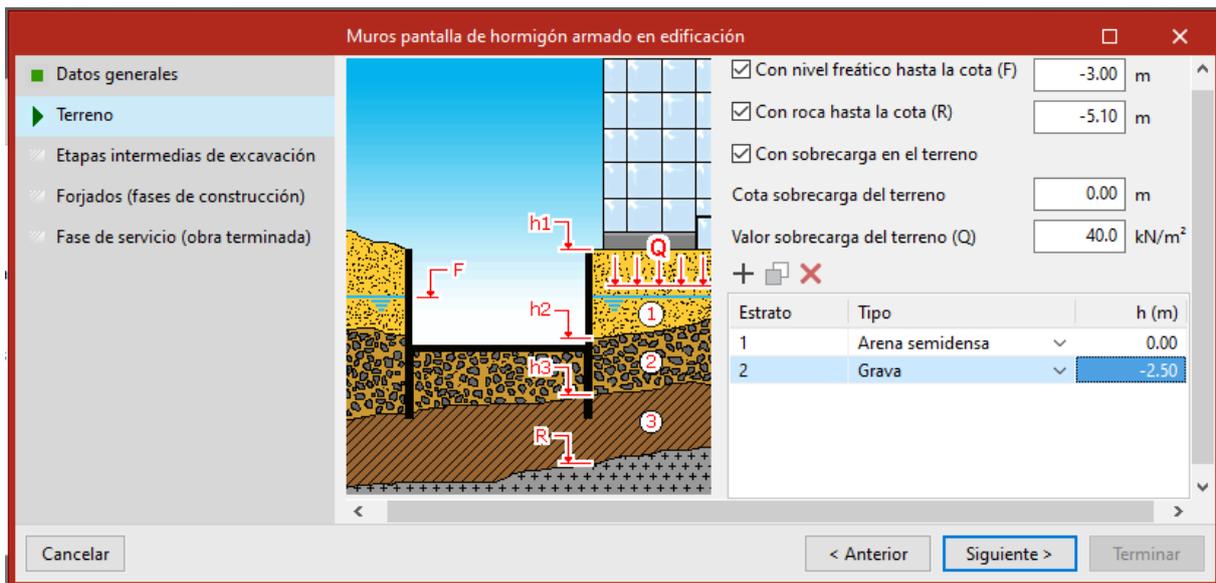


Figura 3. Captura de pantalla de las características del terreno en el software CYPE. Fuente: Propia

3- Etapas intermedias:

Para las etapas de la excavación se han seguido la Normas Tecnológicas de Edificación, específico las de cimentaciones y contenciones para pantallas (NTE-CCP), que aunque están en desuso sirven como recomendaciones, por lo cual para la excavación de un sótano, se ha excavado en primer lugar hasta 1,00 metro de profundidad y luego se ha colocado un apoyo provisional, en este caso por un puntal.

Estudio de soluciones de sistemas de contención para la excavación de un edificio residencial en Barbastro (Huesca)

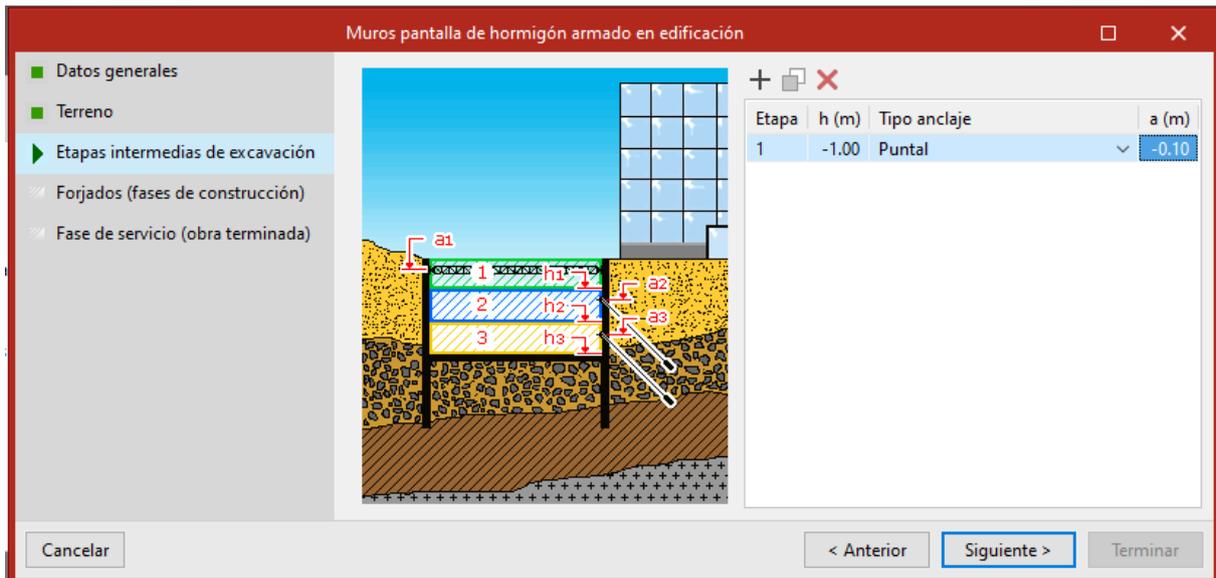


Figura 4. Captura de pantalla de las etapas intermedias de excavación en el software CYPE. Fuente: Propia

4- Forjados (fases de construcción):

Para una primera aproximación se han dispuesto de los siguientes cantos de los forjados.

- Forjado 1: Estará en la cota 0,00 metros y contará con un espesor de 20 cm
- Forjado 2: Estará a cota -2,60 metros y contará con un espesor de 40 cm.

En cuando a la sobrecarga Q , esta será nula debido a que durante la fase constructiva ninguno de los forjados tendrá sobrecargas.

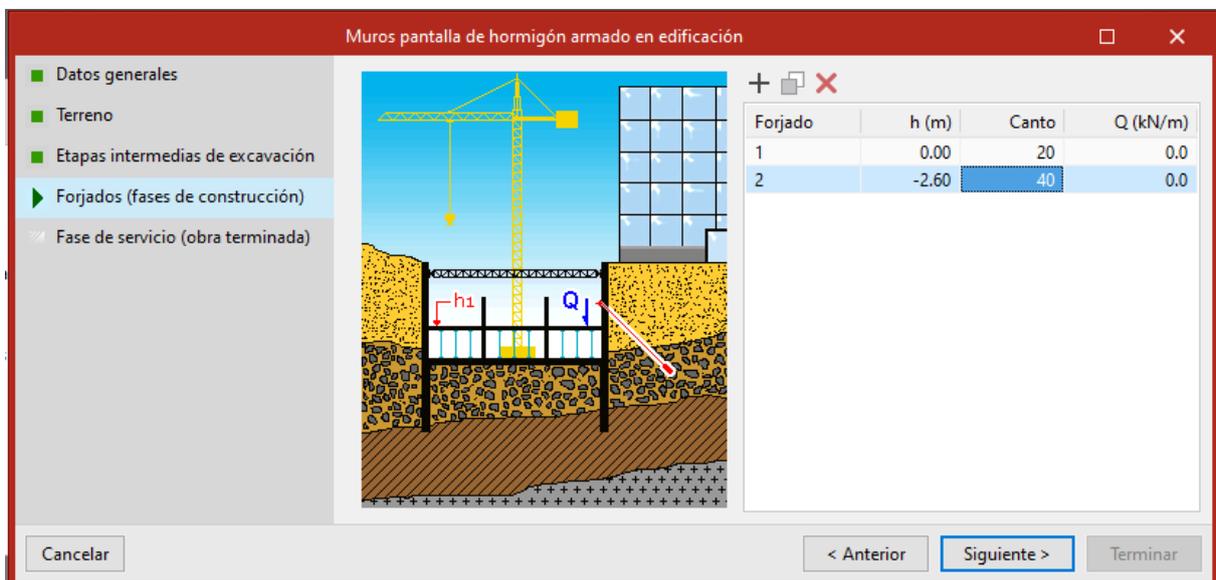


Figura 5. Captura de las dimensiones de los forjados en el software CYPE. Fuente: Propia

5- Fase de servicio (obra terminada):

La fase de servicio contará con una carga vertical (N) proveniente de las plantas superiores de 30 kN/m de carga permanente y 10 kN/m de sobrecarga de uso, dando un total de 240 kN/m que deberá soportar el muro.

Finalmente, utilizando el Código Técnico de la Edificación, en el Documento Básico de Seguridad en la Edificación, Acciones en la Edificación (CTE DB SE AE), en la Tabla 3.1 se definen los valores característicos de las sobrecargas de uso que tendrá cada forjado, debido a que el programa pide la carga lineal que llega al muro, se deberá tener en cuenta el área tributaria, para esto se estima una separación entre pilares de 5 metros, siendo el área tributaria de 2,50 metros, de esta forma se tiene :

- Forjado 1: este forjado se dispondrá para uso residencial por lo que la sobrecarga de uso dispuesta por el CTE DB SE AE es de 2 kN/m^2 y la sobrecarga en metro lineal será de 5 kN/m
- Forjado 2: este forjado será el dispuesto como parking por lo que la sobrecarga de uso dispuesta por el CTE DB SE AE es de 2 kN/m^2 , siendo la sobrecarga en metro lineal de 5 kN/m .

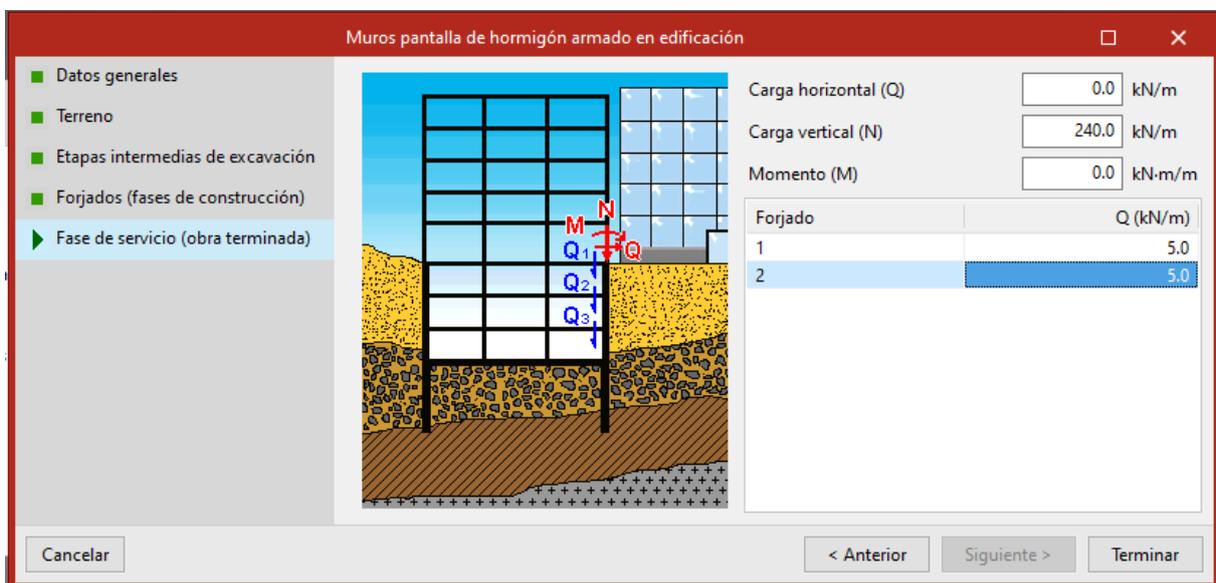


Figura 6. Captura de pantalla de la fase de servicio en el software CYPE. Fuente: Propia

Luego de introducir todos los datos anteriores el programa ejecuta un muro pantalla de 45 cm de ancho y 5,30 metros de altura, a falta de modificar los parámetros del terreno y el Nivel Freático. Cabe destacar que al existir un estrato rocoso el programa automáticamente empotra el muro en este, no obstante, los resultados de las dimensiones obtenidas se pueden cambiar y verificar nuevamente si se cumplen las comprobaciones realizadas por el software.

Posteriormente se han modificado los parámetros del terreno, adoptando los previamente establecidos en el estudio geológico y geotécnico, el nivel freático presente lo largo de la fase de construcción y servicio, y la altura del muro, siendo sus dimensiones finales 45 cm de ancho y 5,1 metros de altura.

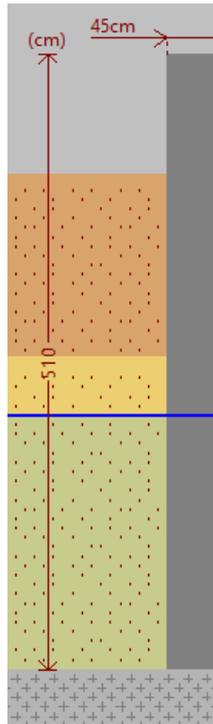


Figura 7. Dimensiones del muro. Fuente: Propia.

En el anejo de resultados de CYPE se puede ver toda la selección de listas obtenida propiamente por el software, la cual incluye las fases del proceso constructivo esquematizadas, resultados de las fases y las verificaciones realizadas, siendo estas últimas empleadas en el siguiente apartado.

3. Comprobaciones geotécnicas

3.1 Normativa

Se empleará el uso del Código Técnico de Edificación, Documento Básico de Seguridad Estructural y Cimientos (desde aquí CTE DB SE-C).

3.2 Estabilidad

Se realizarán las siguientes comprobaciones geotécnicas de estabilidad para el muro pantalla cumpliendo el CTE DB SE-C.

3.2.1 Estabilidad Global

Este es un problema de estabilidad de taludes, su comprobación se ha obtenido con el software CYPE, en el cual se verifica la estabilidad para el círculo de deslizamiento pésimo para un factor de seguridad establecido de 1,5.

Estudio de soluciones de sistemas de contención para la excavación de un edificio residencial en Barbastro (Huesca)

Tabla 1. Comprobación de estabilidad (Círculo de deslizamiento pésimo) obtenido del software CYPE. Fuente: Propia

Referencia: Comprobaciones de estabilidad (Círculo de deslizamiento pésimo): Muro Pantalla		
Comprobación	Valores	Estado
Círculo de deslizamiento pésimo:		
- Combinaciones sin sismo: <i>Valor introducido por el usuario.</i>	Mínimo: 1.5	
- Excavación hasta la cota: -1.00 m: Coordenadas del centro del círculo (-0.41 m ; 2.76 m) - Radio: 7.65 m:	Calculado: 27.902	Cumple
- Colocación de puntal en la cota -0.10 m: Coordenadas del centro del círculo (-0.49 m ; 2.76 m) - Radio: 7.80 m:	Calculado: 29.776	Cumple
- Excavación hasta la cota: -3.00 m: Coordenadas del centro del círculo (-0.75 m ; 7.88 m) - Radio: 12.92 m:	Calculado: 16.757	Cumple
- Construcción de forjado (Cota: -2.60 m):		No procede ⁽¹⁾
- Construcción de forjado (Cota: 0.00 m):		No procede ⁽¹⁾
- Fase de servicio:		No procede ⁽¹⁾
<i>No es necesario comprobar la estabilidad global (círculo de deslizamiento pésimo) cuando en la fase se ha definido algún forjado.</i>		

Se puede observar que los valores obtenidos son mucho mayores que el mínimo establecido, esto debido a que el muro se encuentra apoyado justamente en el estrato rocoso siendo poco probable el deslizamiento, además cabe destacar que para las fases de construcción de los forjados y la fase de servicio no se procede a realizar la comprobación, ya que al estar el muro arriostrado por los forjados evita el deslizamiento.

A continuación, se muestran los esquemas del círculo de deslizamiento obtenidos.

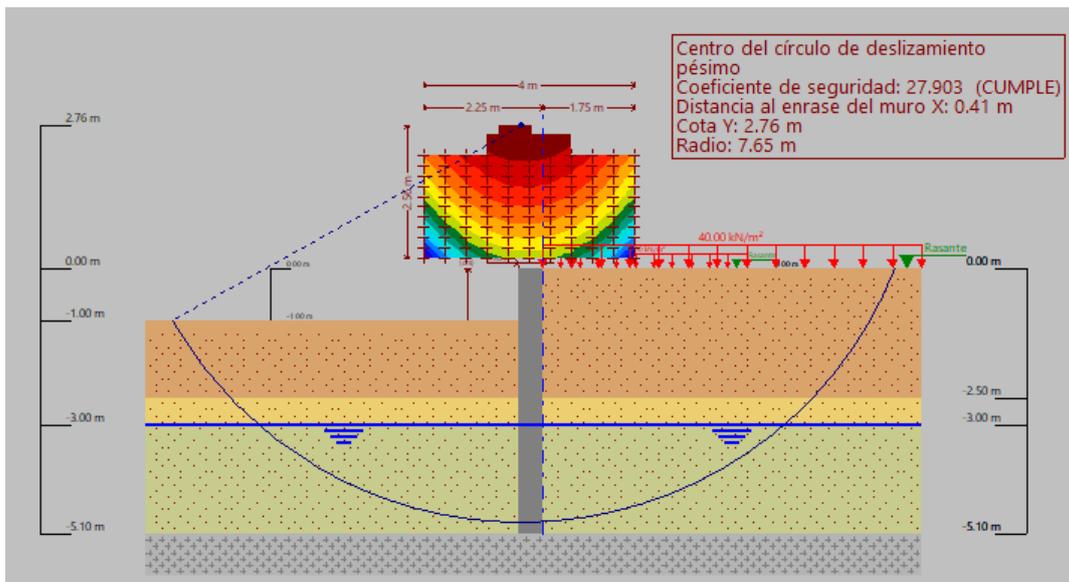


Figura 8. Círculo de deslizamiento pésimo en la fase 1. Fuente: Propia

Estudio de soluciones de sistemas de contención para la excavación de un edificio residencial en Barbastro (Huesca)

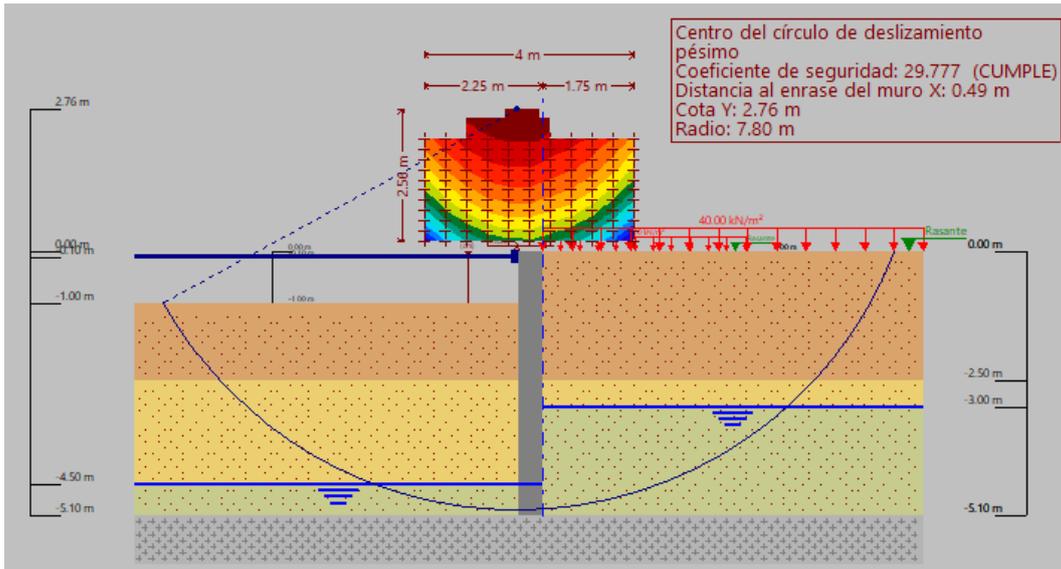


Figura 9. Círculo de deslizamiento pésimo en la fase 2. Fuente: Propia

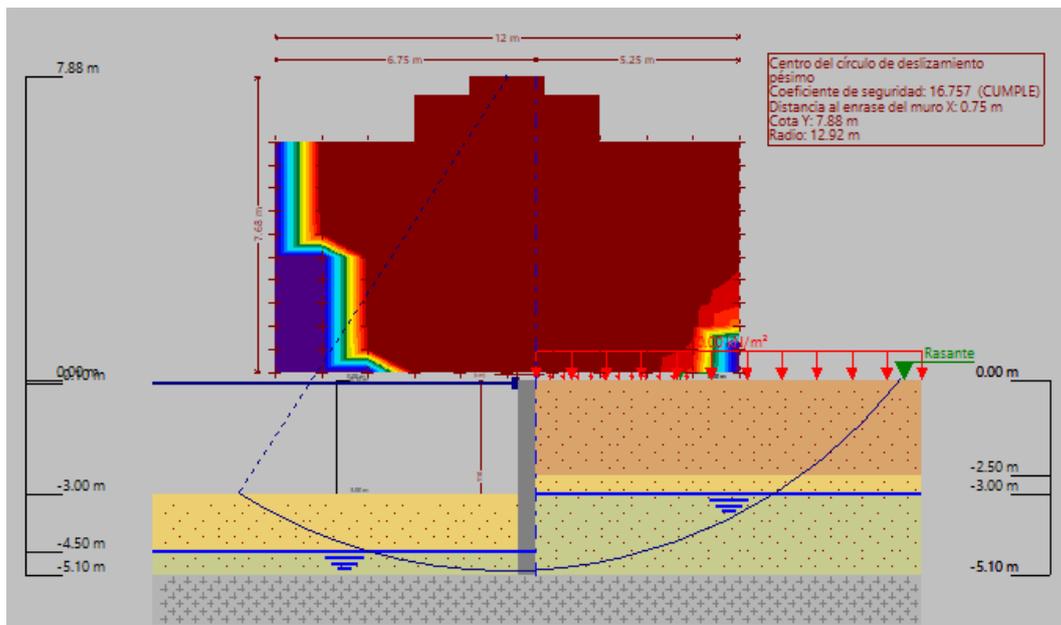


Figura 10. Círculo de deslizamiento pésimo en la fase 3. Fuente: Propia

3.2.2 Estabilidad del fondo de la excavación

Los problemas que se pueden presentar en el fondo de una excavación principalmente son por causa de inestabilidades hidráulicas, tales como, el sifonamiento y la rotura o levantamiento de fondo.

3.2.2.1 Rotura y levantamiento de fondo:

La rotura de fondo se produce debido a la disminución de tensiones efectivas por efecto de la excavación en suelos cohesivos.

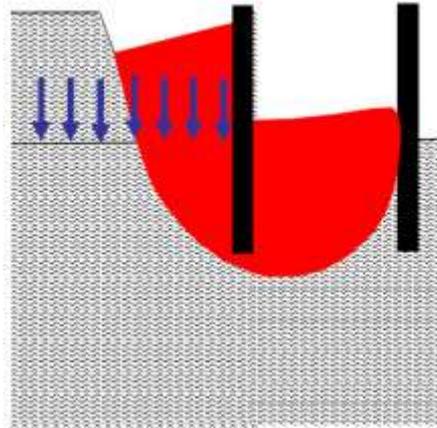


Figura 11. Rotura del fondo. Fuente: Asignatura de Diseño geotécnico de cimentaciones y muros

En cuanto al levantamiento de fondo, este se produce por agotamiento de la resistencia a esfuerzo cortante por efecto de las presiones verticales del terreno. Esta situación se puede presentar al excavar y rebajar el nivel freático, cuando existe un estrato impermeable, arcillas, sobre otro estrato permeable, gravas.

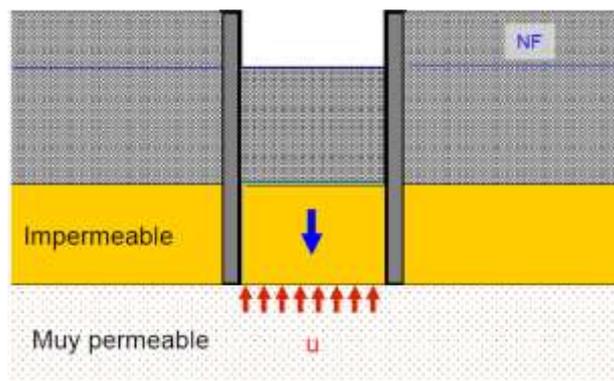


Figura 12. Levantamiento del fondo. Fuente: Asignatura de Diseño geotécnico de cimentaciones y muros

En el caso concreto de este estudio, como en el terreno no hay presencia de suelos cohesivos no se puede producir ni la rotura ni el levantamiento de fondo.

3.2.2.2 Sifonamiento:

El sifonamiento se produce cuando el agua subterránea o el agua de escorrentía se filtra a través del fondo de la excavación al crear un flujo ascendente que, para un suelo sin cohesión, puede hacer que pierda su resistencia a corte y se comporte como un fluido, provocando su colapso. Esta situación se puede presentar en terrenos permeables, específicamente arenas finas.

En cuanto al estudio que se ocupa, bien es cierto que el estrato de arenas algo limosas que conforma el primer estrato del terreno se encuentra por encima del nivel freático, sin embargo se tiene en cuenta que las gravas que se encuentran debajo y que si están en presencia de agua también tienen intercalaciones de arenas con finos limosos por lo cual en principio no se descarta del todo un posible sifonamiento, no obstante, el hecho de que el nivel freático en la fase de servicio del sótano se mantiene a igual cota en el intradós y en el trasdós del muro indica que no habrá una diferencia de carga hidráulica al no existir una diferencia de altura del nivel freático, con lo cual si se puede concluir que no se producirá inestabilidad por sifonamiento.

Lo anterior comentado se puede explicar de la siguiente manera:

La comprobación para sifonamiento viene dada por

$$F = \frac{i_{cr}}{i_r}$$

Donde:

F: Factor de seguridad (igual a 2, según CTE DB SE-C).

i_r : gradiente real en sentido vertical, en un determinado punto

i_{cr} : Gradiente que anula la tensión efectiva vertical en dicho punto

Si el suelo no tiene cohesión y pierde la resistencia a corte, el gradiente crítico viene dado por:

$$i_{cr} = \frac{\gamma'}{\gamma_w}$$

Donde:

γ' : peso específico sumergido del terreno

γ_w : peso específico del agua

Y el gradiente hidráulico real se puede calcular de tal forma que:

$$i_r = \frac{\Delta H}{\Delta H + 2 * H}$$

ΔH : Carga hidráulica

H: longitud de empotramiento

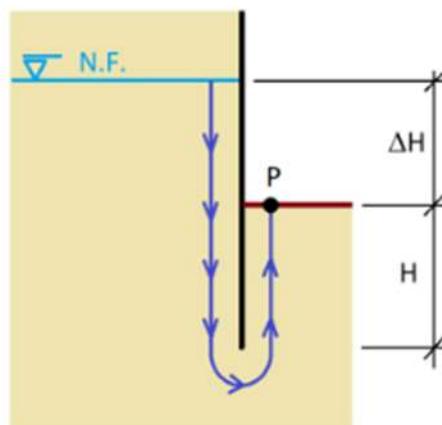


Figura 13. Sifonamiento en la base de una pantalla. Fuente: Blogs de Víctor Yepes

De esta forma se aprecia que al estar el NF a la misma altura en el intradós y trasdós de la pantalla la carga hidráulica es nula por tanto no se produciría sifonamiento.

3.2.3 Estabilidad de la propia de la pantalla

3.2.3.1 Estabilidad frente a empujes

En el CTE DB SE-C se indica que la estabilidad de la propia pantalla frente a las roturas por rotación o traslación se puede efectuar por distintos métodos entre ellos métodos basados en modelos de tipo Winkler, este el empleado por diversos programas de cálculos de pantallas y concretamente por el programa Muros Pantalla de Cypecad, del cual se ha hecho uso previamente. Con este método la pantalla se modeliza como una viga elástica sobre muelles con determinada rigidez que representan el efecto del terreno y de los elementos de arriostramiento.

A continuación, se indicarán los resultados obtenidos por CYPE que verifican la estabilidad frente a empujes.

Tabla 2. Comprobaciones frente a empujes obtenido por el software CYPE. Fuente Propia

Referencia: Comprobaciones de estabilidad (Coeficientes de seguridad): Muro Pantalla		
Comprobación	Valores	Estado
Relación entre el momento originado por los empujes pasivos en el intradós y el momento originado por los empujes activos en el trasdós: - Hipótesis básica: <i>Valor introducido por el usuario.</i> - Excavación hasta la cota: -1.00 m: - Colocación de puntal en la cota -0.10 m: - Excavación hasta la cota: -3.00 m: - Construcción de forjado (Cota: -2.60 m): - Construcción de forjado (Cota: 0.00 m): - Fase de servicio: <i>Existe más de un apoyo.</i>	Mínimo: 2 Calculado: 3.366 Calculado: 6.664 Calculado: 2.05	Cumple Cumple Cumple No procede ⁽¹⁾ No procede ⁽¹⁾ No procede ⁽¹⁾
Relación entre el empuje pasivo total en el intradós y el empuje lateralmente movilizado en el intradós: <i>Valor introducido por el usuario.</i> - Hipótesis básica: - Excavación hasta la cota: -1.00 m: - Colocación de puntal en la cota -0.10 m: - Excavación hasta la cota: -3.00 m: - Construcción de forjado (Cota: -2.60 m): - Construcción de forjado (Cota: 0.00 m): - Fase de servicio:	Mínimo: 1.5 Calculado: 5.016 Calculado: 4.911 Calculado: 1.928 Calculado: 1.928 Calculado: 1.928 Calculado: 1.577	Cumple Cumple Cumple Cumple Cumple Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		

En la tabla 2 se puede observar que todas las comprobaciones se cumplen, por lo que el muro soporta los empujes del trasdós e intradós.

3.2.3.2 Hundimiento

Para comprobar que el muro pantalla resiste a hundimiento se deberá calcular que la carga de trabajo que puede soportar es mayor que la carga vertical que recibirá de las plantas superiores, para calcular la carga de trabajo en principio se deberá la carga de hundimiento y la carga de diseño del muro pantalla.

1- Tensiones efectivas:

En primer lugar, se calcularán las tensiones efectivas para cada estrato del terreno que atravesará el muro pantalla, ya que estas serán utilizadas en los próximos apartados para la comprobación por hundimiento.

Tabla 3. Tensiones efectivas. Fuente: Propia

Terreno	espesor(m)	γ (kN/m ³)	qt (kN/m ²)	σ_v (kN/m ²)	u (kN/m ²)	$\sigma'v$ (kN/m ²)
Arenas	2,5	20	40	90	0	90
Gravas, secas	0,5	20	40	100	0	100
Gravas, sat	2,1	22	40	146,2	21	125,2

2- La carga de hundimiento:

Se comprobará igual que cualquier cimentación profunda de forma que la resistencia a hundimiento siguiendo el CTE DB SE-C es la suma de la resistencia por el fuste y la resistencia por la punta.

$$Q_h = Q_p + Q_f$$

Donde:

Q_h : la resistencia frente a la carga vertical que produce el hundimiento.

Q_p : la parte de la resistencia que se supone soportada por la punta.

Q_f : la parte de la resistencia que se supone soportada por el fuste.

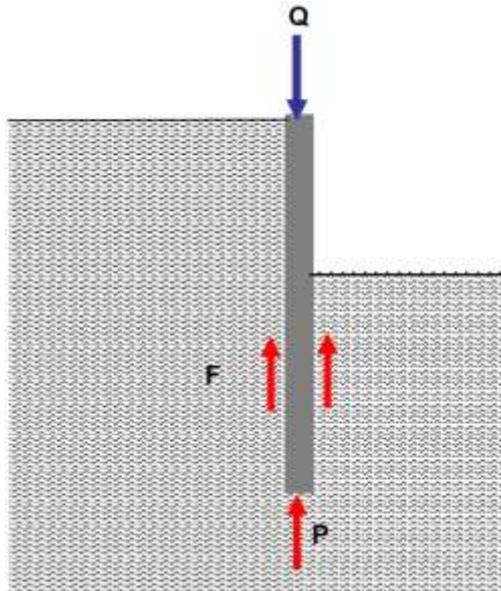


Figura 14. Esquema de la comprobación por hundimiento. Fuente: Asignatura de Diseño geotécnico de cimentaciones y muros

Cálculo de la resistencia por la punta:

La fórmula a emplear viene dada por:

$$Q_p = q_p \cdot A_p$$

Donde:

q_p : la resistencia unitaria por la punta

A_p : el área de la punta

La resistencia unitaria de hundimiento por punta de pilotes en suelos granulares se podrá estimar con la expresión siguiente:

$$q_p = f_p \cdot \sigma'_{vp} \cdot N_q \leq 20 \text{ MPa}$$

Donde:

$f_p = 3$ para pilotes hincados. $f_p = 2,5$ para pilotes hormigonados in situ.

σ'_{vp} : la presión vertical efectiva al nivel de la punta antes de instalar el pilote.

N_q : el factor de capacidad de carga definido por la expresión $\frac{1+\text{sen}\phi}{1-\text{sen}\phi} * e^{\pi \text{tg}\phi}$, donde ϕ es el ángulo de rozamiento interno del suelo.

En la siguiente tabla se indican los valores numéricos a utilizar para cada variable, siendo el área de la punta el ancho de la pantalla por metro lineal de profundidad, obteniéndose como resultado final la resistencia por la punta por metro lineal.

Tabla 4. Parámetros de la resistencia por punta. Fuente: Propia

f_p	σ'_{vp} (kN/m ²)	ϕ (°)	N_q	q_p (kN/m ²)	A_p (m ²)	Q_p (kN)/ml
2,5	125,20	39	55,96	17514,68	0,45	7881,61

Cálculo de la resistencia por el fuste:

$$Q_f = \sum \tau_f \cdot A_f$$

Donde:

A_f : área del contacto entre el fuste del pilote y el terreno en cada tramo.

τ_f : resistencia unitaria por fuste en cada tramo.

La resistencia unitaria por fuste en suelos granulares se podrá estimar con la expresión siguiente:

$$\tau_f = \sigma'_v \cdot k_f \cdot f \cdot \text{tg}\phi \leq 120 \text{ kPa}$$

Donde:

σ'_v : la presión vertical efectiva al nivel considerado.

k_f : el coeficiente de empuje horizontal.

f : el factor de reducción del rozamiento del fuste.

ϕ : el ángulo de rozamiento interno del suelo granular.

Para pilotes hincados se tomará $k_f = 1$ y para pilotes perforados se tomará $k_f = 0,75$. Para pilotes híbridos, ejecutados con ayudas que reducen el desplazamiento del terreno, se tomará un valor intermedio en función de la magnitud de esa ayuda.

Para pilotes de hormigón "in situ" o de madera se tomará $f=1$. Para pilotes prefabricados de hormigón se tomará $f = 0,9$ y para pilotes de acero en el fuste se tomará $f = 0,8$.

Para el cálculo de la resistencia por fuste se deberán calcular por separado la resistencia en la arena y la resistencia en la grava, para posteriormente obtener la suma de ambas que será la resistencia por fuste total.

En la siguiente tabla se indican los valores numéricos a utilizar para cada variable, siendo el área del fuste el ancho de la pantalla por metro lineal de profundidad, obteniéndose como resultado final la resistencia por fuste por metro lineal.

Tabla 5. Parámetros de la resistencia por fuste. Fuente: Propia

	$\sigma'v$ (kN/m ²)	kf	f	$\phi(^{\circ})$	$tg\phi(^{\circ})$	rf (kN/m ²)	Af (m ²)	Qh(kN)/ml	Qh, total (kN)/ml
Arena	90,00	0,75	1	32	0,62	42,18	2,5	105,45	303,15
Grava	125,20	0,75	1	39	0,81	76,04	2,6	197,70	

Finalmente, la carga de hundimiento viene dada por:

$$Q_h = 7881,61 + 303,15 = 8184,76 \text{ kN/ml}$$

3- Carga de diseño:

La carga de diseño de un pilote (Q_d) se obtiene al minorar las resistencias por fuste y por punta mediante un factor de seguridad, que puede ser el mismo o diferente para la punta y el fuste, y cuyo valor depende de la normativa o código seguido. Habitualmente, el factor de seguridad para la punta (F_p) tiene un valor de 3,0, mientras que el factor de seguridad para el fuste (F_f) suele oscilar entre 1,5 y 2,0.

$$Q_d = \frac{Q_f}{F_f} + \frac{Q_p}{F_p}$$

Para $F_p= 3$ y $F_f= 1,5$ se tiene:

$$Q_d = \frac{303,15}{1,5} + \frac{7881,61}{3} = 2829,30 \text{ kN/ml}$$

4- Carga de trabajo:

Debe considerarse el peso propio del muro pantalla. Sustrayendo a la carga de diseño dicho valor se tiene la carga de trabajo del muro (Q_{muro}), es decir, el máximo valor axil que puede ser aplicado sobre la cabeza del muro por metro lineal en términos de resistencia geotécnica.

Peso del muro:

$$W = h \cdot a \cdot l \cdot \gamma$$

Donde:

h: altura del muro.

a: ancho del muro.

l: longitud del muro.

γ : peso específico del hormigón.

Para $h= 5,1$ m; $a= 0,45$ m; $l= 1$ ml; $\gamma= 25$ kN/m³, se tiene:

$$W = 5,1 \cdot 0,45 \cdot 1 \cdot 25 = 57,38 \text{ kN/ml}$$

Carga de trabajo del muro:

$$Q_{\text{muro}} = Q_d - W$$

$$Q_{\text{muro}} = 2829,30 - 57,38 = 2771,93 \text{ kN/ml}$$

Como resultado final se verifica que la carga que resiste el muro (Q_{muro}) es mayor a la carga vertical (N) que se transmite a él de las plantas superiores del edificio, tal que:

$$Q_{\text{muro}} = 2771,93 \text{ kN/ml} > N = 240 \text{ kN/ml}$$

3.2.4 Estabilidad en las edificaciones próximas

Para la estimación de los asentos y movimientos horizontales en el trasdós de la pantalla que pueden afectar a los edificios colindantes, en el estado límite de servicio, se recurrirá a las recomendaciones propuestas por Oteo. Estas recomendaciones fueron efectuadas, por el Ingeniero de Caminos Canales y Puertos Oteo Mazo, para el plan de ampliación y construcción del metro de Madrid en los años 1999-2003.

En la siguiente tabla se recogen las recomendaciones efectuadas para limitar los movimientos de la pantalla.

Tabla 6. Recomendaciones de Oteo (2003). Fuente: Propia

Terreno	Movimiento horizontal/H (%)	Asiento/H (%)
Arcilla blanda	2,5-3,5	~ 2,0
Arena floja y grava	1,5-2,0	~ 0,5-1,0
Arcilla rígida	1,0 – 1,5	0,10-0,20

H: máxima distancia entre apoyos

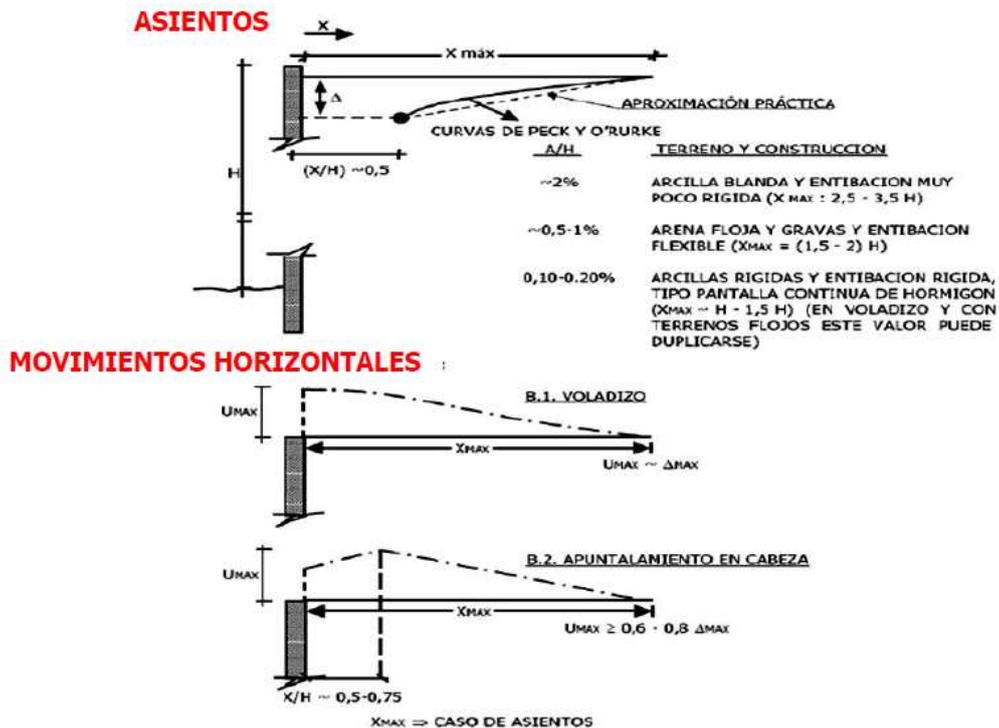


Figura 15. Recomendaciones Oteo (2003). Fuente: Asignatura de Diseño geotécnico de cimentaciones y muros

Siendo un terreno conformado por arena y grava, una distancia entre apoyos, forjado 1 y 2, de 2,7 metros y tomando los valores más desfavorables de la tabla anterior, es decir con los que se obtiene un mayor asiento y movimiento horizontal, se tiene:

$$\text{Asiento} = \frac{1 \cdot 2,7}{100} = 0,027 \text{ m}$$

$$\text{Movimiento Horizontal} = \frac{2 \cdot 2,7}{100} = 0,054 \text{ m}$$

En cuanto el valor máximo admisible para los asientos en cimentaciones profundas no se ha encontrado ninguna normativa que lo establezca, a diferencia de las cimentaciones superficiales que, si tiene un valor máximo indicado en la Guía de Cimentaciones para Obras de carretera, por lo que luego de una búsqueda se ha determinado que la mayoría de los autores coinciden en que 5 cm es un valor aceptable por lo cual el asiento obtenido cumpliría. Para el valor de movimientos horizontales se desconoce la existencia de algún límite admisible.

4. Conclusiones

Se puede concluir que el muro pantalla con las dimensiones establecidas previamente de un ancho de 0,45 m y una altura de 5,10 m si cumple con las comprobaciones geotécnicas realizadas por lo cual es viable para su ejecución.

El muro contará con una fase de construcción que inicia con una excavación hasta la cota -1,00 m, en segundo lugar, se colocaría el puntal de apoyo a la cota -0,10 m y se iniciaría con el proceso de rebajar el nivel freático mediante el uso de Well Points, que se mantendrá durante el resto de las fases de la obra; posteriormente se realizaría la excavación hasta la cota de -3,00 m y se procedería a la ejecución de los forjados.

ANEJO IV
Resultados del Software CYPE

ÍNDICE

1. ACCIONES.....	2
2. DATOS GENERALES.....	2
3. DESCRIPCIÓN DEL TERRENO.....	2
4. SECCIÓN VERTICAL DEL TERRENO.....	3
5. GEOMETRÍA.....	3
6. ESQUEMA DE LAS FASES.....	4
7. CARGAS.....	7
8. ELEMENTOS DE APOYO.....	7
9. RESULTADOS DE LAS FASES.....	7
10. RESULTADOS PARA LOS ELEMENTOS DE APOYO.....	9
11. COMPROBACIONES DE ESTABILIDAD (COEFICIENTES DE SEGURIDAD).....	10
12. COMPROBACIONES DE ESTABILIDAD (CÍRCULO DE DESLIZAMIENTO PÉSIMO).....	11



1. ACCIONES

Mayoración esfuerzos en construcción: 1.60

Mayoración esfuerzos en servicio: 1.60

Sin análisis sísmico

Sin considerar acciones térmicas en puntales

2. DATOS GENERALES

Cota de la rasante: 0.00 m

Altura del muro sobre la rasante: 0.00 m

Tipología: Muro pantalla de hormigón armado

3. DESCRIPCIÓN DEL TERRENO

Cota de la roca: -5.10 m

Porcentaje del rozamiento interno entre el terreno y el trasdós del muro pantalla: 0.0 %

Porcentaje del rozamiento interno entre el terreno y el intradós del muro pantalla: 0.0 %

Profundidad del nivel freático: 3.00 m

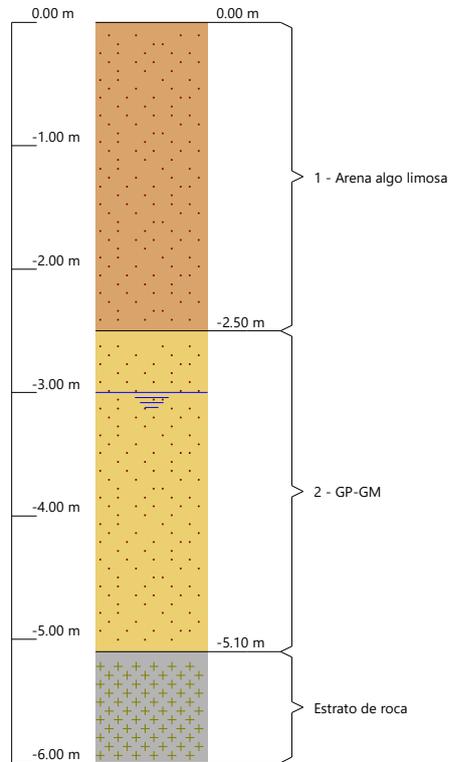
ESTRATOS

Referencias	Cota superior	Descripción	Coefficientes de empuje
- Arena algo limosa	0.00 m	Densidad aparente: 20.0 kN/m ³ Densidad sumergida: 11.0 kN/m ³ Ángulo rozamiento interno: 32 grados Cohesión: 0.00 kN/m ² Módulo de balasto empuje activo: 50000.0 kN/m ³ Módulo de balasto empuje pasivo: 50000.0 kN/m ³ Gradiente módulo de balasto: 0.0 kN/m ⁴	Activo trasdós: 0.31 Reposo trasdós: 0.47 Pasivo trasdós: 3.25 Activo intradós: 0.31 Reposo intradós: 0.47 Pasivo intradós: 3.25
- GP-GM	-2.50 m	Densidad aparente: 20.0 kN/m ³ Densidad sumergida: 12.0 kN/m ³ Ángulo rozamiento interno: 39 grados Cohesión: 0.00 kN/m ² Módulo de balasto empuje activo: 100000.0 kN/m ³ Módulo de balasto empuje pasivo: 100000.0 kN/m ³ Gradiente módulo de balasto: 0.0 kN/m ⁴	Activo trasdós: 0.23 Reposo trasdós: 0.37 Pasivo trasdós: 4.40 Activo intradós: 0.23 Reposo intradós: 0.37 Pasivo intradós: 4.40

Producido por una versión educativa de CYP



4. SECCIÓN VERTICAL DEL TERRENO



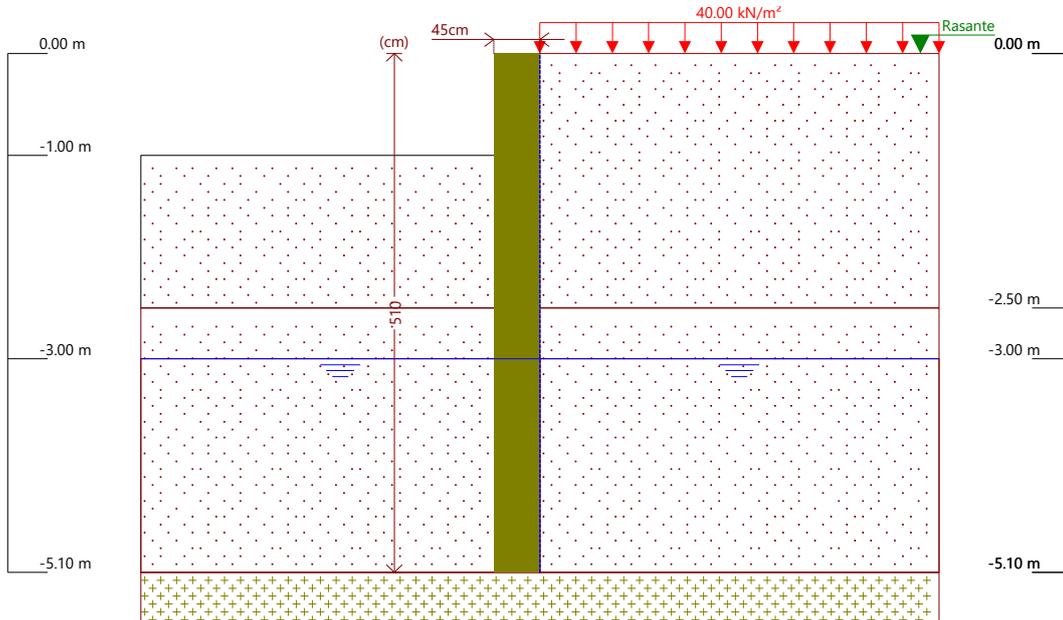
Producido por una versión educativa de CYPE

GEOMETRÍA

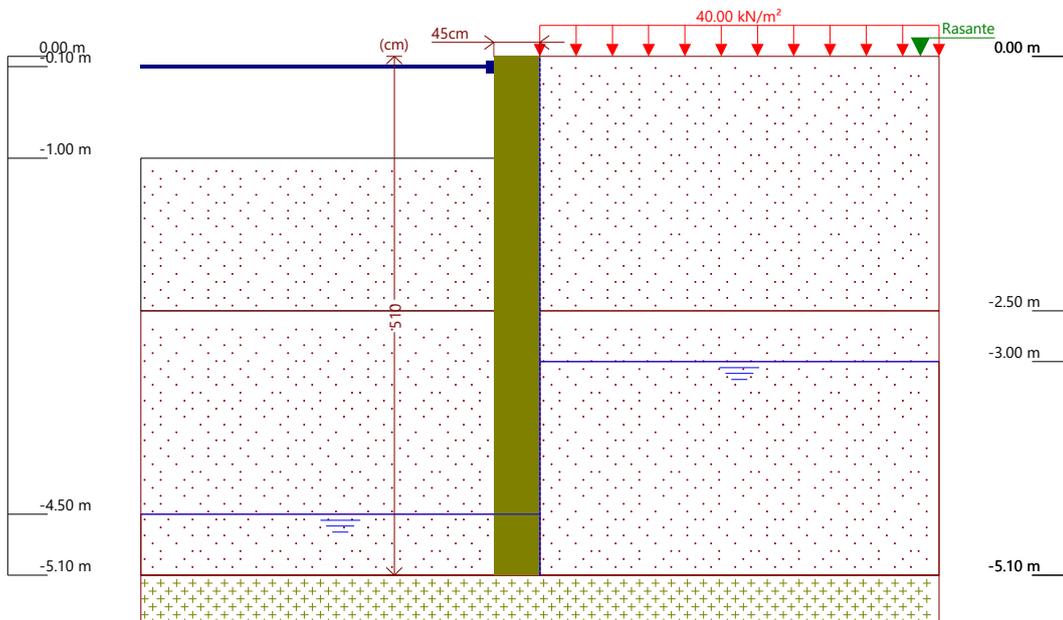
Altura total: 5.10 m
Espesor: 45 cm
Longitud tramo: 2.50 m



6. ESQUEMA DE LAS FASES



Referencias	Nombre	Descripción
Fase 1	Excavación hasta la cota: -1.00 m	Tipo de fase: Constructiva Cota de excavación: -1.00 m Con nivel freático trasdós hasta la cota: -3.00 m Con nivel freático intradós hasta la cota: -3.00 m



Referencias	Nombre	Descripción
Fase 2	Colocación de puntal en la cota -0.10 m	Tipo de fase: Constructiva Cota de excavación: -1.00 m Con nivel freático trasdós hasta la cota: -3.00 m Con nivel freático intradós hasta la cota: -4.50 m

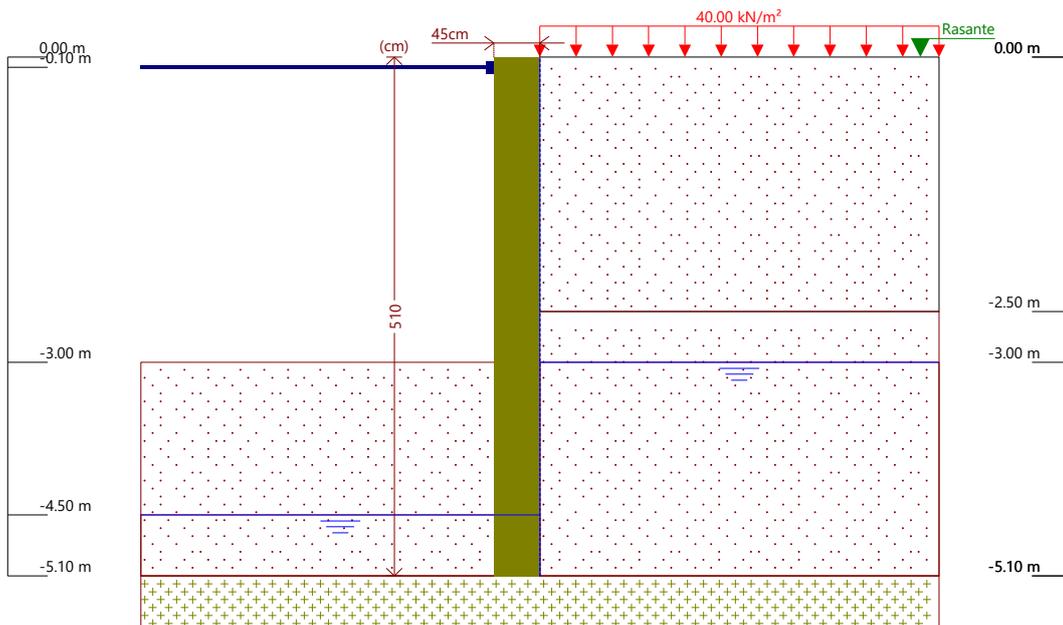
Producido por una versión educativa de CYPE



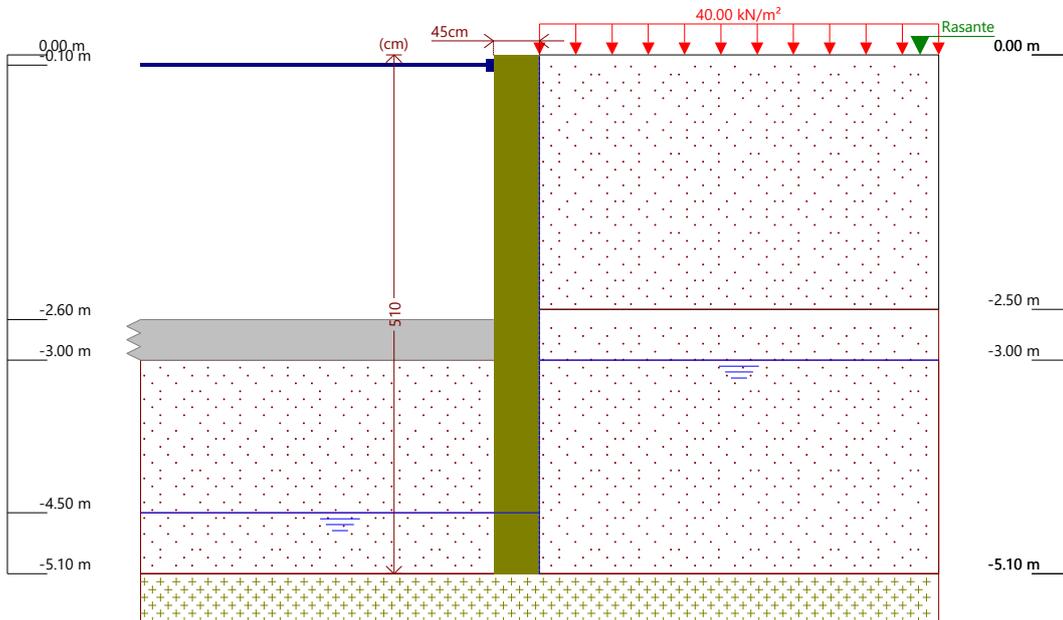
Selección de listados

Muro Pantalla

Fecha: 05/09/23



Referencias	Nombre	Descripción
Fase 3	Excavación hasta la cota: -3.00 m	Tipo de fase: Constructiva Cota de excavación: -3.00 m Con nivel freático trasdós hasta la cota: -3.00 m Con nivel freático intradós hasta la cota: -4.50 m

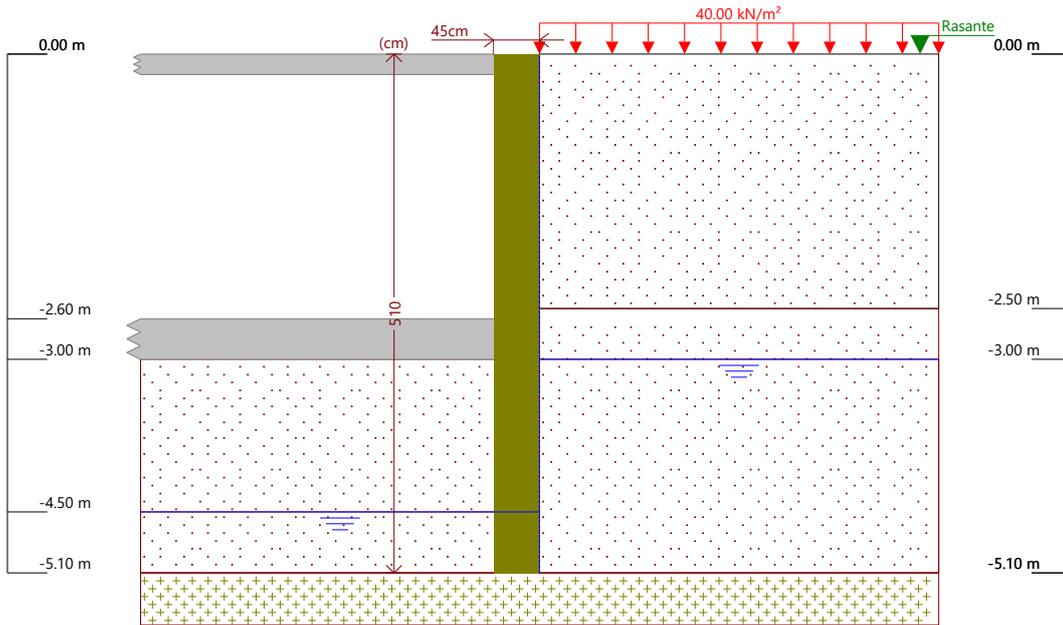


Producido por una versión educativa de CYPE

Referencias	Nombre	Descripción
Fase 4	Construcción de forjado (Cota: -2.60 m)	Tipo de fase: Constructiva Cota de excavación: -3.00 m Con nivel freático trasdós hasta la cota: -3.00 m Con nivel freático intradós hasta la cota: -4.50 m

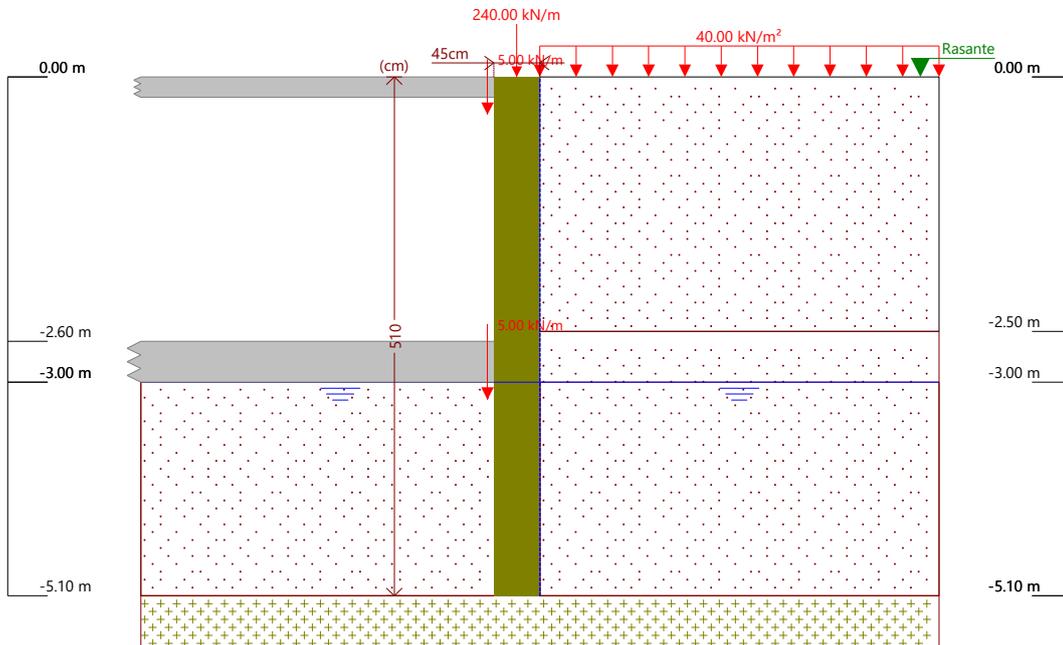


Selección de listados



Producido por una versión educativa de CYPE

Referencias	Nombre	Descripción
Fase 5	Construcción de forjado (Cota: 0.00 m)	Tipo de fase: Constructiva Cota de excavación: -3.00 m Con nivel freático trasdós hasta la cota: -3.00 m Con nivel freático intradós hasta la cota: -4.50 m



Referencias	Nombre	Descripción
Fase 6	Fase de servicio	Tipo de fase: Servicio Cota de excavación: -3.00 m Con nivel freático trasdós hasta la cota: -3.00 m Con nivel freático intradós hasta la cota: -3.00 m

**7. CARGAS***CARGAS EN EL TRASDÓS*

Tipo	Cota	Datos	Fase inicial	Fase final
Uniforme	0 m	Valor: 40 kN/m ²	Excavación hasta la cota: -1.00 m	Fase de servicio

8. ELEMENTOS DE APOYO*PUNTALES*

Descripción	Fase inicial	Fase final
Cota: -0.10 m Rigidez axil: 9800000 kN/m Separación: 2.5 m	Colocación de puntal en la cota -0.10 m	Construcción de forjado (Cota: -2.60 m)

FORJADOS

Descripción	Fase de construcción	Fase de servicio
Cota: 0.00 m Canto: 20 cm Cortante fase constructiva: 0 kN/m Cortante fase de servicio: 5 kN/m Rigidez axil: 9800000 kN/m ²	Construcción de forjado (Cota: 0.00 m)	Fase de servicio
Cota: -2.60 m Canto: 40 cm Cortante fase constructiva: 0 kN/m Cortante fase de servicio: 5 kN/m Rigidez axil: 9800000 kN/m ²	Construcción de forjado (Cota: -2.60 m)	Fase de servicio

9. RESULTADOS DE LAS FASES

Esfuerzos sin mayorar.

*FASE 1: EXCAVACIÓN HASTA LA COTA: -1.00 M**BÁSICA*

Cota (m)	Desplazamientos (mm)	Ley de axiles (kN/m)	Ley de cortantes (kN/m)	Ley de momento flector (kN·m/m)	Ley de empujes (kN/m ²)	Presión hidrostática (kN/m ²)
0.00	-1.30	-0.00	1.57	0.00	12.29	0.00
-0.51	-1.09	5.63	5.10	1.70	15.42	0.00
-1.02	-0.89	11.26	13.37	7.41	17.26	0.00
-1.53	-0.70	16.89	18.33	16.62	-12.81	0.00
-2.04	-0.52	22.51	11.38	23.36	-11.06	0.00
-2.55	-0.37	28.14	6.53	27.21	-28.00	0.00
-3.06	-0.25	33.77	-6.31	25.44	-17.40	0.00
-3.57	-0.16	39.40	-14.05	19.12	-9.10	0.00
-4.08	-0.09	45.03	-16.97	10.62	4.33	0.00
-4.59	-0.03	50.66	-13.20	3.21	16.21	0.00
-5.10	0.03	56.28	-3.50	-0.00	27.46	0.00
Máximos	0.03	56.28	18.33	27.21	27.46	0.00
	Cota: -5.10 m	Cota: -5.10 m	Cota: -1.53 m	Cota: -2.55 m	Cota: -5.10 m	Cota: 0.00 m
Mínimos	-1.30	-0.00	-16.97	-0.00	-28.00	0.00
	Cota: 0.00 m	Cota: 0.00 m	Cota: -4.08 m	Cota: -5.10 m	Cota: -2.55 m	Cota: 0.00 m

*FASE 2: COLOCACIÓN DE PUNTAL EN LA COTA -0.10 M**BÁSICA*



Selección de listados

Muro Pantalla

Fecha: 05/09/23

Cota (m)	Desplazamientos (mm)	Ley de axiles (kN/m)	Ley de cortantes (kN/m)	Ley de momento flector (kN·m/m)	Ley de empujes (kN/m ²)	Presión hidrostática (kN/m ²)
0.00	-1.28	-0.00	1.65	0.00	12.92	0.00
-0.26	-1.18	2.81	1.65	0.42	14.38	0.00
-0.77	-0.99	8.44	9.36	4.16	17.30	0.00
-1.28	-0.79	14.07	18.27	12.33	2.40	0.00
-1.79	-0.61	19.70	15.62	21.13	-14.63	0.00
-2.30	-0.45	25.33	9.00	26.46	-8.40	0.00
-2.81	-0.32	30.96	-0.59	28.06	-23.89	0.00
-3.32	-0.23	36.59	-11.50	23.42	-16.17	3.09
-3.83	-0.15	42.21	-16.85	15.34	-11.11	8.09
-4.34	-0.10	47.84	-16.47	6.65	-1.63	13.10
-4.85	-0.05	53.47	-9.09	0.88	7.48	14.72
Máximos	-0.03 Cota: -5.10 m	56.28 Cota: -5.10 m	18.89 Cota: -1.53 m	28.21 Cota: -2.55 m	17.66 Cota: -1.02 m	14.72 Cota: -4.59 m
Mínimos	-1.28 Cota: 0.00 m	-0.00 Cota: 0.00 m	-17.62 Cota: -4.08 m	0.00 Cota: -5.10 m	-29.19 Cota: -2.55 m	0.00 Cota: 0.00 m

FASE 3: EXCAVACIÓN HASTA LA COTA: -3.00 M

BÁSICA

Producto por una versión educativa de CYPE

Cota (m)	Desplazamientos (mm)	Ley de axiles (kN/m)	Ley de cortantes (kN/m)	Ley de momento flector (kN·m/m)	Ley de empujes (kN/m ²)	Presión hidrostática (kN/m ²)
0.00	-1.26	-0.00	1.77	-0.00	13.90	0.00
-0.26	-1.27	2.81	-34.89	-5.23	13.86	0.00
-0.77	-1.28	8.44	-27.42	-20.22	16.99	0.00
-1.28	-1.26	14.07	-18.36	-30.79	20.13	0.00
-1.79	-1.21	19.70	-7.69	-36.12	23.26	0.00
-2.30	-1.12	25.33	4.57	-35.40	26.39	0.00
-2.81	-0.99	30.96	16.58	-28.29	21.86	0.00
-3.32	-0.83	36.59	26.80	-15.81	-4.08	3.09
-3.83	-0.65	42.21	21.40	-3.58	-45.98	8.09
-4.34	-0.47	47.84	4.72	0.62	-30.23	13.10
-4.85	-0.29	53.47	-1.53	0.32	-13.56	14.72
Máximos	-0.20 Cota: -5.10 m	56.28 Cota: -5.10 m	26.80 Cota: -3.32 m	0.71 Cota: -4.59 m	26.39 Cota: -2.30 m	14.72 Cota: -4.59 m
Mínimos	-1.28 Cota: -0.77 m	-0.00 Cota: 0.00 m	-34.89 Cota: -0.26 m	-36.57 Cota: -2.04 m	-45.98 Cota: -3.83 m	0.00 Cota: 0.00 m

FASE 4: CONSTRUCCIÓN DE FORJADO (COTA: -2.60 M)

BÁSICA

Cota (m)	Desplazamientos (mm)	Ley de axiles (kN/m)	Ley de cortantes (kN/m)	Ley de momento flector (kN·m/m)	Ley de empujes (kN/m ²)	Presión hidrostática (kN/m ²)
0.00	-1.26	-0.00	1.77	0.00	13.90	0.00
-0.26	-1.27	2.81	-34.89	-5.23	13.86	0.00
-0.77	-1.28	8.44	-27.42	-20.22	16.99	0.00
-1.28	-1.26	14.07	-18.36	-30.79	20.13	0.00
-1.79	-1.21	19.70	-7.69	-36.12	23.26	0.00
-2.30	-1.12	25.33	4.57	-35.40	26.39	0.00
-2.81	-0.99	30.96	16.58	-28.29	21.86	0.00
-3.32	-0.83	36.59	26.80	-15.81	-4.08	3.09
-3.83	-0.65	42.21	21.40	-3.58	-45.98	8.09
-4.34	-0.47	47.84	4.72	0.62	-30.23	13.10
-4.85	-0.29	53.47	-1.53	0.32	-13.56	14.72
Máximos	-0.20 Cota: -5.10 m	56.28 Cota: -5.10 m	26.80 Cota: -3.32 m	0.71 Cota: -4.59 m	26.39 Cota: -2.30 m	14.72 Cota: -4.59 m
Mínimos	-1.28 Cota: -0.77 m	-0.00 Cota: 0.00 m	-34.89 Cota: -0.26 m	-36.57 Cota: -2.04 m	-45.98 Cota: -3.83 m	0.00 Cota: 0.00 m

**FASE 5: CONSTRUCCIÓN DE FORJADO (COTA: 0.00 M)****BÁSICA**

Cota (m)	Desplazamientos (mm)	Ley de axiles (kN/m)	Ley de cortantes (kN/m)	Ley de momento flector (kN·m/m)	Ley de empujes (kN/m ²)	Presión hidrostática (kN/m ²)
0.00	-1.27	-0.00	1.75	0.00	13.71	0.00
-0.26	-1.27	2.81	-34.88	-5.23	13.86	0.00
-0.77	-1.28	8.44	-27.41	-20.22	16.99	0.00
-1.28	-1.26	14.07	-18.35	-30.78	20.13	0.00
-1.79	-1.21	19.70	-7.69	-36.11	23.26	0.00
-2.30	-1.12	25.33	4.58	-35.39	26.39	0.00
-2.81	-0.99	30.96	16.59	-28.28	21.86	0.00
-3.32	-0.83	36.59	26.81	-15.79	-4.08	3.09
-3.83	-0.65	42.21	21.40	-3.56	-46.03	8.09
-4.34	-0.47	47.84	4.71	0.63	-30.24	13.10
-4.85	-0.29	53.47	-1.55	0.32	-13.52	14.72
Máximos	-0.20 Cota: -5.10 m	56.28 Cota: -5.10 m	26.81 Cota: -3.32 m	0.71 Cota: -4.59 m	26.39 Cota: -2.30 m	14.72 Cota: -4.59 m
Mínimos	-1.28 Cota: -0.77 m	-0.00 Cota: 0.00 m	-34.88 Cota: -0.26 m	-36.56 Cota: -2.04 m	-46.03 Cota: -3.83 m	0.00 Cota: 0.00 m

FASE 6: FASE DE SERVICIO**BÁSICA**

Cota (m)	Desplazamientos (mm)	Ley de axiles (kN/m)	Ley de cortantes (kN/m)	Ley de momento flector (kN·m/m)	Ley de empujes (kN/m ²)	Presión hidrostática (kN/m ²)
0.00	-1.27	240.00	1.75	0.00	13.71	0.00
-0.26	-1.27	247.81	-35.04	-5.26	13.86	0.00
-0.77	-1.28	253.44	-27.57	-20.32	16.99	0.00
-1.28	-1.26	259.07	-18.51	-30.96	20.13	0.00
-1.79	-1.21	264.70	-7.84	-36.37	23.26	0.00
-2.30	-1.12	270.33	4.42	-35.73	26.39	0.00
-2.81	-0.99	275.96	16.43	-28.70	21.86	0.00
-3.32	-0.83	286.59	21.26	-19.14	7.06	0.00
-3.83	-0.64	292.21	21.70	-7.73	-17.51	0.00
-4.34	-0.45	297.84	9.74	-0.85	-23.38	0.00
-4.85	-0.26	303.47	0.29	0.19	-3.98	0.00
Máximos	-0.17 Cota: -5.10 m	306.28 Cota: -5.10 m	23.06 Cota: -3.57 m	0.19 Cota: -4.85 m	26.39 Cota: -2.30 m	0.00 Cota: 0.00 m
Mínimos	-1.28 Cota: -0.77 m	240.00 Cota: 0.00 m	-35.04 Cota: -0.26 m	-36.86 Cota: -2.04 m	-29.39 Cota: -4.08 m	0.00 Cota: 0.00 m

10. RESULTADOS PARA LOS ELEMENTOS DE APOYO

Esfuerzos sin mayorar.

Puntales

Cota: -0.10 m	
Fase	Resultado
Colocación de puntal en la cota -0.10 m	SE PRODUCE DESPEGUE: 0.01 mm
Excavación hasta la cota: -3.00 m	Carga puntual: 91.65 kN Carga lineal: 36.66 kN/m
Construcción de forjado (Cota: -2.60 m)	Carga puntual: 91.65 kN Carga lineal: 36.66 kN/m



Forjados

Cota: 0.00 m	
Fase	Resultado
Construcción de forjado (Cota: 0.00 m)	Carga lineal: 36.63 kN/m
Fase de servicio	Carga lineal: 36.79 kN/m

Cota: -2.60 m	
Fase	Resultado
Construcción de forjado (Cota: -2.60 m)	Carga lineal: 0.00 kN/m
Construcción de forjado (Cota: 0.00 m)	Carga lineal: 13.35 kN/m
Fase de servicio	Carga lineal: 19.20 kN/m

11. COMPROBACIONES DE ESTABILIDAD (COEFICIENTES DE SEGURIDAD)

Referencia: Comprobaciones de estabilidad (Coeficientes de seguridad): Muro Pantalla		
Comprobación	Valores	Estado
<p>Relación entre el momento originado por los empujes pasivos en el intradós y el momento originado por los empujes activos en el trasdós:</p> <p>- Hipótesis básica: <i>Valor introducido por el usuario.</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Excavación hasta la cota: -1.00 m: - Colocación de puntal en la cota -0.10 m: - Excavación hasta la cota: -3.00 m: - Construcción de forjado (Cota: -2.60 m): - Construcción de forjado (Cota: 0.00 m): - Fase de servicio: <p><i>Existe más de un apoyo.</i></p>	<p>Mínimo: 2</p> <p>Calculado: 3.366</p> <p>Calculado: 6.664</p> <p>Calculado: 2.05</p>	<p>Cumple</p> <p>Cumple</p> <p>Cumple</p> <p>No procede⁽¹⁾</p> <p>No procede⁽¹⁾</p> <p>No procede⁽¹⁾</p>
<p>Relación entre el empuje pasivo total en el intradós y el empujealmente movilizado en el intradós:</p> <p><i>Valor introducido por el usuario.</i></p> <p>Hipótesis básica:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Excavación hasta la cota: -1.00 m: - Colocación de puntal en la cota -0.10 m: - Excavación hasta la cota: -3.00 m: - Construcción de forjado (Cota: -2.60 m): - Construcción de forjado (Cota: 0.00 m): - Fase de servicio: 	<p>Mínimo: 1.5</p> <p>Calculado: 5.016</p> <p>Calculado: 4.911</p> <p>Calculado: 1.928</p> <p>Calculado: 1.928</p> <p>Calculado: 1.928</p> <p>Calculado: 1.577</p>	<p>Cumple</p> <p>Cumple</p> <p>Cumple</p> <p>Cumple</p> <p>Cumple</p> <p>Cumple</p>
Se cumplen todas las comprobaciones		



12. COMPROBACIONES DE ESTABILIDAD (CÍRCULO DE DESLIZAMIENTO PÉSIMO)

Referencia: Comprobaciones de estabilidad (Círculo de deslizamiento pésimo): Muro Pantalla		
Comprobación	Valores	Estado
Círculo de deslizamiento pésimo:		
- Combinaciones sin sismo: <i>Valor introducido por el usuario.</i>	Mínimo: 1.5	
- Excavación hasta la cota: -1.00 m: Coordenadas del centro del círculo (-0.41 m ; 2.76 m) - Radio: 7.65 m:	Calculado: 27.902	Cumple
- Colocación de puntal en la cota -0.10 m: Coordenadas del centro del círculo (-0.49 m ; 2.76 m) - Radio: 7.80 m:	Calculado: 29.776	Cumple
- Excavación hasta la cota: -3.00 m: Coordenadas del centro del círculo (-0.75 m ; 7.88 m) - Radio: 12.92 m:	Calculado: 16.757	Cumple
- Construcción de forjado (Cota: -2.60 m):		No procede ⁽¹⁾
- Construcción de forjado (Cota: 0.00 m):		No procede ⁽¹⁾
- Fase de servicio:		No procede ⁽¹⁾
<i>No es necesario comprobar la estabilidad global (círculo de deslizamiento pésimo) cuando en la fase se ha definido algún forjado.</i>		
Se cumplen todas las comprobaciones		
Información adicional:		
Excavación hasta la cota: -1.00 m: Combinaciones sin sismo - Debido a que el círculo de deslizamiento pésimo pasa por el elemento de contención, éste deberá resistir un cortante de, al menos, 4501.318 kN/m en la intersección con dicho círculo. Esto es necesario para garantizar la validez del coeficiente de seguridad calculado.		
Colocación de puntal en la cota -0.10 m: Combinaciones sin sismo - Debido a que el círculo de deslizamiento pésimo pasa por el elemento de contención, éste deberá resistir un cortante de, al menos, 4502.601 kN/m en la intersección con dicho círculo. Esto es necesario para garantizar la validez del coeficiente de seguridad calculado.		
Excavación hasta la cota: -3.00 m: Combinaciones sin sismo - Debido a que el círculo de deslizamiento pésimo pasa por el elemento de contención, éste deberá resistir un cortante de, al menos, 4503.721 kN/m en la intersección con dicho círculo. Esto es necesario para garantizar la validez del coeficiente de seguridad calculado.		

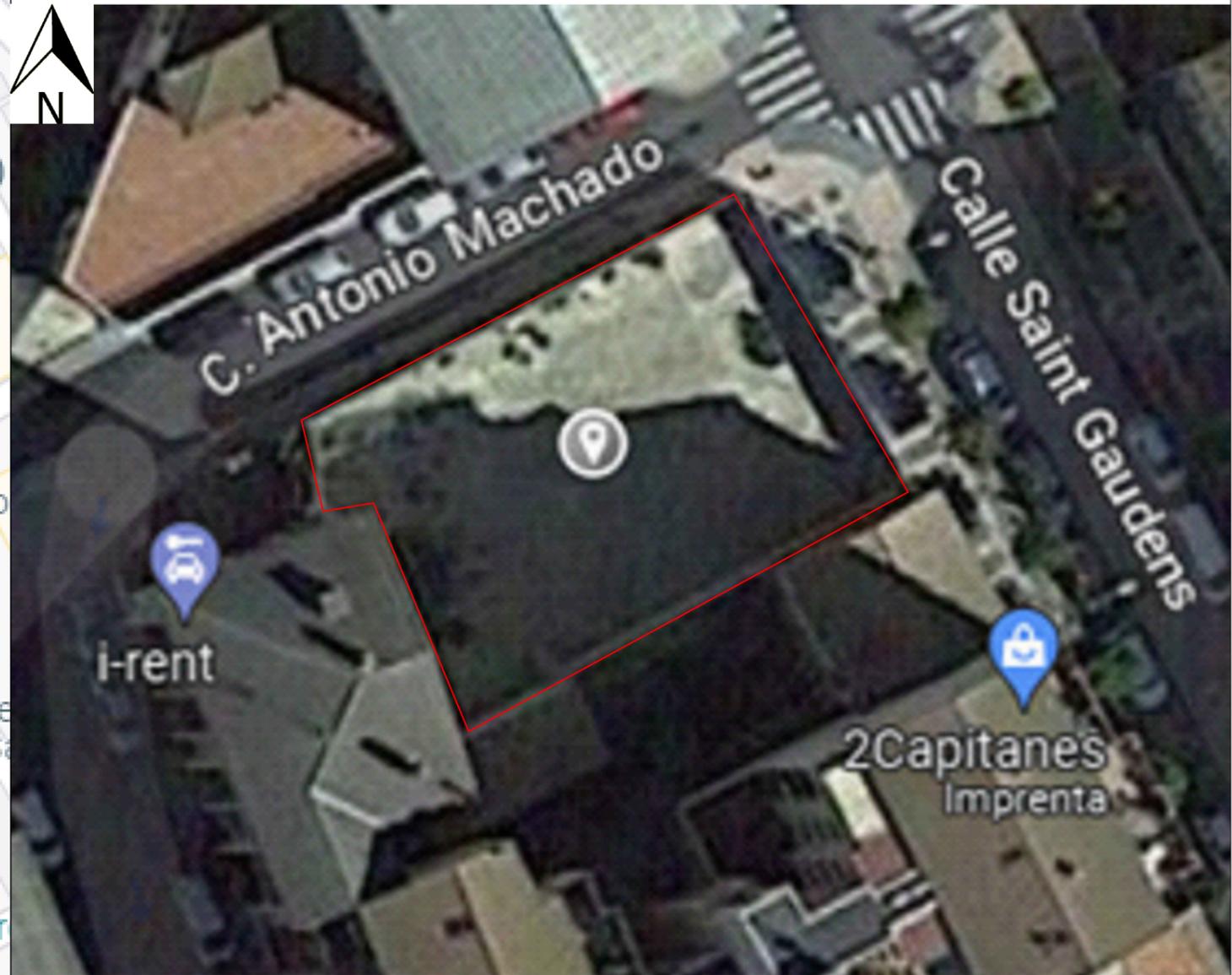
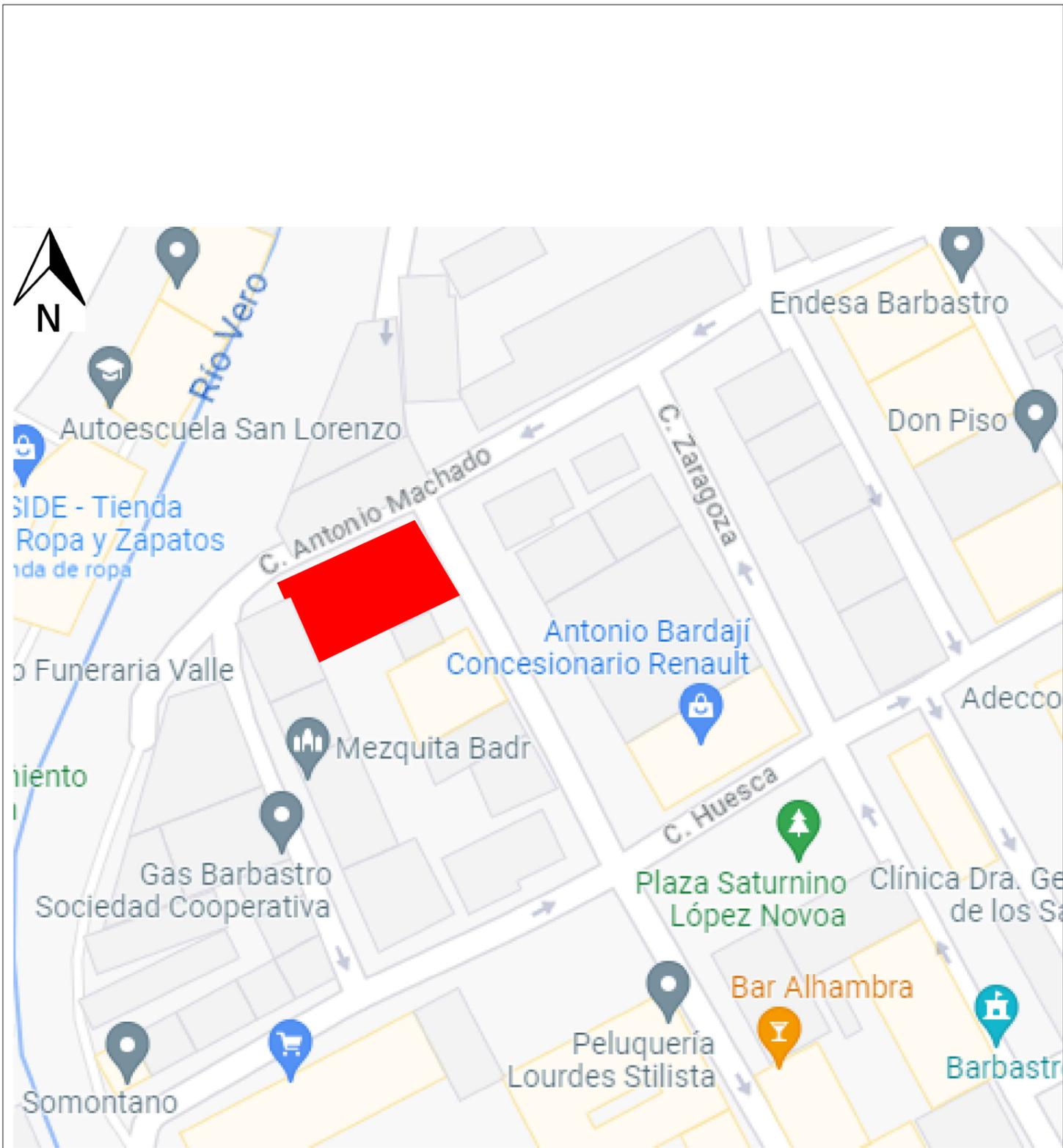
Proyecto de obra de Muro Pantalla de CYPE

ANEJO V

Planos

Índice

1. Plano de situación actual
2. Columna litológica del terreno
3. Fases de construcción y servicio de la obra



UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA

Titulación:
Grado en
Ingeniería Civil

Autor:
Dayana Albarrán

Título del Proyecto:
Estudio de soluciones de sistemas de contención
para la excavación de un edificio residencial en
Barbastro (Huesca)

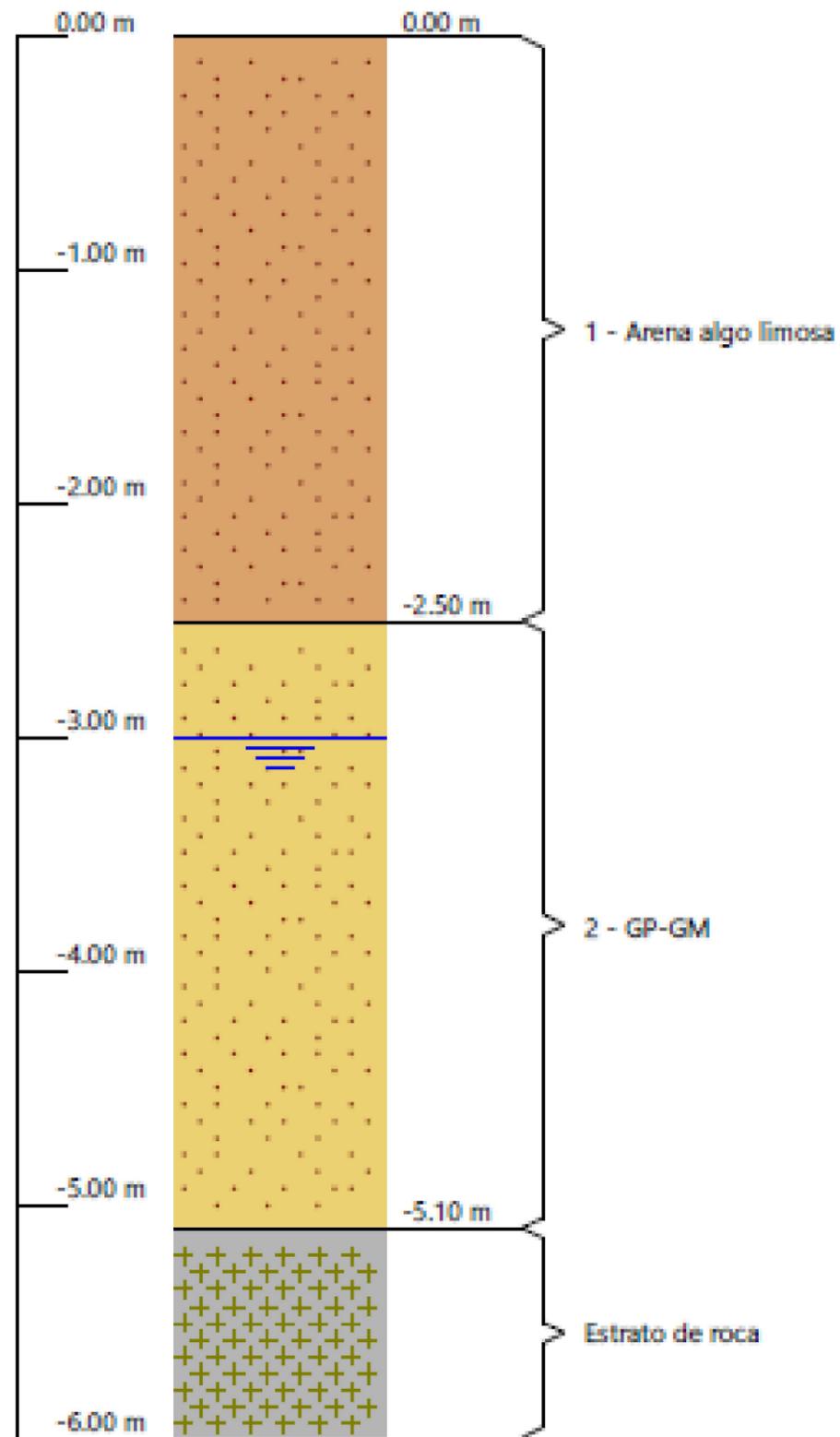
Fecha:
Septiembre 2023

Título del Plano:
Situación actual

Escala:
-

Número de Plano: 1

Número de Hoja: 1



UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA

Titulación:
Grado en
Ingeniería Civil

Autor:
Dayana Albarrán

Título del Proyecto:
Estudio de soluciones de sistemas de contención
para la excavación de un edificio residencial en
Barbastro (Huesca)

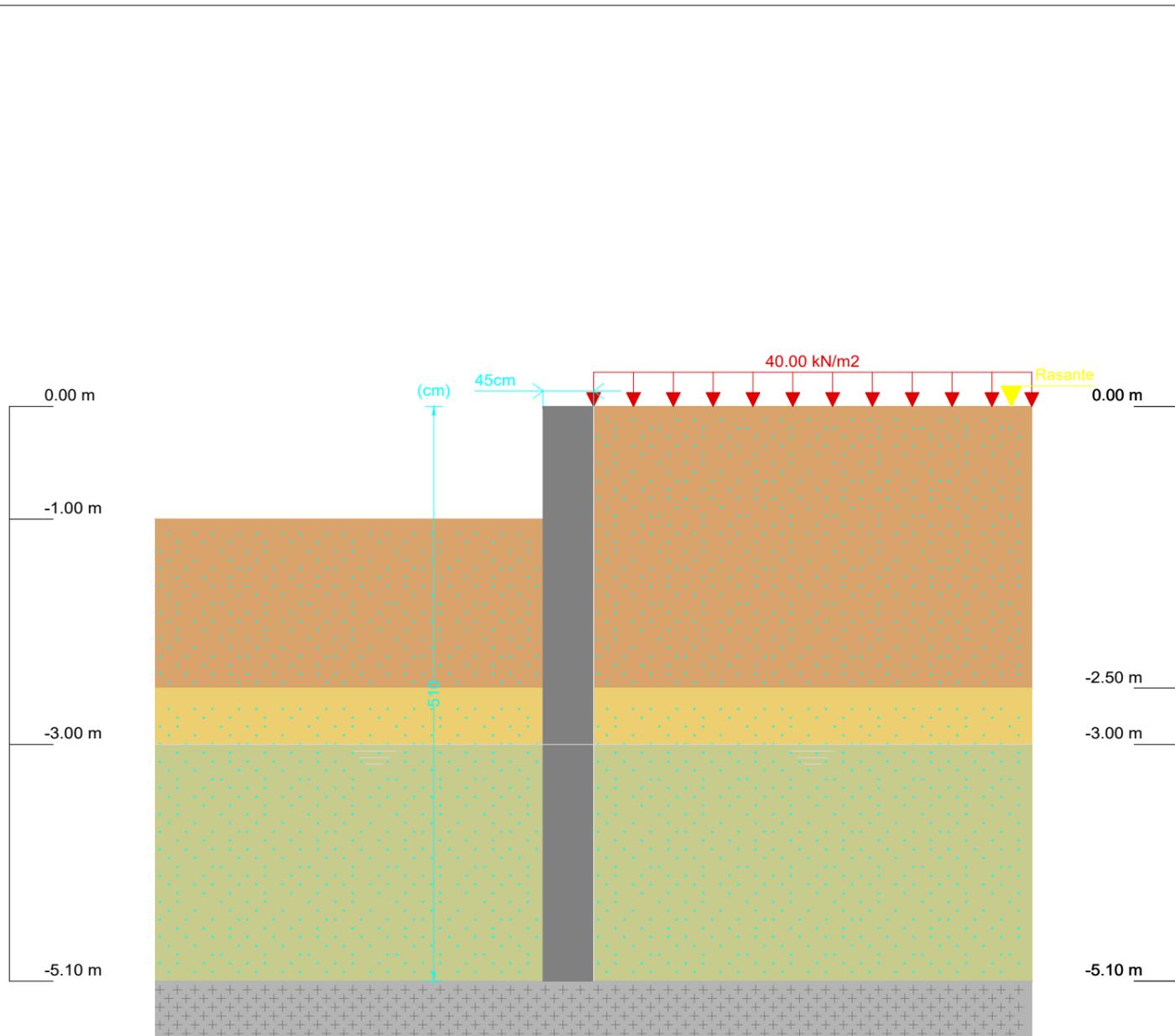
Fecha:
Septiembre 2023

Título del Plano:
Columna Litológica

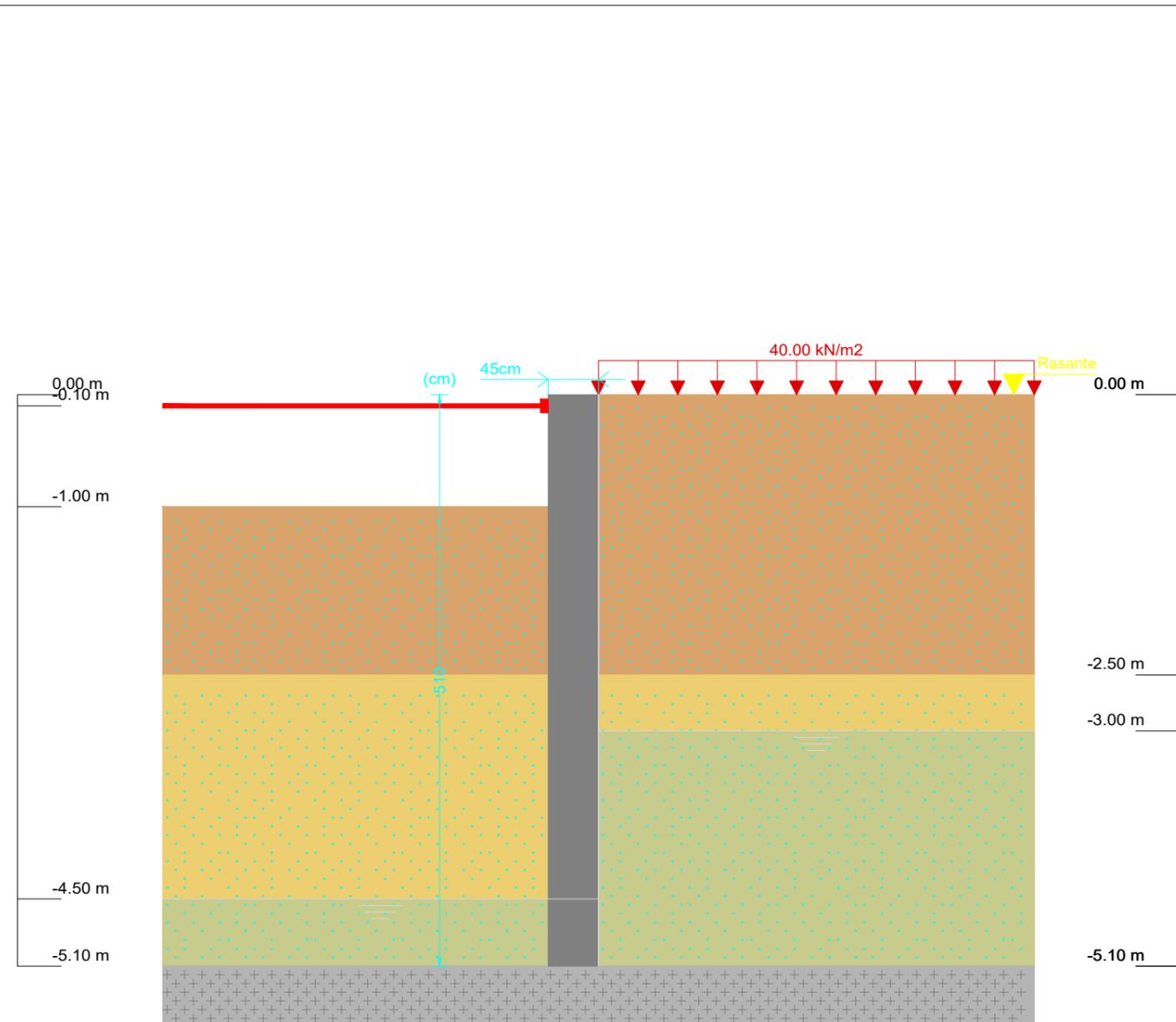
Escala:
1:75

Número de Plano: 2

Número de Hoja: 1



Fase 1



Fase 2



UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA

Titulación:
Grado en
Ingeniería Civil

Autor:
Dayana Albarrán

Título del Proyecto:
Estudio de soluciones de sistemas de contención
para la excavación de un edificio residencial en
Barbastro (Huesca)

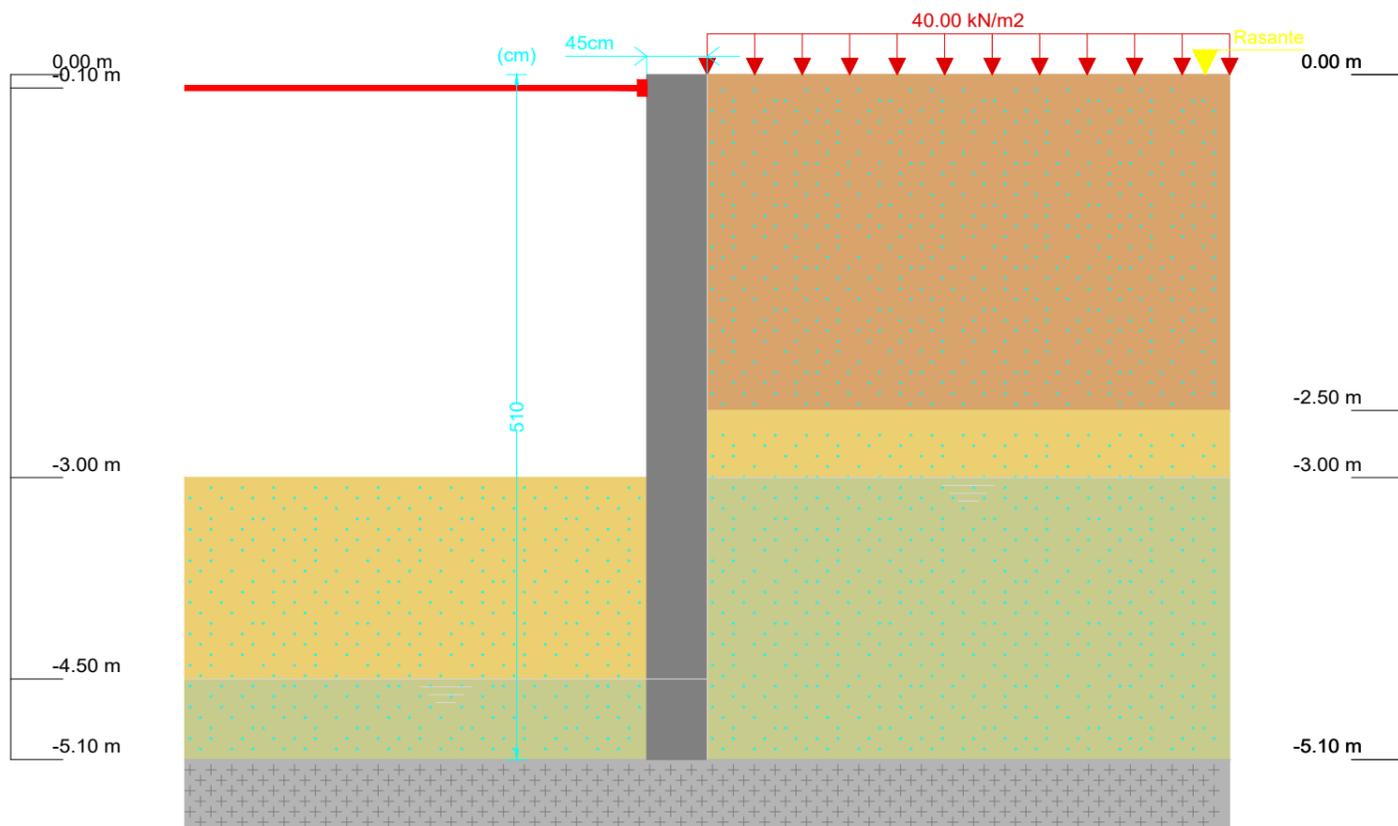
Fecha:
Septiembre 2023

Título del Plano:
Fases 1 y 2 de construcción

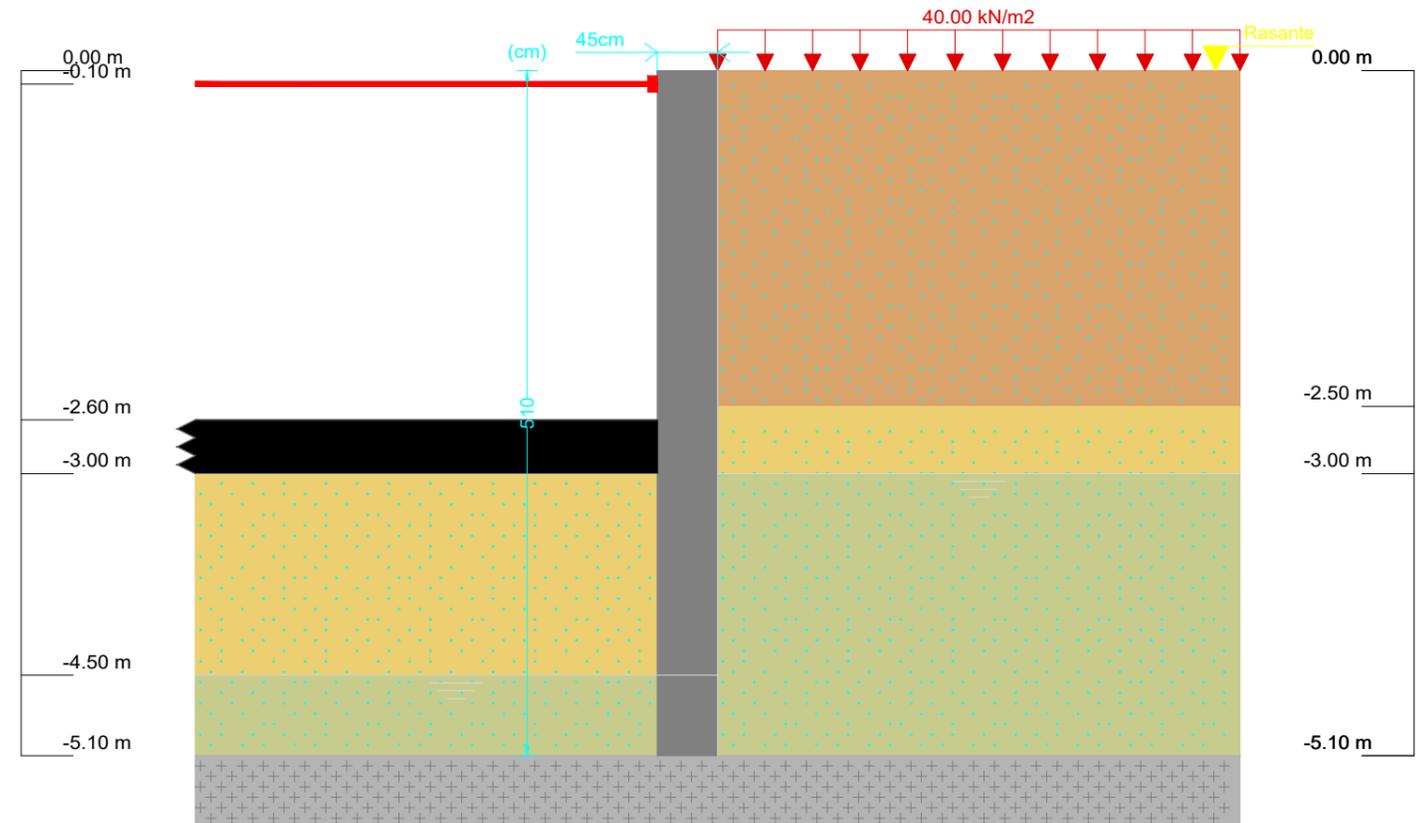
Escala:
1:50

Número de Plano: 3

Número de Hoja: 1/3



Fase 3



Fase 4



UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA

Titulación:
Grado en
Ingeniería Civil

Autor:
Dayana Albarrán

Título del Proyecto:
Estudio de soluciones de sistemas de contención
para la excavación de un edificio residencial en
Barbastro (Huesca)

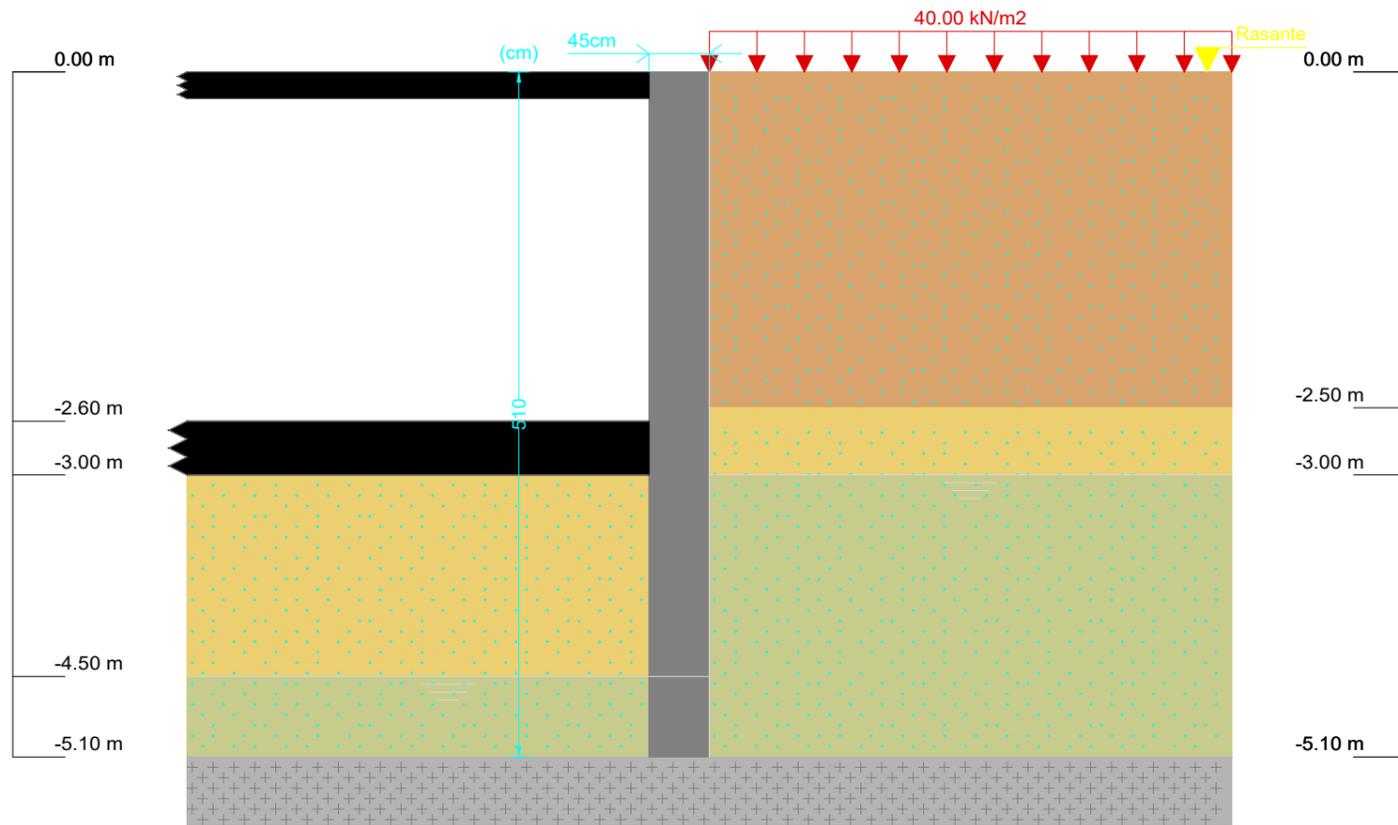
Fecha:
Septiembre 2023

Título del Plano:
Fases 3 y 4 de construcción

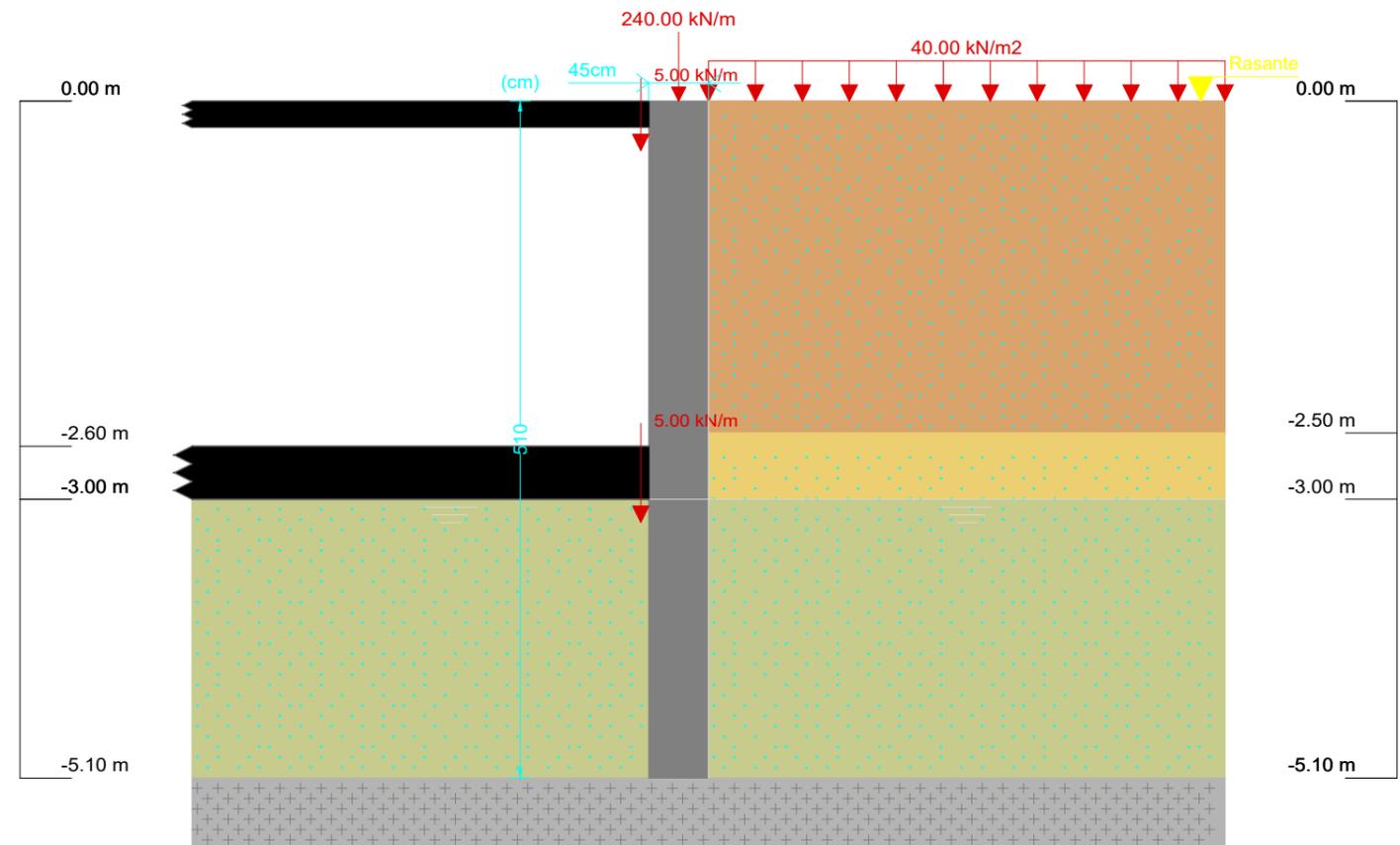
Escala:
1:50

Número de Plano: 3

Número de Hoja: 2/3



Fase 5



Fase 6



UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA

Titulación:
Grado en
Ingeniería Civil

Autor:
Dayana Albarrán

Título del Proyecto:
Estudio de soluciones de sistemas de contención
para la excavación de un edificio residencial en
Barbastro (Huesca)

Fecha:
Septiembre 2023

Título del Plano:
Fase 5 de construcción y
Fase 6 de servicio

Escala:
1:50

Número de Plano: 3

Número de Hoja: 3/3

ANEJO VI

Valoración económica

Índice

1. Introducción	3
2. Justificación de Precios.....	3
3. Conclusión	11

1. Introducción

El presente anejo tiene como objetivo establecer una estimación de los costes económicos que presenta la solución adoptada. Estos se basarán específicamente en el proceso constructivo para la ejecución del muro pantalla y las estructuras empleadas en estas fases, es decir los apoyos.

En primer lugar, se estimarán los precios de las unidades de obra referentes al transporte, la puesta en obra y retirada de la maquinaria utilizada y luego se indicarán los precios para cada unidad de obra empleada durante el proceso constructivo.

Para la estimación de cada uno de los precios se ha utilizado el software de CYPE, el cual dispone de un generador de precios de la construcción, por lo cual estos, así como los códigos indicados a continuación son generados por el software.

2. Justificación de Precios

CCP001

Ud Transporte, puesta en obra y retirada de máquina pantalladora.

Transporte, puesta en obra y retirada de máquina pantalladora, para la realización de muros pantalla de 45 cm de espesor, a una distancia de hasta 200 km. El precio incluye el desplazamiento a la obra del personal especializado.

Código	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio	
				unitario	Importe
mq03pae050m	Ud	Equipo y maquinaria	1,000	574 0,00	574 0,00
		Transporte, puesta en obra y retirada de equipo completo de máquina pantalladora, para muros pantalla de 45 cm de espesor, a una distancia de hasta 200 km.			
			Subtotal equipo y maquinaria:		5740,00
2	%	Costes directos complementarios	2,000	5740,00	114,80
		Costes directos complementarios			
			Costes directos (1+2):		5854,80

CCP002

Ud Transporte, puesta en obra y retirada de equipo completo de lodos tixotrópicos (bentonita).

Transporte, puesta en obra y retirada de equipo completo de lodos tixotrópicos (bentonita) para la realización de muros pantalla, a una distancia de hasta 50 km. El precio incluye el desplazamiento a la obra del personal especializado y la regeneración de lodos.

Estudio de soluciones de sistemas de contención para la excavación de un edificio residencial en Barbastro (Huesca)

Código	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio	
				unitario	Importe
mq03pae051a	1 Ud	Equipo y maquinaria Transporte, puesta en obra y retirada de equipo completo de lodos tixotrópicos (bentonita), a una distancia de hasta 50 km.	1,000	266 0,00	266 0,00
				Subtotal equipo y maquinaria: 2660,00	
	2 %	Costes directos complementarios Costes directos complementarios	2,000	2660,00	53,20
				Costes directos (1+2): 2713,20	

CCP005

m Murete guía para muro pantalla.

Doble murete guía, para muro pantalla, de hormigón armado de sección 70x25 cm; realizado con hormigón HA-25/F/20/XC2 fabricado en central, y vertido desde camión, y acero UNE-EN 10080 B 500 S, con una cuantía aproximada de 25 kg/m; montaje y desmontaje del sistema de encofrado recuperable metálico a dos caras. 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, conformado de elementos) en taller industrial y el montaje en el lugar definitivo de su colocación en obra, la demolición del murete guía con retroexcavadora con martillo rompedor y la carga mecánica de escombros sobre camión o contenedor.

Código	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio	
				unitario	Importe
mt08eme040	1 m ²	Materiales Paneles metálicos de varias dimensiones, para encofrar elementos de hormigón.	0,007	52, 00	0,3 6
mt50spa052b	m	Tablón de madera de pino, de 20x7,2 cm.	0,028	6,3 2	0,1 8
mt50spa081a	Ud	Puntal metálico telescópico, de hasta 3 m de altura.	0,018	19, 25	0,3 5
mt08eme051a	m	Fleje de acero galvanizado, para encofrado metálico.	0,140	0,2 9	0,0 4
mt08var050	kg	Alambre galvanizado para atar, de 1,30 mm de diámetro.	0,270	1,5 0	0,4 1
mt08var060	kg	Puntas de acero de 20x100 mm.	0,140	8,7 5	1,2 3
mt08dba010d	l	Agente desmoldeante, a base de aceites especiales, emulsionable en agua, para encofrados metálicos, fenólicos o de madera.	0,042	1,8 0	0,0 8
mt07aco020a	Ud	Separador homologado para cimentaciones.	3,000	0,1 5	0,4 5
mt07aco010c	kg	Ferralla elaborada en taller industrial con acero en barras corrugadas, UNE-EN 10080 B 500 S, de varios diámetros.	25,000	1,6 0	40, 00

Estudio de soluciones de sistemas de contención para la excavación de un edificio residencial en Barbastro (Huesca)

mt10haf010ctms	m ³	Hormigón HA-25/F/20/XC2, fabricado en central.	0,385	92,20	35,50
			Subtotal materiales:		78,60
2	Equipo y maquinaria				
mq01exn020a	h	Retroexcavadora hidráulica sobre neumáticos, de 105 kW.	0,231	51,91	11,99
mq01ret010	h	Miniretrocargadora sobre neumáticos de 15 kW.	0,108	45,86	4,95
			Subtotal equipo y maquinaria:		16,94
3	Mano de obra				
mo044	h	Oficial 1 ^a encofrador.	0,420	22,27	9,35
mo091	h	Ayudante encofrador.	0,560	21,15	11,84
mo043	h	Oficial 1 ^a ferrallista.	0,100	22,27	2,23
mo090	h	Ayudante ferrallista.	0,100	21,15	2,12
mo045	h	Oficial 1 ^a estructurista, en trabajos de puesta en obra del hormigón.	0,027	22,27	0,60
mo092	h	Ayudante estructurista, en trabajos de puesta en obra del hormigón.	0,108	21,15	2,28
mo113	h	Peón ordinario construcción.	0,231	20,10	4,64
			Subtotal mano de obra:		33,06
4	Costes directos complementarios				
	%	Costes directos complementarios	2,000	128,60	2,57
				Costes directos (1+2+3+4):	131,17

CCP020

m² Muro pantalla de hormigón armado, con lodos.

Muro pantalla de hormigón armado, de 40 cm de espesor y hasta 16 m de profundidad, o hasta encontrar roca o capas duras de terreno, realizado por bataches de hasta 2,65 m de longitud, excavados en terreno cohesivo sin rechazo en el SPT, estabilizado mediante el uso de lodos tixotrópicos; realizado con hormigón HA-25/L/12/XC2 fabricado en central, y vertido desde camión, con hormigonado continuo sumergido a través de tubo Tremie, y acero UNE-EN 10080 B 500 S, con una cuantía aproximada de 30 kg/m². Incluso alambre de atar y separadores. 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.

Código	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe
1	Materiales				
mt07aco020j	Ud	Separador homologado para muros pantalla.	2,000	0,10	0,20

Estudio de soluciones de sistemas de contención para la excavación de un edificio residencial en Barbastro (Huesca)

mt07aco010c	kg	Ferralla elaborada en taller industrial con acero en barras corrugadas, UNE-EN 10080 B 500 S, de varios diámetros.	30,000	1,60	48,00
mt08var050	kg	Alambre galvanizado para atar, de 1,30 mm de diámetro.	0,180	1,50	0,27
mt10haf010ctmi	m³	Hormigón HA-25/L/12/XC2, fabricado en central.	0,506	95,20	48,17
			Subtotal materiales:		96,64
Equipo y maquinaria					
mq03pae060sh	2 h	Maquinaria para excavación de muro pantalla de 40 cm de espesor y hasta 16 m de profundidad, excavación con uso de lodos tixotrópicos, en terreno cohesivo sin rechazo en el SPT, realizada por bataches de 2,65 m de longitud.	0,300	45,58	13,67
mq07gte010c	h	Grúa autopropulsada de brazo telescópico con una capacidad de elevación de 30 t y 27 m de altura máxima de trabajo.	0,100	75,04	7,50
mq03lod010	h	Maquinaria para lodos de perforación: desarenadores de lodos, mezcladores de lodos, bombas de lodos, deslimadores y depósitos de almacenamiento.	0,450	9,30	4,19
			Subtotal equipo y maquinaria:		25,36
Mano de obra					
mo043	3 h	Oficial 1ª ferrallista.	0,150	22,27	3,34
mo090	h	Ayudante ferrallista.	0,150	21,15	3,17
mo045	h	Oficial 1ª estructurista, en trabajos de puesta en obra del hormigón.	0,101	22,27	2,25
mo092	h	Ayudante estructurista, en trabajos de puesta en obra del hormigón.	0,405	21,15	8,57
			Subtotal mano de obra:		17,33
Costes directos complementarios					
	4 %	Costes directos complementarios	2,000	139,33	2,79
Coste de mantenimiento decenal: 5,68€ en los primeros 10 años.					Costes directos (1+2+3+4): 142,12

CCP051

m Descabezado de paneles en muros pantalla.

Demolición del exceso de hormigón existente en la coronación de los paneles del muro pantalla, de 45 cm de espesor, mediante el repicado mecánico con martillo rompedor del tramo comprendido entre el nivel de llenado del hormigón y el nivel de descabezado, hasta asegurar la ausencia de hormigón contaminado por lodos y la calidad descrita en el Proyecto, y carga manual de escombros sobre camión o contenedor.

Código	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe
--------	--------	-------------	-------------	-----------------	---------

Estudio de soluciones de sistemas de contención para la excavación de un edificio residencial en Barbastro (Huesca)

1		Equipo y maquinaria		
mq01exn050c	h	Retroexcavadora sobre neumáticos, de 85 kW, con martillo rompedor.	0,347	72, 25, 80 26
mq05pdm010a	h	Compresor portátil eléctrico 2 m³/min de caudal.	0,760	4,2 3,2 7 5
mq05mai030	h	Martillo neumático.	1,519	4,5 6,9 7 4
			Subtotal equipo y maquinaria:	35,45
2		Mano de obra		
mo112	h	Peón especializado construcción.	1,953	20, 39, 43 90
mo113	h	Peón ordinario construcción.	0,977	20, 19, 10 64
			Subtotal mano de obra:	59,54
3		Costes directos complementarios		
	%	Costes directos complementarios	2,000	94,99 1,90
			Costes directos (1+2+3):	96,89

CCP052

m **Viga de atado de paneles en muros pantalla.**

Viga de atado de hormigón armado para paneles de muro pantalla, de 45x100 cm, realizada con hormigón HA-25/F/20/XC2 fabricado en central, y vertido desde camión, y acero UNE-EN 10080 B 500 S, con una cuantía aproximada de 65 kg/m; montaje y desmontaje del sistema de encofrado recuperable metálico. Incluso alambre de atar, separadores, armaduras de espera para pilares que descansan sobre la viga de atado 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.

Código	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio	Importe
			Rendimiento	unitario	
1		Materiales	0,010		52,00
mt08eme040	m²	Paneles metálicos de varias dimensiones, para encofrar elementos de hormigón.	0,040	6,3 2	0,5 2
mt50spa052b	m	Tablón de madera de pino, de 20x7,2 cm.	0,026	19, 25	0,2 5
mt50spa081a	Ud	Puntal metálico telescópico, de hasta 3 m de altura.	0,200	0,2 9	0,5 0
mt08eme051a	m	Fleje de acero galvanizado, para encofrado metálico.	0,620	1,5 0	0,0 6
mt08var050	kg	Alambre galvanizado para atar, de 1,30 mm de diámetro.	0,200	8,7 5	0,9 3
mt08var060	kg	Puntas de acero de 20x100 mm.	0,060	1,8 0	1,7 5
mt08dba010d	l	Agente desmoldeante, a base de aceites especiales, emulsionable en agua, para encofrados metálicos, fenólicos o de madera.	3,000	0,0 9	0,1 1
mt07aco020c	Ud	Separador homologado para vigas.	65,000	1,6 0	0,2 7

Estudio de soluciones de sistemas de contención para la excavación de un edificio residencial en Barbastro (Huesca)

mt07aco010c	kg	Ferralla elaborada en taller industrial con acero en barras corrugadas, UNE-EN 10080 B 500 S, de varios diámetros.	0,473	92,20	### ####
mt10haf010ctms	m ³	Hormigón HA-25/F/20/XC2, fabricado en central.		Subtotal 15	43,
				materiales: 2,00	61
				0,600	22,27
	2	Mano de obra			
mo044	h	Oficial 1ª encofrador.	0,800	21,15	13,36
mo091	h	Ayudante encofrador.	0,260	22,27	16,92
mo043	h	Oficial 1ª ferrallista.	0,260	21,15	5,79
mo090	h	Ayudante ferrallista.	0,158	22,27	5,50
mo045	h	Oficial 1ª estructurista, en trabajos de puesta en obra del hormigón.	0,630	21,15	3,52
mo092	h	Ayudante estructurista, en trabajos de puesta en obra del hormigón.		Subtotal 58, mano de obra: 41	13, 32
	3	Costes directos complementarios		2,000	210,41
	%	Costes directos complementarios	2,000	210,41	4,21
				Costes directos (1+2+3):	214,62

CCP056

m Arriostramiento de muro pantalla.

Montaje y desmontaje de arriostramiento provisional, con una capacidad portante de 20 t, para asegurar la estabilidad del muro pantalla durante los trabajos de excavación de las tierras a uno de sus lados y hasta que se rigidice definitivamente la pantalla mediante sus uniones al resto de la estructura. Ejecutado mediante la colocación de perfil metálico IPE, IPN, HEB o similar, con placas metálicas y fijaciones, en la superficie del muro.

Código	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe
1		Materiales			
mt07ala012f	Ud	Arriostramiento compuesto por perfil metálico IPE, IPN, HEB o similar, placas de anclaje y fijaciones, con una capacidad portante de 20 t.	1,000	348,61	348,61
				Subtotal materiales:	348,61
2		Equipo y maquinaria			
mq04cap010c	h	Camión para transporte, de 24 t de carga.	0,150	133,52	20,03
mq07gte010c	h	Grúa autopropulsada de brazo telescópico con una capacidad de elevación de 30 t y 27 m de altura máxima de trabajo.	0,085	75,04	6,38

Estudio de soluciones de sistemas de contención para la excavación de un edificio residencial en Barbastro (Huesca)

		Subtotal equipo y maquinaria:		26,41
	3	Mano de obra		
mo047	h	Oficial 1ª montador de estructura metálica.	0,250	22, 5,5
mo094	h	Ayudante montador de estructura metálica.	0,500	27 7 21, 10, 15 58
		Subtotal mano de obra:		16,15
	4	Costes directos complementarios		
	%	Costes directos complementarios	2,000	391,17 7,82
Coste de mantenimiento decenal: 7,98€ en los primeros 10 años.			Costes directos (1+2+3+4): 398,99	

CCP061

m Encuentro de muro pantalla y losa de cimentación.

Encuentro de muro pantalla y losa de cimentación, mediante 2 barras corrugadas de 16 mm de diámetro y 100 cm de longitud, de acero UNE-EN 10080 B 500 S, fijadas con resina epoxi cada 400 cm en orificios de 20 mm de diámetro y 250 mm de profundidad, practicados en rebaje perimetral con forma de media caña, de 5 cm de profundidad, ejecutado mediante fresado continuo del paramento del muro pantalla, y carga de escombros sobre camión o contenedor.

Código	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe
Materiales					
mt07anq010	Ud	Cartucho de adhesivo tixotrópico de dos componentes a base de resina epoxi, de 330 ml, para conexión de barra corrugada de acero y muro pantalla.	0,325	53, 74	17, 47
mt07aco010g	kg	Acero en barras corrugadas, UNE-EN 10080 B 500 S, suministrado en obra en barras sin elaborar, de varios diámetros.	7,900	1,2 2	9,6 4
Subtotal materiales:					27,11
Equipo y maquinaria					
mqq3fre010a	h	Equipo de fresado, para muro pantalla.	0,380	72, 80	27, 66
mqq1pan070b	h	Mini pala cargadora sobre neumáticos, de 52 kW/1 m³ kW.	0,380	36, 80	13, 98
mqq6eim060	h	Aplicador manual para cartuchos de inyección de resinas, con accesorio mezclador.	1,250	1,7 2	2,1 5
Subtotal equipo y maquinaria:					43,79
Mano de obra					
mo042	h	Oficial 1ª estructurista.	0,350	22, 27	7,7 9
mo089	h	Ayudante estructurista.	0,350	21, 15	7,4 0
Subtotal mano de obra:					15,19
4	Costes directos complementarios				

Estudio de soluciones de sistemas de contención para la excavación de un edificio residencial en Barbastro (Huesca)

% Costes directos complementarios 2,000 86,09 1,72

Coste de mantenimiento decenal: 1,76€ en los primeros 10 años.	Costes directos (1+2+3+4):	87,81
--	-----------------------------------	-------

CCP063

m Encuentro de muro pantalla y forjado de sótano.

Encuentro de muro pantalla y forjado de sótano, mediante 2 barras corrugadas de 16 mm de diámetro y 100 cm de longitud, de acero UNE-EN 10080 B 500 S, fijadas con resina epoxi cada 500 cm en orificios de 20 mm de diámetro y 250 mm de profundidad, practicados en rebaje perimetral con forma de media caña, de 5 cm de profundidad, ejecutado mediante fresado continuo del paramento del muro pantalla, y carga de escombros sobre camión o contenedor.

Código	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe
Precio					
1 Materiales					
mt07anq010	Ud	Cartucho de adhesivo tixotrópico de dos componentes a base de resina epoxi, de 330 ml, para conexión de barra corrugada de acero y muro pantalla.	0,260	53,74	13,97
mt07aco010g	kg	Acero en barras corrugadas, UNE-EN 10080 B 500 S, suministrado en obra en barras sin elaborar, de varios diámetros.	6,320	1,22	7,71
Subtotal materiales:					21,68
2 Equipo y maquinaria					
mq03fre010a	h	Equipo de fresado, para muro pantalla.	0,300	72,80	21,84
mq01pan070b	h	Mini pala cargadora sobre neumáticos, de 52 kW/1 m³ kW.	0,300	36,80	11,04
mq06eim060	h	Aplicador manual para cartuchos de inyección de resinas, con accesorio mezclador.	1,000	1,72	1,72
Subtotal equipo y maquinaria:					34,60
3 Mano de obra					
mo042	h	Oficial 1ª estructurista.	0,280	22,27	6,24
mo089	h	Ayudante estructurista.	0,280	21,15	5,92
Subtotal mano de obra:					12,16
4 Costes directos complementarios					
	%	Costes directos complementarios	2,000	68,44	1,37

Coste de mantenimiento decenal: 1,40€ en los primeros 10 años.	Costes directos (1+2+3+4):	69,81
--	-----------------------------------	-------

3. Conclusión

Estima que el proceso constructivo del muro pantalla, desde el comienzo de su construcción con la realización del murete guía hasta que se disponga del segundo forjado, el de planta baja, tendrá un coste directo de 9.709,41 euros