



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



# UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos,  
Canales y Puertos

Estudio geotécnico y análisis de soluciones de cimentación  
para la construcción de viviendas en Grañén (Huesca)

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería Civil

AUTOR/A: Seni Delgado, David Isaac

Tutor/a: Torrijo Echarri, Francisco Javier

CURSO ACADÉMICO: 2022/2023

## **1. INDICE**

1. Introducción .....	1
1.1 Objeto.....	1
1.2 Antecedentes .....	1
1.3 Ubicación del proyecto .....	2
1.4 Alcance del proyecto.....	3
2. Estudio Geológico.....	3
2.1 Geología Regional .....	3
2.2 Geología local .....	4
2.3 Geomorfología .....	5
2.4 Sismicidad.....	6
3. Estudio Geotécnico .....	8
3.1 Reconocimiento del terreno y comprobación del estudio realizado con la normativa actual.....	8
4. Trabajos de campo .....	9
4.1 Ensayo de penetración dinámica pesada (DPSH).....	10
5. Cálculo de resultados .....	10
6. Resultados obtenidos .....	12
7. Ensayos de laboratorio.....	13
7.1 Resultados obtenidos .....	14
8. Características de los materiales y perfil litológico del terreno .....	14

8.1 Nivel Freático.....	15
9. Estudio de Soluciones.....	16
9.1 Tipologías de cimentación .....	16
9.2 Estimación de las cargas de cimentación.....	17
9.3 Alternativa 1: Zapatas .....	18
9.4 Alternativa 2: Emparrillados de cimentación .....	19
9.5 Alternativa 3: Losa de cimentación .....	20
9.6 Alternativa 4: Pilotes.....	21
9.7 Justificación y descarte de alternativas propuestas .....	23
9.8 Desglose de cada alternativa.....	25
10. Elección y descripción de la solución.....	32
11. Valoración Económica.....	36
12. Plan de trabajos .....	38
13. Conclusiones .....	39
14. Referencias.....	40
15. Anexos .....	42

### **Lista de tablas**

Tabla 3.1 Tipo de construcción (CTE-DB-SE-C, 2019).....	8
Tabla 3.2 Grupo de terreno (CTE-DB-SE-C, 2019).....	9
Tabla 9.1 Presión máxima transmitida por carga estimada de pilar a diferentes anchos de cimentación (kPa). .....	29
Tabla 9.2 Cargas admisibles para zapata cuadrada en unidad geotécnica 1. ....	29
Tabla 9.3 Cargas admisibles para zapata cuadrada en unidad geotécnica 2. ....	29
Tabla 9.4 Asientos esperados para las cargas admisibles calculadas en la unidad geotécnica 2..	30
Tabla 9.5 Cargas admisibles para losa de cimentación en la unidad geotécnica 1. ....	31
Tabla 9.6 Cargas admisibles para losa de cimentación en la unidad geotécnica 2. ....	31
Tabla 9.7 Asientos en losa de cimentación de 24 metros de ancho para distintos empotramientos. .....	32

## **Lista de figuras**

Figura 1 Ubicación de la zona de Estudio Fuente: Google Earth Pro. ....	2
Figura 2.1. Leyenda estratigrafía Carta de Grañén. Fuente: Instituto Geológico y Minero de España.....	5
Figura 9.1 Zapata aislada centrada. Fuente: YEPES, V. (2016). Procedimientos de construcción de cimentaciones y estructuras de contención. Editorial Universitat Politècnica de València. ....	19
Figura 9.2 Esquema de emparrillado de cimentación Fuente: <a href="http://www.elconstructorcivil.com/">http://www.elconstructorcivil.com/</a> .....	20
Figura 9.3 Tipología de losas de cimentación, Fuente CTE BD SE-C.....	21
Figura 9.4 Pilotes por fuste, Fuente CTE DB SE-C .....	22
Figura 9.5 Pilotes por punta, Fuente CTE DB SE-C .....	23
Figura 9.6 Valores orientativos del coeficiente de poisson. Fuente CTE DB SE-C.....	28
Figura 10.1 Definición en planta y alzado para la zapata aislada rígida.....	33
Figura 10.2 Zapata de medianería mediante la reacción del primer forjado. ....	34
Figura 11.1 Distribución en planta asumida para valoración económica .....	37
Figura 11.2 Resolución de cimentación.....	37
Figura 12.1 Plan de trabajos para la cimentación de un edificio de 5 plantas. ....	38

## **1. Introducción**

### **1.1 Objeto**

El objeto de este estudio es plantear una alternativa de cimentación con los resultados obtenidos en la campaña geotécnica ejecutada en un solar de la calle San Julián en el municipio de Grañén Huesca.

El informe se basa en la ejecución de 2 sondeos geotécnicos de 10,30 metros de profundidad máxima con sus correspondientes ensayos de campo y laboratorio; y nueve ensayos de penetración dinámica pesada o tipo DPSH.

Con los datos recopilados, interpretaciones y resultados obtenidos, se busca determinar naturaleza del terreno y evaluar las opciones para proyectar edificaciones a modo de referencia en este proyecto se asumirá que el edificio a edificar cuenta es de 5 plantas.

### **1.2 Antecedentes**

En el año 2005 la empresa ahora extinta GEOPAYMA S.A.U. por orden del ayuntamiento de Grañén realiza un estudio geotécnico en el solar de la calle San Julián de Grañén (Huesca).

El estudio se basa en dos sondeos geotécnicos de 10,30 m de profundidad máxima con sus correspondientes ensayos de campo y laboratorio y nueve ensayos de penetración dinámica pesada o tipo DPSH. En el momento de la realización de los trabajos la

*Estudio geotécnico y análisis de soluciones de cimentación para la construcción de viviendas en Grañén*  
(Huesca)

superficie del terreno se presentaba horizontal, por lo que puede decirse que todos los ensayos se iniciaron a la misma cota.

### **1.3 Ubicación del proyecto**

El emplazamiento de la zona al objeto de estudio se localiza en el municipio de Grañén, en la provincia de Huesca como se puede ver en la siguiente imagen.



*Figura 1 Ubicación de la zona de Estudio Fuente: Google Earth Pro.*

## **1.4 Alcance del proyecto**

La finalidad de este trabajo de investigación es determinar la solución más adecuada de cimentación teniendo en cuenta las características geológicas y geotécnicas de la zona donde se emplazará el edificio de viviendas, para ello se pretende seguir esta serie de criterios:

- Geología de la zona.
- Investigaciones de campo.
- Trabajos de laboratorio.
- Descripción y análisis de los parámetros geotécnicas del terreno.
- Estudio de soluciones para la cimentación.

## **2. Estudio Geológico.**

### **2.1 Geología Regional**

En base al Instituto Geológico y Minero de España la hoja de Grañén se encuentra en la provincia de Huesca, al sur de la capital, y está situada entre el Somontano de Huesca y la Sierra de Alcubierre. En esta región, se observa la presencia predominante de rocas sedimentarias terciarias y cuaternarias. Estas últimas constituyen una parte significativa del territorio, siendo los sasos o sardas, formaciones modeladas en depósitos cuaternarios, una característica notable entre los relieves de la Sierra de Alcubierre y las terrazas del río Flumen.



Hacia el noreste del río Flumen, se localiza un área con afloramientos de rocas terciarias, coronada por las terrazas altas del río Guatizalema.

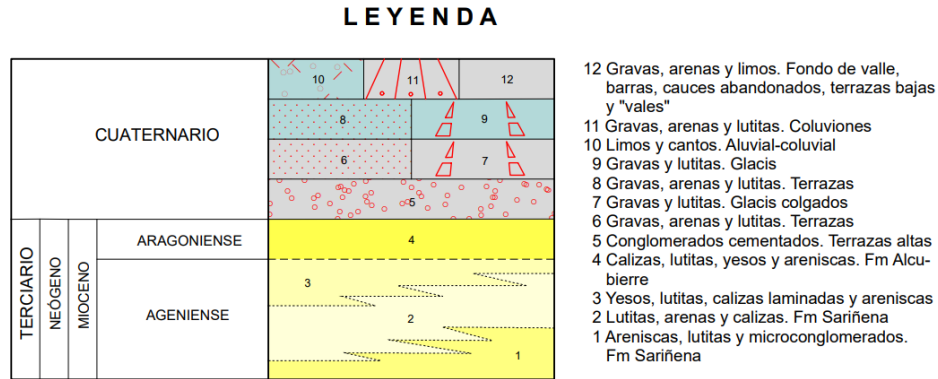
Desde una perspectiva geológica regional, Grañén se encuentra en la parte septentrional de la cuenca del Ebro, que se ha llenado de sedimentos marinos del final del Eoceno y depósitos continentales endorreicos. Todo esto se puede observar con más detalle en el mapa geológico proporcionado por el Instituto Geológico y Minero de España en el Anexo I.

## **2.2 Geología local**

En la zona de estudio, de acuerdo con el mapa geológico adjunto en el Anexo I, se identifican diversos tipos de formaciones geológicas. En particular, se observan depósitos del Cuaternario, que incluyen limos y cantos, presentes en las terrazas más bajas, laderas y áreas de acumulación aluvial y coluvial más recientes. Además, en esta área también se encuentran estratos pertenecientes al Terciario, como areniscas, lutitas y microconglomerados.

En la figura 2 que se presenta a continuación se puede observar de forma más detallada de la estratigrafía y la información geológica específica de la zona de estudio, que se encuentra en el mapa geológico adjunto en el Anexo I.

*Estudio geotécnico y análisis de soluciones de cimentación para la construcción de viviendas en Grañén*  
(Huesca)



**Figura 2.1. Leyenda estratigrafía Carta de Grañén. Fuente: Instituto Geológico y Minero de España**

### 2.3 Geomorfología

El Somontano de Huesca, dentro de la Depresión del Ebro, presenta una extensa cobertura de depósitos superficiales en conjunto con una diversificada red de acequias y canales que permiten el desarrollo extendido de la agricultura.

Las principales variaciones orográficas se producen en las transversales NE-SO, perpendiculares a las franjas litológicas y al trazado de los ríos Guatzalema y Flumen, ambos afluentes del río Alcanadre.

La evolución del relieve está muy condicionada por la excavación del río Flumen. A lo largo de la Historia Geomorfológica que ha podido ser reconstruida, este río ha presentado un perfil a menor cota que el Guatzalema.

La disposición de las terrazas aluviales T4 de Las Cerveras es menor que la inclinación de la vertiente actual, indicando que la vertiente derecha del Flumen ha incrementado progresivamente su inclinación. Del mismo modo, la disposición de las terrazas de ambos ríos muestra un encajamiento progresivo del cauce a partir de la T4.

Puede esperarse una tendencia futura de encajamiento del Flumen aguas arriba de la ruptura de pendiente que presenta su perfil. La red de barrancos que corta los glacis G3 es activa en la actualidad, sobre todo en la vertiente izquierda del Flumen, donde presentan erosión lineal y procesos de carcavamiento asociados. En esta área, la erosión remontante de la cabecera de los barrancos induce el retroceso hacia el norte de la divisoria de aguas con el Guatizalema. Estos procesos, propios de esta región de clima semiárido, han sido favorecidos históricamente por la tala de bosques con finalidades agrícolas (hoy sólo quedan reductos aislados de coníferas centrado sobre todo en las laderas de la sierra de Alcubierre).

#### **2.4 Sismicidad**

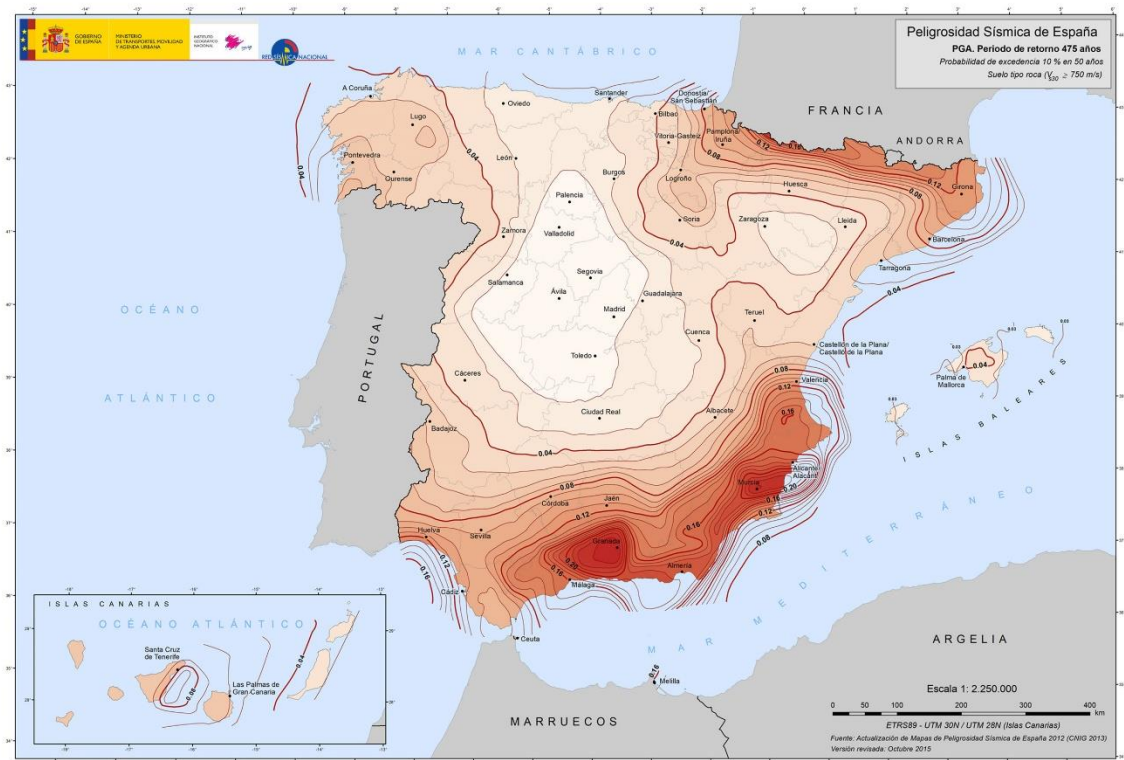
La aceleración provocada por los terremotos se describe mediante la fórmula:  $a = S \times \rho \times ab$ . Aquí,  $\rho$  es un factor que evalúa el riesgo según el tiempo de vida considerado para la estructura, y  $S$  es un coeficiente que amplifica el efecto del terreno, dependiendo de  $\rho \times ab$ .

En términos de actividad sísmica, el municipio de Grañén en Huesca, de acuerdo con la norma NCSE02 (Parte General y Edificación), tiene una aceleración sísmica básica

*Estudio geotécnico y análisis de soluciones de cimentación para la construcción de viviendas en Grañén  
(Huesca)*

(ab) de 0,04 g. La aceleración sísmica calculada (ac) se determina considerando el tipo de edificación y el período de vida correspondiente. Si el valor de ac es igual o mayor a 0.06 g, se requiere seguir las pautas de la mencionada normativa.

Las zonas sísmicas del territorio español se encuentran divididas de la siguiente forma:



**Figura 3. Mapa de peligrosidad sísmica de España 2015 (en valores de aceleración) Fuente:**

**Instituto Geográfico Nacional**

### **3. Estudio Geotécnico**

#### **3.1 Reconocimiento del terreno y comprobación del estudio realizado con la normativa actual.**

Para garantizar la adecuada cimentación de la edificación, se seguirán los procedimientos establecidos en el apartado 3 del Código Técnico Estructural Documento Básico de Seguridad Estructural en Cimientos (CTE-DB-SE-C). El objetivo es verificar que el estudio geotécnico previamente realizado cumple con las regulaciones actuales.

El primer paso en este proceso de reconocimiento consiste en caracterizar tanto el tipo de construcción que se planea llevar a cabo como las características del terreno presente en el solar. Esto se realizará siguiendo las directrices establecidas en las Tabla

3.1 y Tabla 3.2

<b>Tipo</b>	<b>Descripción <sup>(1)</sup></b>
C-0	Construcciones de menos de 4 plantas y superficie construida inferior a 300 m <sup>2</sup>
C-1	Otras construcciones de menos de 4 plantas
C-2	Construcciones entre 4 y 10 plantas
C-3	Construcciones entre 11 a 20 plantas
C-4	Conjuntos monumentales o singulares, o de más de 20 plantas.

<sup>(1)</sup> En el cómputo de plantas se incluyen los sótanos.

***Tabla 3.1 Tipo de construcción (CTE-DB-SE-C, 2019)***

Grupo	Descripción
T-1	Terrenos favorables: aquellos con poca variabilidad, y en los que la práctica habitual en la zona es de cimentación directa mediante elementos aislados.
T-2	Terrenos intermedios: los que presentan variabilidad, o que en la zona no siempre se recurre a la misma solución de cimentación, o en los que se puede suponer que tienen rellenos antrópicos de cierta relevancia, aunque probablemente no superen los 3,0 m.
T-3	Terrenos desfavorables: los que no pueden clasificarse en ninguno de los tipos anteriores. De forma especial se considerarán en este grupo los siguientes terrenos: <ul style="list-style-type: none"><li>a) Suelos expansivos</li><li>b) Suelos colapsables</li><li>c) Suelos blandos o sueltos</li><li>d) Terrenos kársticos en yesos o calizas</li><li>e) Terrenos variables en cuanto a composición y estado</li><li>f) Rellenos antrópicos con espesores superiores a 3 m</li><li>g) Terrenos en zonas susceptibles de sufrir deslizamientos</li><li>h) Rocas volcánicas en coladas delgadas o con cavidades</li><li>i) Terrenos con desnivel superior a 15°</li><li>j) Suelos residuales</li><li>k) Terrenos de marismas</li></ul>

**Tabla 3.2 Grupo de terreno (CTE-DB-SE-C, 2019)**

En el caso de este proyecto se supone un edificio de 5 plantas por lo que el tipo de construcción es C-2; y teniendo en cuenta que en la zona de Grañén el terreno tiene muy poca variabilidad y es muy frecuente la práctica de cimentaciones directas se puede considerar el terreno como T-1.

#### **4. Trabajos de campo**

Es preciso mencionar que los trabajos de campo de esta campaña geotécnica se realizaron en el año 2005, pero para el objetivo específico de esta investigación se considerarán válidos debido a la presunta poca variabilidad que pudo haber experimentado el terreno en este lapso.

Se realizaron dos sondeos geotécnicos de 10,30 m de profundidad máxima siendo 20,30 m la cantidad de metros lineales totales perforados y nueve ensayos de penetración dinámica tipo pesada o tipo DPSH.

#### **4.1 Ensayo de penetración dinámica pesada (DPSH).**

En el ensayo tipo DPSH la puntaza es prismática, de base circular, con un área de 20 cm<sup>2</sup>, una altura de 71 mm y ángulo de 45° en el vértice. El varillaje tiene un diámetro de 32 mm y la maza tiene un peso de 63,5 Kg. y se deja caer desde una altura de 50 cm.

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

El ensayo se inicia clavando en el terreno la puntaza utilizada hasta alcanzar los primeros 20 cm. Una vez hincada la puntaza se coloca el anillo-guía en su posición definitiva en la base del equipo y se continua la penetración.

### **5. Cálculo de resultados**

Para el cálculo de los resultados no deben incluirse los valores obtenidos en los 40-60 cm superiores, ya que corresponden a la fase de hincada de la puntaza y al tramo de terreno con bajo confinamiento por lo que los golpes pueden presentar anomalías.

Basándose en los resultados del ensayo de penetración dinámica DPSH, se puede estimar la resistencia dinámica del terreno utilizando la fórmula holandesa de hincada:

*(Huesca)*

$$Qd = \frac{Pm^2 * H}{(Pm + Pn) * A * \frac{20}{n20}}$$

Donde:

Qd = Resistencia dinámica unitaria en kg/cm<sup>2</sup>.

Pm = Peso de la maza (65 kg.)

H = Altura de caída libre (50 cm).

Pp = Peso de la puntaza y cabeza de golpeo (1,5 kg) + varillas (8,84 kg/m).

A = Sección de la puntaza (16 cm<sup>2</sup>).

20/n20 = Penetración por golpe (cm).

A partir del valor de la resistencia dinámica Qd se puede estimar la resistencia estática unitaria RP.

Los coeficientes de transformación dependen fundamentalmente de la naturaleza de terreno y de su estado en el momento de realizar el ensayo.

La carga admisible del terreno puede estimarse a partir de la resistencia estática unitaria Rp según diversas correlaciones (véase Meyerhof, 1957).

Las tablas correspondientes a los ensayos de penetración pesada (DPSH) se pueden observar en el anexo 3.



## **6. Resultados obtenidos**

A continuación, se describen los materiales encontrados en los sondeos y cuyas unidades estratigráficas se definen en el Anexo 5. Perfil Geotécnico.

### **Sondeo 1: profundidad 0,00 – 10,00 m**

#### **De 0,00 a 0,30 m. Trama nº 24**

Tierra vegetal. Limos arenosos de color marrón.

#### **De 0,30 a 1,20 m. Trama nº 3**

Arenas de color marrón con alguna intercalación centimétrica arcillosa.

#### **De 1,20 a 7,30 m. Trama nº 4**

Areniscas de color marrón oscuro a grises, de tamaño de grano medio a grueso a base con intercalaciones argilíticas centimétricas.

#### **De 7,30 a 10,00 m. Trama nº 4**

Alternancia de areniscas de color gris con argilitas de color marrón claro a gris.

### **Sondeo 2: profundidad 0,00 – 10,00 m**

#### **De 0,00 a 1,80 m. Trama nº 3**

Arenisca de color gris de grano grueso.

#### **De 1,80 a 3,00 m. Trama nº 1**

Argilitas de color marrón a gris. Consistencia media - dura.

#### **De 3,00 a 3,80 m. Trama nº 4**

Areniscas de color marrón oscuro a grises, de tamaño de grano medio a grueso a base con intercalaciones argilíticas centimétricas.

**De 3,80 a 6,00 m. Trama nº 1**

Argilitas de color marrón a grisáceo con alguna intercalación centimétrica de areniscas grises de grano medio.

**De 6,00 a 6,25 m. Trama nº 4**

Areniscas de color gris de grano medio.

**De 6,25 a 7,20 m. Trama nº 1**

Argilitas de color marrón a gris. Consistencia dura.

**De 7,20 a 7,80 m. Trama nº 4**

Areniscas de color gris de grano fino.

**De 7,80 a 10,00 m. Trama nº 1**

Argilitas de color marrón a gris con intercalaciones decimétricas de areniscas grises de grano medio (de 9,6 a 9,8 y de 8,95 a 9,15)

## **7. Ensayos de laboratorio**

Las muestras obtenidas de los sondeos fueron sometidas a ensayos de laboratorio.

Los ensayos realizados fueron los siguientes:

- Determinación de la densidad mediante el método de la balanza hidrostática regulado por la normativa UNE 103301:1994.
- Ensayo de compresión simple (UNE 22950-1:1990; UNE 103400:1993)

### 7.1 Resultados obtenidos

En la siguiente tabla se pueden ver los resultados obtenidos de las muestras ensayadas en laboratorio.

Sondeo n°	Prof. (m)	Compresión simple		$\gamma_d$ (g/cm <sup>3</sup> )
		qu (kg/cm <sup>2</sup> )	Def. (%)	
1	1'20-1'75	1,34	3,46	2,35
2	2,40-2,70	25,64	3,41	2,39

Table 7.1 Resultados obtenidos tras ensayos de laboratorio.

### 8. Características de los materiales y perfil litológico del terreno

De los sondeos y ensayos de penetración realizados se desprende la existencia de un sustrato rocoso que se extiende al menos hasta 10,3 metros, recubierto por un nivel arenoso de 0,90-2,00 metros de espesor.

Las propiedades geotécnicas de estos materiales son las siguientes:

NIVEL	Descripción litológica	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	qu (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\theta'$ (°)	C' (kPa)	E (kPa)
I	Arenas y limos arenosos	14,61 (*)	--	30 (*)	--	--
II	Sustrato rocoso	23,24	1,34-25,64	25	137,29	> 3500000

(\*) Estimado a partir de bibliografía

***Table 8.1 Propiedades geotécnicas de los materiales presente en los sondeos.***

Por ende, el perfil del terreno donde se prevé ejecutar la cimentación está constituido fundamentalmente por dos niveles de unidades geotécnicas que se describen a continuación.

### **Unidad geotécnica 1: Arenas y limos arenosos**

Este nivel presenta una potencia máxima del orden de 2,00 y está constituido por limos arenoso y arena de color marrón claro.

### **Unidad geotécnica 2: Sustrato rocoso**

Esta unidad está constituida por una alternancia de areniscas y argilitas de colores grises y marrones que aparecen debajo de la unidad geotécnica 1.

#### **8.1 Nivel Freático**

No se detectó nivel de agua en ninguno de los ensayos alcanzándose una profundidad máxima en torno a 10,30 m de profundidad.

## **9. Estudio de Soluciones**

Después de llevar a cabo una detallada caracterización geológica y geotécnica, estamos listos para adentrarnos en el análisis de posibles soluciones de cimentaciones para el edificio de viviendas.

Para la elección de la tipología de cimentación más adecuada se tendrán en cuenta los siguientes criterios:

- Criterio económico

Este criterio pretende valorar de forma positiva aquellas alternativas que supongan un menor coste de ejecución.

- Criterio técnico constructivo

Con este criterio se calificarán de forma positiva las alternativas que sean más viables, y de fácil ejecución para este proyecto en específico, teniendo en cuenta que la alternativa propuesta sea posible de ejecutar.

- Criterio geotécnico

Se analizará el tipo de terreno sobre el que se va a realizar la cimentación.

### **9.1 Tipologías de cimentación**

En primer lugar, se definirán las categorías principales de cimentaciones que se estudiarán dentro del proyecto, las cuales son cimentaciones superficiales y profundas.

### **Cimentaciones superficiales**

Esta tipología es comúnmente utilizada cuando la carga de la estructura se puede transmitir de manera efectiva al suelo cercano a la superficie, los esfuerzos se transmiten a través de su base de contacto y suelen ser las más utilizadas en proyectos de edificación debido a su facilidad de ejecución. Son cimentaciones que se encuentran a una profundidad relativamente pequeña, en este proyecto será considerada cimentación superficial cuando su profundidad no supere 2 veces su ancho. Algunos ejemplos de cimentaciones superficiales son las zapatas, emparrillados y losas de cimentación.

Para este tipo de cimentaciones se utilizarán los siguientes criterios para dimensionarlas.

### **Cimentaciones profundas**

Se emplean cuando el suelo superficial no tiene la capacidad de soportar la carga de la estructura, por medio de este tipo de cimentación es necesario transferir la carga a capas de suelo más resistentes y estables. Algunos ejemplos de cimentaciones profundas son los pilotes, micropilotes, tablestacas.

## **9.2 Estimación de las cargas de cimentación.**

Primero se procede a realizar una estimación del área de los pilares para este edificio, teniendo en cuenta que es una edificación sin sótano de 5 plantas más una cubierta; a su vez suponiendo que entre pilares habrá una separación que rondarán los 4,5 metros en ambas direcciones y un peso para cada forjado de 1Tn/m<sup>2</sup>. Con estos datos obtenemos que los pilares aproximados para la edificación pueden ser de 0,40x0,40m.

Con la siguiente expresión basada en el cálculo de esfuerzos en pilares del libro números gordos podemos estimar el axil que transmitirá cada pilar a la cimentación

$$N = F * A * n$$

Siendo:

N = Axil transmitido a la cimentación (kN)

A = Área de influencia del pilar

n = número de plantas por encima del pilar considerado

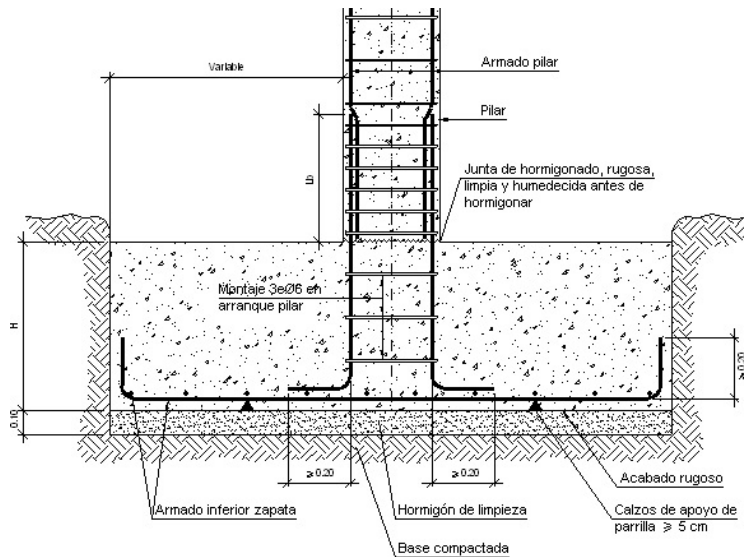
$$N = \frac{1Tn}{m^2} * 20,25m^2 * 5 = 101,25T \approx 1012,5kN$$

### **9.3 Alternativa 1: Zapatas**

La cimentación por zapata es una alternativa de diseño robusta y eficiente para soportar las cargas de una estructura al transmitir las al suelo circundante de manera uniforme. Esta técnica es utilizada cuando el terreno es firme y competente, se puede cimentar con una presión media/alta, con este tipo de cimentación se esperan unos asentamientos pequeños o moderados. Las zapatas son elementos estructurales de concreto que se colocan debajo de las columnas o muros de una edificación, y su diseño varía según las características del suelo, las cargas que deben soportar y la ubicación de la zapata.

La cimentación normal de los pilares de un edificio estará hecha en zapatas aisladas o combinadas. Para este proyecto se propone que las zapatas interiores y las de esquina

sean de tipo cuadradas, las de medianera serán de planta rectangular con la mayor dimensión paralela a la medianera.

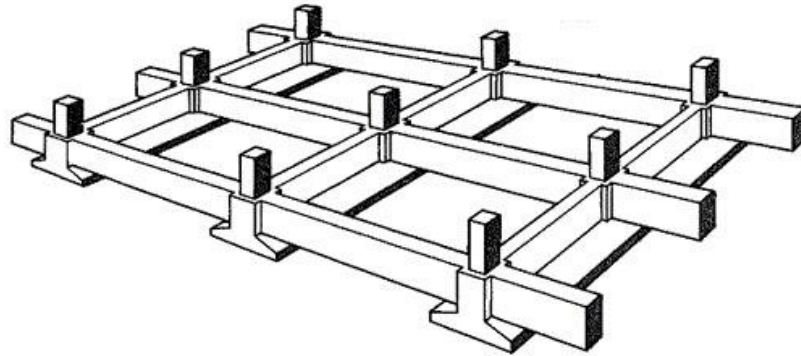


*Figura 9.1 Zapata aislada centrada. Fuente: YEPES, V. (2016). Procedimientos de construcción de cimentaciones y estructuras de contención. Editorial Universitat Politècnica de València.*

#### **9.4 Alternativa 2: Emparrillados de cimentación**

Esta alternativa abarca todos los pilares de la estructura en una única cimentación, consiste en una losa de concreto armado en la que se disponen vigas y columnas cortas, formando una especie de rejilla o retícula. Este tipo de cimentación es útil en terrenos con capacidad de carga moderada o donde se busque reducir el asentamiento diferencial del suelo. Los emparrillados pueden ser una cimentación interesante cuando existan acciones sísmicas y cuando sea necesario contrarrestar el momento volcador.





*Figura 9.2 Esquema de emparrillado de cimentación Fuente:<http://www.elconstructorcivil.com/>*

### **9.5 Alternativa 3: Losa de cimentación**

Esta cimentación es recomendable cuando la suma de las áreas de contacto de las zapatas excede el 50% del área cubierta por la cimentación. Minimizan la posibilidad de hundimientos, asentamientos diferenciales o desplazamientos no deseados. Son adecuadas cuando la capacidad portante del terreno es baja (menor a 150 kN/m<sup>2</sup>). Esta solución puede ser conveniente cuando el edificio contenga sótanos y su cota inferior se sitúe por debajo del nivel freático.

(Huesca)

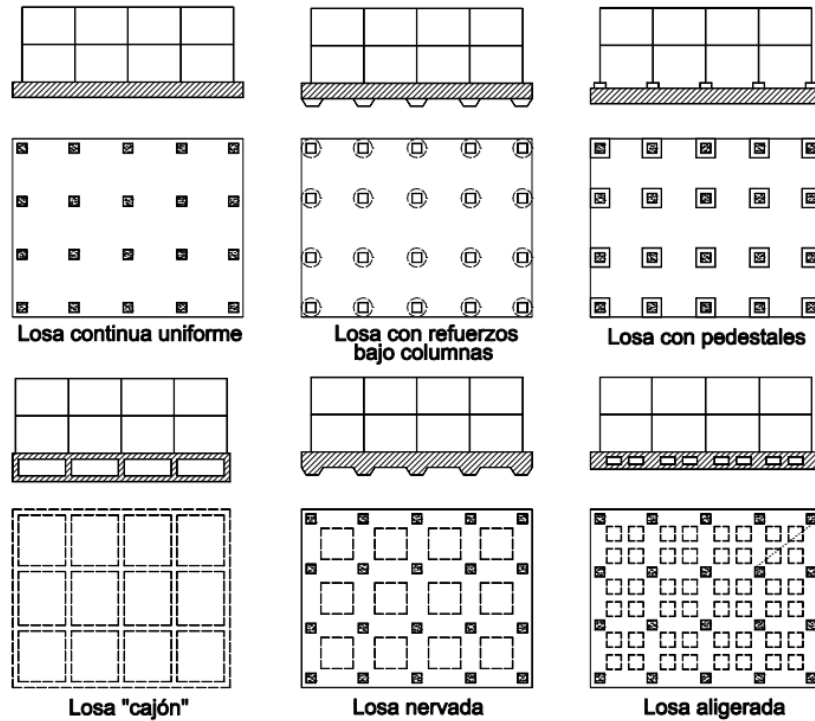


Figura 9.3 Tipología de losas de cimentación, Fuente CTE BD SE-C

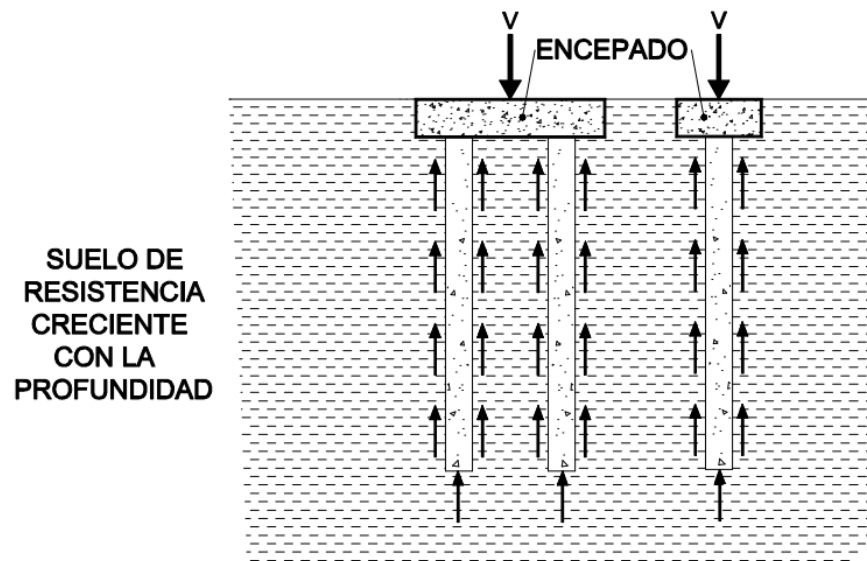
## 9.6 Alternativa 4: Pilotes

Esta alternativa de cimentación profunda se utiliza cuando el terreno firme y competente se encuentra a gran profundidad por lo que no es posible realizar una cimentación superficial. El pilote es un elemento largo vertical que transmite las cargas a través del rozamiento del perímetro exterior (fuste del pilote) al suelo y también a través de la punta sobre un estrato resistente.

En función de la forma de trabajo del pilote, se pueden clasificar de la siguiente manera:

### **Pilotes por fuste**

Este tipo de pilotes se utilizan en aquellos terrenos en los que no exista un nivel resistente al que transmitir la carga del pilotaje, estos transmiten la carga al terreno por rozamiento a través del fuste. Se conocen también como pilotes flotantes.



*Figura 9.4 Pilotes por fuste, Fuente CTE DB SE-C*

### **Pilotes por punta**

Este tipo de pilotes alcanzan un estrato resistente y transmiten la carga por la punta del pilote, también conocidos como pilotes columna.

(Huesca)

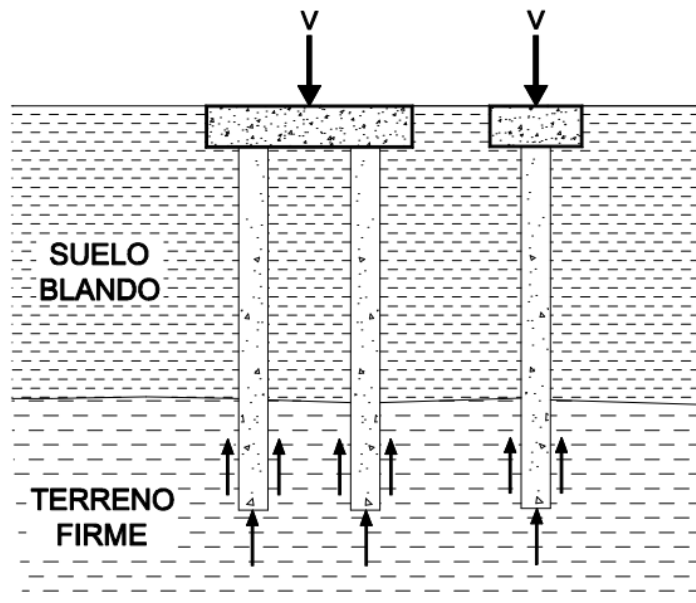


Figura 9.5 Pilotes por punta, Fuente CTE DB SE-C

### 9.7 Justificación y descarte de alternativas propuestas

Después de haber analizado las diferentes alternativas de cimentación propuestas y teniendo en cuenta los datos del terreno, la ausencia de nivel freático y que la edificación que se va a cimentar es un edificio de 4 plantas sin excavación de sótanos, se ha llegado a las siguientes conclusiones sobre las alternativas a estudiar más a fondo:

Es factible llevar a cabo excavaciones para todas las posibles opciones de cimentación que hemos considerado. Sin embargo, al analizar la naturaleza de la estructura que se va a cimentar y teniendo en cuenta que existe un estrato de suelo firme a menos de 5 metros de profundidad, la elección de una cimentación profunda mediante

pilotes se percibe como una alternativa costosa e innecesaria. Por lo tanto, se ha decidido descartar automáticamente esta opción.

En contraste las zapatas pueden ser idóneas para este caso debido a la buena resistencia del terreno, y a la cohesión que permiten excavaciones con taludes casi verticales con profundidades de hasta 2-2,5 metros. Estas se pueden plantear perfectamente y resultarían una tipología de cimentación de bajo coste con gran facilidad ejecución, al ser una zona con una aceleración sísmica básica inferior a 0,04g, las cimentaciones superficiales presentan pocos problemas en su comportamiento.

La elección de una losa de cimentación se recomienda principalmente en casos donde el edificio cuente con un sótano por debajo del nivel freático o cuando se enfrenta a terrenos menos resistentes o con variaciones heterogéneas. En el contexto de este proyecto, ninguna de estas condiciones se aplica. Sin embargo, sería una opción viable y sensata si, al realizar los cálculos, se determina que la superficie de cimentación necesaria abarca más de la mitad del área total del edificio.

Los emparrillados de cimentación se sugieren generalmente para situaciones similares a las que aplican para una losa de cimentación. No obstante, en este proyecto, estamos considerando inicialmente eliminar las vigas de atado. Además, en el contexto español, el uso de emparrillados de cimentación no es tan frecuente como otras alternativas. Por lo tanto, hemos decidido descartar esta opción en esta etapa del diseño.

## 9.8 Desglose de cada alternativa

### Tensión admisible por hundimiento según Brinch-Hansen

Para el cálculo de cimentaciones superficiales es importante tener en cuenta la carga de hundimiento que se puede calcular según la expresión de Brinch-Hansen.

$$q_h = c_k * N_c * d_c * s_c * i_c * t_c + q_{0K} * N_q * d_q * s_q * i_q * t_q + \frac{1}{2} B * \gamma_K * N_\gamma * d_\gamma * s_\gamma * i_\gamma * t_\gamma$$

En base al anejo F del CTE DB SE-C, la presión de hundimiento se expresará en términos de tensiones efectivas, y como el nivel freático se encuentra a una profundidad mayor que el ancho B, bajo la base de la cimentación se usará el peso específico aparente para este cálculo.

Siendo:

$q_h$  = Carga de hundimiento (kPa)

$N_c$  ;  $N_q$  ;  $N_\gamma$  = Factores de capacidad de carga

$$N_q = e^{\pi \text{tg} \phi} \text{tg}^2 \left( 45 + \frac{\phi}{2} \right)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi'$$

$$N_\gamma = 2(N_q - 1) \text{tg} \phi'$$

$s_c$  ;  $s_q$  ;  $s_\gamma$  = Factores de corrección por la geometría de la cimentación

$i_c$  ;  $i_q$  ;  $i_\gamma$  = Factores de corrección por la inclinación de las cargas

$d_c$  ;  $d_q$  ;  $d_\gamma$  = Factores de corrección por la profundidad de la cimentación,

habitualmente, del lado de la seguridad  $d_c = d_q = d_\gamma = 1$ .

$c_k$  = Cohesión (kPa)

$q_{0K}$  = Carga a nivel del plano de cimentación (kPa); usualmente  $q = \gamma \cdot D$

$\gamma$  = Peso específico (densidad) del terreno (kN/m<sup>3</sup>)

$B$  = Ancho de la cimentación (m)

$D$  = Empotramiento de la cimentación (m)

### **Unidad geotécnica 1 Arenas y limos arenosos**

Esta unidad geotécnica presenta características de un suelo granular con finos por lo que se asume una cohesión efectiva nula debido a estas condiciones la expresión queda reducida de la siguiente forma:

$$q_h = \gamma * D * N_q * s_q + \frac{1}{2} B * \gamma * N_\gamma * s_\gamma$$

Con el dato de peso específico del terreno para esta unidad geotécnica y para un ángulo de rozamiento interno de 29° los factores de carga toman los siguientes valores  $N_q = 16.44$ ;  $N_\gamma = 17.12$ . La cimentación es horizontal y recibe cargas verticales perpendiculares a la misma. Se considera de forma conservadora que  $s_q = 1$  y  $s_\gamma = 0,7$ . Rellenando los parámetros nos queda la siguiente expresión.

$$q_h = 268.82 * D + 102,73B$$

Aplicando un factor de seguridad  $F = 3$

$$q_h = 89.61 * D + 34.24B$$

### **Unidad geotécnica 2 sustrato rocoso**

Para el cálculo de la presión última de rotura ( $q_{ult}$ ), válida para suelos y rocas muy fracturadas (en nuestro caso RQD variable entre 35 y 93) se puede utilizar la misma expresión analítica definida previamente, esta vez usando los datos correspondientes a la Unidad geotécnica 2 ( $\gamma = 23,24 \text{Kn/m}^3$ ;  $\phi' = 25^\circ$ ;  $c' = 137,29 \text{kPa}$ ). Aplicando un factor de seguridad  $F = 3$  la expresión queda definida de la siguiente forma.

$$q_h = 82.58 * D + 24.43B + 948.23$$

### **Asientos en cimentaciones flexibles con área rectangular**

Para el cálculo de los asientos que puede producir la cimentación se utilizará la fórmula del cálculo elástico

$$s = \frac{2}{\pi} * R * \frac{q_0(1 - \nu^2)}{E}$$

Donde:

$s$  = Asiento (m)

$q_0$  = Tensión de contacto (kPa)

$R = B \operatorname{arcsenh}(L/B) + L \operatorname{arcsenh}(L/B)$  (m)

$E$  = Módulo de deformación elástico (kPa)

$\nu$  = Coeficiente de Poisson

### **Asientos en cimentaciones rígidas con área rectangular**

$$s = \frac{V(1 - \nu^2)}{E * 1,25 * \sqrt{B * L}}$$



Donde:

s = Asiento (m)

V = Carga sobre la cimentación (kN)

B = Ancho de cimentación (m)

L = Largo de cimentación (m)

E = Módulo de deformación elástico (kPa)

v = Coeficiente de Poisson

Tipo de suelo	Coeficiente de Poisson
Arcillas blandas normalmente consolidadas	0,40
Arcillas medias	0,30
Arcillas duras preconsolidadas	0,15
Arenas y suelos granulares	0,30

Figura 9.6 Valores orientativos del coeficiente de poisson. Fuente CTE DB SE-C

### Alternativa 1 Zapatas

Por razones técnicas y con el fin de prevenir asentamientos excesivos, se ha decidido configurar el canto de la zapata de manera que la cimentación sea rígida, con un canto mínimo de 0,40 metros. Considerando que los pilares tienen dimensiones de 40x40 centímetros, los anchos de la cimentación que se evaluarán varían desde 1 metro hasta 2,5 metros.

Previamente, calculamos que cada pilar transmitirá una carga de 1012,5 kN a la cimentación. Aplicando este valor a los diferentes anchos de cimentación de zapata que estamos considerando en esta solución, obtenemos los siguientes resultados de carga:

(Huesca)

PRESIÓN MÁXIMA TRANSMITIDA POR CADA PILAR A LA CIMENTACIÓN CON UNA CARGA ESTIMADA DE 1012,5kN							
B	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50
Q <sub>máx</sub> (kPa)	1012,50	648,00	450,00	330,61	253,13	200,00	162,00

**Tabla 9.1 Presión máxima transmitida por carga estimada de pilar a diferentes anchos de cimentación (kPa).**

La carga admisible para distintos empotramientos y anchos de cimentación en la unidad geotécnica 1 y 2 se recogen en las siguientes tablas. En la unidad geotécnica 2 se ha considerado óptimo un empotramiento de 0,4 metros por lo que solo se analiza esa profundidad.

Unidad geotécnica 1 Arenas y limos arenosos							
D = 0,2m							
B	1	1,25	1,5	1,75	2	2,25	2,5
Q <sub>adm</sub> (kPa)	52,171	60,733	69,295	77,858	86,420	94,982	103,544
D = 0,4m							
B	1	1,25	1,5	1,75	2	2,25	2,5
Q <sub>adm</sub> (kPa)	70,094	78,656	87,218	95,780	104,342	112,905	121,467
D = 0,6							
B	1	1,25	1,5	1,75	2	2,25	2,5
Q <sub>adm</sub> (kPa)	88,017	96,579	105,141	113,703	122,265	130,827	139,389
D = 1 m							
B	1	1,25	1,5	1,75	2	2,25	2,5
Q <sub>adm</sub> (kPa)	123,862	132,424	140,986	149,548	158,110	166,672	175,235

**Tabla 9.2 Cargas admisibles para zapata cuadrada en unidad geotécnica 1.**

Unidad geotécnica 2 Sustrato rocoso							
D = 0,4m							
B	1	1,25	1,5	1,75	2	2,25	2,5
Q <sub>adm</sub> (kPa)	1005,730	1011,838	1017,946	1024,054	1030,162	1036,270	1042,378

**Tabla 9.3 Cargas admisibles para zapata cuadrada en unidad geotécnica 2.**

Si comparamos la tabla 9.1 con las tablas 9.2 y 9.3. Podemos concluir que en la primera unidad geotécnica de arenas y limos arenosos no es posible realizar la

cimentación debido a que las cargas de hundimiento admisibles son en todos los casos inferiores a la carga que van a transmitir los pilares.

Con las presiones obtenidas en la unidad geotécnica 2 y usando la expresión de asientos para cimentaciones rígidas se obtienen unos asientos entre 0,2 y 0,5 mm para los anchos de cimentación considerados (Tabla 9.4), valores muy inferiores a los admisibles de acuerdo con las normativas existentes (asiento máximo de 2,55 cm), por lo que el valor limitante va a ser la carga de hundimiento.

B	1	1,25	1,5	1,75	2	2,25	2,5
s (mm)	0,209	0,263	0,318	0,373	0,429	0,485	0,542

*Tabla 9.4 Asientos esperados para las cargas admisibles calculadas en la unidad geotécnica 2.*

Por otro lado, en la unidad geotécnica 2, es posible realizar la cimentación a partir de anchos de cimentación de 1,25 metros, ya que a partir de estos anchos la carga transmitida por el pilar a la cimentación es inferior a la carga admisible de la zapata.

#### **Alternativa 4: Losa de cimentación**

Con la misma expresión se calculará la presión de hundimiento para la losa de cimentación. Cabe recalcar que como no se tiene un esquema de la planta de la estructura a cimentar se usará una estimación de ancho para la losa de cimentación de 24 metros.

Usando las mismas expresiones que se usaron para el cálculo de la tensión admisible en zapatas, estos son los resultados obtenidos para la carga admisible de hundimiento en la unidad geotécnica 1 y 2.

(Huesca)

Unidad geotécnica 1 Arenas y limos arenosos						
B = 24 m						
D	0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,2
Qadm (kPa)	839,888	857,811	875,733	893,656	911,579	929,501

**Tabla 9.5 Cargas admisibles para losa de cimentación en la unidad geotécnica 1.**

Unidad geotécnica 2 Sustrato rocoso						
B = 24 m						
D	0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,2
Qadm (kPa)	1551,145	1567,665	1584,184	1600,703	1617,222	1633,741

**Tabla 9.6 Cargas admisibles para losa de cimentación en la unidad geotécnica 2.**

Teniendo en cuenta que los asentamientos máximos recomendados para una losa de cimentación son de 5 cm se calculará la presión de contacto para este valor de asiento

$$0,05 = \frac{2}{\pi} * 42,24 * \frac{q_0(1 - 0,3^2)}{3500000}$$

Despejando términos  $q_0$  toma un valor de 7151,43 kPa, valor muy elevado comparado con las cargas admisibles calculadas previamente por lo que el valor limitante será la carga de hundimiento. Ya que para las cargas admisibles calculadas se esperan asentamientos muy inferiores a 5 cm. Utilizando la expresión para el cálculo de asentamientos en cimentaciones superficiales se obtienen los siguientes asentamientos para la unidad geotécnica 2.

Unidad geotécnica 2 Sustrato rocoso						
B = 24 m						
D (m)	0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,2
s (cm)	1,085	1,096	1,108	1,119	1,131	1,142

**Tabla 9.7 Asientos en losa de cimentación de 24 metros de ancho para distintos empotramientos.**

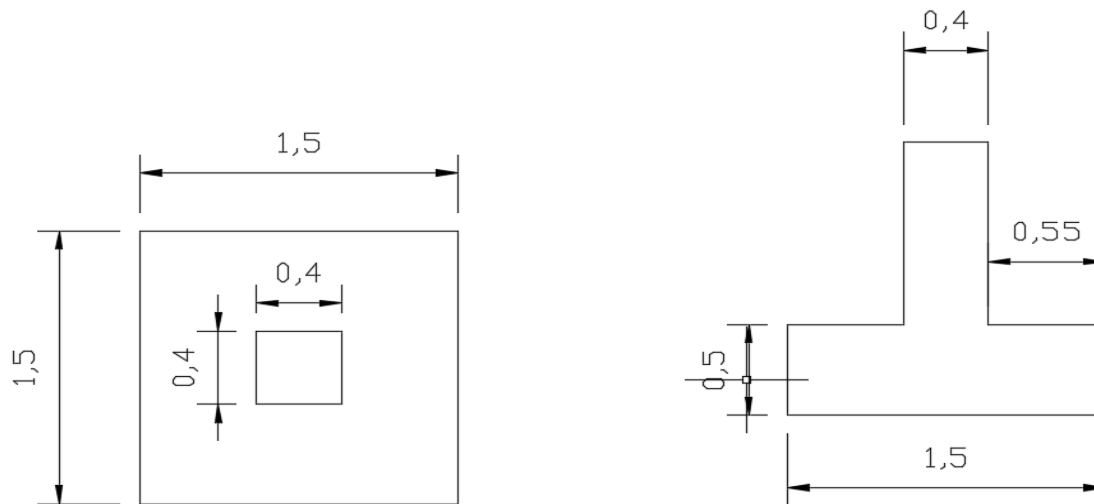
### 10. Elección y descripción de la solución

Es preciso recalcar que para una estructura o edificación no existe una única solución todo esto puede variar dependiendo de distintos intereses, situaciones puntuales o criterios que se consideren adecuados.

Después de las comprobaciones geotécnicas y los respectivos análisis se llega a la conclusión de que la solución más adecuada es realizar la cimentación por medio de zapatas. Como se mencionó previamente esta solución es ideal cuando nos encontramos con un terreno con buena resistencia y suficiente cohesión para mantener los taludes de excavación. En el caso de este solar el perfil del terreno que encontramos favorece precisamente a estas condiciones y a su vez cumple con los criterios definidos previamente:

- Criterio económico
- Criterio técnico – constructivo
- Criterio geotécnico

Para los pilares centrales de la estructura, se ha optado por utilizar zapatas cuadradas rígidas con dimensiones de 2 metros de ancho y 0,5 metros de canto. Estas dimensiones cumplen con el requisito de que el vuelo de la zapata es superior a dos veces su canto. Pueden apreciar la disposición definida en planta y alzado en la siguiente figura:



**Figura 10.1** Definición en planta y alzado para la zapata aislada rígida

En cuanto a los pilares de medianera y de esquina se opta por cambiar las dimensiones debido a las excentricidades a las que se encuentran, se comprobaba la condición de deslizamiento mediante el método del primer forjado.

Según el CTE DB SE-C la condición de deslizamiento viene dada por:

$$E_d \leq R_d$$

Siendo:

$$E_d = T * \gamma_F = T * 1,0$$

$$R_d = \frac{\mu * \sum Fv}{\gamma M} = tg \Phi^* * \frac{Ne + Nc}{1,5}$$

Según CTE DB SE-C, Apartado 6.3.3.2.3

$$\Phi^* = \frac{2}{3} * \Phi$$

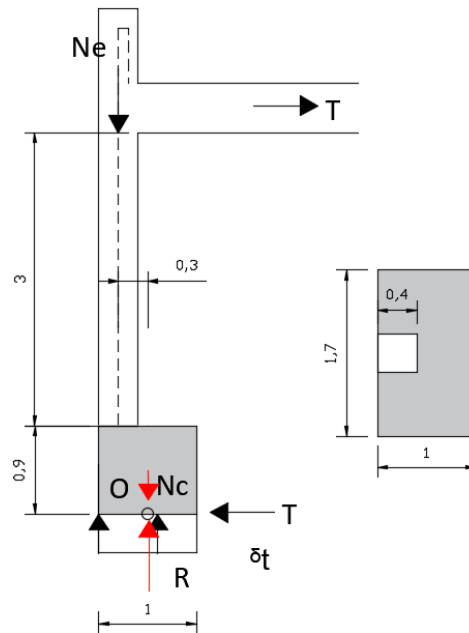


Figura 10.2 Zapata de medianería mediante la reacción del primer forjado.

Planteando las ecuaciones de equilibrio e igualando a cero:

$$\sum F_v = 0$$

$$R = Ne + Nc \rightarrow \frac{R}{0,4 * 0,4} = \frac{Ne + Nc}{0,16}$$

$$\sum M_0 = 0$$

$$Ne * 0,3 = T * (3 + 0,5) \rightarrow T = \frac{Ne * 3}{3,5}$$

Por lo que despejando en la condición de deslizamiento la expresión queda de la siguiente forma:

$$T = \frac{Ne * 0,3}{3,5} \leq tg \Phi * \frac{Ne + Nc}{1,5}$$

Rellenando términos utilizando una densidad del hormigón de 25 kN/m<sup>3</sup>, la carga estimada para el pilar de 1012,5 kN y el ángulo de rozamiento interno del terreno de 25° los resultados de la expresión son los siguientes:

$$T = 86,78 \text{ kN} \leq 209,71 \text{ kN}$$

Por lo tanto, se cumple la condición de deslizamiento de la zapata, siempre y cuando esté centrada por medio del forjado. Esta condición también se aplica para las zapatas esquineras. A pesar de la ubicación no sísmica de la zona, se recomienda siempre que se



requiera y se pueda vigas centradoras en el diseño de cimentaciones. Esto permite reducir el tamaño de la zapata y prevenir excentricidades

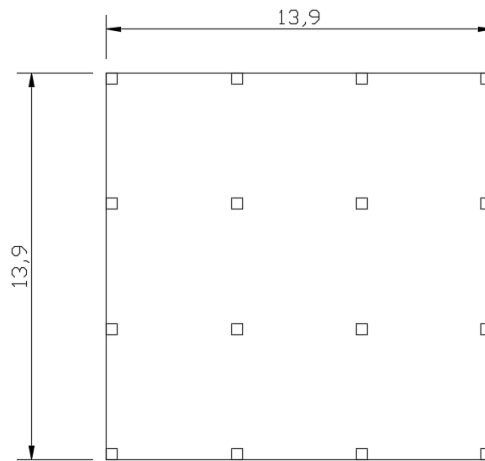
### **Armado de la zapata**

Los armados de las zapatas aisladas, de medianería y de esquina se resolvieron por medio del programa CYPECAD introduciendo la carga estimada que recibe cada pilar, a de más con la ayuda de este programa se calcula el armado para las vigas centradoras, esto se puede observar con más detalle en el anexo 6.

## **11. Valoración Económica**

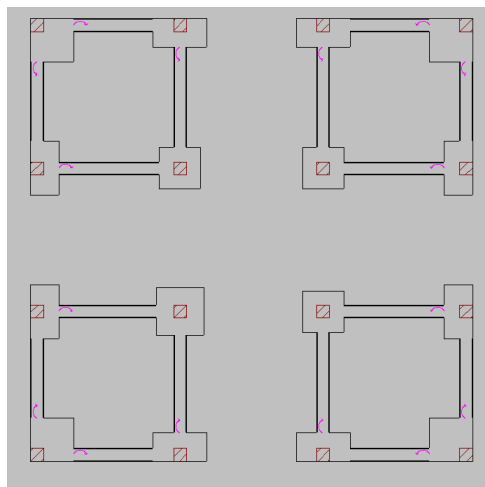
Para el planteamiento de la valoración económica de la cimentación se asumirá que se construirá un edificio con las características descritas al inicio de este proyecto y con la distribución en planta que se puede observar en la figura 11.1. Aunque esta distribución es poco eficiente para un edificio residencial, se usará a modo de ejemplo ya que lo importante de este apartado es saber diferenciar entre los distintos conceptos que se tienen en cuenta en una valoración económica.

(Huesca)



**Figura 11.1 Distribución en planta asumida para valoración económica**

La cimentación para esta distribución de pilares se resolvió de forma que se formaron cuatro islas en las esquinas conformadas por 1 zapata de esquina, 2 zapatas de medianera y una zapata aislada con carga centrada como se puede apreciar en la figura 11.2.



**Figura 11.2 Resolución de cimentación**

De esta forma la cimentación propuesta para el edificio constaría con 16 zapatas y 16 vigas centradoras, con lo que se procede a hacer la valoración económica dando un presupuesto de ejecución material de un valor 16.086,19 € y un presupuesto de ejecución por contrata de 23.162,50 €. Con más detalle se puede ver el Anexo 7.

## 12. Plan de trabajos

El plan de trabajos para la realización de la cimentación conllevaría un total de 6 días, que se puede ver en el siguiente diagrama de Gantt.



**Figura 12.1 Plan de trabajos para la cimentación de un edificio de 5 plantas.**

### **13. Conclusiones**

Como resultado del estudio de soluciones basado en los resultados del estudio geotécnico de la zona, se han establecido parámetros clave para el diseño de cimentaciones de futuras edificaciones. Se ha determinado que las tensiones de contacto máximas adecuadas para cimentaciones que alcancen el sustrato rocoso (nivel II) rondan entre los valores de 900 y 1000 kPa. Se reconoce que el espesor de las capas de suelo en el sitio y sus propiedades geotécnicas pueden variar a lo largo del solar, así como también es esencial destacar que el área de las zapatas no debe ser menor a 4 veces el área del pilar o  $1 \times 1 \text{ m}^2$  y es recomendable que las zapatas sean de tipología rígida, estas medidas preventivas se establecen para mitigar posibles excentricidades, concentración de tensiones y defectos constructivos en las cimentaciones, garantizando así la seguridad y estabilidad de las estructuras a construir en esta zona geográfica.

Es preciso remarcar que las tensiones admisibles expuestas llevan un factor de seguridad de 3 que es más limitante que las normativas actuales para trabajar del lado de la seguridad.

También es oportuno mencionar que a lo largo de este trabajo final de grado la utilización de herramientas informáticas como CYPECAD ha sido fundamental. Estas herramientas no solo han facilitado el diseño y el análisis de cimentaciones de manera eficiente, sino que también me han permitido realizar simulaciones y optimizaciones que serían laboriosas de llevar a cabo manualmente. Esto resalta la importancia de la

tecnología en la ingeniería civil y su capacidad para mejorar la precisión y la productividad en el diseño y la ejecución de proyectos de construcción.

#### **14. Referencias**

1. Ministerio de Fomento. (2019). Documento Básico SE-C: Seguridad Estructural. Cimientos. Código Técnico de la Edificación. Recuperado de <https://www.codigotecnico.org/pdf/Documentos/SE/DBSE-C.pdf>
2. YEPES, V. (2020). Procedimientos de construcción de cimentaciones y estructuras de contención. Colección Manual de Referencia, 2ª edición. Editorial Universitat Politècnica de València, 480 pp. Ref. 328. ISBN: 978-84-9048-903-1.
3. CALAVERA, J. (2015). Cálculo de estructuras de cimentación. 5ª edición. Intemac Ediciones, S.L. Madrid, 563 pp.
4. Torrijo, F.J. & Garzón-Roca, J. (2018). Shallow and deep foundations in geotechnical engineering. Valencia: Editorial Universitat Politècnica de València.
5. Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. (2021). Documento básico HE: Ahorro de energía. Código Técnico de la Edificación. Recuperado de [https://www.mitma.es/recursos\\_mfom/0710401.pdf](https://www.mitma.es/recursos_mfom/0710401.pdf)
6. Instituto Geológico y Minero de España. (2022). Memoria Magna 0324: Recuperado de <http://info.igme.es/cartografiadigital/datos/magna50/memorias/MMagna0324.pdf>

7. BIENIAWSKI, Z.T. (1979). The geomechanics classification in rock engineering applications. Proc. 4th International Conference of Mechanics. Montreaux. Balkema, vol. 2, pp. 41-48.
8. GONZÁLEZ DE VALLEJO, L.I.; FERRER, M.; ORTUÑO, L. y OTEO, C. (2002). Ingeniería Geológica. Ed. Pearson Educación, Madrid. 744 pp.
9. MEYERHOF, G.G. (1957). Penetration test and bearing capacity of cohesionless soils. J. Geotech. Eng. Div. A.S.C.E., 91, smi.

## **15. Anexos**

Los anexos presentes en este estudio de soluciones son los siguientes:

**Anexo 1: Mapas utilizados**

**Anexo 2: Situación de los sondeos**

**Anexo 3: Resultados de ensayos de penetración pesada**

**Anexo 4: Resultados de laboratorio**

**Anexo 5: Perfil geotécnico**

**Anexo 6: Armado de cimentación propuesta**

**Anexo 7: Valoración económica**