

ANEJO I

Estudio geológico y geotécnico





ÍNDICE

- I. INTRODUCCIÓN Y OBJETO..... 3
- II. DOCUMENTACIÓN CONSULTADA..... 3
 - 2.1. ESTUDIOS PREVIOS3
- III. ESTUDIO GEOLÓGICO..... 3
 - 3.1. MARCO GEOLÓGICO3
 - 3.1.1. Geología general.....3
 - 3.2. TECTÓNICA GENERAL Y EFECTOS SÍSMICOS.....5
 - 3.3. GEOMORFOLOGÍA GENERAL8
 - 3.4. HIDROLOGÍA E HIDROGEOLOGÍA GENERALES10
- IV. CAMPAÑA DE RECONOCIMIENTO GEOTÉCNICO 12
 - 4.1. SONDEOS12
 - 4.2. NIVEL FREÁTICO (N.F.)14
 - 4.3. ENSAYOS DE PENETRACIÓN DINÁMICA (S.P.T.)14
 - 4.3.1. Definición del ensayo.....14
 - 4.3.2. Resultados obtenidos15
 - 4.4. ENSAYOS LABORATORIO15
- V. ANÁLISIS DE DATOS 18
 - 5.1. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES18
 - 5.2. PARAMETRIZACIÓN GEOTÉCNICA DEL TERRENO19
- VI. RECOMENDACIONES GEOTÉCNICAS 20
- VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 22



I. INTRODUCCIÓN Y OBJETO

El presente anejo constituye el estudio geológico-geotécnico del Estudio de soluciones para la construcción de un aparcamiento subterráneo en la calle Nuestra Señora de la Cabeza, Elche (Alicante).

En general, en el documento se analizan:

- Estudio geológico general (se describe el encuadre geológico regional de la zona de estudio).
- Campañas de campo realizadas.
- Ensayos de laboratorio realizados.
- Análisis de la información contenida en los estudios previos (se analiza la información geológica y geotécnica disponible de la zona) y Caracterización de los materiales detectados en el solar a partir de los ensayos realizados.
- Recomendaciones geotécnicas para el proyecto que se propone

II. DOCUMENTACIÓN CONSULTADA

Para la redacción del presente documento, se han consultado diferentes fuentes documentales y bibliográficas, que han servido como punto de partida para este estudio geológico-geotécnico. Entre ellas, destaca la información proporcionada por varios trabajos del Instituto Geológico y Minero de España, del Institut Cartogràfic Valencià y del Infraestructura Valenciana de Dades Espacials. A continuación, se presentan los antecedentes consultados, indicando, para cada uno de ellos, el título, auto del proyecto.

2.1. ESTUDIOS PREVIOS

- Estudio Informativo Red Arterial Ferroviaria de Elche: Variante de Conexión de la Nueva Estación de Alta Velocidad con el Centro - Elche (Alicante). Carlos García Acón, Esteyco.
- Estudio Geotécnico para la Ampliación de la Casa de la Orxata (PB + 2ALT). Elche (Alicante). Cimentaciones Especiales y Sondeos S.L. (CEYS). Jorge Oros Pérez.
- Proyecto de Mejora en la Red de Abastecimiento de Agua Potable y Mejora de Equipos Eléctricos de Alumbrado por Otros más Eficientes en la Avenida de Novelda. Tramo entre Calle Emilio Hernández Selva y Leopoldo - Elche (Alicante). Servei Tècnic d'Engenieria, Ajuntament d'Elx.
- Proyecto de remodelación de la estación de Elx Parc, Elche, Alicante, (AYESA, 2007)

III. ESTUDIO GEOLÓGICO

3.1. MARCO GEOLÓGICO

3.1.1. GEOLOGÍA GENERAL

Desde un punto de vista geológico, la zona de estudio se enmarca dentro del Sistema Geológico alpino conocido como Cordillera Bética. En particular, la zona de Estudio se localiza en la cuenca post-orogénica neógena, situada al sur del Prebético de Alicante (Zonas Externas), que se denomina Depresión de Elche-Cuenca del Bajo Segura.

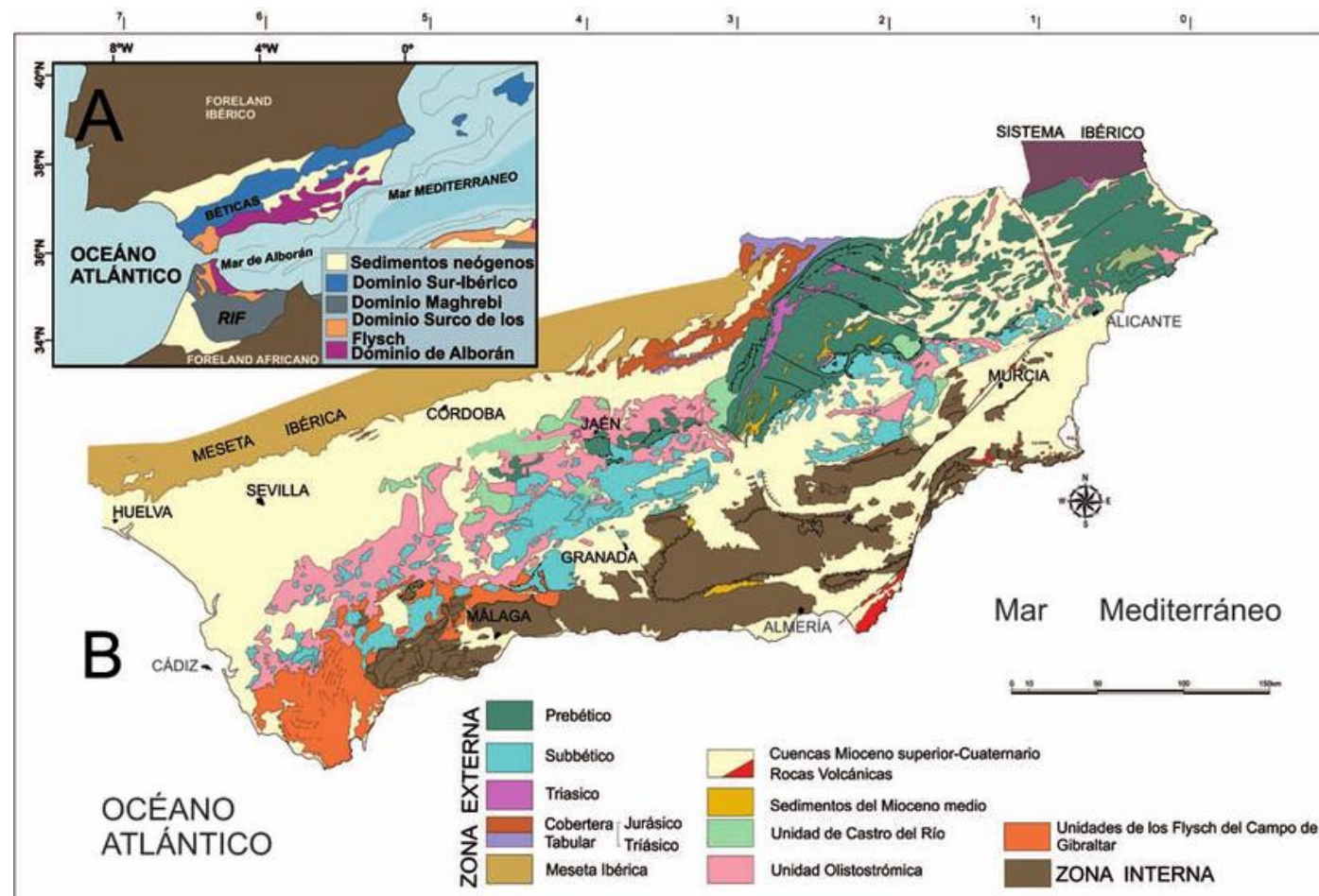


Figura 1. Esquema geológico regional de la Cordillera Bética.
FUENTE: Blog speedstar71.

La Depresión de Elche-Cuenca del Bajo Segura representa, desde un punto de vista paleogeográfico, una cuenca marginal del Mediterráneo, desarrollada a partir de la Cuenca Norbética de antepaís, que ha sufrido una evolución tecto-sedimentaria compleja a partir del Mioceno superior.

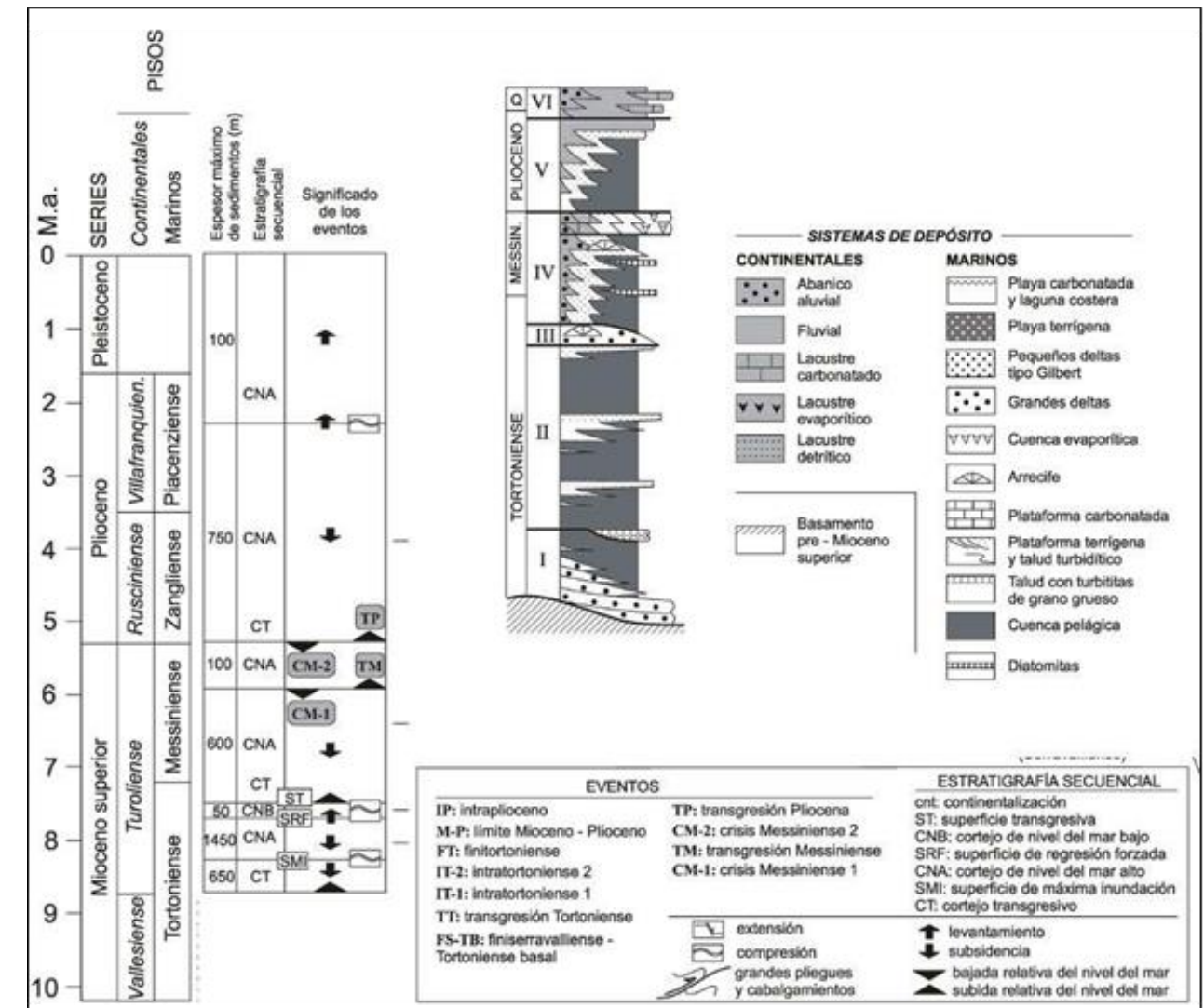


Figura 2. Evolución geológica de la de depresión de Elche. Cuenca del Bajo Segura.
FUENTE: Recursos Ministerio de Fomento.

En el Tortonense inferior tuvo lugar un evento eustático que se manifestó con la subida del nivel del mar, produciendo una trasgresión de carácter regional que originó la sedimentación de materiales marinos en la base de la cuenca.

Se trata de una megasecuencia (I) formada por sedimentos deltaicos que evolucionan a turbiditas y materiales pelágicos. Durante el Tortonense se registró una importante fase compresiva que produjo los últimos cabalgamientos en las Zonas Externas Béticas y deformaciones en la megasecuencia de base. Este evento se manifiesta con el depósito de una megasecuencia de somerización (II) con geometrías progradantes, que se depositó en ambiente de mar alto. A este evento pseudo-regresivo siguió otro tardo-ortonense, que originó el levantamiento de las Béticas centro-

orientales y la bajada del nivel del mar con el depósito de sedimentos marinos someros tipo plataforma terrígena y arrecife (III).

El principio del Messiniense está marcado por un episodio compresivo acompañado por una rápida transgresión y seguido por una somerización. El registro de esta fase está representado por una megasecuencia regresiva (IV) de mar alto que evoluciona a continental con la formación de canales erosivos y sedimentación grosera. Hacia techo se reconocen los episodios tardo-miocenos de crisis de salinidad durante los cuales se formaron evaporitas. En el Plioceno tuvo lugar una rápida inundación marina de carácter eustático del sector y su siguiente evolución regresiva. Durante esta fase se formó una megasecuencia progradante (V) con sedimentos pelágicos en la base y sedimentos costeros y continentales hacia techo.

Al final del Plioceno se manifestó un evento compresivo, con la formación de nuevas lineaciones tectónicas que originaron la compartimentación de la cuenca en altos y bajos estructurales. Estos últimos representan verdaderos surcos ocupados por valles fluviales cuya fisiografía es parecida a la actual. Durante todo el Pleistoceno, y en la actualidad, se registra una sedimentación de tipo continental, con la formación de depósitos lacustres, fluviales y aluviales (VI).

Los materiales afectados por el aparcamiento a proyectar proceden de la denudación continental de las sierras circundantes. Se trata de depósitos detríticos heterogéneos (gravas, arenas, limos y arcillas) que forman glacia, abanicos aluviales, llanas lagunares y lenguas fluviales.

En la actualidad, las megasecuencias neógenas (I-V) afloran al norte de la ciudad de Elche, al pie de las correspondientes sierras, formando la orla meridional de las Zonas Externas Béticas Alicantinas. La secuencia cuaternaria (VI) ocupa la zona baja de la Depresión de Elche.

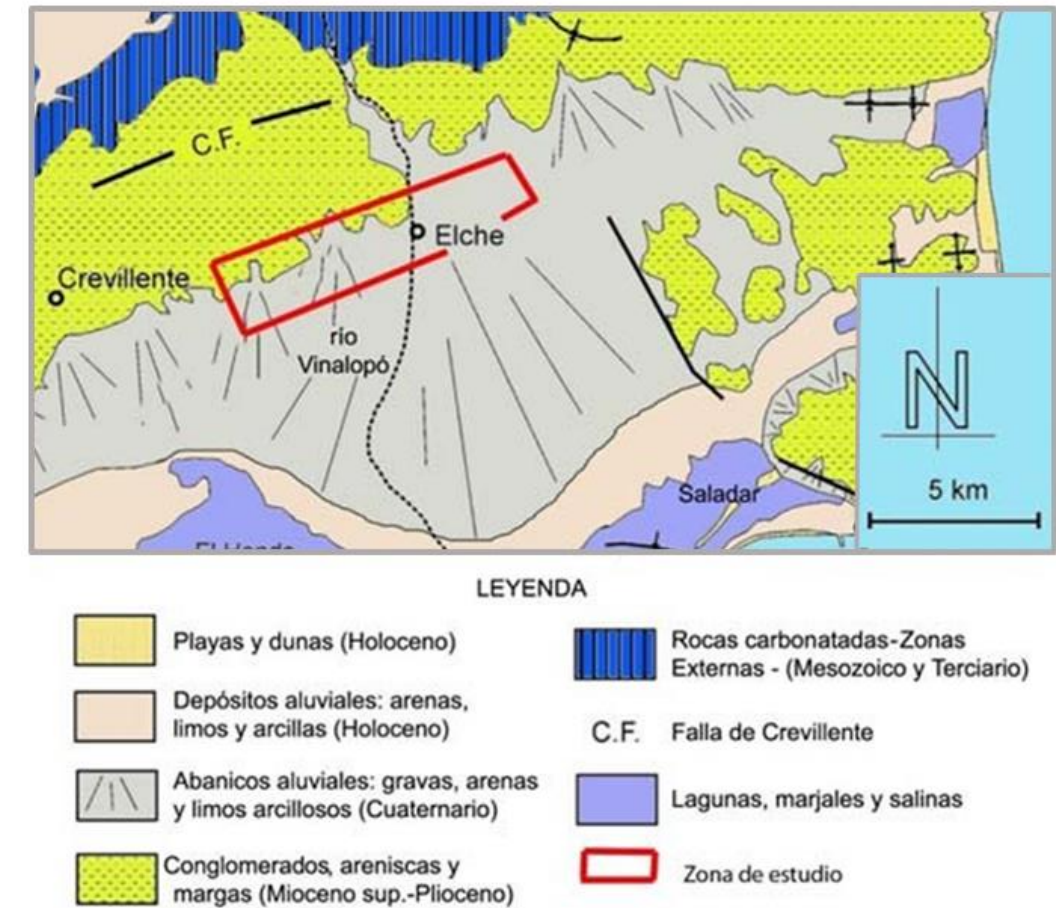


Figura 3. Geología de la depresión de Elche.

FUENTE: Recursos Ministerio de Fomento.

3.2. TECTÓNICA GENERAL Y EFECTOS SÍSMICOS

Desde un punto de vista tectónico, la zona de estudio se localiza en el extremo oriental de la franja tectónica llamada Accidente Cádiz-Alicante, también conocida como Falla de Crevillente.

Se trata de una zona de fractura que recorre longitudinalmente todo el edificio emergido de las Béticas y que, en la demarcación alicantina, penetra con una orientación media de N65°E, a lo largo de la alineación geográfica Crevillente-Elche-Alicante. En la Depresión de Elche, la franja tectónica se manifiesta con el escalonamiento del substrato según una estructura horst-graben y con el plegamiento de la cobertera con una disposición de ejes este-oeste. La única repercusión de la tectónica en la topografía superficial de la zona, se observa en proximidad de dos altos tectónicos que corresponden con la Sierra del Cabo de Santa Pola y con La Marina.

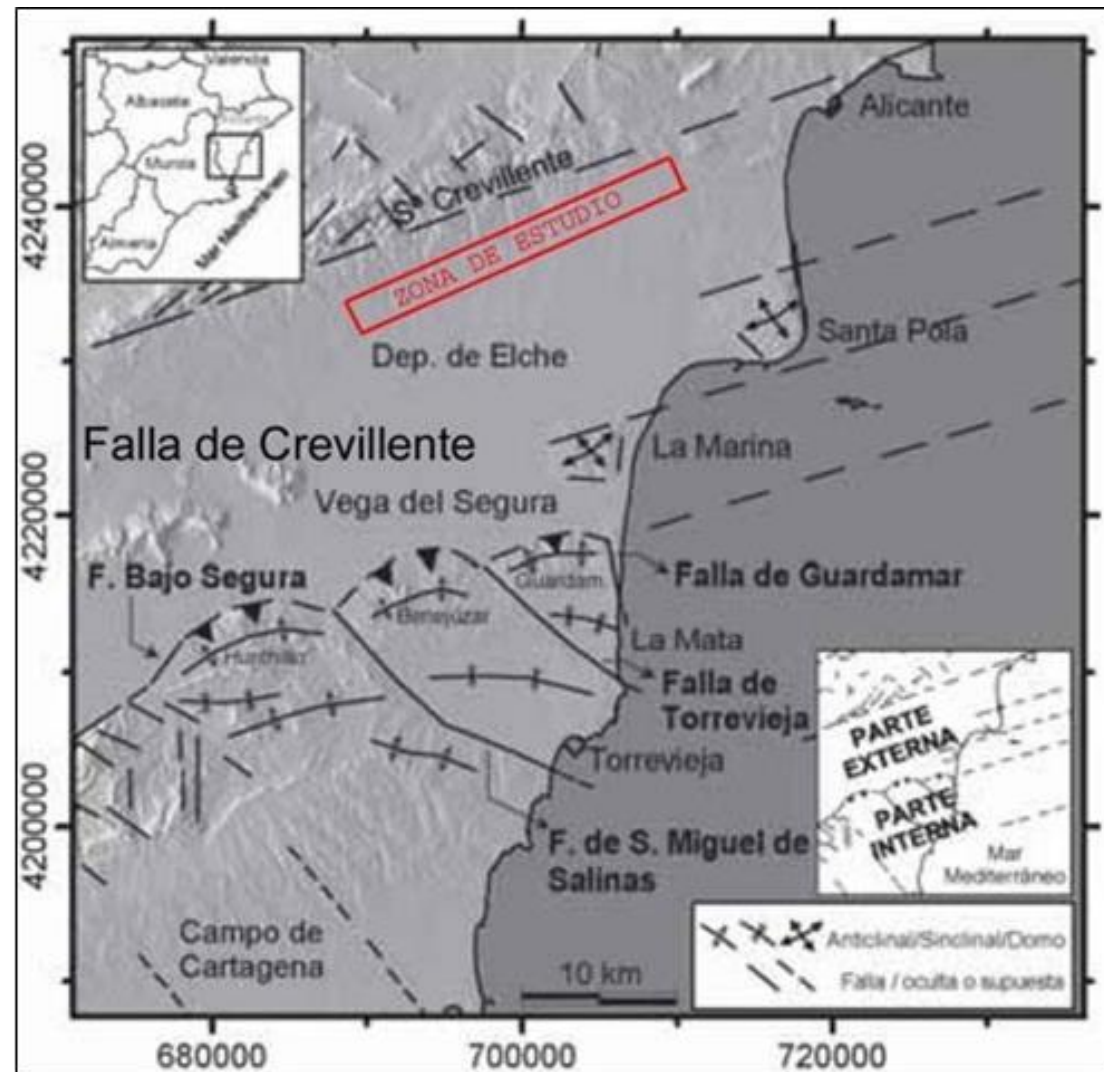


Figura 4. Esquema tectónico de la zona de Estudio. FUENTE: Recursos Ministerio de Fomento.

Desde el punto de vista tectónico, la zona de estudio presenta una evolución cinemática compleja, cuya dinámica se ha interpretado como un mecanismo de desgarre en régimen distensivo, activo desde el Mioceno medio.

Los numerosos estudios de geodinámica realizados sobre este sistema estructural revelan la presencia de movimientos tanto destrosales como sinistrosales y, puntualmente, inversos que afectan a materiales recientes, incluso cuaternarios (deformaciones neotectónicas).

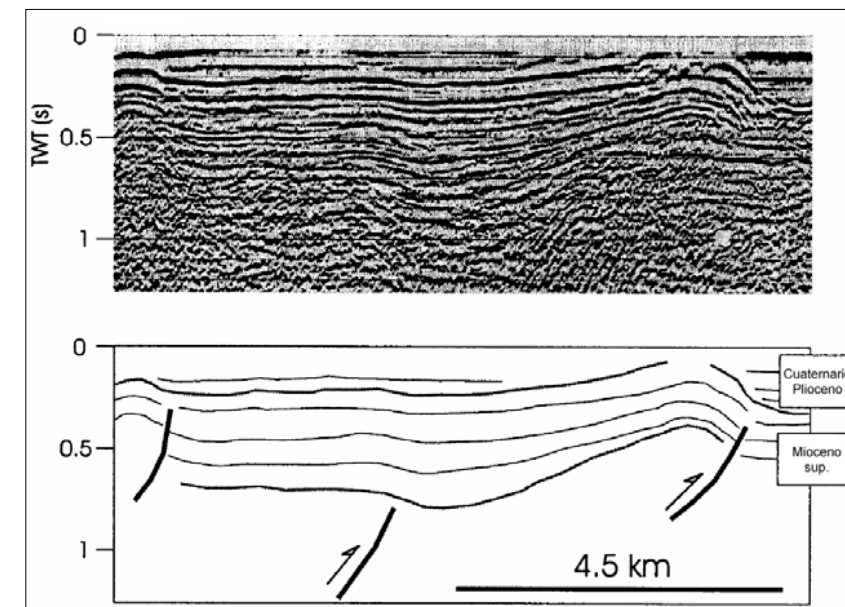


Figura 5. Perfil sísmico de reflexión con interpretación de la depresión de Elche. FUENTE: Recursos Ministerio de Fomento.

En este escenario, la Falla de Crevillente presenta un alto potencial sísmico y la zona de Proyecto se encuentra en una de las zonas sísmicamente más activas de la Península Ibérica.

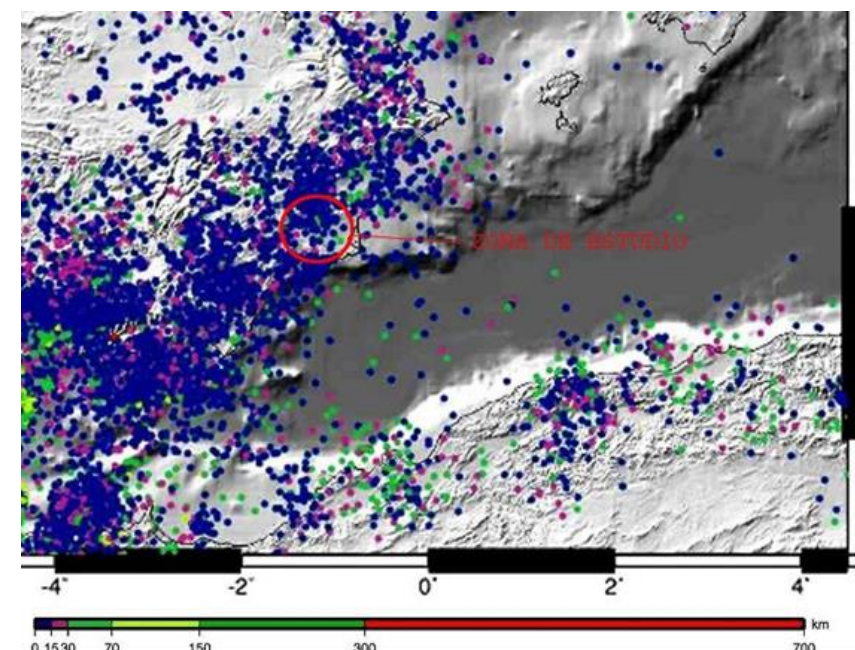


Figura 6. Mapa de epicentros, clasificados según la profundidad. FUENTE: Ministerio de Fomento.

Los registros paleosísmicos han permitido reconocer, mediante el estudio de sismitas contenidas en sedimentos de edad inferior a 8.000 años en la Cuenca del Bajo Segura, hasta 7 terremotos de magnitudes superiores a 5,5 Mw. Entre los eventos históricos ocurridos en las inmediaciones de la zona de estudio destaca el terremoto de Torrevieja de 1829, de intensidad $I_{MSK} = X$, que destruyó por completo la localidad, causó la muerte de 389 personas y produjo daños importantes en todos los pueblos cercanos. Este evento sísmico se considera uno de los terremotos más destructivos ocurridos en España en tiempos históricos.

Entre los eventos recientes, hay que mencionar los terremotos de 1950 y 1975, de 3,5 y 3,8 Mw respectivamente, registrados en Santa Pola, y las cuatro series sísmicas registradas desde el 1999 que, con magnitudes superiores a 4,5 Mw, ocasionaron daños materiales significativos en la Región de Murcia (Mula 1999, Bullas 2002, La Paca 2005 y Lorca 2010).

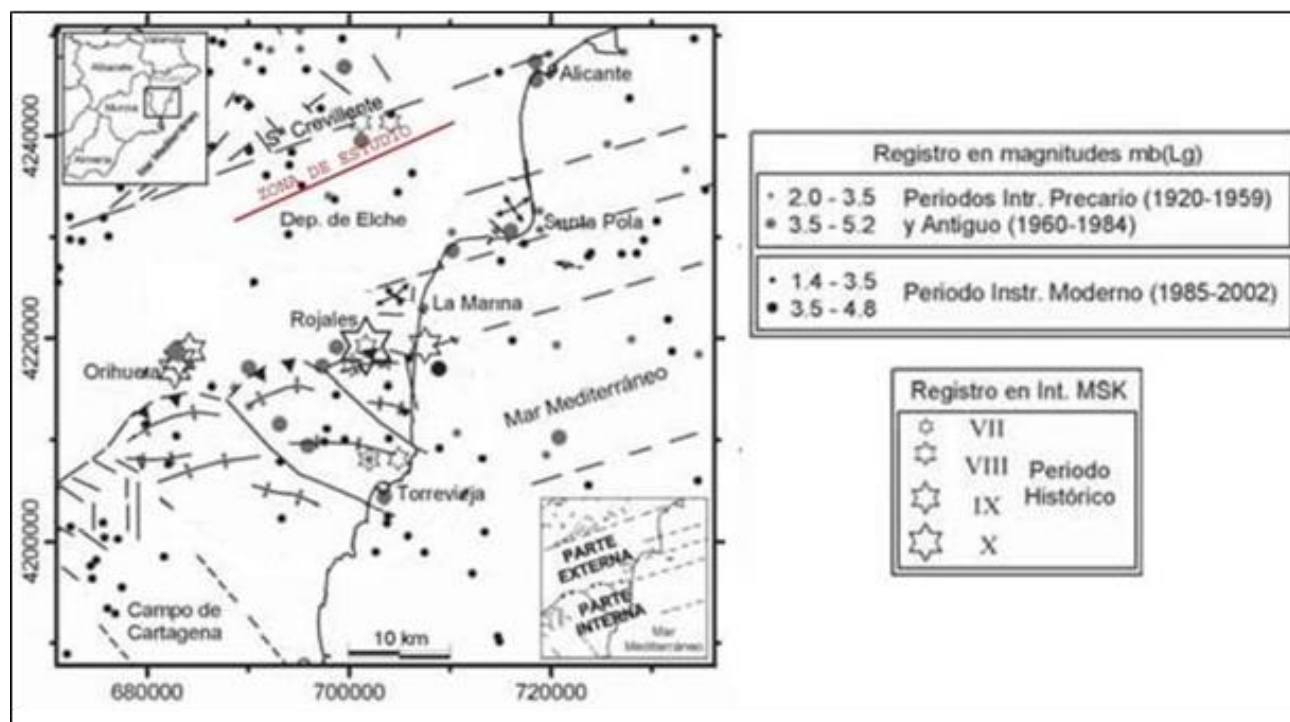


Figura 7. Eventos sísmicos de la cuenca Bajo Segura – Depresión de Elche.
FUENTE: Recursos Ministerio de Fomento.

A continuación, se presentan en la Tabla 1 los parámetros sísmicos para la zona de Estudio. Se trata de parámetros obtenidos de la información de antecedentes (estudio de efectos sísmicos realizado para el PC del ferrocarril entre Torrellano y Crevillente de Esteyco) que, por proximidad y alcance, se consideran representativos para el presente Estudio Informativo.

Tabla 1. Parámetros Sísmicos de la zona de estudio obtenidos de estudios Anteriores.
FUENTE: ESTEYCO, estudio de efectos sísmicos realizado para el PC del ferrocarril entre Torrellano y Crevillente.

PARÁMETROS	VALORES
Aceleración sísmica básica	$a_b = 0,15$ (T.M. Elche). Normas sismorresistentes de obligatoria aplicación
Coeficiente de riesgo	$r = 1,3$ (construcciones de importancia especial).
Valor del producto $r \cdot a_b$	$r \cdot a_b = 0,195$.
Coeficiente del terreno	$C = 1,6$ (Terreno Tipo III).
Coeficiente de amplificación del terreno	$S = 1,19$ (para $0,1 < r \cdot a_b < 0,4$).
Aceleración sísmica de cálculo	$a_c = 0,232$.
Intensidad sísmica M.S.K.	$I_{MSK} = 7,97$ (Clase VIII).
Coeficientes sísmicos horizontal y vertical	$K_h = 0,116$; $K_v = 0,058$.

La Norma de Construcción Sismorresistente (NCSE-02) define la aceleración sísmica de cálculo a_c como el producto:

$$a_c = S \cdot \rho \cdot a_b$$

Siendo

ρ : coeficiente adimensional de riesgo, que depende de la probabilidad aceptable de que se exceda a_c durante la vida útil del proyecto, siendo $\rho=1$ para construcciones de importancia normal y $\rho=1,3$ para las de importancia especial,

S : coeficiente de amplificación del terreno

a_b : Aceleración básica, que es un valor característico de la aceleración horizontal de la superficie del terreno.

En la NCSE-02 se muestra el Mapa de Peligrosidad Sísmica que se muestra en la Figura 8 donde se ha señalado la zona donde se encuentra el emplazamiento de estudio. Donde se observa que la a_b tiene un valor de 0'12 para la ciudad del Elche.

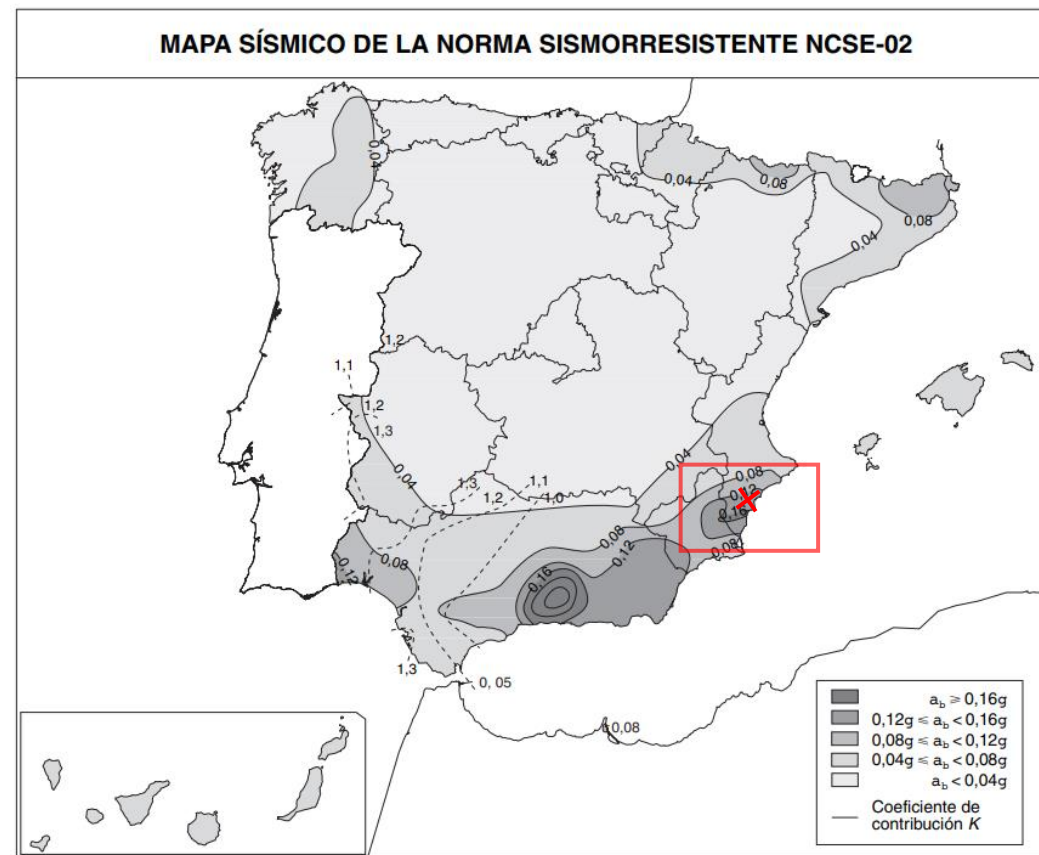


Figura 8. Mapa de aceleración sísmica de España. FUENTE: Norma de Construcción Sismorresistente NCSE-02. Recursos Ministerio de Fomento.

3.3. GEOMORFOLOGÍA GENERAL

La evolución tectónica de la región jugó un papel decisivo durante todo el Cuaternario e influyó, de forma determinante, la morfología y el escenario actual de la cuenca. En la Figura 9 se muestra el mapa donde se ubican los distintos depósitos.

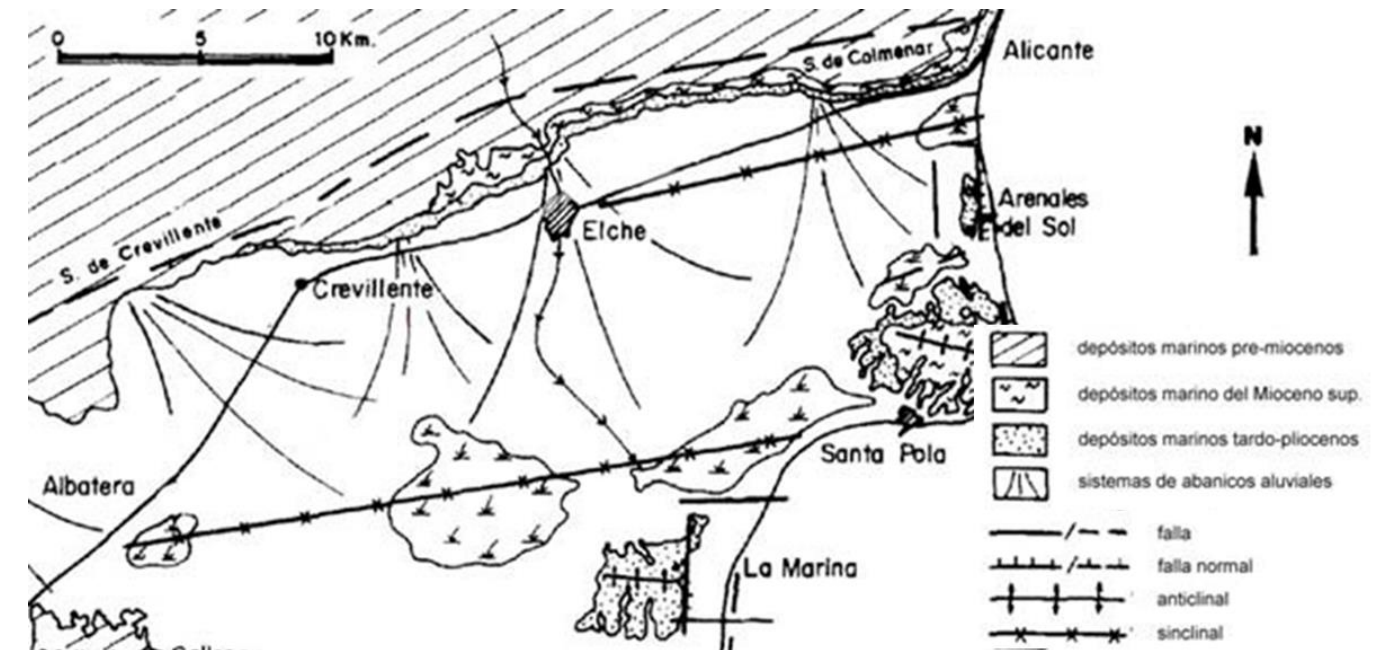


Figura 9. Mapa morfológico-estructural de la zona de estudio. FUENTE: Recursos Ministerio de Fomento.

Las regiones afectadas por el levantamiento tectónico neógeno se corresponden con la alineación montañosa septentrional, formada por la Sierra de Crevillente, Alt de Muró, Tabaiá, Serra Grossa, Sierra de Sancho Borbuño y Sierra de Colmenar. Se trata de relieves margosos constituidos por lomas, de altura moderada, rodeadas por laderas escarpadas que se han formado por el encajamiento de la red de drenaje. El paso entre la región montañosa septentrional y la depresión meridional (Depresión de Elche), coincide con el salto tectónico a través de la Falla de Crevillente y con la zona de rotura de pendiente de la región.

La Depresión de Elche reúne todas las características morfológicas de un escenario subsidente. De hecho, se trata de una llanura amplia y deprimida con una pendiente media inferior al 3%, con zonas lagunares que coinciden con las depresiones

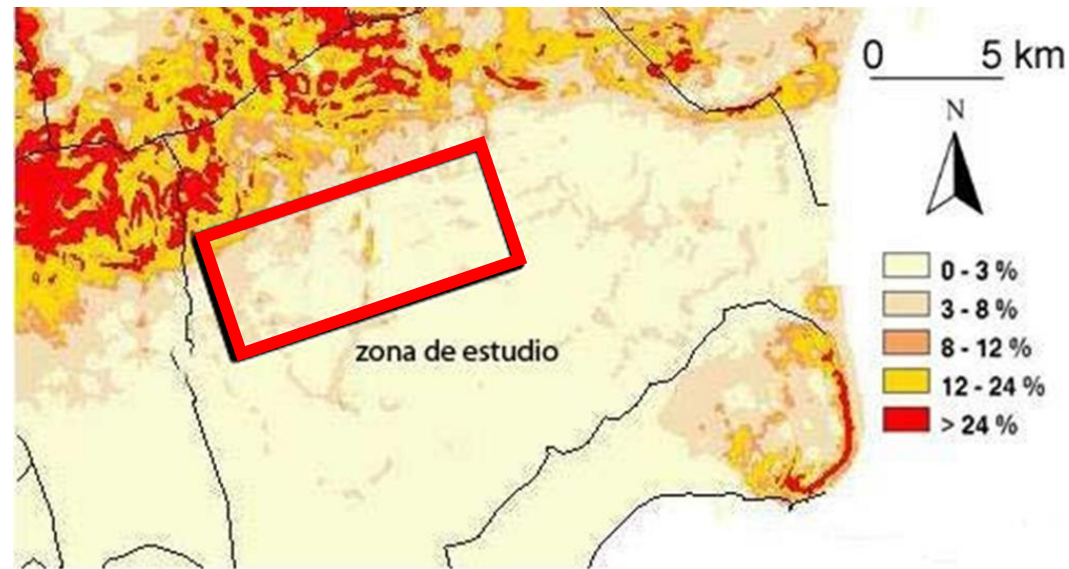


Figura 10. Mapa de pendientes. FUENTE: Recursos Ministerio de Fomento.

Actualmente, los parajes de El Hondo y las Salinas de Santa Pola, representan las principales áreas endorreicas de la Albufera de Elche, en las cuales se registra la mayor tasa de subsidencia de la cuenca.

La cuenca está rellena por sedimentos aluviales con una morfología de abanicos generados como resultado del brusco cambio de pendiente que, al pie de los relieves montañosos, obliga a la red hidrográfica a depositar la mayor parte de la carga transportada por disminución de la velocidad de flujo. Los ápices proximales de los abanicos están situados en la zona de rotura de pendiente, mientras sus áreas distales conectan con los ambientes húmedos endorreicos próximos a la línea de costa.

El desarrollo de los abanicos se ha producido a través de fases sucesivas de erosión- deposición que corresponden con secuencias morfo-climáticas y morfo-dinámicas alternadas, ligadas a cambios en la distribución anual de las precipitaciones, a variaciones en el nivel de base de la cuenca y a la migración de los cauces. En las zonas proximales de los abanicos, los cursos de agua fluyen de forma brusca, produciendo incisiones erosivas en el terreno hasta formar barrancos con escarpes sub-verticales de hasta 30 m de altura. En las zonas distales, los cursos de agua carecen de la pendiente necesaria para descargar al mar y derraman sus aguas en la albufera (Laguna de El Hondo y El Saladar de Santa Pola).

Los cursos de agua que atraviesan la Depresión de Elche forman una red de drenaje que sigue un patrón ramificado y anastomosado, condicionado también por la reciente actividad tectónica de

elevación del sistema montañoso y la simultánea subsidencia de la cuenca. El río Vinalopó es el curso principal de agua de la región. Este río representó la fuente primordial de los aportes a la cuenca hasta la construcción de la presa de Elche, al norte de la ciudad, en el s. XVII.

El sistema fluvial de la región se caracteriza por un régimen espasmódico que, aunque durante los estiajes apenas tiene capacidad de transporte, en momentos de avenidas incrementa de forma considerable la energía de flujo, facilitando el arrastre y la capacidad de carga sólida (río-rambla). Esta dinámica hidrológica, cada vez más favorecida por el desmantelamiento de la vegetación en las áreas fuentes, ha ocasionado frecuentemente problemas de crecidas.

En el modelado actual del terreno también ha intervenido la práctica agrícola difundida en la región, que destina al regadío el principal uso del suelo.

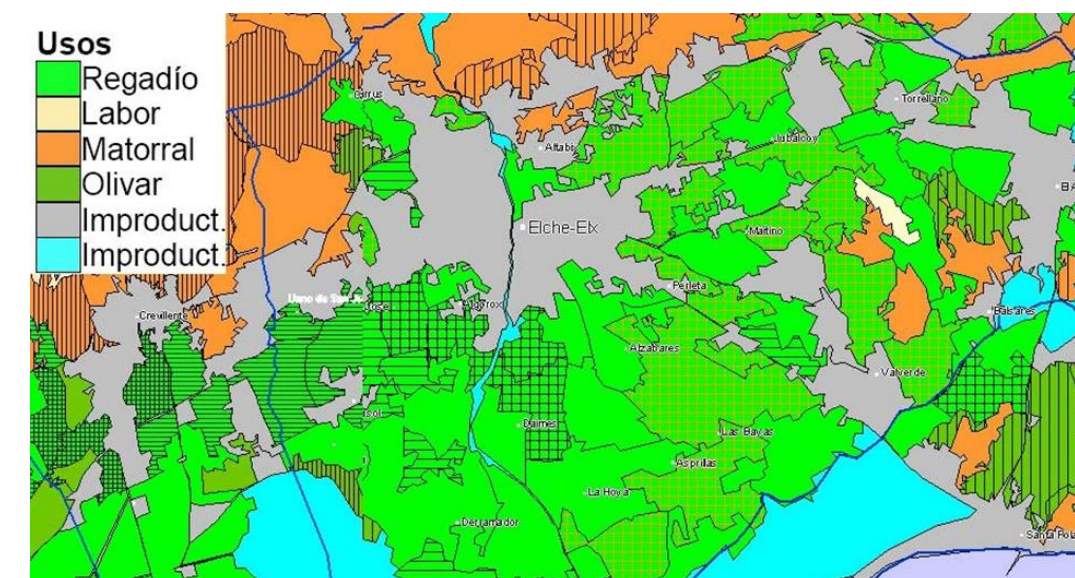


Figura 11. Mapa de cultivos de la región. FUENTE: Recursos Ministerio de Fomento.

Para aprovechar el agua, que desde siempre ha constituido un bien valioso en la región, se ha llevado a cabo durante siglos una labor de aterrazamiento generalizado de los terrenos. La forma de regularizar la pendiente se ha basado principalmente en la construcción de pequeños taludes de suelos; sólo puntualmente se ha recurrido a muretes de piedra. Esta transformación del terreno permite el riego por inundación controlada de los campos, abastecido por el complejo sistema de acequias ilicitano. Esta modelación del terreno reduce aún más el drenaje natural e incrementa el riesgo de inundación de la región. Durante episodios de lluvias torrenciales es habitual observar procesos erosivos de tipo *piping* a lo largo de los taludes antrópicos de las terrazas. Antiguamente se

desarrolló un sistema de riego de turbia y de derivación de aguas, denominado *derramador*, que permitía aprovechar el agua de las riadas. Este sistema, actualmente en desuso, consistía en presas rudimentarias situadas en el lecho de las ramblas que derivaban agua hacia las heredades al tiempo que laminaban la onda de crecida.

3.4. HIDROLOGÍA E HIDROGEOLOGÍA GENERALES

La zona de estudio pertenece, desde un punto de vista climático, al dominio semiárido mediterráneo, que se caracteriza por inviernos cálidos y veranos calurosos. La precipitación media anual registra valores en torno a los 290-300 mm³. Se trata de una pluviometría débil a muy débil, típica de una de las tierras más áridas de la zona mediterránea, que presenta una distribución interanual de las lluvias muy irregular y un carácter fuertemente equinoccial. Octubre y mayo resultan los meses más lluviosos, separados por un verano seco y dilatado. En esta región existe, durante los meses citados, la potencial amenaza de intensos aguaceros. El “Plan Regional de Predicción y Vigilancia de Fenómenos Meteorológicos Adversos” del Instituto Nacional de Meteorología, advierte que, especialmente en otoño, existe alto riesgo de aguaceros que en el intervalo de pocas horas pueden arrastrar grandes cantidades de material, desbordar los cauces y provocar inundaciones.

La provincia alicantina y, en general, todo el Levante representa uno de los puntos negros de la Península en cuanto a inundaciones. Las causas que participan en los episodios de crecidas en este sector son de tipo atmosférico, geográfico y antrópico. La presencia en altitud de masas de aire frías de procedencia ártica, junto con la presencia de aguas marinas cálidas y potencialmente nubígenas y la presencia en suspensión de núcleos de condensación (arenas del desierto), desarrolla por expansión núcleos convectivos de meso-escala, que pueden dar lugar a precipitaciones superiores a 200 mm en un día e intensidades punta de 100 mm por hora. Entre los factores geográficos, destaca la morfología hidrográfica alicantina, que se caracteriza por su carácter torrencial, con colectores fluviales de corto recorrido (ríos-rambla, ramblas y barrancos). También interviene, en el caso de las inundaciones, la ocupación intensa de las llanuras aluvionales por parte del hombre, la deforestación de las áreas fuentes y el abandono de prácticas agrarias como el riego de turbia.

Entre los episodios de riadas que afectaron de forma importante al Levante cabe recordar los de: octubre de 1982, noviembre de 1985, octubre de 1986, noviembre de 1987, septiembre de 1989, febrero de 1992, septiembre de 1997, octubre de 2000, octubre de 2007, septiembre de 2009 y el reciente episodio de septiembre de 2019. Solamente en la Comunidad Valenciana, los daños

ocasionados por riadas durante el periodo de tiempo 1987-2002 ascienden a 3.353 millones de euros y los previstos para el periodo 2004-2033 se estiman en 6.490 millones.

En la Figura 12 se muestran las pérdidas económicas por inundaciones de las comunidades del territorio español.

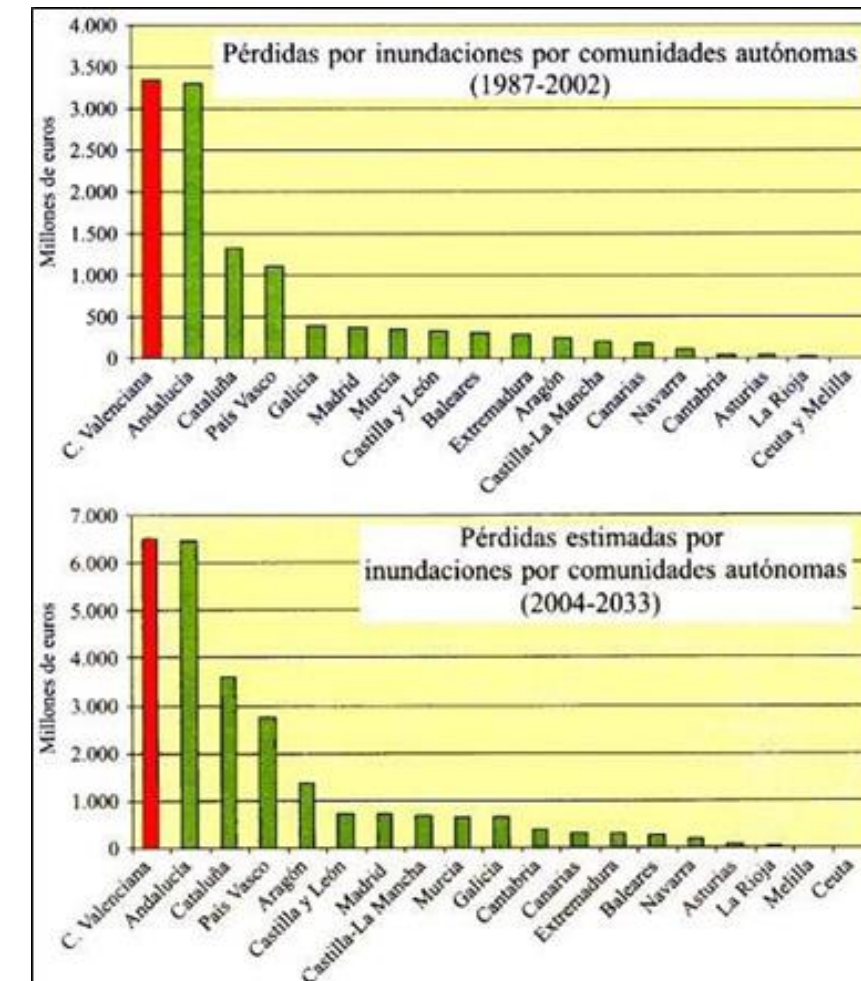


Figura 12. Pérdidas por inundaciones por comunidades autónomas.
FUENTE: Recursos Ministerio de Fomento.

Dentro de este escenario, a partir del año 1999 se desarrolla el “Plan de acción territorial de prevención del riesgo de inundaciones en la Comunidad Valenciana” (PATRICOVA), con el fin de estimar el impacto de las inundaciones en todo el territorio valenciano y llevar a cabo un plan de actuaciones para mitigar los efectos de las mismas. Se han identificado en toda la comunidad 278 zonas de inundación individualizada donde intervenir. Según los estudios hidrológicos realizados, la

zona del cauce del río Vinalopó, su cono, y las áreas endorreicas asociadas, representan algunas de las zonas con mayor riesgo, debido a su elevada densidad de población.

En la Figura 13 que se presenta a continuación se presenta el mapa de riesgo de inundación correspondiente a la Cuenca Baja del río Vinalopó, elaborado en el año 2002 en el programa PATRICOVA. En el estudio geológico de detalle se analizan de forma pormenorizada los puntos conflictivos identificados por el Plan de la Comunidad Valenciana.

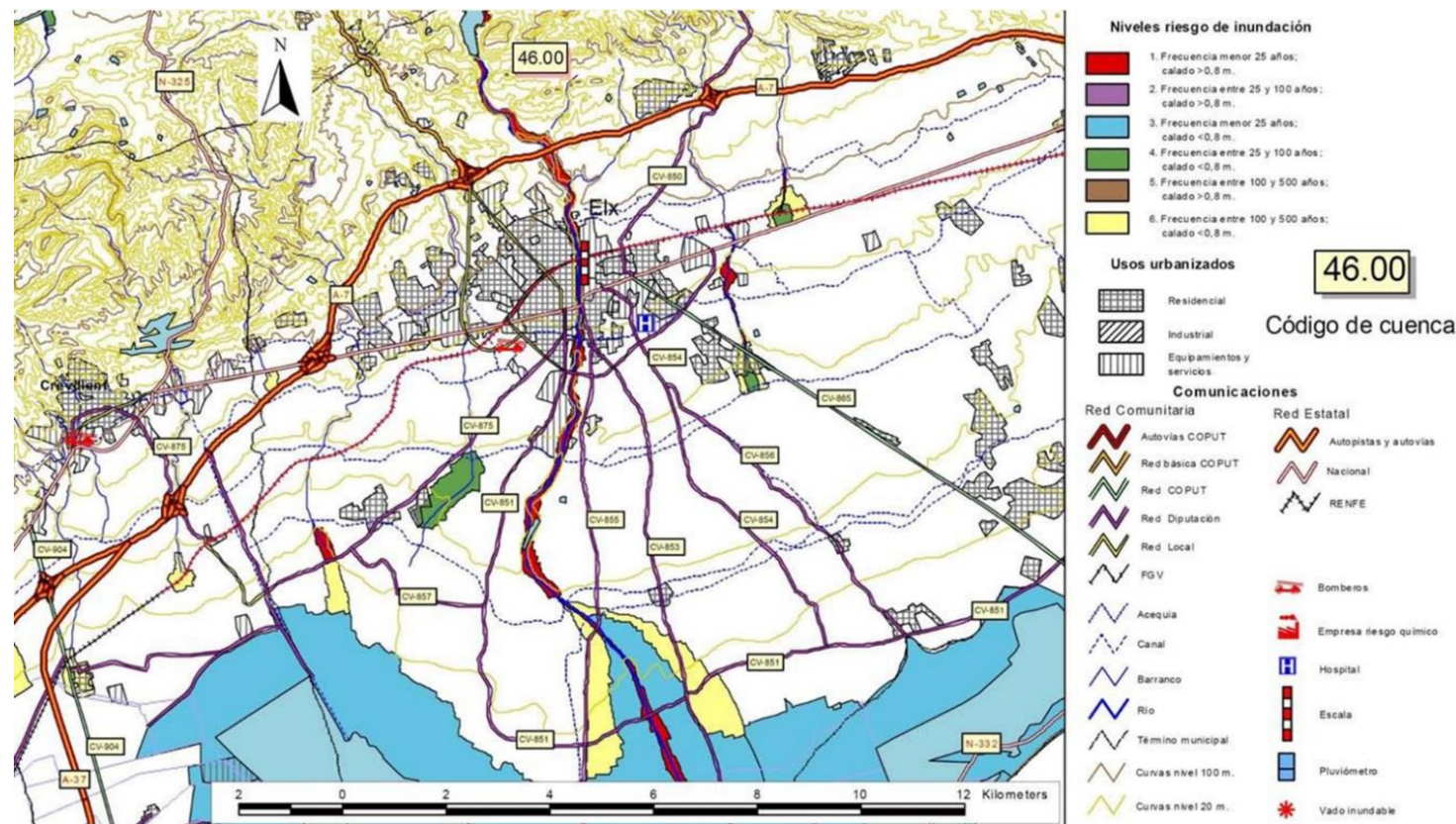


Figura 13. Mapa de riesgo de inundación del Río Vinalopó, cuenca baja 46.00.
FUENTE: Recursos Ministerio de Fomento.

Desde un punto de vista hidrogeológico, la región de estudio está situada en la Cuenca Hidrográfica del río Júcar, el acuífero que ocupa la Depresión de Elche corresponde a la unidad hidrogeológica 8.99 (*acuífero de interés local*). En la Figura 14 se presenta el encuadre hidrogeológico.



Figura 14. Mapa de cuencas y de sistemas de acuíferos de la zona de estudio.
FUENTE: Recursos Ministerio de Fomento.

Las formaciones cuaternarias que rellenan la cuenca de Elche constituyen un acuífero de tipo multicapa con síntomas de intrusión marina. Este sistema hidrogeológico está formado por niveles permeables de cantos, gravas y arenas que se distribuyen, en vertical y lateralmente, con grandes variaciones de potencia.

Se trata de conjuntos irregulares de poca continuidad lateral, formados por paquetes no conectados entre sí dentro de una masa limo arcillosa muy poco permeable. Tanto la geometría como los límites de los niveles productivos están condicionados por factores sedimentarios y tectónicos.

En la zona central de la Depresión de Elche, el sistema multicapa está configurado de la siguiente forma:

- **Acuífero cuaternario superficial:** se trata de un acuífero discontinuo libre o semiconfinado formado por paquetes de gravas y arenas, que presenta una potencia variable entre 10 y 20 m. El nivel piezométrico presenta un desarrollo desigual, dependiendo del espesor y la geometría de los niveles detríticos gruesos que almacenan el agua. En la franja geográfica de estudio, este nivel se sitúa a profundidades superiores a los 20-30 m. Hacia el sur, puede llegar a aflorar, dando lugar a zonas de lagunas, albuferas y ojales. Este nivel se abastece de las escorrentías superficiales y está drenado parcialmente por los azarbes.

- Acuífero cuaternario profundo superior: es un acuífero confinado, formado por gravas con fracción arcillosa, y arenas en proporción variable. Su espesor medio se estima entre 5 y 10 metros y su techo se sitúa a unos 40-60 metros de profundidad.
- Acuífero cuaternario profundo inferior: se trata de un acuífero confinado constituido por gravas con contenido variable en arcillas y arenas. Presenta un espesor medio de 20 metros y su techo se sitúa a una profundidad media de 80- 150 m. A muro, aparecen arcillas cuaternarias, que constituyen el horizonte impermeable de base de todo el conjunto multicapa.

El acuífero de la zona de estudio presenta un índice de vulnerabilidad, estimado según el método DRASTIC, comprendido entre 100 y 125 (Diputación Provincial de Alicante, 2004), que corresponde a una vulnerabilidad media baja. Dicha vulnerabilidad se debe, principalmente, al elevado contenido en finos del terreno, que limita la propagación de los agentes contaminantes potenciales.

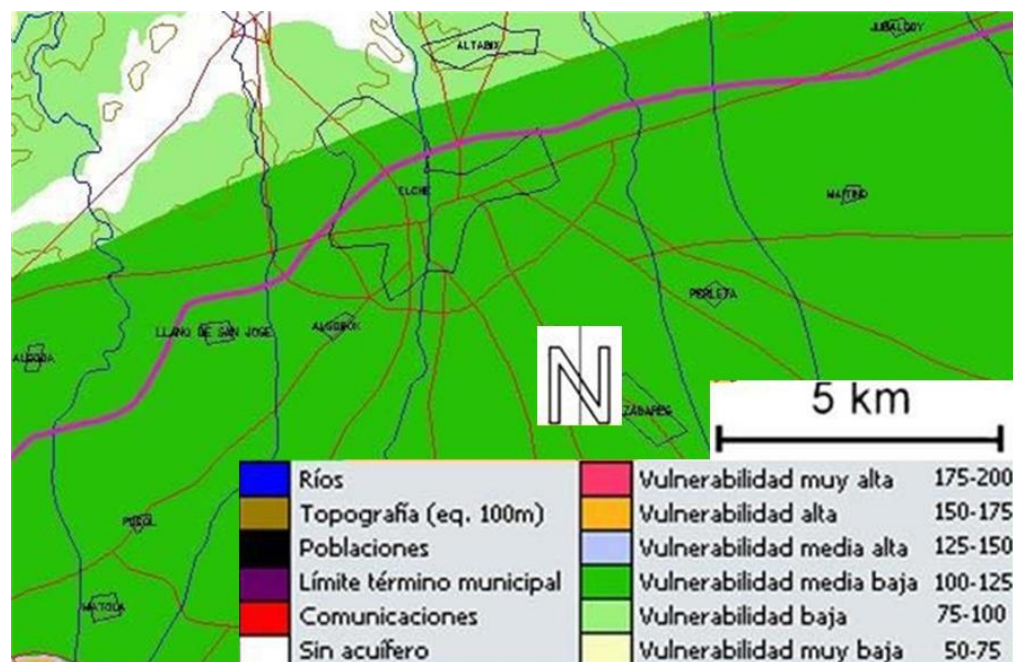


Figura 15. Mapa de vulnerabilidad drástica de los acuíferos de la zona de estudio.
FUENTE: Recursos Ministerio de Fomento.

Los parámetros hidráulicos estimados para este acuífero son (IGME, 1985): Permeabilidad: $K = 2 \cdot 10^{-4} - 2 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$. Transmisividad: $T = 20 - 200 \text{ m}^2/\text{h}$.

IV.CAMPAÑA DE RECONOCIMIENTO GEOTÉCNICO

Para un detallado análisis geológico geotécnicos, se han empleado las prospecciones geotécnicas y ensayos de laboratorio efectuados que han permitido el estudio de los materiales que conforman el terreno. En el Anejo Planos se muestran los sondeos realizados y los ensayos propuestos en cada uno de ellos. Se enumeran a continuación las diferentes investigaciones realizadas.

- 5 sondeos a rotación con recuperación de testigo.
- 5 ensayos de penetración dinámica tipo SPT en cada sondeo.
- Ensayos de laboratorio de 5 muestras inalteradas recogidas de los sondeos para su caracterización, densidad, compresión simple y de Corte Directo tipo CD.
- Ensayos de laboratorio de las muestras recogidas en los SPT, donde se han medido la densidad y Límites de Atterberg.

4.1. SONDEOS

Para conocer la naturaleza del terreno se realizaron cinco sondeos, con un total de 77'25 metros perforados.

Para la realización de los trabajos se empleó una máquina de rotación. Dada la naturaleza del terreno atravesado hubo que utilizar tubería de revestimiento para evitar el desmoronamiento de las paredes.

Los sondeos se han efectuado en todos los casos a rotación con recuperación continua de testigo, efectuándose ensayos de penetración estándar (SPT) cada 3 metros para conocer la compacidad de los materiales, intercalados con tomas de muestras inalteradas con vistas a recoger material en su estado natural para la realización de ensayos de laboratorio.

Tras la terminación de cada sondeo, se introdujo en todos ellos una tubería piezométrica para medir el Nivel Freático.

Se incluye a continuación la Tabla 2 resumen de los sondeos realizados, la profundidad de cada uno de ellos y las coordenadas de su ubicación; así mismo, la Figura 16 muestra la ubicación de estos en el solar de estudio, ya que todos los sondeos se realizaron dentro de la zona de estudio.

Tabla 2. Profundidad y coordenadas de los cinco sondeos realizados en la zona de estudio
FUENTE: Propia.

SONDEOS			
Denominación	Profundidad	Coordenadas	
S-1	15,45 metros	701527	4238372
S-2	15,45 metros	701530	4238392
S-3	15,45 metros	701592	4238369
S-4	15,45 metros	701662	4238386
S-5	15,45 metros	701650	4238323



Figura 16. Ubicación de los sondeos en el Mapa del aparcamiento actual. FUENTE: Propia.

A continuación, se describen los materiales atravesados en cada uno de los sondeos representados en el anejo de planos.

Sondeo nº 1

Entre 0'00 y 0'60 m	Relleno antrópico.
Entre 0'60 y 10'00 m	Alternancia de arenas y limos, color beige.
Entre 10'00 y 11'00 m	Arcillas grises con algo de arena.
Entre 11'00 y 14'50 m	Alternancia de arenas y limos, color beige.
Entre 14'50 y 15'45 m	Arcillas grises con algo de arena.

Sondeo nº 2

Entre 0'00 y 0'65 m	Relleno antrópico.
Entre 0'65 y 9'85 m	Alternancia de arenas y limos, color beige.
Entre 9'85 y 11'20 m	Arcillas grises con algo de arena.
Entre 11'20 y 13'80 m	Alternancia de arenas y limos, color beige.
Entre 13'80 y 15'45 m	Arcillas grises con algo de arena.

Sondeo nº 3

Entre 0'00 y 0'60 m	Relleno antrópico.
Entre 0'60 y 10'30 m	Alternancia de arenas y limos, color beige.
Entre 10'30 m y 10'60 m	Arcillas grises con algo de arena.
Entre 10'60 y 14'90 m	Alternancia de arenas y limos, color beige.
Entre 14'90 y 15'45 m	Arcillas grises con algo de arena.

Sondeo nº 4

Entre 0'00 y 0'40 m	Relleno antrópico.
Entre 0'40 y 8'50 m	Alternancia de arenas y limos, color beige.
Entre 8'50 m y 10'20 m	Arcillas grises con algo de arena.
Entre 10'20 y 13'50 m	Alternancia de arenas y limos, color beige.
Entre 13'50 y 15'45 m	Arcillas grises con algo de arena.

Sondeo nº 5

Entre 0'00 y 1'00 m	Relleno antrópico.
Entre 1'00 y 7'20 m	Alternancia de arenas y limos, color beige.
Entre 7'20 m y 8'25 m	Arcillas grises con algo de arena.
Entre 8'25 y 14'20 m	Alternancia de arenas y limos, color beige.
Entre 14'20 y 15'45 m	Arcillas grises con algo de arena.

4.2. NIVEL FREÁTICO (N.F.)

Tras la ejecución de los sondeos, se introdujo en todos ellos una tubería piezométrica para medir el Nivel Freático, obteniéndose los siguientes resultados:

- S-1: 1'5 metros
- S-2: 1'5 metros
- S-3: 1'5 metros

- S-4: 1'5 metros
- S-5: 1'5 metros

Analizando los resultados se observa que no se produce variación del N.F. en el terreno estudiado

Se trata de un acuífero libre que se verá sometido a las oscilaciones del río Vinalopó, por lo que pueden esperarse variaciones ligeras de la cota de aparición del Nivel Freático.

4.3. ENSAYOS DE PENETRACIÓN DINÁMICA (S.P.T.)

4.3.1. DEFINICIÓN DEL ENSAYO

El Ensayo de Penetración Dinámica SPT (Standard Penetration Test), que viene regulado en según la UNE-103-800, es un ensayo de campo que se realiza durante el sondeo para medir la resistencia de penetración del terreno, la cual se define como el número de golpes necesario para que el golpeo de la maza de 63'5 (\pm 0'5) kg de masa en la cabeza del varillaje, cayendo desde una altura de 760 (\pm 10)mm, consiga que el tomamuestras penetre 300 mm después del descenso inicial debido al propio peso del equipo y tras la denominada penetración de asiento, que se le denomina a la penetración de los primeros 150 mm.

Se toma nota, por tanto, del número de golpes necesarios para hincar cada uno de los 3 tramos de 15 cm, teniendo como resultado del SPT (N_{SPT}) la suma de los dos últimos.

Se utiliza habitualmente un tomamuestras de tipo bipartido. Este tomamuestras tiene 51 mm de diámetro exterior y 35 mm de interior.

El dispositivo de golpeo utilizado es el denominado martillo de seguridad, que es un dispositivo automático que garantiza que la energía transferida al varillaje sea la misma en todos los golpes y ensayos, con una frecuencia de golpeo uniforme.

El rechazo se obtendrá cuando se alcancen 50 golpes en la penetración de asiento o en cualquiera de los dos intervalos de 150 mm, en cuyo caso se anotará la penetración alcanzada en cada ensayo.



El ensayo debe realizarse sin interrupción y con una frecuencia de golpeo inferior a 30 golpes por minuto. La muestra obtenida con el tomamuestras bipartido se coloca en recipientes herméticos identificados por etiquetas.4.2.2. Resultados del ensayo

4.3.2. RESULTADOS OBTENIDOS

En los 5 sondeos se han realizado 5 ensayos SPT cada 3 metros. Se resume en la Tabla 3, donde la profundidad se indica la cota de inicio del SPT, el final de este es a 0'45 metros más adelante. Se obtiene los resultados de los 3 tramos de 15 centímetro, siendo el resultado final N_{SPT} la suma de los dos últimos.

Tabla 3. Resultados del Ensayo de Penetración Estándar. FUENTE: Propia.

SPT	SONDEO				
PROFUNDIDAD	S-1	S-2	S-3	S-4	S-5
3,00 metros	3 7 5 12	4 6 8 14	4 5 8 13	6 7 8 15	3 4 6 10
6,00 metros	6 4 6 10	7 7 5 12	3 4 6 10	5 7 7 14	4 8 7 15
9,00 metros	5 8 8 16	4 8 5 13	5 8 6 14	4 4 8 12	6 10 8 18
12,00 metros	7 6 8 14	6 6 9 15	5 7 7 14	3 6 7 13	3 8 4 12
15,00 metros	5 10 8 18	4 8 9 17	6 6 9 15	6 9 7 16	7 9 10 19

- Sondeo 1: Se tomó una muestra inalterada para realizar un ensayo de corte directo, CD_{CD}, determinación de la densidad y humedad natural.
- Sondeo 2: Se tomó una muestra inalterada para realizar un ensayo de compresión simple, q_u, determinación de la densidad y humedad natural.
- Sondeo 4: Se tomaron dos muestras inalteradas y en ambas se realizan ensayos de compresión simple, q_u, determinación de la densidad y humedad natural.
- Sondeo 5: Se tomó una muestra inalterada para realizar un ensayo de compresión simple, q_u, determinación de la densidad y humedad natural.

En las siguientes páginas se reflejan los resultados de los ensayos de campo y laboratorio. Primero se ve la Figura 17, donde se reflejan los sondeos realizados y los ensayos de laboratorio propuestos juntos con los resultados obtenidos.

En la siguiente página, los datos obtenidos en los distintos ensayos de campo y laboratorio del terreno se adjuntan en la Tabla 4, donde los datos obtenidos directamente de ensayos se muestran en color rojo, mientras que los obtenidos a partir de correlaciones posteriores figuran en negro.

4.4. ENSAYOS LABORATORIO

Con las muestras inalteradas tomadas en los sondeos se propusieron una serie de ensayos de laboratorio con vistas a caracterizar los materiales que se presentan en la zona de estudio.

Una vez en el Laboratorio, fueron examinadas por personal especializado y agrupadas de modo conveniente. Los ensayos que se propusieron en cada sonde fueron los siguiente:

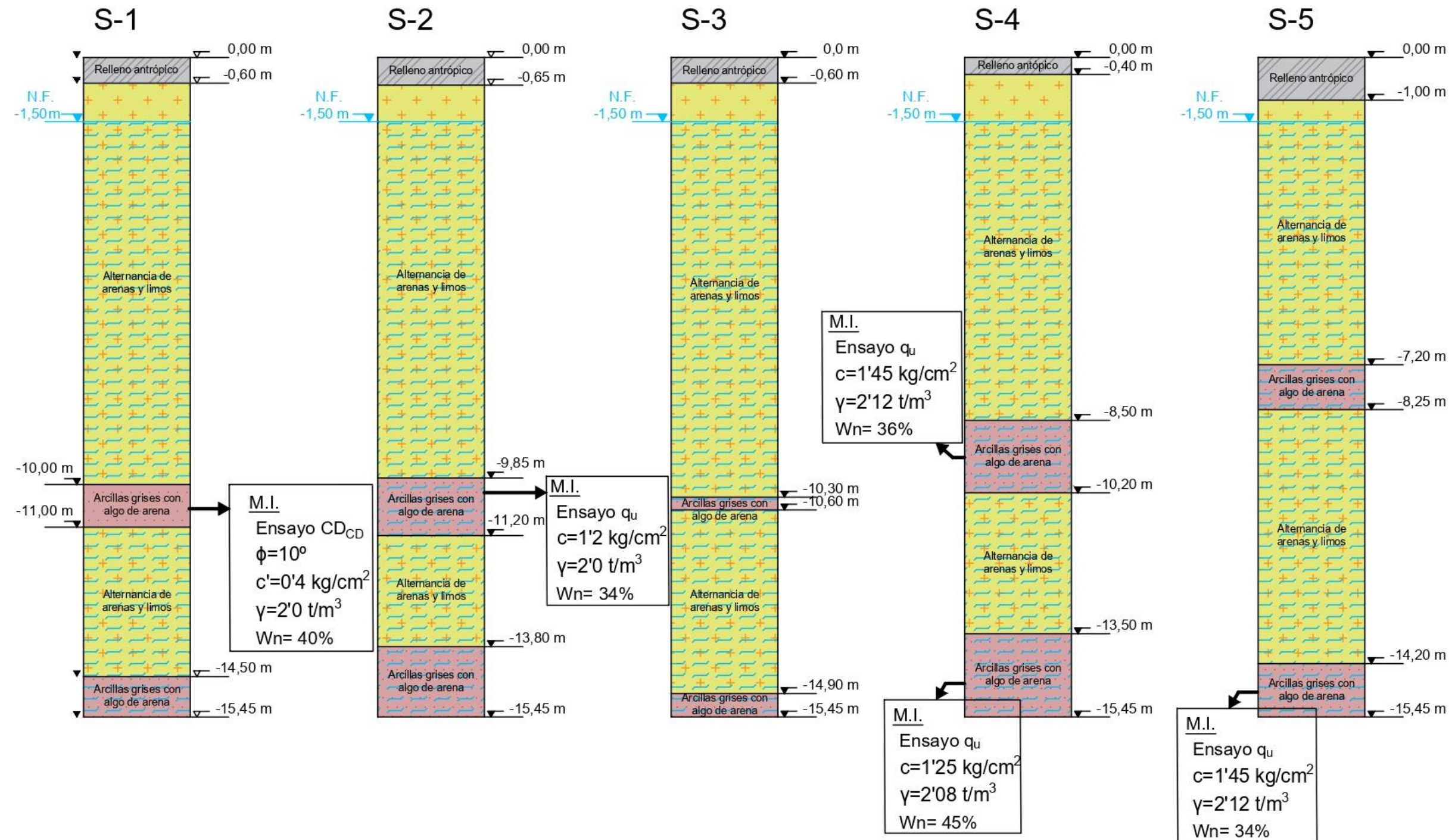


Figura 17. Resultado de los sondeos con los ensayos de laboratorio propuestos y los resultados obtenidos.

FUENTE: Propia

Tabla 4. Resultados de los ensayos de campo y laboratorio y correlación con otros parámetros.

Sondeo	Profundidad (m)	Ensayo	Terreno	Clasificación	Límite Líquido (LL) (%)	Límite Plástico (LP) (%)	Índice de Plasticidad (IP) (%)	Humedad Natural (Wn) (%)	γ (t/m ³)	cu (kg/cm ²)	c' (kg/cm ²)	ϕ' (°)	q _u (kg/cm ²)	N _{SPT}	ϕ (°)
1	3	SPT	Arenas y limos	SW	35,2	15,1	20,1	23,2		-	-	-		12	32,12
1	6	SPT	Arenas y limos	SW	34,0	14,8	19,2	23,7		-	-	-		10	31,07
1	9	SPT	Arenas y limos	SC	26,9	16,4	10,5	32,3		-	-	-		16	34,00
1	10 - 11	MI - CD _{CD}	Arcillas con algo de arena	CL				40,0	2		0,4	10			
1	12	SPT	Arenas y limos	SC	28,0	15,9	12,1	32,9		-	-	-		14	33,10
1	15	SPT	Arcillas con algo de arena	CL	32,2	14,2	18,0			1,20		-	2,4	18	-
2	3	SPT	Arenas y limos	SW	30,0	12,5	17,5	22,8		-	-	-		14	33,10
2	6	SPT	Arenas y limos	SC	31,5	13,4	18,1	33,7		-	-	-		12	32,12
2	9	SPT	Arenas y limos	SC	29,2	13,1	16,1	34,3		-	-	-		13	32,62
2	9,85 - 11,20	MI - q _u	Arcillas con algo de arena	CL				34,0	2	0,63			1,25		
2	12	SPT	Arenas y limos	SM	26,9	12,2	14,7	31,5		-	-	-		15	33,56
2	15	SPT	Arcillas con algo de arena	CL	31,6	13,8	17,8			1,13	-	-	2,27	17	-
3	3	SPT	Arenas y limos	SM	29,8	13,6	16,2	31,9		-	-	-		13	32,62
3	6	SPT	Arenas y limos	SW	28,5	13,7	14,8	26,4		-	-	-		10	31,07
3	9	SPT	Arenas y limos	SW	29,9	14,0	15,9	26,7		-	-	-		14	33,10
3	12	SPT	Arenas y limos	SC	32,0	14,7	17,3	34,5		-	-	-		14	33,10
3	15	SPT	Arcillas con algo de arena	CL	31,1	14,8	16,3			1,00	-	-	2,00	15	-
4	3	SPT	Arenas y limos	SW	34,4	15,1	19,3	27,2		-	-	-		15	33,56
4	6	SPT	Arenas y limos	SM	30,5	14,8	15,7	32,4		-	-	-		14	33,10
4	8,5 - 10,20	MI - q _u	Arcillas con algo de arena	CL				36,0	2,12	0,73			1,45		
4	9	SPT	Arcillas con algo de arena	CL	34,2	16,1	18,1			0,80	-	-	1,60	12	-
4	12	SPT	Arenas y limos	SM	31,4	15,7	15,7	32,7		-	-	-		13	32,62
4	15	SPT	Arcillas con algo de arena	CL	30,4	16,6	13,8			1,07	-	-	2,13	16	-
4	13,5 - 15,00	MI - q _u	Arcillas con algo de arena	CL				45,0	2,08	0,63			1,25		
5	3	SPT	Arenas y limos	SC	30,5	15,5	15,0	34,9		-	-	-		10	31,07
5	6	SPT	Arenas y limos	SC	31,9	16,0	15,9	35,4		-	-	-		13	32,62
5	9	SPT	Arenas y limos	SM	29,1	14,4	14,7	31,3		-	-	-		18	34,85
5	12	SPT	Arenas y limos	SM	27,6	15,1	12,5	34,0		-	-	-		12	32,12
5	15	SPT	Arcillas con algo de arena	CL	28,9	15,7	13,2			1,27	-	-	2,53	19	-
5	14,20 - 15,00	MI - q _u	Arcillas con algo de arena	CL				34,0	2,12	0,73			1,45		

V. ANÁLISIS DE DATOS

5.1. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

A partir de los resultados obtenidos en los ensayos de campo y laboratorio y de los materiales testificados en los sondeos se establece un perfil del Terreno Tipo. Este terreno tipo es el obtenido de la media de los cinco sondeos realizados. Se puede obtener un terreno con la media de los 5 sondeos ya que las características y distribución de los materiales es similar en todos los sondeos. La Figura 18 de apartado 5.2. Parametrización del terreno, nos muestra el resultado del Terreno Tipo, constituido básicamente por los siguientes dos niveles.

Nivel I: Relleno antrópico

En la parte exterior del terreno se encuentra una 10 – 15 centímetros de capa asfáltica. Bajo esta se tiene un relleno antrópico que se ejecutó cuando se habilitó el solar para aparcamiento superficial. La profundidad de este estrato finaliza entre la cota -0'45 y -1'00 metros.

Nivel II: Arenas y limos

El terreno está constituido principalmente por una alternancia de arenas y limos, que presentan un color beige. Este estrato comienza en la zona superficial (cota -0'40 – -1'00 metros) dependiendo del relleno que se utilizara para el nivelado del terreno previo a la capa asfáltica.

La profundidad de este estrato llega hasta casi el final del sondeo (-13'50 – -14'90 metros). Por lo que se puede decir que el terreno, hasta la cota -15'45 (profundidad de los sondeos), está constituido por este nivel encontrándose conchas de arcillas en dos niveles.

Desde el punto de vista resistente se caracteriza a partir de los ensayos SPT, con valores muy homogéneos (N_{30} entre 10 y 19 golpes), obteniéndose una media de 13.

El ángulo de rozamiento se ha obtenido a partir del N_{SPT} , mediante la siguiente expresión:

$$\phi = 20 + (3'5 \cdot \sqrt{N_{SPT}})$$

Sustituyendo:

$$\phi = 20 + (3'5 \cdot \sqrt{13}) = 32'6^\circ$$

Granulométricamente, el material que constituye la zona se clasifica como arenas bien graduadas, arenas limosas y arenas arcillosas, SW, SM y SC, respectivamente, según los criterios de Casagrande. Para este material puede establecerse un valor de densidad de 1'9 g/cm³.

Los valores obtenidos de realizar los Límites de Atterberg son de 30'4%, 14'5% y 15'9% para el Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad respectivamente. La Humedad Natural es del 30'5%.

Nivel III: Arcillas con algo de arena

Este nivel se presenta como unas conchas distribuidas en el terreno a unas profundidades semejantes, entre -7'2 y -9'85 metros y en la parte final del sondeo, con unos espesores de entre 0'30 y 1'70 metros. Se trata de arcillas grises con algo de arena, CL según la clasificación de Casagrande.

Desde el punto de vista resistente se caracteriza a partir de dos ensayos a compresión simple realizados sobre muestras inalteradas tomadas a metros de profundidad, de los ensayos SPT realizados en todos los sondeos. A partir de los ensayos de campo (SPT), se obtuvo un valor medio de $N_{30} = 16$ golpes.

En los ensayos de laboratorio se obtuvieron valores de resistencia a compresión simple entre 1'25 y 1'45 kg/cm², con p , determinándose una densidad del orden de 2'06 g/cm³ y una humedad del 12,6%.

Del ensayo de los Límites de Atterberg la media de los resultados obtenidos fueron 31'4% para el Límite Líquido, 15'2% para el Límite Plástico y se calculó un Índice de plasticidad de la diferencia de estos de 16'2%.

Para el cálculo de la cohesión no efectiva, es decir como si el suelo resistiera únicamente como un fino, se ha correlacionado con los resultados del ensayo a compresión simple, comparado con los correlacionados con los del ensayo SPT se ve que estos últimos son más dispares.

Por tanto, queda obtenida a través de la curva esfuerzo-deformación unitaria, a partir de los resultados del ensayo de compresión simple, que de acuerdo a la construcción realizada en el Circulo de Mohr se calcula con la siguiente fórmula:

$$c_u = \frac{q_u}{2}$$

$$c_u = \frac{1'35}{2} = 0'675 \text{ kg/cm}^2$$

Por otro lado, como se realizó un ensayo de Corte Directo CD_{CD}, se ha preferido obtener la resistencia del suelo como la suma de la cohesión efectiva y el ángulo de rozamiento efectivo, ya que se considera más representativo debido a la tipología de suelo. Siendo estos 0'4 kg/cm² y 10° respectivamente.

5.2. PARAMETRIZACIÓN GEOTÉCNICA DEL TERRENO

Como resultado final de la media de todos los ensayos, y para la caracterización del Terreno Tipo, la Tabla 5, es un resumen que muestra en las dos últimas filas los parámetros geotécnicos del terreno que se le atribuirán al Terreno Tipo y con el que se diseñarán y compararán las distintas soluciones

Tabla 5. Parametrización geotécnica del suelo. Resultados finales para el diseño del proyecto
FUENTE: Propia.

	Clasificación	Límite líquido (LL) (%)	Límite Plástico (LP) (%)	Índice de Plasticidad (IP) (%)	Humedad Natural (Wn) (%)	γ (t/m ³)	c_u (kg/cm ²)	c' (kg/cm ²)	ϕ' (°)	q_u (kg/cm ²)	N_{SPT}	ϕ (°)
ARENAS	SW	32,0	14,2	17,8	25,0	1,7	-	-	-	-	13	32,33
	SC	30,0	15,0	15,0	34,0	1,8	-	-	-	-	13	32,66
	SM	29,2	14,3	14,9	32,5	2,2	-	-	-	-	13	32,80
	ARENAS	30,4	14,5	15,9	30,5	1,9	-	-	-	-	13	32,60
ARCILLAS	CL	31,4	15,2	16,2	37,8	2,06	0,675	0,4	10	1,35	16	-

En la Figura 18, se muestra el Terreno Tipo con los parámetros anteriormente calculados. Por lo que este es el terreno final con el que se va a dimensionar y comparar las distintas alternativas.

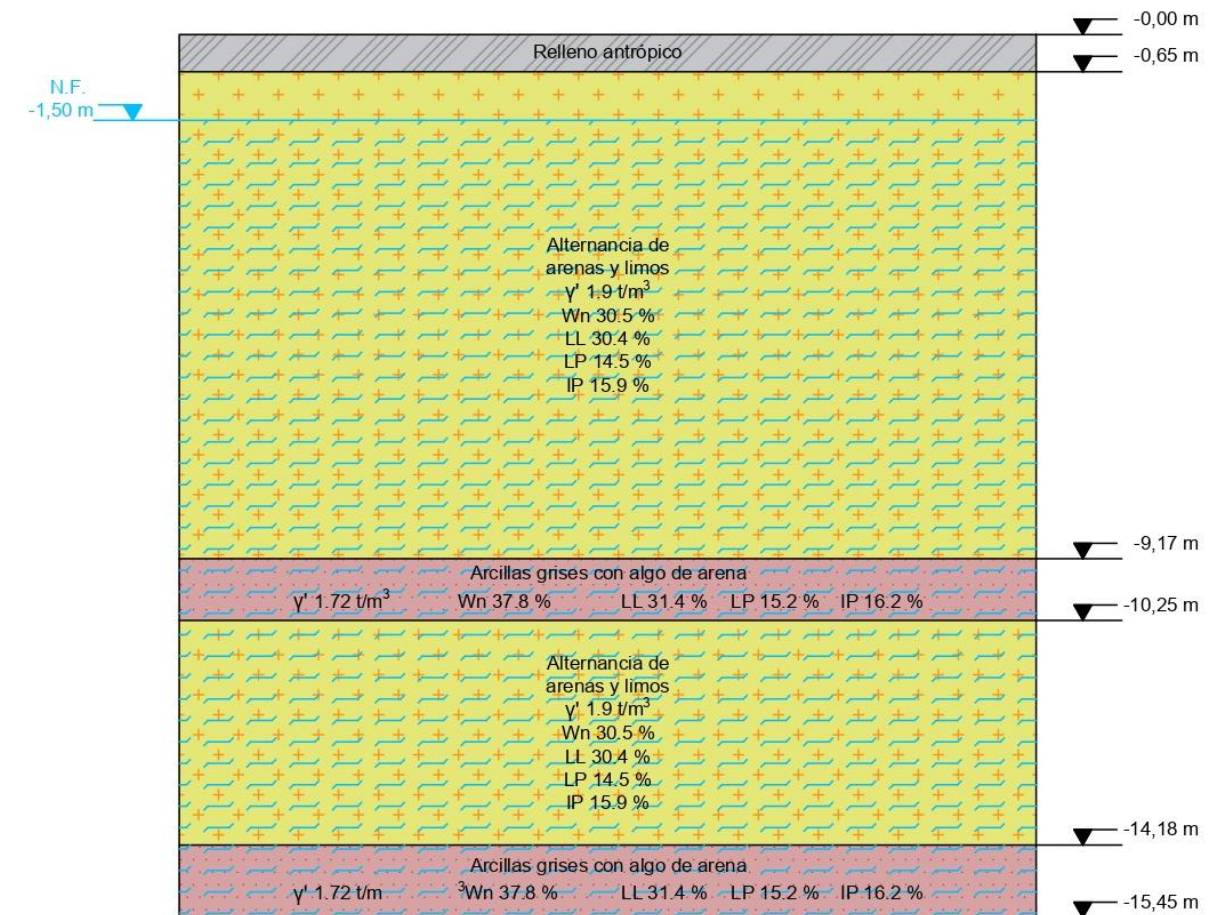


Figura 18. Terreno Tipo parametrizado. FUENTE: Propia.

VI. RECOMENDACIONES GEOTÉCNICAS

Tras el análisis de los datos obtenidos sobre el terreno, el Nivel Freático y teniendo en cuenta la tipología de la obra se recomienda ejecutar, si se proyecta la excavación de un solo sótano, realizar excavación por bataches y sostenimiento de las pareces mediante hormigón proyectado; si se proyecta un aparcamiento de dos sótanos, el sostenimiento del terreno mediante un muro pantalla y la posterior excavación con medios mecánicos.

En la primera de las opciones, ejecución de un único sótano, se realizará la excavación por bataches como se muestra en la Figura 19. Será necesario estudiar la estabilidad de los taludes en este método ya que se tiene presencia del Nivel Freático desde la cota -1'00 metros. A su vez, se deberá comprobar el posible levantamiento de fondos que podría producirse. En cualquiera de los casos, si es necesario, se rebajará el nivel freático mediante Well Points o pozos de alivio mientras sea necesario para asegurar la estabilidad del terreno.

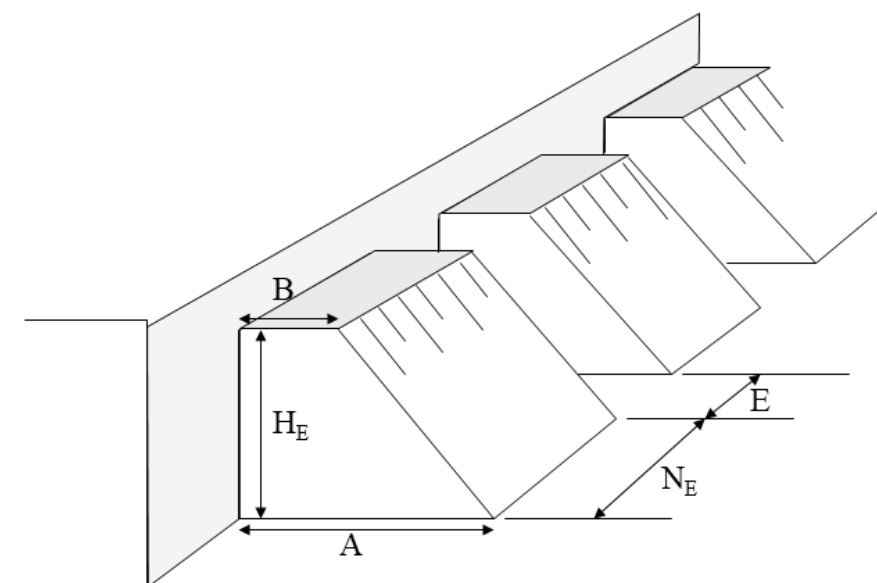


Figura 19. Croquis del método de excavación por bataches.
FUENTE: Departamento de Construcción de la ETSCCP de la UPV

El sostenimiento del terreno se indica mediante hormigón proyectado, aunque se podrían estudiar otros métodos. Igualmente, habría que realizar comprobaciones estructurales y de estabilidad para cualquiera de ellos. Se puede ver un ejemplo de este método en la Figura 20.



Figura 20. Sostenimiento de pared de sótano mediante hormigón proyectado.
FUENTE: Laboratorio Online A6 Ferroviál. Wordpress.

Para la proyección de dos sótanos, se aconseja la construcción de muros pantalla para el sostenimiento del terreno y excavación con medios mecánicos tras la construcción de estas. Por un lado, esto siempre es más recomendable en terrenos granulares que tienen mayor capacidad portante y que no permiten excavaciones con medios convencionales (sobre todo con la presencia de agua de la que se habla en los siguientes párrafos). El muro pantalla brinda muchas ventajas por el ahorro de costes y mayor desarrollo en superficies. Es una técnica muy usada en el casco urbano en edificios con sótanos o en aparcamientos.

Por otro lado, dada la presencia del Nivel Freático esta técnica es la indicada por su alta efectividad. El muro pantalla actúa como barrera impermeable que, a la hora de la excavación, evita que el flujo del agua a la altura de donde se está realizando la excavación. Esto no evita que haya flujo que se produzca sifonamiento y el agua circule por debajo de la pantalla tal y como se muestra en la Figura 21.

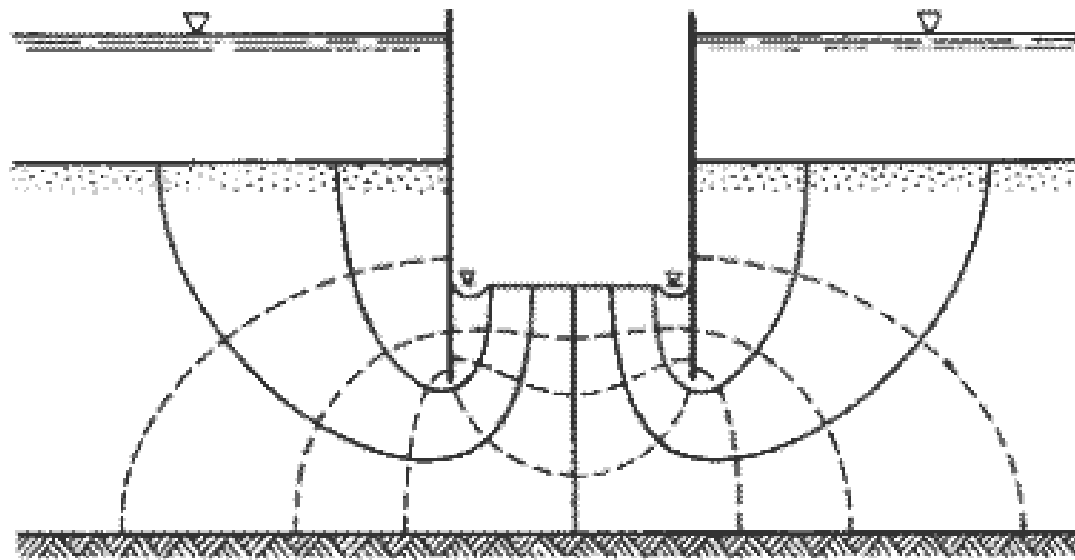


Figura 21. Red de Flujo del Nivel Freático entre muros pantalla. FUENTE: Prederconsi.ml

Por ello se aconseja rebajar el Nivel Freático durante la excavación mediante el uso de Well Points y ejecutar una cimentación mediante Losa de Cimentación, la cual es muy beneficiosa para evitar que se produzca levantamiento de fondos debido a las diferencias de cota de Nivel Freático.

La Figura 22, que se muestra a continuación es un boceto de la solución recomendada.

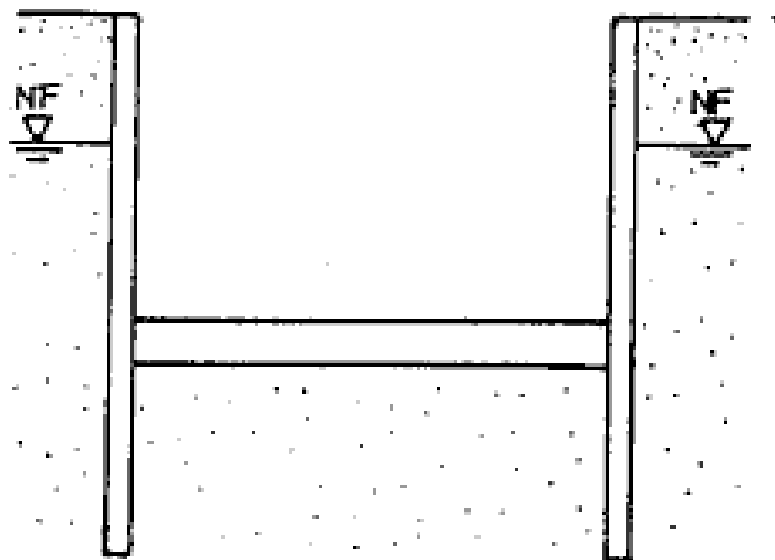


Figura 22. Solución recomendada de muro pantalla y losa de cimentación. FUENTE: Nannfopehal.ga

VII.REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ensayo SPT, [procedimiento, correcciones, correlaciones, importancia] [Internet]. Geología, ramas y aplicaciones. 2018. Disponible en: <https://geologiaweb.com/ingenieria-geologica/estudios-geotecnicos/ensayo-spt/>

Correlaciones geotécnicas (2) y ensayos “in situ”: el SPT y la densidad relativa | Estudios Geotécnicos [Internet]. Disponible en: <http://www.estudiosgeotecnicos.info/index.php/correlaciones-spt-densidad-relativa/>

Descarga de Datos y Cartografía [Internet]. Disponible en: <http://aps.chj.es/down/html/descargas.html>

Descriptores geotécnicos (6): clasificación de suelos | Estudios Geotécnicos [Internet]. Disponible en: <http://www.estudiosgeotecnicos.info/index.php/descriptores-geotecnicos-6-clasificacion-de-suelos/>

Drenaje De Filtraciones Y Redes De Flujo Descarga Gratuita: prederconsi.ml [Internet]. Disponible en: <https://prederconsi.ml/drenaje-de-filtraciones-y-redes-de-flujo-descarga-gratuita>

Agua redacción. El nuevo mapa del agua en España. Organismos de cuenca, Demarcaciones Hidrográficas y Autoridades Competentes [Internet]. Agua. 2007. Disponible en: <https://www.iagua.es/2007/11/el-nuevo-mapa-del-agua-en-espana-organismos-de-cuenca-demarcaciones-hidrograficas-y-autoridades-competentes>

Ensayo SPT [Internet]. Disponible en: <http://materias.fi.uba.ar/6408/301%20Ensayo%20SPT.pdf>

España a Través de los Mapas [Internet]. Disponible en: https://www.ign.es/espmap/mapas_agua_bach/Hidro_Mapa_05.htm

ESTEYCO. Estudio informativo red arterial ferroviaria de elche: variante de conexión de la nueva estación de alta velocidad con el centro urbano. Fase II [Internet]. p. 266. Report No.: ANEJO No 3. GEOLOGÍA Y GEOTÉCNIA. Disponible en: https://www.fomento.gob.es/recursos_mfom/paginabasica/recursos/a-03-geologiageotecnia.pdf

IGME. Instituto Geológico y Minero de España. Web Site Oficial España. [Internet]. Disponible en: <http://www.igme.es/>

Infraestructura Valenciana de Datos Espaciales - Generalitat Valenciana [Internet]. Disponible en: <http://www.iddev.gva.es/es>

Institut Cartogràfic Valencià - Generalitat Valenciana [Internet]. Disponible en: <http://www.icv.gva.es/va/>

MapasIGME - Portal de cartografía del IGME: MAGNA 50 - Hoja 893 (ELX) [Internet]. Disponible en: <http://info.igme.es/cartografiadigital/geologica/Magna50Hoja.aspx?intranet=false&id=893>

MapasIGME - Portal de cartografía del IGME: MAGNA 50 - Mapa Geológico de España a escala 1:50.000 (2a Serie) [Internet]. Disponible en: <http://info.igme.es/cartografiadigital/geologica/Magna50.aspx?language=es>

Medio ambiente urbano [Internet]. Disponible en: http://materialesccss.ftp.catedu.es/Vida_ciudad/medio_ambiente/medioambiente_4.htm

Montes JM. Mi Geoblog: Geología y más: EL CAMINITO DEL REY: LA GEOLOGIA VERTICAL [Internet]. Mi Geoblog. 2018. Disponible en: <http://speedstar71.blogspot.com/2018/05/el-caminito-del-rey-la-geologia-vertical.html>

Muros Pantalla | Construpedia, enciclopedia construcción [Internet]. Disponible en: https://www.construmatica.com/construpedia/Muros_Pantalla

Norma de Construcción Sismorresistente [Internet]. Disponible en: https://www.fomento.gob.es/recursos_mfom/0820200.pdf

PATRICOVA - Generalitat Valenciana [Internet]. Disponible en: <http://politicaterritorial.gva.es/es/web/planificacion-territorial-e-infraestructura-verde/patricova-docs>

PHJ1521_Anejo06_SE-Balances_151126.pdf [Internet]. Disponible en: https://www.chj.es/Descargas/ProyectosOPH/Consulta%20publica/PHC-2015-2021/PHJ1521_Anejo06_SE-Balances_151126.pdf



Planificación hidrológica [Internet]. Disponible en: <https://www.chj.es/es-es/medioambiente/planificacionhidrologica/Paginas/Indice-Planificacion-hidrologica.aspx>

Presentación de la Cuenca [Internet]. Disponible en: <https://www.chj.es/ES-ES/MEDIOAMBIENTE/CUENCAHIDROGRAFICA/PAGINAS/PRESENTACI%C3%B3NDELACUENCA.ASPX>

Satellite.pdf [Internet]. Disponible en: <http://www.madrid.org/cs/Satellite?blobcol=urldata&blobheader=application/pdf&blobkey=id&blobtable=MungoBlobs&blobwhere=1310559772658&ssbinary=true>

Usos del hormigón proyectado [Internet]. Hormigón Proyectado. Disponible en: <https://laboratoriolinea6ferrovial.wordpress.com/usos-del-hormigon-proyectado/>

Visor cartogràfic de la Generalitat [Internet]. Disponible en: <https://visor.gva.es/visor/?idioma=es>

ANEJO II

Estudio de Alternativas





ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN Y OBJETO..... 3

II. DESCRIPCIÓN DE LAS ALTERNATIVAS 3

III. VALORACIÓN ECONÓMICA 4

IV. COMPARACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS..... 6

 4.1. INTRODUCCIÓN6

 4.2. DESCRIPCIÓN ANÁLISIS MULTICRITERIO AHP6

 4.3. DESARROLLO VECTORES MULTICRITERIO AHP7

 4.4. RESULTADO DEL ANÁLISIS MULTICRITÉRIO AHP9

V. CONCLUSIONES..... 9

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 10



I. INTRODUCCIÓN Y OBJETO

Pocas veces existe una solución única para resolver un problema en el ámbito de la construcción. Por ello, se van a plantear diferentes posibilidades que se han pensado para resolver el problema que se plantea: resolver la falta de aparcamiento en el centro de la ciudad de Elche, disponiendo de lo que es actualmente el aparcamiento del Candalix.

El objetivo de este Anejo es proponer y evaluar los efectos tanto positivos y negativos que puede causar cada una de estas soluciones. Para ello primero se plantean y describen las cuatro soluciones propuestas, incluida la solución 0 (no realización del proyecto). Posteriormente, para poder tener una aproximación, se realiza una valoración económica de las mismas.

Finalmente, se realizará una matriz multicriterio con el método AHP, con el objetivo de encontrar qué solución es la idónea. Se tendrán en cuenta los siguientes criterios:

- Coste de la obra
- Grado de solución del problema
- Impacto ambiental
- Costes de mantenimiento durante la fase de servicio
- Afecciones al entorno durante la fase constructiva

II. DESCRIPCIÓN DE LAS ALTERNATIVAS

Como se ha dicho en el apartado anterior, se van a plantear cuatro alternativas. A continuación se describen cada una de ellas

Alternativa 0

Dicha Alternativa es la no realización de ninguna actuación, por lo que el problema de aparcamiento continuaría persistiendo, especialmente cuando se realicen eventos en este espacio.

Alternativa 1

La Alternativa 1 plantea la reorganización y distribución de plazas en la superficie actual para el mejor aprovechamiento del espacio del que se dispone actualmente.

Primero se reubicarían los accesos dejando únicamente una entrada y una salida, aprovechando este espacio para obtener mayor número de plazas de aparcamiento.

Posteriormente se pintará en la superficie una nueva disposición de plazas, se cambiará la circulación en ambos sentidos por circulación en sentido único en todos los pasillos del aparcamiento, ajustándola a la estrictamente necesaria con el fin de evitar aparcamientos en doble fila. Esto aportará dos filas número de plazas aparcamiento.

Por último, para asegurar la correcta circulación por el interior se señalizará horizontalmente los sentidos de circulación y mediante señalización vertical las direcciones prohibidas, tanto para la entrada y la salida al aparcamiento como para la circulación entre carriles.

Esta obra tiene un plazo muy corto y se podría realizar durante el mes de Julio, cuando la ciudad soporta una importante disminución del número de habitantes, evitando así molestias a los ciudadanos.

Alternativa 2

Esta Alternativa desarrolla la construcción de un aparcamiento subterráneo, público y gratuito de una planta manteniendo en la superficie el aparcamiento existente.

Para su ejecución se realizaría una excavación por bataches, aproximadamente hasta la cota -4'00 metros, evitando así sostenimientos provisionales. El sostenimiento de las paredes se realizará mediante hormigón proyectado.

Se construirá a continuación el acceso al aparcamiento subterráneo. Debido a que la Calle de Nuestra Señora de la Cabeza es, a priori, más transitada que la Avenida del Candalix, y, además, una de las salidas de la Avenida principal de la ciudad (Avenida de la Libertad), Se recomienda ejecutar el acceso por la Avenida del Candalix, aunque si se adopta esta solución será necesario realizar un estudio para la elección.

El siguiente paso será la ejecución de los pilares y el forjado que separará el aparcamiento subterráneo del de superficie. Para el diseño del forjado se tendrá en cuenta que la superficie no se

utilizará únicamente para el aparcamiento, sino que además se continuarán realizando eventos como ferias y conciertos en él, por lo que la sobrecarga de uso será mayor que la de aparcamiento.

Finalmente, se colocarán las instalaciones, se pintarán las plazas y la señalización de circulación de ambas plantas, tanto horizontal como vertical. Es muy importante que, en la superficie, al igual que en la Alternativa 1, se dejen los espacios estrictamente necesarios para la circulación y maniobrar, porque, como ocurre actualmente, el exceso de ello provoca aparcamientos en doble fila y en filas adicionales de forma desordenada y algo caótica.

Alternativa 3

La Alternativa 3 es la ejecución de un aparcamiento subterráneo de 2 plantas más la de superficie. Al ampliar notablemente el número de plazas, se plantea la opción de alquilar un número cerrado de plazas a residentes cercanos a un precio reducido.

Para esta alternativa, primero se construirá muros pantalla en todo el perímetro del solar, de hormigón armado con 60 cm de espesor y una profundidad de 12'60 metros. Se construirán en tramos de 2'5 metros alternos.

El segundo paso será iniciar la excavación, con una cota final aproximada de -7'00 metros, con medios mecánicos. Tal y como se aconseja en el anejo geotécnico, durante la excavación será necesario el empleo de Well Points para el rebajamiento del N.F. para que el muro pantalla cumpla las Normas de Seguridad y Estabilidad. Esta se realiza en dos fases, tras la primera, excavación hasta la cota -3'00, se arriostrarán las pantallas mediante codales metálicos a la cota -1'00 metros.

A continuación, se ejecuta la losa de cimentación, de 100 cm de espesor. Mientras no esté construida, será necesario continuar con el rebajamiento de N.F. para evitar el levantamiento de fondos. El arriostramiento continuará sosteniendo las pantallas.

Posteriormente, se construirán los accesos y salidas que, por las mismas razones que se han comentado en la Alternativa 2, a falta del estudio indicado, se recomienda que se realice en la Avenida del Candalix.

Para finalizar con la estructura de la obra, se construyen las columnas y los forjados entre las plantas, teniendo en cuenta las sobrecargas en cada una de ellas, es más elevada en la planta superficial.

Por último, se colocan las instalaciones necesarias y se realizan los trabajos de pintado y señalización de circulación por y entre las plantas. Igualmente, en la planta superior se tendrá especial

cuidado para impedir que los conductores se planteen la posibilidad de aparcar de forma inadecuada y molestando al resto.

Es importante destacar que, aunque en ambas alternativas el aparcamiento sea público y gratuito durante un tiempo determinado según la franja horaria, en esta alternativa, dado que cubrimos notablemente la necesidad de plazas, se plantea la opción de alquilar plazas de aparcamientos a residentes del casco urbano a un precio reducido para cubrir únicamente los gastos de mantenimiento.

III. VALORACIÓN ECONÓMICA

La valoración económica se realiza con el fin de obtener un presupuesto aproximado, para poder valorar en la elección Multicriterio el presupuesto de una forma más objetiva. Al no ser este un presupuesto exacto se decide calcular únicamente el presupuesto de los elementos estructurales, por ello no se tendrá presupuesto de la Alternativa 1, ni, obviamente, de la Alternativa 0 que no ejecuta ninguna acción.

La Tabla 1 muestra las dimensiones aproximadas de los elementos que posteriormente se calcularán los costes. Estas medidas se han realizado usando el programa de AutoCAD y el Visor Cartográfico de la Generalitat.

Para la estimación del volumen de columnas, se ha calculado una distancia entre columnas de 10 metros. Posteriormente en AutoCAD se ha realizado una malla de 10x10 metros en el solar, contando aproximadamente el número de columnas que quedarían dentro del solar, tal y como se muestra en la Figura 1. Obteniendo un total de 54 columnas por planta, redondeando al alza para estar del lado de la seguridad.



Figura 1. Boceto de malla de 10x10 metros dentro de la zona de aparcamiento.

FUENTE: Propia

- Término municipal: Elche
- Área: 6040 m²
- Plantas bajo la rasante: 2 plantas
- Plantas sobre la rasante: 0 plantas
- Topografía: Plana
- Distancia a vertedero: 50 km
- Accesibilidad: Normal

Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 2, para ambas soluciones. El coste final aproximado es de 1.500.000 € para la Alternativa 2 y de 2.915.000 € para la Alternativa 3.

Tabla 2. Costes de las unidades de obra más significativas de las Alternativas 2 y 3. FUENTE: Propia

	Precio	Unidad	ALTERNATIVA 2		ALTERNATIVA 3	
			Cantidad	Coste	Cantidad	Coste
Excavación en suelo no cohesivo (con muro pantalla)	3,19	m ³	0	- €	9.060	28.901,40 €
Excavación en suelo no cohesivo	3,22	m ³	9.060	29.173,20 €	0	- €
Excavación en suelo no cohesivo con NF (con muro pantalla)	6,1	m ³	0	- €	33.220	202.642,00 €
Excavación en suelo no cohesivo con NF	6,43	m ³	15.100	97.093,00 €	0	- €
Excavación en suelo cohesivo con NF (con muro pantalla)	8,76	m ³	0	- €	0	- €
Muro pantalla e= 60 mm, suelo sin rechazo SPT, estabilizado con lodos	100,19	m ²	0	- €	4.486,9	449.538,50 €
Muro de sótano excavado con bataches e= 30 cm	208,49	m ²	1.424,4	296.973,16 €	0	- €
Viga de atado de muro pantalla e= 100 cm	162,71	m	0	- €	356,1	57.941,03 €
Arriostamiento provisional del muro pantalla mediante codales	172,35	m	0	- €	1150	198.202,50 €
Rebajamiento del NF con well points	80,9	día	0	- €	120	9.708,00 €
Losa de cimentación	145,72	m ³	3.624	528.089,28 €	6.040	880.148,80 €
Forjado de viguetas de 50 cm de canto	89,57	m ²	6.040	541.002,80 €	12.080	1.082.005,60 €
Columnas de hormigón armado 30x30 cm con molde reutilizable	203,5	m ³	10,35	2.106,23 €	20,7	4.212,45 €
			1.494.437,66 €		2.913.300,28 €	

Para los arriostramientos, se ha medido la suma de distancias en el Visor Cartográfico, colocando arriostramientos cada 5 metros, máxima distancia que permite el programa de CypeCAD y por tanto con la que se ha comprobado la estabilidad de las pantallas. Esta distancia es reducida, lo cual lleva a estar de nuevo del lado de la seguridad.

Tabla 1. Dimensiones estimadas para la valoración económica. FUENTE: Propia

Perímetro (m)	Área (m ²)	Volumen columnas por planta (m ³)	Longitud arriostramiento	
			Alturas	Longitud por altura (m)
356,1	6040	12,15	1	1150

A continuación, mediante el generador de precios del programa CypeCAD, se ha calculado el precio de las unidades de obra que son parte de la estructura de la obra. Para que el calculo fuera lo mas exacto posible se introdujeron los siguientes datos de la obra:

- Provincia: Alicante

IV. COMPARACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS

4.1. INTRODUCCIÓN

A la hora de tomar decisiones en la que afecta más de un criterio, es necesario medir cuanto es mejor o peor una opción que otra. Para ello, se debe cuantificar aspectos cualitativos, lo que puede resultar la mayoría de las veces muy difícil. Para realizar estas valoraciones se adoptan Métodos Multicriterio, donde se encuentra un amplio abanico de posibilidades, desde los más sencillos a los más complejos.

Los métodos de toma de decisiones mediante análisis multi criterio se dividieron en el 1981 en dos grandes grupos: MODM y MADM (métodos de toma de decisión multi-objetivo y multi-atributo respectivamente), aunque dentro de estos grupos se produjeron subdivisiones.

Para este estudio se va a emplear el Análisis Multicriterio AHP, que se explica a continuación, previamente se va a realizar una comparación escrita de cada una de las alternativas cotando sus ventajas y desventajas.

Las ventajas de la Alternativa 0 serían el coste nulo y la no afección debido a las obras. Pero el problema continuaría, especialmente cuando se utilice el espacio actual para otras actividades.

Entre los aspectos positivos de la Alternativa 1 se puede destacar el bajo coste de la actuación y que no tendrá afección a edificaciones cercas debido a las cimentaciones o excavaciones ejecutadas.

Por otro lado, si se causarían molestias de circulación y de utilización debido a las obras, aunque se realizarían en un breve periodo de tiempo. Además, el resultado no da una solución al problema, apenas lo minimiza un poco y se obtiene como resultado un espacio de maniobra y de circulación reducido.

La Alternativa 2 daría una importante solución al problema, especialmente cuando no se realicen actividades en la superficie, igualmente, en esos casos, se tendría la planta subterránea disponible, no como en la actualidad, que no se dispone de ningún lugar para el estacionamiento, lo que causa una gran dificultad para acceder al centro de la ciudad.

Las desventajas de esta alternativa es principalmente el coste, ya que las dos anteriores tenían un coste nulo o insignificativo. Por otro lado, se causarían molestias durante las obras y habría que

contralar la afección a las edificaciones cercanas como son el Colegio Público Candalix y la Fábrica de Harinas Serrano S.L.

Como ventaja principal de la Alternativa 3 es la mejor solución al problema, ya que, no solo solucionaría el problema de aparcamiento de ocio y fin de semana y cuando se realicen eventos en la superficie, si no que ampliaría notablemente el aparcamiento en el centro, superando el 70% de las plazas totales que los expertos afirman que necesita actualmente el centro de Elche. Además, con el alquiler establecido, se podrían cubrir los costes de mantenimiento de éste.

Las desventajas de esta opción serían el elevado coste de ejecución, ya que el Nivel Freático en Elche está muy cerca de la superficie y tendrían que realizarse importantes tareas de drenaje y rebaje de NF durante la construcción, además de las que ya se han señalado para Alternativa 2 que son las molestias durante las obras y la afección a edificaciones cercanas

4.2. DESCRIPCIÓN ANÁLISIS MULTICRITERIO AHP

El Analytic Hierarchy Process (de aquí en adelante AHP), se encuentra dentro de los métodos de toma de decisiones multi-atributo en el grupo de comparación por pares que se han explicado en el párrafo anterior. Fue propuesto en los 70 por Thomas L. Saaty, para la toma de decisiones de problemas concretos.

Este método compara las alternativas en función de una serie de criterios que suelen entrar en conflicto. Es importante que los criterios estén bien definidos, sean relevantes para el problema y deben ser mutuamente excluyente.

Mediante matrices de comparación pareadas con una escala del 1 al 9, se comparan todos los criterios entre sí. Ésta es la clave del método, debido a que el cerebro humano valora mucho mejor las diferencias entre dos alternativas que entre un conjunto de estas. Por ello se compara cada criterio individualmente con los otros dando los valores de la Tabla 3 según diferencia de importancia entre ambos, creando así la Matriz de decisión



Tabla 3. Valores para la comparación de pares de criterios. FUENTE: Blog UPV Víctor Yepes

VALOR	DEFINICIÓN	COMENTARIOS
1	Igual importancia	El criterio A es igual de importante que el criterio B
3	Importancia moderada	La experiencia y el juicio favorecen ligeramente al criterio A sobre el B
5	Importancia grande	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente el criterio A sobre el B
7	Importancia muy grande	El criterio A es mucho más importante que el B
9	Importancia extrema	La mayor importancia del criterio A sobre el B está fuera de toda duda
2,4,6 y 8	Valores intermedios entre los anteriores, cuando es necesario matizar	

Para que la matriz de decisión sea válida, además de ser recíproca y homogénea, debe cumplir un ratio de consistencia (CR) que depende del tamaño. El CR se calcula como la razón entre el Índice de Consistencia (CI) y el Índice Aleatorio (RI), éste último también viene determinado por el tamaño de la matriz. En la Tabla 4 se muestra el máximo valor permitido según el tamaño de la matriz decisión.

Tabla 4. Valores máximos del ratio de consistencia permitidos según el tamaño de la matriz. FUENTE: Propia

Tamaño de la matriz (n)	Ratio de consistencia (CR)
3	5%
4	9%
5	10%

A continuación, se obtienen los pesos que tendrá cada criterio resolviendo una ecuación para calcular el vector propio de la matriz. Teniendo de este modo la importancia de cada vector.

El paso siguiente es realizar el mismo tipo de comparación a pares de cada una de las alternativas según cada criterio, obteniendo una matriz y un vector propio de comparación de alternativas para cada uno de los criterios. El vector propio de uno de los criterios indica que la alternativa con mayor valor es la de mejor opción para ese criterio.

El resultado final de cada alternativa se obtiene sumando los productos del valor de una alternativa para cada criterio por el peso de ese criterio. La alternativa que tenga un mayor número final será por tanto la mejor opción.

4.3. DESARROLLO VECTORES MULTICRITERIO AHP

Para evaluar las alternativas, y como se ha comentado antes es necesario definir correctamente cada uno de los criterios que se van a tener en cuenta:

- Economía: Será el coste total de ejecución de la alternativa, incluyendo la fase de proyecto y la construcción. Como se ha dicho en el apartado 3, en este estudio se va a realizar una valoración económica aproximada de los costes de construcción.
- Solución del problema: Se medirá el grado de solución frente al problema inicial que es la falta de aparcamiento en el centro de Elche y la necesidad de entre 1.000 y 2.000 plazas para estacionamiento. Teniendo en cuenta que la obra se encuentra al norte del casco urbano, no se dotaría a la población del sur de este, las necesarias son unas 500 – 1.000 como máximo.
- Impacto ambiental: Se valorará el impacto que puede tener la obra que al estar dentro de la ciudad son principalmente por emisión de polvo y residuos durante la construcción y una vez finalizada la integración paisajística.
- Mantenimiento: Se tendrá en cuenta los costes económicos de mantenimiento del proyecto en fase de servicio.
- Afección: Este criterio trata de evaluar la afección al entorno que se puede causar durante la construcción, atendiendo al corte de calles y desvíos, ruido y la propia inutilización del aparcamiento actual durante la construcción del nuevo.

A continuación, se mostrarán los valores que se ha dado a cada uno de los criterios. En la Tabla 5 se muestra cuanto es mas importante la el criterio de la fila con respecto al de la columna. Recordar que, aunque este método intenta ser más objetivo, el valor de importancia que se le da a cada uno de los criterios respecto a los siguientes sigue siendo subjetivo.

Tabla 5. Matriz de comparación de pares de criterios. FUENTE: Propia

Matriz de comparación de criterios					
	Solucion del problema	Economía	Mantenimiento	Impacto ambiental	Afección
Solucion del problema	1	2	3	5	8
Economía	1/2	1	4	5	7
Mantenimiento	1/3	1/4	1	3	2
Impacto ambiental	1/5	1/5	1/3	1	5
Afección	1/8	1/7	1/2	1/5	1

Dado el tamaño de la matriz (n=5) el RI tiene un valor de 1'12. Calculando el CI previamente, se obtiene una matriz con un Ratio de consistencia (RC) de 9'67%, inferior al límite establecido para una matriz de tamaño 5 que resulta ser un 10%, por lo que se encuentra dentro de los valores y la matriz es válida.

La Tabla 6 muestra el vector propio de la matriz de criterios y, pro tanto, los pesos que tiene cada uno.

Tabla 6. Peso de cada criterio. FUENTE: Propia

	Ponderaciones Criterios
Solucion del problema	0,411595
Economía	0,329138
Mantenimiento	0,128878
Impacto ambiental	0,089490
Afección	0,040900

A continuación, se muestran la tablas o matrices donde se valora para cada uno de los criterios el beneficio de cada una de las alternativas frente a las otras, Tablas 7 a 11, la justificación de los

valores que se han asignado es la que se describe en el apartado 4.1 de este Anejo. Como se ha dicho antes, es un proceso que se debe realizar por pares, comparando las alternativas dos a dos para cada criterio.

Tabla 7. Matriz de comparación por pares de alternativas para el criterio de Solución del Problema. FUENTE: Propia

Matriz Valoración Solución del Problema				
	2 Sótanos	1 Sótano	Reordenación	Solución cero
2 Sótanos	1	4	8	9
1 Sótano	1/4	1	4	7
Reordenación	1/8	1/4	1	2
Solución 0	1/9	1/7	1/2	1

Tabla 8. Matriz de comparación por pares de alternativas para el criterio de Valoración Económica. FUENTE: Propia

Matriz Valoración Económica				
	2 Sótanos	1 Sótano	Reordenación	Solución cero
2 Sótanos	1	1/2	1/6	1/7
1 Sótano	2	1	1/5	1/6
Reordenación	6	5	1	1/2
Solución 0	7	6	2	1

Tabla 9. Matriz de comparación por pares de alternativas para el criterio de Mantenimiento. FUENTE: Propia

Matriz Valoración Mantenimiento				
	2 Sótanos	1 Sótano	Reordenación	Solución cero
2 Sótanos	1	5	1/2	1/2
1 Sótano	1/5	1	1/6	1/6
Reordenación	2	6	1	1
Solución 0	2	6	1	1



Tabla 10. Matriz de comparación por pares de alternativas para el criterio de Impacto Ambiental.
FUENTE: Propia

	Matriz Valoración Impacto Ambiental			
	2 Sótanos	1 Sótano	Reordenación	Solución cero
2 Sótanos	1	1/2	1/3	1/4
1 Sótano	2	1	1/2	1/3
Reordenación	3	2	1	1/2
Solución 0	4	3	2	1

Tabla 11. Matriz de comparación por pares de alternativas para el criterio de Afecciones durante la construcción.
FUENTE: Propia

	Matriz Valoración Afecciones			
	2 Sótanos	1 Sótano	Reordenación	Solución cero
2 Sótanos	1	1/2	1/4	1/7
1 Sótano	2	1	1/4	1/6
Reordenación	4	4	1	1/3
Solución 0	7	6	3	1

Efectuando los mismos cálculos que para la obtención de pesos de los criterios, se obtienen 5 vectores propios, que son la valoración de cada alternativa para los 5 criterios, Tabla 12.

Tabla 12. Valoración de cada criterio para todas las alternativas. FUENTE: Propia

Vectores según Criterio	2 Sótanos	1 Sótano	Reordenación	Solución 0
Solucion del problema	0,633981	0,246546	0,073970	0,045503
Economía	0,056654	0,087074	0,337158	0,519115
Mantenimiento	0,210681	0,054287	0,367516	0,367516
Impacto ambiental	0,095435	0,160088	0,277181	0,467296
Afección	0,063111	0,093263	0,264305	0,579321

4.4. RESULTADO DEL ANÁLISIS MULTICRITERIO AHP

El resultado final de multiplicar la traspuesta de la matriz de la Tabla 12 por el vector propio de pesos de cada criterio, Tabla 6, nos da el resultado final del análisis. Como se puede ver en la Tabla 13, la solución más óptima es la construcción de un aparcamiento subterráneo de 2 sótanos. Siendo la segunda mejor opción la no realización del proyecto.

Tabla 13. Solución final de la Valoración Multicriterio AHP. FUENTE: Propia

	Vector Solución	Porcentaje
2 Sótanos	0,317864	32%
Solución 0	0,302466	30%
Reordenación	0,224397	22%
1 Sótano	0,155273	16%

V. CONCLUSIONES

Analizando los resultados se ve que son lógicos. La Alternativa 1, reordenación, tiene un coste económico muy reducido, pocas afecciones e impacto ambiental, pero no aporta apenas diferencia entre ella y la Solución 0. La Alternativa 2 es más económica que la 3, por el contrario, el mantenimiento de esta es más caro, ambas son similares si se evalúan las molestias durante su construcción y la afección al medio ambiente, por lo que la mejora que aporta la construcción de dos sótanos frente a uno es mucho más ventajosa.

Como conclusión, era de esperar que esta fuera la opción más eficiente y por tanto será la que se desarrolle con más detalle en el resto de apartados.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Yepes Piqueras V. Clasificación de los métodos de toma de decisión multicriterio multiatributo [Internet]. El blog de Víctor Yepes. 2018. Disponible en: <https://victoryepes.blogs.upv.es/2018/11/26/clasificacion-metodos-madm/>

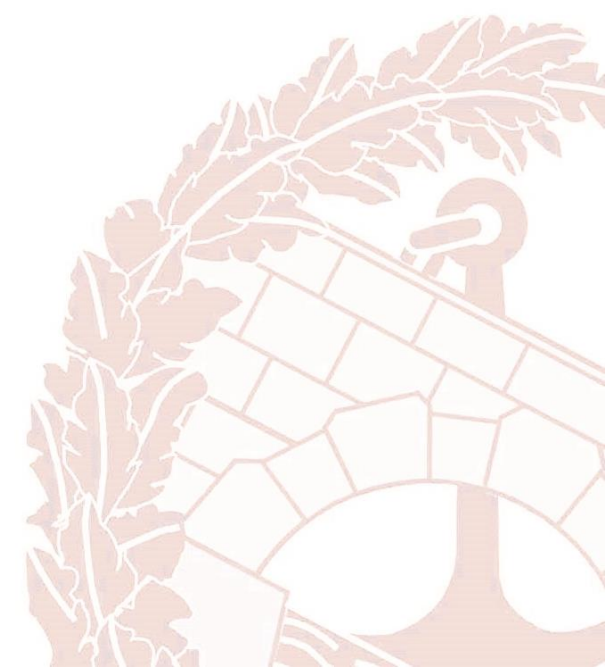
CypeCAD. Avda. Eusebio Sempere, 5 - 03003 ALICANTE: CYPE Ingenieros, S.A.;

Estupiña Martos I. Estudio de soluciones para el acceso viario a una zona comercial del PK 1041 al PK 1043 de la carretera N-340a en el término de Benicarló (Castellón). [Internet] [Trabajo de Fin de Grado]. [Valencia]: Universidad Politécnica de Valencia; 2019. Disponible en: <https://riunet.upv.es/handle/10251/127772>

Yepes Piqueras V. Proceso Analítico Jerárquico (Analytic Hierarchy Process, AHP) [Internet]. El blog de Víctor Yepes. 2018. Disponible en: <https://victoryepes.blogs.upv.es/2018/11/27/proceso-analitico-jerarquico-ahp/>

ANEJO III

Predimensionamiento de la Solución Recomendada





ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN Y OBJETO..... 3

II. PREDIMENSIONAMIENTO EN CYPE 3

III. SELECCIÓN DE LISTADOS 6

3.1. NORMA Y MATERIALES.....6

3.2. ACCIONES.....6

3.3. DATOS GENERALES6

3.4. DESCRIPCIÓN DEL TERRENO6

3.5. SECCIÓN VERTICAL DEL TERRENO7

3.6. GEOMETRÍA7

3.7. ESQUEMA DE LAS FASES.....7

3.8. CARGAS9

3.9. ELEMENTOS DE APOYO9

3.10. RESULTADOS DE LAS FASES9

3.11. RESULTADOS PARA LOS ELEMENTOS DE APOYO10

3.12. DESCRIPCIÓN DEL ARMADO11

3.13. COMPROBACIONES GEOMÉTRICAS Y DE RESISTENCIA.....11

3.14. COMPROBACIONES DE ESTABILIDAD (COEFICIENTES DE SEGURIDAD)12

3.15. COMPROBACIONES DE ESTABILIDAD (CÍRCULO DE DESLIZAMIENTO PÉSIMO).....12

3.16. MEDICIÓN13

IV. RESUMEN DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES..... 14

I. INTRODUCCIÓN Y OBJETO

En el siguiente Anejo se predimensiona la estructura del muro pantalla, dimensionando ésta y su armado, y comprobando que cumple con la normativa española. El objeto de este anexo es tener unas dimensiones aproximadas de la obra para que se pueda tener en cuenta a la hora de realizar el estudio de las alternativas, verificando que ésta es estructuralmente viable y por ello posible de ejecutar.

Para ello se ha usado el programa Cype, donde, además de las características de la obra que ya estaban definidas se han realizado las siguientes suposiciones, coincidentes con las que se realizan para el resto del Estudio de Soluciones:

- Se trabaja con un Terreno Tipo, el resultante de la media de los sondeos realizados en la obra.
- La separación entre pilares en ambos sótanos es la misma y es cada 10 metros en ambas direcciones, siendo estas cuadradas de 30 x 30 centímetros.
- El uso durante la vida útil de las plantas es de aparcamiento de vehículos ligeros, excepto la planta de la superficie que también se usará para conciertos y ferias donde se producirán aglomeraciones de personas.
- Durante la excavación y la ejecución de la losa de cimentación y los forjados, se rebajará el Nivel Freático en el trasdós y el intradós de la pantalla mediante el uso de Well Points.
- La cimentación se realizará mediante una losa de cimentación que se supone de 100 centímetros de espesor.
- Se tiene en cuenta que en las calles que rodean el perímetro de la parcela circulan tanto vehículos ligeros como pesado, por tanto, se tiene en cuenta esa carga en el trasdós del muro pantalla.

II. PREDIMENSIONAMIENTO EN CYPE

En el programa Cype se diseñará el muro pantalla como elemento estructural de contención, para ello se usará el asistente para Muros pantalla de hormigón armado en edificación.

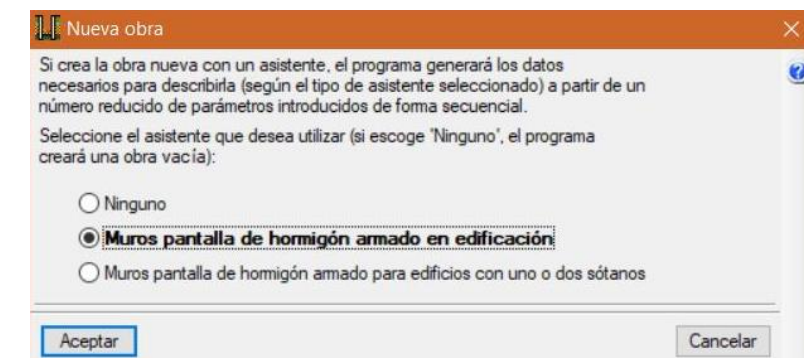


Figura 1. Captura de pantalla de la elección del tipo de obra en el programa Cype.
01/11/2019 FUENTE: propia

En Datos Generales se introduce una Profundidad de excavación (h) de 7'00 metros de altura. Ya que en un primer cálculo aproximado se ha calculado 3 metros por planta, incluyendo forjado, y un metro de losa de cimentación.

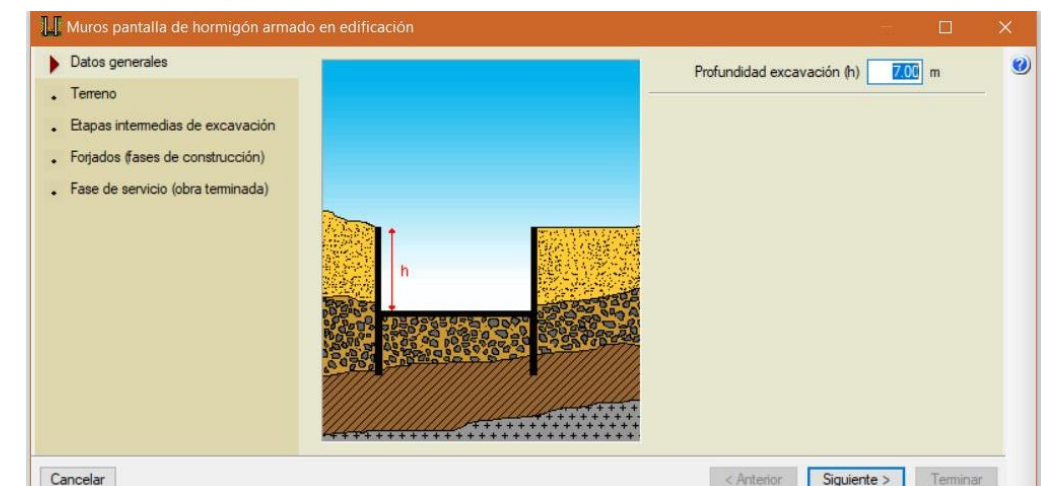


Figura 2. Captura de pantalla de la definición de datos generales en el programa Cype.
01/11/2019 FUENTE: propia

Del Terreno se conoce que la cota del Nivel Freático está a -1'50 metros, como se observa en el resultado de los sondeos de la campaña geotécnica es estable y se esperan únicamente variaciones pequeñas por las lluvias.

No se ha encontrado matriz rocosa en ningún estrato, pero si tiene sobrecarga en el terreno del trasdós del muro, ya que es una calle de uso peatonal y circulación de vehículos. Como se ha comentado en otros apartados, el solar contiguo es una fábrica de harinas, por lo que se espera el paso de vehículos pesados, que según la IAP 11, la sobrecarga de uniforme a considerar en el área remanente al carril de vehículos pesados es de 2'5 kN/m², como se puede ver en la Tabla 4.1-b de dicha normativa. Por tanto, se introduce un valor de 0'255 t/m² en el programa.

Los estratos de partida, ya que luego hay que modificar los parámetros de éstos, serán intercalaciones de arena semidensa y arcilla semidura, la altura de cada uno de estos estratos será la obtenida de la media de los sondeos, por lo que se va a trabajar con el Terreno Tipo que se detalla en el Anejo geológico-geotécnico.

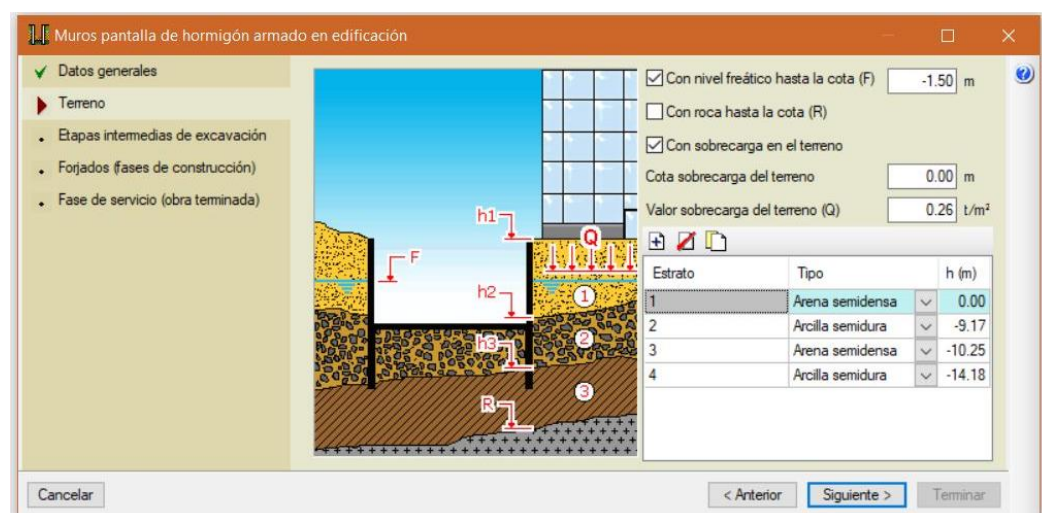


Figura 3. Captura de pantalla de la definición del terreno en el programa Cype. 01/11/2019
FUENTE: propia

Como etapas intermedias de la fase de excavación se ejecuta una excavación hasta la cota -3, con apuntalamientos en la cota -1, la fase final de excavación hasta la cota -7'00 queda automáticamente definida por el programa.

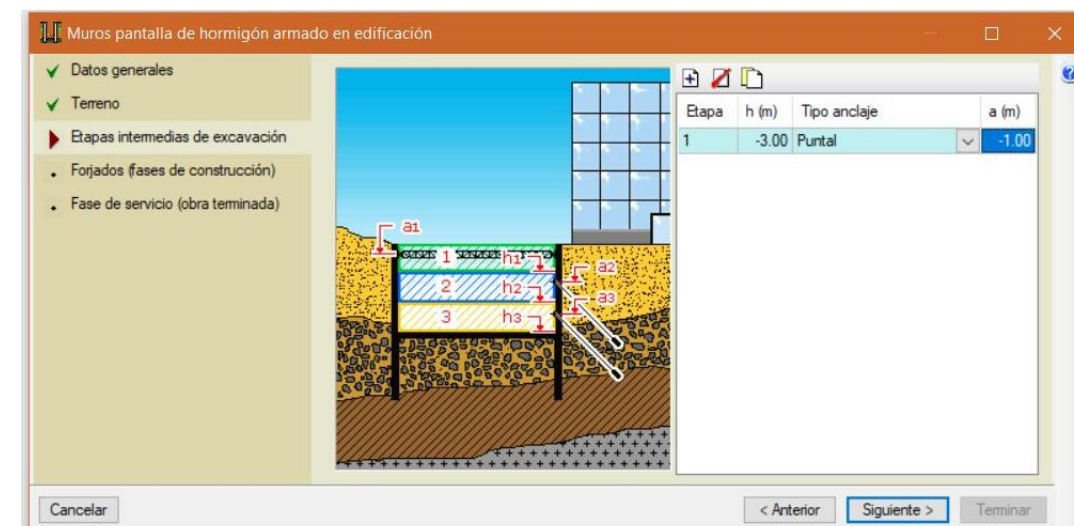


Figura 4. Captura de pantalla de la definición de las etapas intermedias de excavación en el programa Cype. 01/11/2019
FUENTE: propia

Se definen los siguientes forjados para la fase de construcción, de los que se indica la cota superior de éstos:

Forjado 1: en la cota 0'00 metros, que se aproxima para el predimensionamiento con un espesor de 50 centímetros.

Forjado 2: en la cota -3'00 metros, que también se aproxima a un espesor de 50 centímetros.

Losa de cimentación: a la cota -6'00 metros, que se predimensiona como cimentación de la estructura con un espesor de 100 centímetros.

Ninguno de los forjados tendrá sobrecargas durante la fase de construcción, por lo que se predimensiona con un valor nulo de Q (t/m).

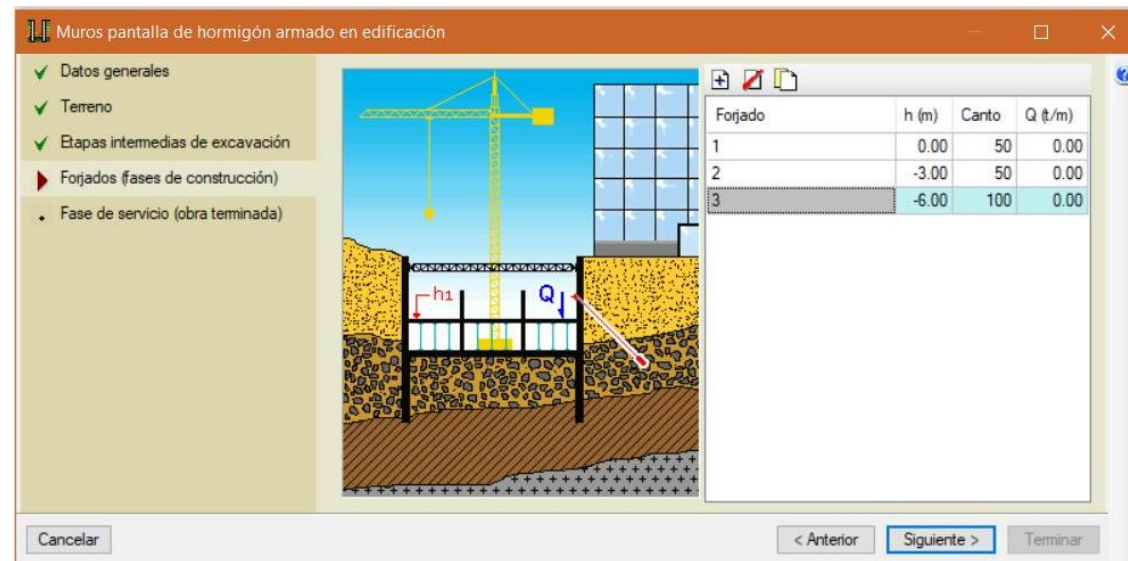


Figura 5. Captura de pantalla de la definición los forjados en el programa Cype. 01/11/2019
FUENTE: propia

Durante la Fase de servicio (obra terminada) no se ejercen cargas puntuales sobre la coronación de la pantalla ya que ésta no tiene plantas superiores. Las sobrecargas en los forjados serán las siguientes:

Losa de cimentación: El uso de esta planta será el de aparcamiento de vehículos, como define el Código Técnico de la Edificación, en el Documento Básico de Seguridad en la Edificación, Acciones en la Edificación (de aquí en adelante CTE DB SE AE), en la Tabla 3.1 Valores característicos de las sobrecargas de uso, se categoriza de uso E, Zonas de tráfico y de aparcamientos de vehículos ligeros, por lo resulta una sobrecarga uniforme de 2 kN/m². Dado que el programa pide la sobrecarga lineal que llega al muro pantalla, se ha de tener en cuenta el área tributaria de ésta. Como en el predimensionamiento se estima una separación entre columnas de 10 metros, el área tributaria de la pantalla es hasta 5 metros de ésta, por lo que la carga final es de 10 kN/m, o el equivalente de 1 t/m.

Forjado 2: este forjado tiene el mismo uso que la losa de cimentación, por tanto, se llega a las mismas conclusiones, siendo la sobrecarga en éste de 1 t/m.

El forjado 1: recibe la sobrecarga del uso en la superficie del aparcamiento. Como se ha definido en Antecedentes, el uso principal de éste será para el estacionamiento de vehículos, pero como se ha comentado, no es éste el único uso actual, y por tanto futuro, que se le da al solar; si no que también se realizan ferias y conciertos el mismo. Volviendo a la definición del CTE DB SE AE, a la Tabla 3.1 Valores característicos de las sobrecargas de uso, se encuentra en la categoría de uso C5,

Zonas de aglomeración (salas de conciertos, estadios, etc.), la sobrecarga uniforme en este caso será de 5 kN/m², que en el muro pantalla repercutirá como una carga lineal de 2'5 t/m.

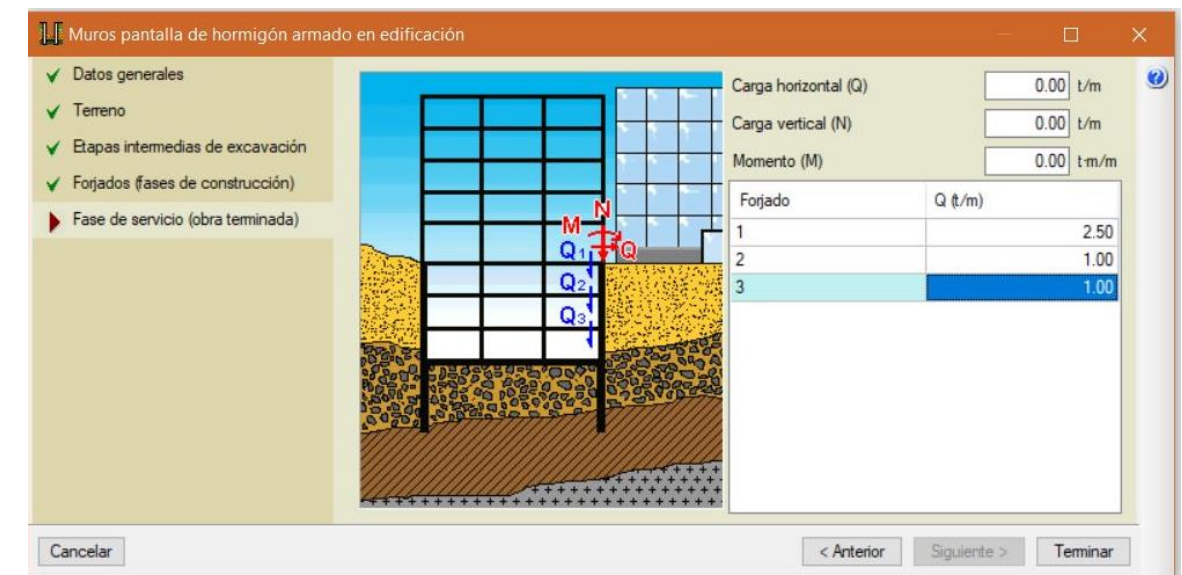


Figura 6. Captura de pantalla de la definición las cargas en la fase de servicio en el programa Cype. 01/11/2019 FUENTE: propia

Una vez introducidos los datos anteriores, el programa da como resultado un muro pantalla de 45 mm de espesor, a falta de modificar los parámetros del terreno y el Nivel Freático. A continuación, se pide al programa que dimensione el armado y realice las comprobaciones necesarias, dichas comprobaciones resultan en fallos en las últimas fases de excavación y construcción de los forjados, dado que el coeficiente de seguridad inferior al permitido, y fallos en las cuantías geométricas de armado, que tampoco cumplen la normativa.

Aumentando el espesor de la pantalla a 60 mm y volviendo a realizar el diseño del armado, se consigue cumplir con lo establecido en la normativa española vigente. Todo el detalle de los resultados obtenidos se muestra en el siguiente apartado.

III. SELECCIÓN DE LISTADOS

La selección de listados está extraída directamente de programa Cype para no alterar los datos obtenido. Por lo que, las comprobaciones, tablas y encabezados de estas están diseñadas tal y como lo realiza el programa.

3.1. NORMA Y MATERIALES

- Norma de hormigón: EHE-08-CTE (España)
- Hormigón: HA-25, Control Estadístico
- Acero: B 400 S, Control Normal
- Clase de exposición: Clase IIa
- Recubrimiento geométrico: 7.0 cm
- Tamaño máximo del árido: 20 mm

3.2. ACCIONES

- Mayoración esfuerzos en construcción: 1.60
- Mayoración esfuerzos en servicio: 1.60
- Sin análisis sísmico
- Sin considerar acciones térmicas en puntales

3.3. DATOS GENERALES

- Cota de la rasante: 0.00 m
- Altura del muro sobre la rasante: 0.00 m
- Tipología: Muro pantalla de hormigón armado

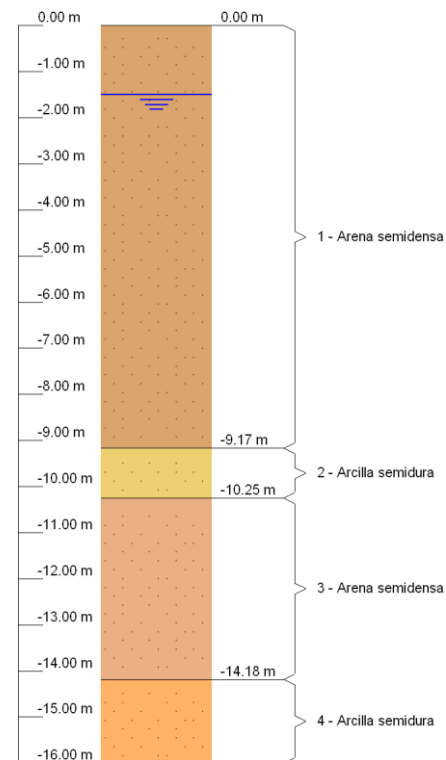
3.4. DESCRIPCIÓN DEL TERRENO

- 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: 1.50 m

ESTRATOS			
Referencias	Cota superior	Descripción	Coeficientes de empuje
1 - Arena semidensa	0.00 m	Densidad aparente: 1.9 kg/dm³ Densidad sumergida: 0.7 kg/dm³ Ángulo rozamiento interno: 33 grados Cohesión: 0.00 t/m² Módulo de balasto empuje activo: 5000.0 t/m³ Módulo de balasto empuje pasivo: 5000.0 t/m³ Gradiente módulo de balasto: 0.0 t/m4	Activo trasdós: 0.30 Reposo trasdós: 0.46 Pasivo trasdós: 3.34 Activo intradós: 0.30 Reposo intradós: 0.46 Pasivo intradós: 3.34
2 - Arcilla semidura	-9.17 m	Densidad aparente: 1.7 kg/dm³ Densidad sumergida: 0.9 kg/dm³ Ángulo rozamiento interno: 10 grados Cohesión: 6.80 t/m² Módulo de balasto empuje activo: 2000.0 t/m³ Módulo de balasto empuje pasivo: 2000.0 t/m³ Gradiente módulo de balasto: 0.0 t/m4	Activo trasdós: 0.70 Reposo trasdós: 0.83 Pasivo trasdós: 1.42 Activo intradós: 0.70 Reposo intradós: 0.83 Pasivo intradós: 1.42
3 - Arena semidensa	-10.25 m	Densidad aparente: 1.9 kg/dm³ Densidad sumergida: 0.7 kg/dm³ Ángulo rozamiento interno: 33 grados Cohesión: 0.00 t/m² Módulo de balasto empuje activo: 5000.0 t/m³ Módulo de balasto empuje pasivo: 5000.0 t/m³ Gradiente módulo de balasto: 0.0 t/m4	Activo trasdós: 0.30 Reposo trasdós: 0.46 Pasivo trasdós: 3.34 Activo intradós: 0.30 Reposo intradós: 0.46 Pasivo intradós: 3.34
4 - Arcilla semidura	-14.18 m	Densidad aparente: 1.7 kg/dm³ Densidad sumergida: 0.9 kg/dm³ Ángulo rozamiento interno: 10 grados Cohesión: 6.80 t/m² Módulo de balasto empuje activo: 2000.0 t/m³ Módulo de balasto empuje pasivo: 2000.0 t/m³ Gradiente módulo de balasto: 0.0 t/m4	Activo trasdós: 0.70 Reposo trasdós: 0.83 Pasivo trasdós: 1.42 Activo intradós: 0.70 Reposo intradós: 0.83 Pasivo intradós: 1.42



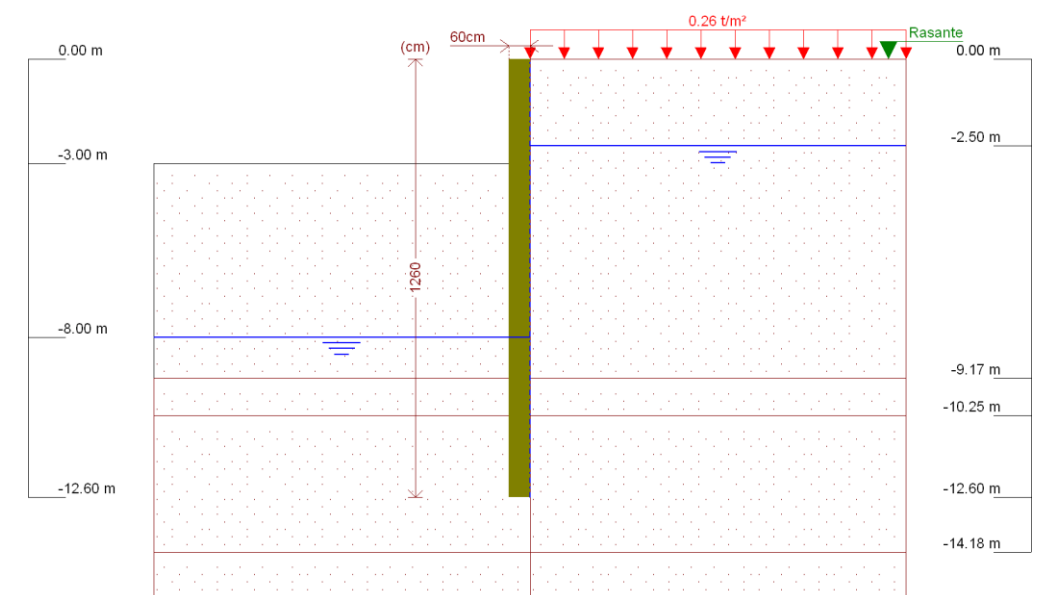
3.5. SECCIÓN VERTICAL DEL TERRENO



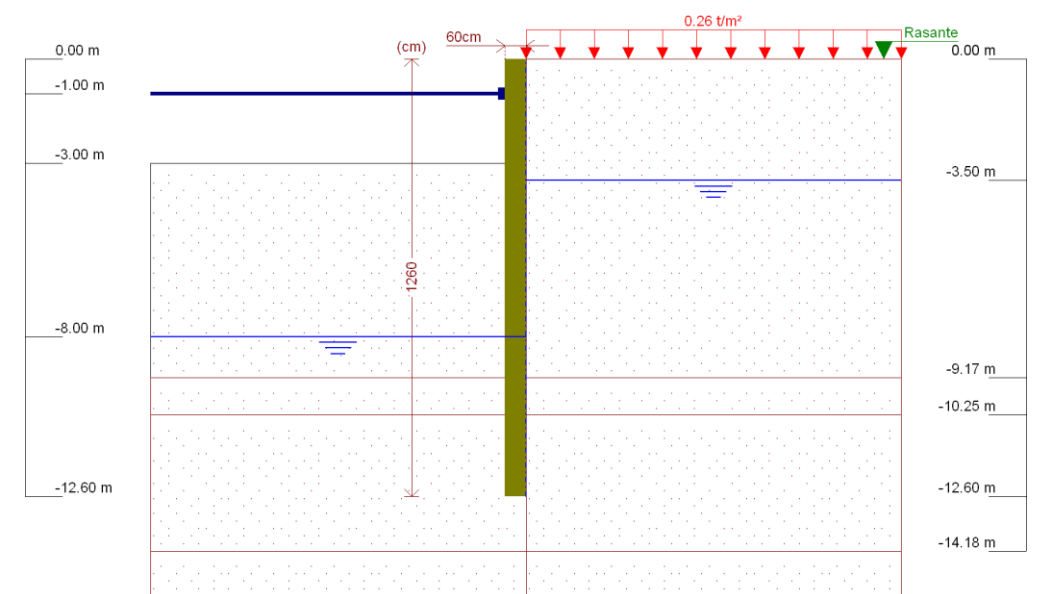
3.6. GEOMETRÍA

Altura total: 12.60 m
Espesor: 60 cm
Longitud tramo: 2.50 m

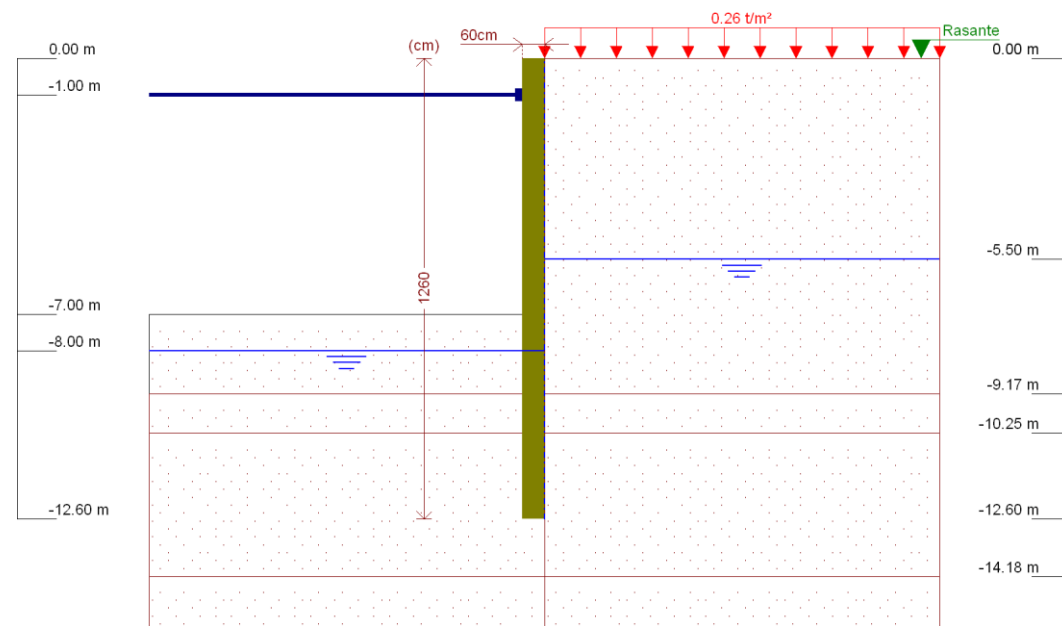
3.7. ESQUEMA DE LAS FASES



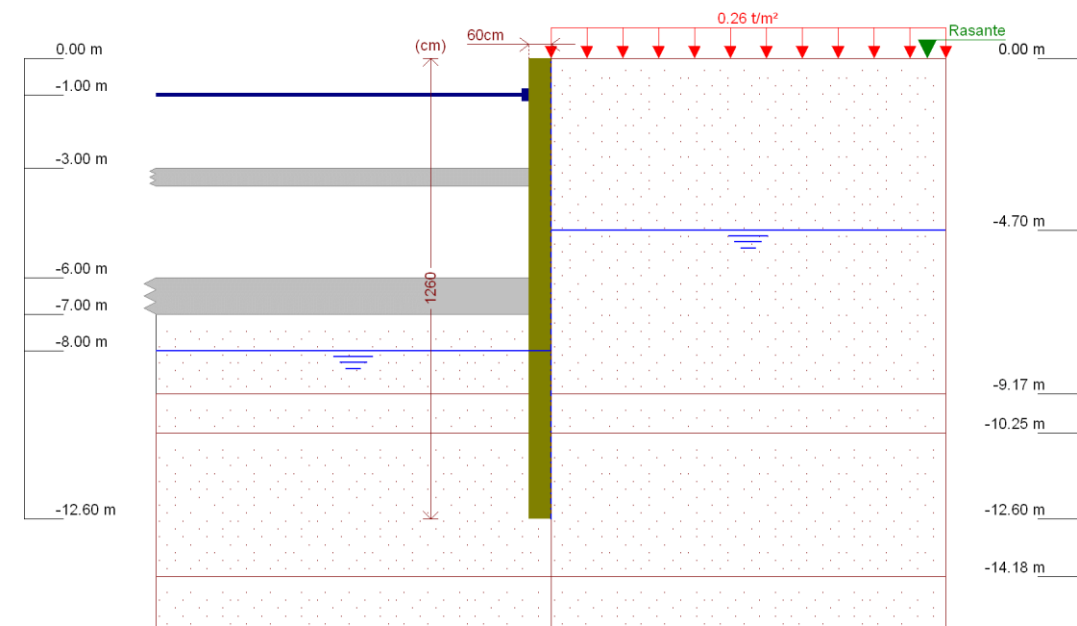
Referencias	Nombre	Descripción
Fase 1	Excavación hasta la cota: -3.00 m	Tipo de fase: Constructiva Cota de excavación: -3.00 m Con nivel freático trasdós hasta la cota: -2.50 m Con nivel freático intradós hasta la cota: -8.00 m



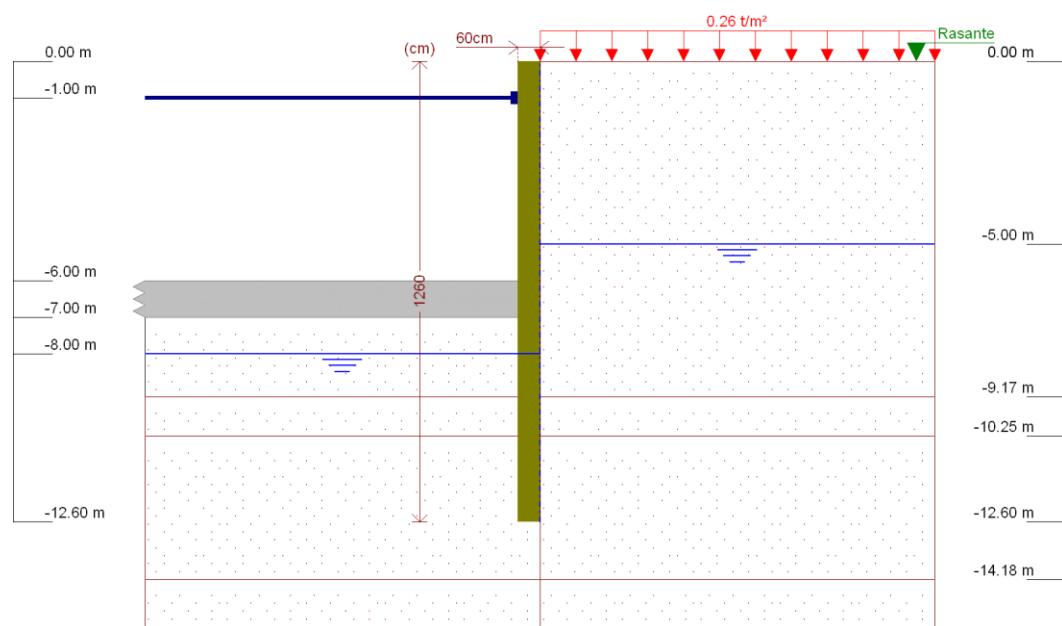
Referencias	Nombre	Descripción
Fase 2	Colocación de puntal en la cota -1.00 m	Tipo de fase: Constructiva Cota de excavación: -3.00 m Con nivel freático trasdós hasta la cota: -3.50 m Con nivel freático intradós hasta la cota: -8.00 m



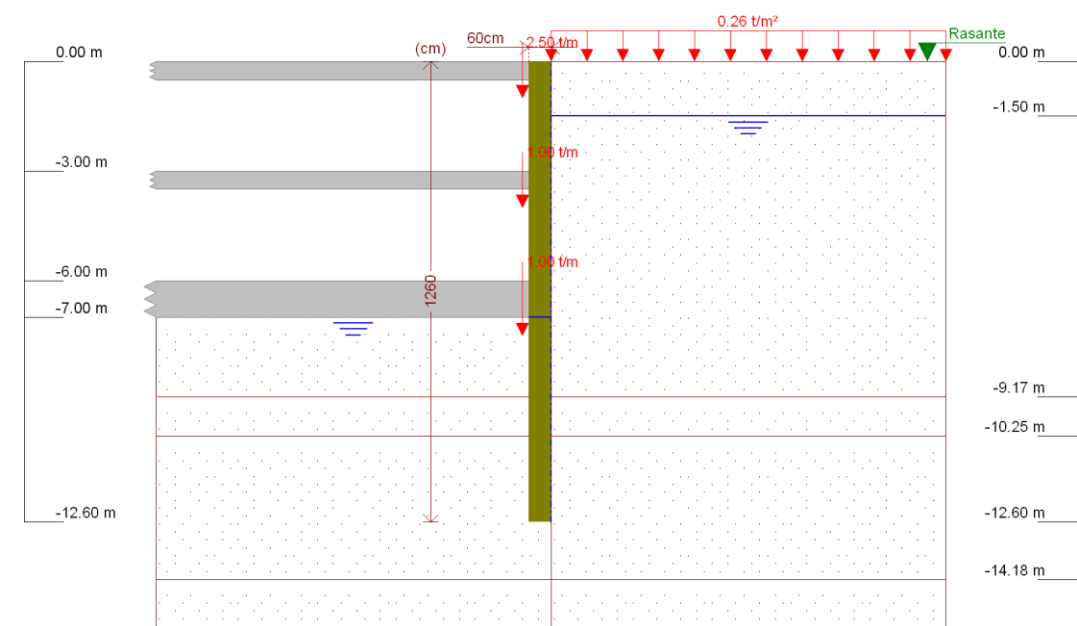
Referencias	Nombre	Descripción
Fase 3	Excavación hasta la cota: -7.00 m	Tipo de fase: Constructiva Cota de excavación: -7.00 m Con nivel freático trasdós hasta la cota: -5.50 m Con nivel freático intradós hasta la cota: -8.00 m



Referencias	Nombre	Descripción
Fase 5	Construcción de forjado (Cota: -3.00 m)	Tipo de fase: Constructiva Cota de excavación: -7.00 m Con nivel freático trasdós hasta la cota: -4.70 m Con nivel freático intradós hasta la cota: -8.00 m



Referencias	Nombre	Descripción
Fase 4	Construcción de forjado (Cota: -6.00 m)	Tipo de fase: Constructiva Cota de excavación: -7.00 m Con nivel freático trasdós hasta la cota: -5.00 m Con nivel freático intradós hasta la cota: -8.00 m



Referencias	Nombre	Descripción
Fase 6	Construcción de forjado (Cota: 0.00 m)	Tipo de fase: Servicio Cota de excavación: -7.00 m Con nivel freático trasdós hasta la cota: -1.50 m Con nivel freático intradós hasta la cota: -7.00 m



3.8. CARGAS

CARGAS EN EL TRASDÓS

Tipo	Cota	Datos	Fase inicial	Fase final
Uniforme	0 m	Valor: 0.26 t/m ²	Excavación hasta la cota: -3.00 m	Construcción de forjado (Cota: 0.00 m)

3.9. ELEMENTOS DE APOYO

PUNTALES

Descripción	Fase inicial	Fase final
Cota: -1.00 m Rigidez axil: 1000000 t/m Separación: 5.0 m	Colocación de puntal en la cota -1.00 m	Construcción de forjado (Cota: -3.00 m)

FORJADOS

Descripción	Fase de construcción	Fase de servicio
Cota: 0.00 m Canto: 50 cm Cortante fase constructiva: 0 t/m Cortante fase de servicio: 3 t/m Rigidez axil: 1000000 t/m ²	Construcción de forjado (Cota: 0.00 m)	Construcción de forjado (Cota: 0.00 m)
Cota: -3.00 m Canto: 50 cm Cortante fase constructiva: 0 t/m Cortante fase de servicio: 1 t/m Rigidez axil: 1000000 t/m ²	Construcción de forjado (Cota: -3.00 m)	Construcción de forjado (Cota: 0.00 m)
Cota: -6.00 m Canto: 100 cm Cortante fase constructiva: 0 t/m Cortante fase de servicio: 1 t/m Rigidez axil: 1000000 t/m ²	Construcción de forjado (Cota: -6.00 m)	Construcción de forjado (Cota: 0.00 m)

3.10. RESULTADOS DE LAS FASES

Esfuerzos sin mayorar.

FASE 1: EXCAVACIÓN HASTA LA COTA: -3.00 M

BÁSICA

Cota (m)	Desplazamientos (mm)	Ley de axiles (t/m)	Ley de cortantes (t/m)	Ley de momento flector (t-m/m)	Ley de empujes (t/m ²)	Presión hidrostática (t/m ²)
0.00	-3.32	-0.00	0.01	-0.00	0.08	0.00
-1.26	-2.65	1.89	0.45	0.24	0.80	0.00
-2.52	-1.99	3.78	1.81	1.75	1.51	0.02

Cota (m)	Desplazamientos (mm)	Ley de axiles (t/m)	Ley de cortantes (t/m)	Ley de momento flector (t-m/m)	Ley de empujes (t/m ²)	Presión hidrostática (t/m ²)
-3.78	-1.39	5.67	3.19	5.42	-3.16	1.28
-5.04	-0.96	7.56	-0.28	6.86	-4.52	2.54
-6.30	-0.74	9.45	-1.90	5.08	-4.26	3.80
-7.56	-0.68	11.34	-2.06	2.47	-4.80	5.06
-8.82	-0.70	13.23	-1.66	0.18	-5.30	5.50
-10.08	-0.73	15.12	0.10	-0.97	-3.32	5.50
-11.34	-0.73	17.01	0.44	-0.27	-5.77	5.50
-12.60	-0.72	18.90	0.00	-0.00	-5.87	5.50
Máximos	-0.68 Cota: -7.56 m	18.90 Cota: -12.60 m	3.34 Cota: -3.53 m	6.93 Cota: -4.79 m	1.56 Cota: -2.77 m	5.50 Cota: -8.06 m
Mínimos	-3.32 Cota: 0.00 m	-0.00 Cota: 0.00 m	-2.11 Cota: -7.06 m	-0.99 Cota: -9.83 m	-5.87 Cota: -12.60 m	0.00 Cota: 0.00 m

FASE 2: COLOCACIÓN DE PUNTAL EN LA COTA -1.00 M

BÁSICA

Cota (m)	Desplazamientos (mm)	Ley de axiles (t/m)	Ley de cortantes (t/m)	Ley de momento flector (t-m/m)	Ley de empujes (t/m ²)	Presión hidrostática (t/m ²)
0.00	-3.33	-0.00	0.01	-0.00	0.08	0.00
-1.26	-2.64	1.89	0.45	0.25	0.82	0.00
-2.52	-1.97	3.78	1.89	1.80	1.62	0.00
-3.78	-1.35	5.67	3.25	5.59	-2.27	0.28
-5.04	-0.91	7.56	-0.31	7.03	-3.55	1.54
-6.30	-0.69	9.45	-1.95	5.19	-3.26	2.80
-7.56	-0.64	11.34	-2.11	2.52	-3.81	4.06
-8.82	-0.66	13.23	-1.72	0.15	-4.32	4.50
-10.08	-0.69	15.12	0.12	-1.03	-2.18	4.50
-11.34	-0.69	17.01	0.47	-0.28	-4.80	4.50
-12.60	-0.68	18.90	0.00	-0.00	-4.89	4.50
Máximos	-0.64 Cota: -7.56 m	18.90 Cota: -12.60 m	3.43 Cota: -3.53 m	7.11 Cota: -4.79 m	2.02 Cota: -3.02 m	4.50 Cota: -8.06 m
Mínimos	-3.33 Cota: 0.00 m	-0.00 Cota: 0.00 m	-2.16 Cota: -7.06 m	-1.07 Cota: -9.83 m	-4.89 Cota: -12.60 m	0.00 Cota: 0.00 m

FASE 3: EXCAVACIÓN HASTA LA COTA: -7.00 M

BÁSICA

Cota (m)	Desplazamientos (mm)	Ley de axiles (t/m)	Ley de cortantes (t/m)	Ley de momento flector (t-m/m)	Ley de empujes (t/m ²)	Presión hidrostática (t/m ²)
0.00	-1.52	-0.00	0.11	-0.00	0.87	0.00
-1.26	-3.18	1.89	-8.90	-0.99	0.80	0.00
-2.52	-4.80	3.78	-7.54	-11.26	1.51	0.00
-3.78	-6.06	5.67	-5.27	-19.13	2.23	0.00
-5.04	-6.72	7.56	-2.10	-23.46	2.95	0.00
-6.30	-6.64	9.45	2.13	-23.06	3.39	0.80
-7.56	-5.84	11.34	7.59	-16.17	0.11	2.06
-8.82	-4.52	13.23	7.77	-5.92	-4.40	2.50
-10.08	-3.01	15.12	4.25	1.27	-3.27	2.50
-11.34	-1.55	17.01	-1.55	2.65	-5.28	2.50
-12.60	-0.16	18.90	-0.93	-0.00	4.92	2.50

Cota (m)	Desplazamientos (mm)	Ley de axiles (t/m)	Ley de cortantes (t/m)	Ley de momento flector (t·m/m)	Ley de empujes (t/m²)	Presión hidrostática (t/m²)
Máximos	-0.16	18.90	8.36	3.17	4.92	2.50
	Cota: -12.60 m	Cota: -12.60 m	Cota: -8.06 m	Cota: -10.84 m	Cota: -12.60 m	Cota: -8.06 m
Mínimos	-6.78	-0.00	-8.90	-23.95	-9.03	0.00
	Cota: -5.54 m	Cota: 0.00 m	Cota: -1.26 m	Cota: -5.54 m	Cota: -10.58 m	Cota: 0.00 m

FASE 4: CONSTRUCCIÓN DE FORJADO (COTA: -6.00 M)

BÁSICA

Cota (m)	Desplazamientos (mm)	Ley de axiles (t/m)	Ley de cortantes (t/m)	Ley de momento flector (t·m/m)	Ley de empujes (t/m²)	Presión hidrostática (t/m²)
0.00	-1.52	-0.00	0.11	-0.00	0.85	0.00
-1.26	-3.18	1.89	-8.89	-0.99	0.80	0.00
-2.52	-4.80	3.78	-7.51	-11.24	1.53	0.00
-3.78	-6.06	5.67	-5.21	-19.06	2.27	0.00
-5.04	-6.71	7.56	-1.99	-23.28	2.97	0.04
-6.30	-6.64	9.45	2.57	-22.53	3.22	1.30
-7.31	-6.06	10.96	6.17	-17.97	1.48	2.31
-8.57	-4.84	12.85	7.97	-8.15	-4.02	3.00
-9.83	-3.36	14.74	4.78	-0.03	-5.15	3.00
-11.09	-1.88	16.63	-0.38	2.85	-7.11	3.00
-12.35	-0.48	18.52	-2.01	0.23	1.41	3.00
Máximos	-0.21	18.90	8.08	2.95	4.14	3.00
	Cota: -12.60 m	Cota: -12.60 m	Cota: -8.32 m	Cota: -10.84 m	Cota: -12.60 m	Cota: -8.06 m
Mínimos	-6.77	-0.00	-8.89	-23.69	-9.21	0.00
	Cota: -5.54 m	Cota: 0.00 m	Cota: -1.26 m	Cota: -5.54 m	Cota: -10.58 m	Cota: 0.00 m

FASE 5: CONSTRUCCIÓN DE FORJADO (COTA: -3.00 M)

BÁSICA

Cota (m)	Desplazamientos (mm)	Ley de axiles (t/m)	Ley de cortantes (t/m)	Ley de momento flector (t·m/m)	Ley de empujes (t/m²)	Presión hidrostática (t/m²)
0.00	-1.52	-0.00	0.11	0.00	0.85	0.00
-1.26	-3.18	1.89	-8.89	-0.99	0.80	0.00
-2.52	-4.79	3.78	-7.50	-11.23	1.54	0.00
-3.53	-5.84	5.29	-5.72	-17.72	2.13	0.00
-4.79	-6.64	7.18	-2.67	-22.72	2.81	0.09
-6.05	-6.71	9.07	1.74	-22.94	3.06	1.35
-7.06	-6.25	10.58	4.51	-19.38	2.92	2.36
-8.32	-5.14	12.47	7.95	-10.30	-3.56	3.30
-9.58	-3.69	14.36	5.67	-1.38	-6.76	3.30
-10.84	-2.20	16.25	1.07	2.81	-8.79	3.30
-12.10	-0.79	18.14	-2.33	0.71	-1.79	3.30
Máximos	-0.24	18.90	7.95	2.81	4.05	3.30
	Cota: -12.60 m	Cota: -12.60 m	Cota: -8.32 m	Cota: -10.84 m	Cota: -0.50 m	Cota: -8.06 m
Mínimos	-6.77	-0.00	-8.89	-23.55	-9.31	0.00
	Cota: -5.54 m	Cota: 0.00 m	Cota: -1.26 m	Cota: -5.54 m	Cota: -10.58 m	Cota: 0.00 m

FASE 6: CONSTRUCCIÓN DE FORJADO (COTA: 0.00 M)

BÁSICA

Cota (m)	Desplazamientos (mm)	Ley de axiles (t/m)	Ley de cortantes (t/m)	Ley de momento flector (t·m/m)	Ley de empujes (t/m²)	Presión hidrostática (t/m²)
0.00	-1.50	-0.00	0.11	0.00	0.87	0.00
-1.26	-3.27	4.39	-5.78	-6.45	0.80	0.00
-2.52	-4.85	6.28	-4.16	-12.68	1.16	1.02
-3.53	-5.83	8.79	-6.09	-16.58	1.42	2.03
-4.79	-6.58	10.68	-0.82	-20.49	1.95	3.29
-6.05	-6.68	12.57	6.56	-16.13	2.10	4.55
-7.06	-6.39	15.08	-4.18	-15.05	2.01	5.50
-8.32	-5.60	16.97	3.88	-13.86	-0.78	5.50
-9.58	-4.39	18.86	6.47	-5.68	-10.40	5.50
-10.84	-2.98	20.75	2.71	-1.12	-7.09	5.50
-12.10	-1.54	22.64	-0.27	0.18	-6.20	5.50
Máximos	-0.96	23.40	9.96	0.25	3.88	5.50
	Cota: -12.60 m	Cota: -12.60 m	Cota: -6.50 m	Cota: -11.84 m	Cota: -0.50 m	Cota: -7.06 m
Mínimos	-6.71	-0.00	-7.83	-20.49	-10.74	0.00
	Cota: -5.54 m	Cota: 0.00 m	Cota: -6.55 m	Cota: -4.79 m	Cota: -9.32 m	Cota: 0.00 m

3.11. RESULTADOS PARA LOS ELEMENTOS DE APOYO

Esfuerzos sin mayorar.

Puntales

Cota: -1.00 m	
Fase	Resultado
Colocación de puntal en la cota -1.00 m	SE PRODUCE DESPEGUE: 0.00 mm
Excavación hasta la cota: -7.00 m	Carga puntual: 46.73 t Carga lineal: 9.35 t/m
Construcción de forjado (Cota: -6.00 m)	Carga puntual: 46.67 t Carga lineal: 9.33 t/m
Construcción de forjado (Cota: -3.00 m)	Carga puntual: 46.64 t Carga lineal: 9.33 t/m

Forjados

Cota: 0.00 m	
Fase	Resultado
Construcción de forjado (Cota: 0.00 m)	Carga lineal: 5.36 t/m

Cota: -3.00 m	
Fase	Resultado
Construcción de forjado (Cota: -3.00 m)	SE PRODUCE DESPEGUE: 0.00 mm
Construcción de forjado (Cota: 0.00 m)	Carga lineal: 4.58 t/m



Cota: -6.00 m	
Fase	Resultado
Construcción de forjado (Cota: -6.00 m)	Carga lineal: 1.33 t/m
Construcción de forjado (Cota: -3.00 m)	Carga lineal: 2.12 t/m
Construcción de forjado (Cota: 0.00 m)	Carga lineal: 17.79 t/m

3.12. DESCRIPCIÓN DEL ARMADO

Armado vertical trasdós	Armado vertical intradós	Armado base horizontal	Rigidizador vertical	Rigidizador horizontal
Ø32c/15	Ø32c/15 Refuerzos: - Ø32 L (855), D (140) D: Distancia desde coronación	Ø25c/20	2 Ø32	6 Ø32

3.13. COMPROBACIONES GEOMÉTRICAS Y DE RESISTENCIA

Referencia: muro		
Comprobación	Valores	Estado
Recubrimiento: <i>Norma EHE. Artículo 37.2.4.</i>	Mínimo: 7 cm Calculado: 7 cm	Cumple
Separación libre mínima armaduras horizontales: <i>Norma EHE-08. Artículo 66.4.1</i>	Mínimo: 2.5 cm Calculado: 17.5 cm	Cumple
Separación máxima armaduras horizontales: <i>Norma EHE, artículo 42.3.1</i>	Máximo: 30 cm Calculado: 20 cm	Cumple
Cuantía geométrica mínima horizontal por cara: <i>Artículo 42.3.5 de la norma EHE</i>	Mínimo: 0.001 Calculado: 0.00409	Cumple
Cuantía mínima mecánica horizontal por cara: <i>Criterio J. Calavera. Muros de contención y muros de sótano. (Cuantía horizontal > 20% Cuantía vertical)</i>	Mínimo: 0.00357 Calculado: 0.00409	Cumple
Longitud de patilla horizontal: <i>La longitud de la patilla debe ser, como mínimo, 12 veces el diámetro. Criterio de J. Calavera, "Manual de Detalles Constructivos en Obras de Hormigón Armado".</i>	Mínimo: 30 cm Calculado: 30 cm	Cumple
Cuantía mínima geométrica vertical cara traccionada: <i>Artículo 42.3.5 de la norma EHE</i>	Mínimo: 0.0012 Calculado: 0.00893	Cumple
- Trasdós:	Calculado: 0.00893	Cumple
- Intradós:	Calculado: 0.00893	Cumple
Cuantía mínima geométrica vertical cara comprimida: <i>Artículo 42.3.5 de la norma EHE</i>	Mínimo: 0.00036 Calculado: 0.00893	Cumple
- Trasdós:	Calculado: 0.00893	Cumple

Referencia: muro		
Comprobación	Valores	Estado
- Intradós:	Calculado: 0.00893	Cumple
Cuantía mínima mecánica vertical cara traccionada: <i>Norma EHE, artículo 42.3.2 (Flexión simple o compuesta)</i>		
- Trasdós:	Mínimo: 0.00128 Calculado: 0.00893	Cumple
- Intradós:	Mínimo: 0.00138 Calculado: 0.01787	Cumple
Cuantía mínima mecánica vertical cara comprimida: <i>Norma EHE, artículo 42.3.2 (Flexión simple o compuesta)</i>	Mínimo: 9e-005 Calculado: 0.00893	Cumple
- Trasdós:	Calculado: 0.00893	Cumple
- Intradós:	Calculado: 0.00893	Cumple
Cuantía máxima geométrica de armadura vertical total: <i>EC-2, art. 5.4.7.2</i>	Máximo: 0.04 Calculado: 0.0268	Cumple
Separación libre mínima armaduras verticales: <i>Norma EHE-08. Artículo 66.4.1</i>	Mínimo: 3.2 cm Calculado: 11.8 cm	Cumple
- Trasdós:	Calculado: 11.8 cm	Cumple
- Intradós:	Calculado: 4.3 cm	Cumple
Separación máxima entre barras: <i>Norma EHE, artículo 42.3.1</i>	Máximo: 30 cm Calculado: 15 cm	Cumple
- Armadura vertical Trasdós:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armadura vertical Intradós:	Calculado: 15 cm	Cumple
Comprobación a flexión compuesta: <i>Comprobación realizada por módulo de pantalla</i>		Cumple
Comprobación a cortante:	Calculado: 35.59 t	
- Criterio norma EHE: <i>Artículo 44.2.3.2.1 (EHE-08)</i>	Máximo: 59.67 t	Cumple
- Criterio norma EH-91: <i>Artículo 39.1.3.2.2 (EH-08)</i>	Máximo: 62.53 t	Cumple
- Criterio norma EC2: <i>Artículo 4.3.2.3 (EUROCÓDIGO-2)</i>	Máximo: 44.81 t	Cumple
Comprobación de fisuración: <i>Artículo 49.2.4 de la norma EHE</i>	Máximo: 0.3 mm Calculado: 0.068 mm	Cumple
Longitud de solapes: <i>Norma EHE-08. Artículo 66.6.2</i>	Mínimo: 2.46 m Calculado: 2.5 m	Cumple
- Base trasdós:	Calculado: 2.5 m	Cumple
- Base intradós:	Calculado: 2.5 m	Cumple
Rigidizadores horizontales:		

Referencia: muro		
Comprobación	Valores	Estado
- Diámetro mínimo: <i>Criterio de CYPE Ingenieros. El diámetro del rigidizador debe ser como mínimo igual al mayor diámetro de la armadura base vertical.</i>	Mínimo: 32 mm Calculado: 32 mm	Cumple
- Separación máxima: <i>Criterio NTE. Acondicionamiento del Terreno, Cimentaciones.</i>	Máximo: 2.5 m Calculado: 2.1 m	Cumple
Rigidizadores verticales:		
- Diámetro mínimo: <i>Criterio de CYPE Ingenieros. El diámetro del rigidizador debe ser como mínimo igual al mayor diámetro de la armadura base vertical.</i>	Mínimo: 32 mm Calculado: 32 mm	Cumple
- Separación máxima: <i>Criterio NTE. Acondicionamiento del Terreno, Cimentaciones.</i>	Máximo: 1.5 m Calculado: 1.25 m	Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		
Información adicional:		
- Sección crítica a flexión compuesta: Cota: -5.54 m, Md: -95.78 t·m, Nd: 0.00 t, Vd: -2.29 t, Tensión máxima del acero: 1.014 t/cm ²		
- Además de la comprobación de cortante propia de la norma, se muestra la de la EH91 y el EC2, pues para espesores relativamente grandes, el criterio de la EHE puede resultar excesivamente restrictivo.		
- Sección crítica a cortante: Cota: -1.26 m		
- Sección con la máxima abertura de fisuras: Cota: -4.79 m, M: -51.23 t·m, N: 0.00 t		
- Los esfuerzos están mayorados y corresponden al ancho total del tramo definido. (Longitud tramo: 2.50 m)		

3.14. COMPROBACIONES DE ESTABILIDAD (COEFICIENTES DE SEGURIDAD)

Referencia: Comprobaciones de estabilidad (Coeficientes de seguridad): muro		
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>	Mínimo: 1.67	
- Excavación hasta la cota: -3.00 m:	Calculado: 3.049	Cumple
- Colocación de puntal en la cota -1.00 m:	Calculado: 4.642	Cumple
- Excavación hasta la cota: -7.00 m:	Calculado: 1.892	Cumple
- Construcción de forjado (Cota: -6.00 m) ⁽¹⁾		No procede
- Construcción de forjado (Cota: -3.00 m) ⁽¹⁾		No procede
- Construcción de forjado (Cota: 0.00 m) ⁽¹⁾		No procede
⁽¹⁾ Existe más de un apoyo.		

Referencia: Comprobaciones de estabilidad (Coeficientes de seguridad): muro		
Comprobación	Valores	Estado
Relación entre el empuje pasivo total en el intradós y el empuje realmente movilizado en el intradós: <i>Valor introducido por el usuario.</i>	Mínimo: 1.67	
Hipótesis básica:		
- Excavación hasta la cota: -3.00 m:	Calculado: 3.404	Cumple
- Colocación de puntal en la cota -1.00 m:	Calculado: 3.496	Cumple
- Excavación hasta la cota: -7.00 m:	Calculado: 1.689	Cumple
- Construcción de forjado (Cota: -6.00 m):	Calculado: 1.778	Cumple
- Construcción de forjado (Cota: -3.00 m):	Calculado: 1.828	Cumple
- Construcción de forjado (Cota: 0.00 m):	Calculado: 1.679	Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		

3.15. COMPROBACIONES DE ESTABILIDAD (CÍRCULO DE DESLIZAMIENTO PÉSIMO)

Referencia: Comprobaciones de estabilidad (Círculo de deslizamiento pésimo): muro		
Comprobación	Valores	Estado
Círculo de deslizamiento pésimo:		
- Combinaciones sin sismo: <i>Valor introducido por el usuario.</i>	Mínimo: 1.8	
- Excavación hasta la cota: -3.00 m: Coordenadas del centro del círculo (-1.95 m; 7.88 m) - Radio: 12.88 m:	Calculado: 8.463	Cumple
- Colocación de puntal en la cota -1.00 m: Coordenadas del centro del círculo (-1.63 m; 7.56 m) - Radio: 12.56 m:	Calculado: 7.697	Cumple
- Excavación hasta la cota: -7.00 m: Coordenadas del centro del círculo (-3.80 m; 3.28 m) - Radio: 16.48 m:	Calculado: 2.46	Cumple
- Construcción de forjado (Cota: -6.00 m) ⁽¹⁾		No procede
- Construcción de forjado (Cota: -3.00 m) ⁽¹⁾		No procede
- Construcción de forjado (Cota: 0.00 m) ⁽¹⁾		No procede
⁽¹⁾ No es necesario comprobar la estabilidad global (círculo de deslizamiento pésimo) cuando en la fase se ha definido algún forjado.		
Se cumplen todas las comprobaciones		
Información adicional:		
- 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, 79.724 t/m en la intersección con dicho círculo. Esto es necesario para garantizar la validez del coeficiente de seguridad calculado.		



Referencia: Comprobaciones de estabilidad (Círculo de deslizamiento pésimo): muro		
Comprobación	Valores	Estado
- Colocación de puntal en 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, 79.514 t/m en la intersección con dicho círculo. Esto es necesario para garantizar la validez del coeficiente de seguridad calculado.		

Resumen de medición (se incluyen mermas de acero)

Elemento	B 400 S, CN (kg)			Hormigón (m³)
	Ø25	Ø32	Total	HA-25, Control Estadístico
Referencia: Muro pantalla de hormigón armado	1506.11	5467.15	6973.26	18.90
Totales	1506.11	5467.15	6973.26	18.90

3.16. MEDICIÓN

Referencia: Muro pantalla de hormigón armado		B 400 S, CN		Total
Nombre de armado		Ø25	Ø32	
Armado vertical trasdós	Longitud (m)		15x4.57	68.55
	Peso (kg)		15x28.85	432.78
Armado vertical trasdós	Longitud (m)		15x10.68	160.20
	Peso (kg)		15x67.43	1011.40
Armado vertical intradós	Longitud (m)		15x4.57	68.55
	Peso (kg)		15x28.85	432.78
Armado vertical intradós	Longitud (m)		15x10.68	160.20
	Peso (kg)		15x67.43	1011.40
Armado vertical intradós - Refuerzos	Longitud (m)		14x8.55	119.70
	Peso (kg)		14x53.98	755.71
Junta lateral positiva	Longitud (m)		4x4.48	17.92
	Peso (kg)		4x28.28	113.14
Junta lateral positiva	Longitud (m)		4x10.68	42.72
	Peso (kg)		4x67.43	269.71
Junta lateral negativa	Longitud (m)		3x4.48	13.44
	Peso (kg)		3x28.28	84.85
Junta lateral negativa	Longitud (m)		3x10.68	32.04
	Peso (kg)		3x67.43	202.28
Armado horizontal	Longitud (m)	63x5.64		355.32
	Peso (kg)	63x21.73		1369.19
Armado rigidizadores verticales	Longitud (m)		2x9.80	19.60
	Peso (kg)		2x61.87	123.74
Armado rigidizadores verticales	Longitud (m)		2x5.29	10.58
	Peso (kg)		2x33.40	66.80
Armado rigidizadores verticales	Longitud (m)		2x9.80	19.60
	Peso (kg)		2x61.87	123.74
Armado rigidizadores verticales	Longitud (m)		2x5.29	10.58
	Peso (kg)		2x33.40	66.80
Armado rigidizadores horizontales	Longitud (m)		12x3.63	43.56
	Peso (kg)		12x22.92	275.01
Totales	Longitud (m)	355.32	787.24	
	Peso (kg)	1369.19	4970.14	6339.33
Total con mermas (10.00%)	Longitud (m)	390.85	865.96	
	Peso (kg)	1506.11	5467.15	6973.26

IV. RESUMEN DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Finalmente y como resumen, las medidas de la pantalla son de 60 mm de espesor y 12'60 metros de profundidad. Se ejecutarán 2 fases de excavación, la primera hasta la cota -3'00, dónde se colocarán apuntalamientos a la cota -1'00 m, cada 5 metros de distancia; y la segunda hasta la cota -7'00. La disposición del armado se detalla en el Anejo de Planos. Se ha de tener en cuenta que el nivel freático se rebajará durante las distintas fases de la obra mediante el uso de Well Points, tal y como se ha detallado en este documento, ya que sin ello se produce un desestabilizamiento en el muro pantalla que aumenta el riesgo de deslizamiento o vuelco del mismo.

La Figura 7 está compuesta por 6 imágenes, donde se observa las distintas fases de excavación, indicando las cargas, las dimensiones de los elementos y la altura del N.F. en cada etapa:

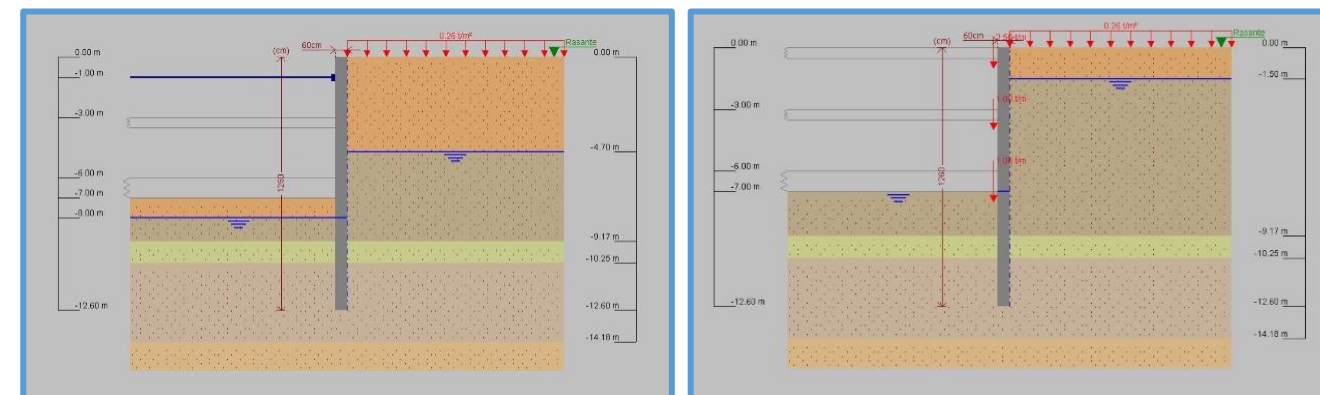
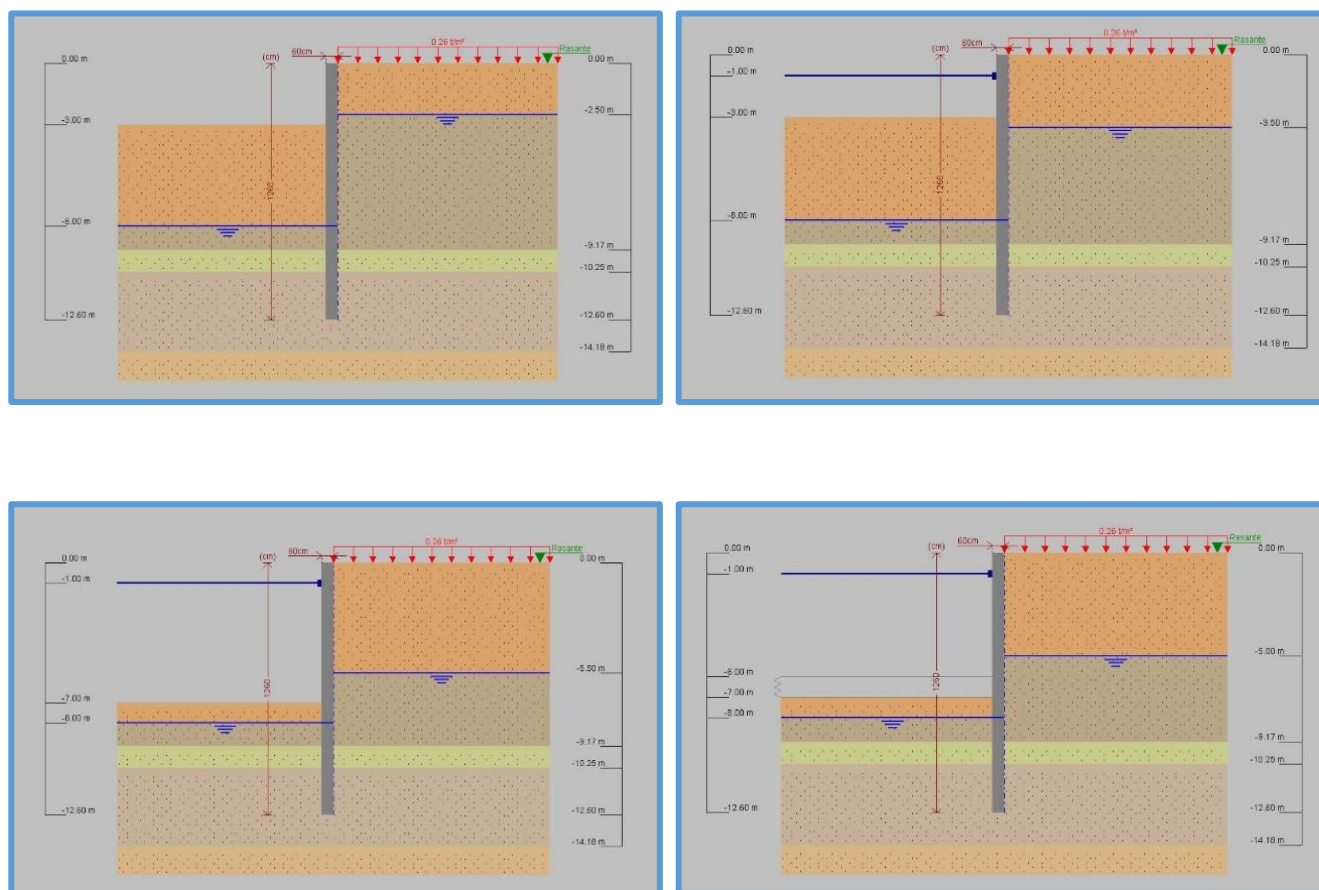


Figura 7. Fases de la excavación, sostenimiento y ejecución de forjados de un aparcamiento subterráneo en el programa Cype. 1/11/2019 FUENTE: propia