

# **Estudio técnico-económico para la cimentación y estructura de contención de un edificio de viviendas en Sant Adrià del Besós (Barcelona)**

*Valencia, septiembre de 2019*

TITULACIÓN: Máster en Ingeniería de Caminos

Canales y Puertos

Curso: 2018/19

AUTOR: David Lago Naveiras

TUTOR: Víctor Martínez Ibáñez

ESCUELA: Escuela Técnica Superior de Ingenieros  
de Caminos, Canales y Puertos, UPV

---

# ÍNDICE

- **01. Documento nº1: Memoria**
  - **01.1-9. Anejo 1: Antecedentes**
  - **01.2-9. Anejo 2: Estudio geotécnico**
  - **01.3-9. Anejo 3: Actuaciones previas**
  - **01.4-9. Anejo 4: Estudio de soluciones**
  - **01.5-9. Anejo 5: Carga admisible**
  - **01.6-9. Anejo 6: Cálculo de la cimentación**
  - **01.7-9. Anejo 7: Cubicación de vigas y encepados**
  - **01.8-9. Anejo 8: Programa de trabajos**
  - **01.8-9. Anejo 9: Autorizaciones**
  
- **02. Documento nº2: Planos**
  - **02.1 Planta de cimentación**
  - **02.2 Detalles encepados y vigas 1**
  - **02.3 Detalles encepados y vigas 2**
  - **02.4 Detalle pantalla de pilotes**
  
- **03. Documento nº3: Presupuesto estimativo**

**Documento nº 1: Memoria**

**Estudio técnico-económico  
para la cimentación y  
estructura de contención de  
un edificio de viviendas en  
Sant Adrià del Besós  
(Barcelona)**

*Valencia, septiembre de 2019*

TITULACIÓN: Máster en Ingeniería de Caminos

Canales y Puertos

Curso: 2018/19

AUTOR: David Lago Naveiras

TUTOR: Víctor Martínez Ibáñez

ESCUELA: Escuela Técnica Superior de Ingenieros  
de Caminos, Canales y Puertos, UPV

## **ÍNDICE**

- 1. Objeto**
- 2. Ubicación**
- 3. Antecedentes**
- 4. Estudio geotécnico**
- 5. Actuaciones previas**
- 6. Estudio de soluciones**
  - 6.1. Cimentación superficial**
  - 6.2. Cimentación profunda con pilotes in-situ**
  - 6.3. Cimentación profunda con pilotes prefabricados**
  - 6.4. Comparación de alternativas**
  - 6.5. Conclusiones**
- 7. Carga admisible**
  - 7.1. Métodos basados en el SPT**
  - 7.2. Métodos analíticos**
  - 7.3. Pruebas dinámicas de carga**
  - 7.4. Conclusiones**
- 8. Cálculo de la cimentación**
  - 8.1. Datos de partida**
  - 8.2. Normativa aplicable**
  - 8.3. Características de los pilotes**
  - 8.4. Capacidad estructural de los pilotes**
  - 8.5. Distribución de esfuerzos en pilotes**
  - 8.6. Encepados y elementos de arriostramiento**
  - 8.7. Solución de contención**

**9. Cubicación de vigas y encepados**

**10. Tiempo de construcción**

**11. Presupuesto de obra**

**12. Documentación Adjunta al proyecto**

**13. Declaración de obra**

## **1. OBJETO**

El objeto de la realización de este trabajo es el de definir, calcular y valorar económicamente la cimentación y la estructura de contención de tierras de un edificio de viviendas situado en San Adriá del Besós. Más concretamente dicho edificio se sitúa en la parcela R-20 del sector “La Catalana” de dicho término municipal, situado en la provincia de Barcelona, dentro del área metropolitana de la misma.

Este proyecto recoge las actuaciones que se deben realizar previamente a la cimentación, como son el despeje y desbroce, la excavación, la explanada y el levantamiento topográfico de la parcela.

El objetivo de la presentación de este trabajo es la finalización de los estudios de Máster en Ingeniería de Caminos Canales y Puertos del alumno David Lago Naveiras, dirigido por el tutor Víctor Martínez Ibáñez.

## 2. UBICACIÓN

Como ya se ha expuesto en la introducción de este documento, la obra en estudio se ubica en el término municipal de Sant Adrià del Besós, que se sitúa al noroeste de España, dentro del área metropolitana de Barcelona, en la desembocadura del río Besós, situado entre las ciudades de Barcelona y Badalona.



Imagen 1. Ubicación Sant Adrià del Besós

Más concretamente, la obra se sitúa en el sector “La Catalana”, que se encuentra en este municipio, al margen derecho del río Besós, y a un costado de la ronda litoral.

El barrio está limitado por la autovía C-31, la línea del tren del Maresme y el propio río Besós.

La obra en cuestión se sitúa en la parcela R-20 dentro de este sector, en una zona que se está urbanizando en la actualidad, y en la que se están llevando a cabo diferentes construcciones de bloques de viviendas.

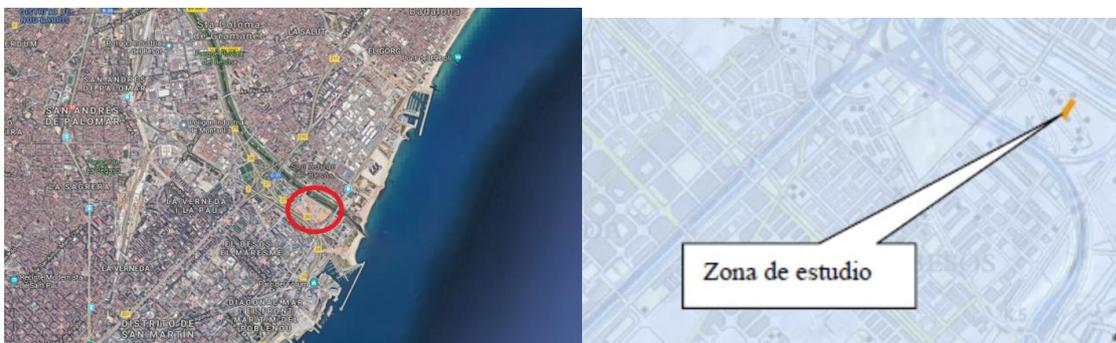


Imagen 2. Ubicación sector “La Catalana” y parcela R-20.

---

### 3. ANTECEDENTES

#### 3.1. Descripción de la zona

Para poner en contexto la obra en estudio, es necesario describir de forma somera la zona en la que se ubica.

El término municipal de Sant Adriá del Besós se ubica en el área urbana de Barcelona, en la desembocadura del río Besós.



Imagen 3. Sant Adriá del Besós

Esta población tiene su origen en el año 1012, siendo inicialmente una población agrícola. Fue destruida en los años 1114 y 1697 debido a su ubicación, clave para el asalto de Barcelona.

En el año 1929 fue agregada a Barcelona y Badalona.

En 1938 fue bombardeada, durante la guerra civil española debido a las centrales térmicas y fábricas que albergaba.

Actualmente, Sant Adriá cuenta con importantes empresas en el sector industrial y de servicios, destacando en el industrial las 3 grandes centrales térmicas, con especial relevancia de las 3 chimeneas, de las que se habla en el “Anejo 1: Antecedentes”.

En esta ciudad se están llevando a cabo proyectos para renovar barrios y crear nuevas zonas de viviendas, como ejemplo el sector “La Catalana”, en el que se ubica la obra en estudio.

En cuanto al sector “La Catalana”, ubicado en el margen derecho del río Besós, tiene su origen en el siglo XX, cuando se empezaron a instalar en esta zona trabajadores de la central térmica.

Su conexión con las zonas urbanas vecinas ha sido difícil, ya que la construcción de infraestructuras lo ha dejado aislado durante un buen periodo de tiempo, hasta que en el año 2007 entró en servicio la línea T5 del Tranvía del Besós, con parada en esta zona.

El Plan General Metropolitano de 1976 considera a este barrio como un sector de reforma interior, previendo una gran remodelación para aumentar su edificabilidad.

### 3.2. Características de la obra.

La obra para la cual se está estudiando su cimentación en este documento consiste en un edificio de viviendas, el cual constará de dos plantas de sótano, planta baja, seis plantas piso y un ático.

La superficie total edificable sobre rasante es de unos 8.200 m<sup>2</sup>, contando la parcela en la cual se va a llevar a cabo la construcción con unos 2.300 m<sup>2</sup> de superficie aproximada. La topografía de la zona es prácticamente llana, con pequeñas irregularidades, debido a los trabajos de urbanización que se están llevando a cabo en la zona.

La cota de la parcela es aproximadamente 5,0 – 5,5 m. En la siguiente imagen se puede observar la parcela durante la ejecución de los trabajos geotécnicos de campo.



Imagen 4. Parcela R-20.

En cuanto al tipo de construcción y el tipo de terreno sobre el que se asienta, se pueden clasificar, de acuerdo a las tablas 3.1 y 3.2 del CTE, como edificio del tipo C-2 (edificio entre 4 y 10 plantas) y terreno T-1 o T-2, favorable o variable.

Tabla 3.1. Tipo de construcción

Tipo	Descripción <sup>(1)</sup>
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 3.2. Grupo de terreno

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>

---

## 4. ESTUDIO GEOTÉCNICO

Antes de llevar a cabo las actuaciones correspondientes a la cimentación es necesaria la redacción de un estudio geotécnico, en el cual se identifiquen las litologías que constituyen el subsuelo de la parcela, caracterizando estas geotécnicamente.

Para esto se ha llevado a cabo una campaña geotécnica consistente en:

- 4 sondeos mecánicos de rotación con extracción de testigo y realización de ensayos de penetración dinámica estándar S.P.T.
- 4 ensayos de penetración dinámica continua (DPSH).
- Ensayos de laboratorio sobre las muestras obtenidas en los ensayos, que constan de:
  - Granulometrías de suelos por tamizado (UNE 103.101)
  - 4 Límites de Atterberg (UNE 103.103 i 103.104)
  - 2 Determinaciones del contenido de sulfatos (anexo 5 de E.H.E.)
  - 2 Humedades naturales y densidad aparente (UNE 103.300-103.301)
  - 2 Corte directo (CD) (UNE 103.401)

### 4.1. Marco geológico, hidrogeológico y sísmico

Desde el punto de vista geológico, la zona de estudio se sitúa en la Depresión Litoral Catalana, más concretamente en la parte central de la llanura aluvial del delta del río Besós. Dicha llanura está formada por una capa extensa de suelos arenosos cuyos espesores llegan a los 40 metros en la parte central.

La parcela se sitúa sobre un depósito aluvial cuaternario, constituido por arenas, limos y arcillas.

En cuanto a la hidrología subterránea, durante la ejecución de los sondeos, se detectó la presencia del nivel freático a unas profundidades comprendidas entre 3,6 y 4,5 m, es decir, en cotas absolutas de entre 1,2 y 1,7 m. El agua detectada no presenta agresividad al hormigón.

En lo que se refiere a la acción sísmica, siguiendo la norma de construcción sismorresistente (NCSE-02), la edificación que se está estudiando se clasifica como de importancia normal. Además, el municipio de Sant Adrià del Besós se encuentra en una zona con aceleración sísmica básica de  $0,04 \cdot g$ , con un coeficiente de contribución ( $k$ ) = 1,0.

### 4.2. Caracterización geotécnica

De acuerdo a la campaña de sondeos realizada, el perfil del subsuelo de la parcela está formado por un nivel superficial de relleno (R) de 1,8 – 2,5 m de espesor, a partir del cual se detecta un depósito aluvial cuaternario formado por una primera capa representada por limo arenoso (Q1) de 3,0 – 4,6 m de espesor, seguido de una segunda capa constituida por arena media (Q2) cuyo grosor oscila entre 3,8 y 6,8 m. En profundidad, a partir de 10,0 – 12,2 m y

hasta la profundidad máxima investigada de 26,1 m, el depósito aluvial pasa a estar formado por arena fina limosa (Q3).

#### Relleno (R):

Es un suelo heterogéneo formado por una mezcla de limo y arena de color marrón oscuro, con restos antrópicos diversos, su espesor varía entre 1,8 y 2,5 metros y no tiene interés geotécnico, por lo que se recomienda su saneo. Sus parámetros resistentes son los siguientes:

Unidad geotécnica	$\Phi'$ (°)	$C'$ (T/m <sup>2</sup> )	$\gamma_{ap}$ (T/m <sup>3</sup> )	$E$ (T/m <sup>2</sup> )
Relleno (R)	27	0,0	1,80	800

#### Limo arenoso (Q1):

A continuación del relleno, se encuentra esta capa con espesores entre 3,0 y 4,6 m, constituida por un limo arenoso de color marrón claro con niveles de espesor centimétrico a métricos de arcilla limosa intercalados. Este estrato cuenta con un grado de humedad moderadamente alto, y tiene un valor medio del ensayo SPT de N30=5. A continuación se pueden observar sus parámetros resistentes:

Unidad geotécnica	$\Phi'$ (°)	$C'$ (T/m <sup>2</sup> )	$\gamma_{ap}$ (T/m <sup>3</sup> )	$E$ (T/m <sup>2</sup> )
Limo arenoso (Q1)	25	0,5	1,70	700

#### Arena media (Q2):

Bajo el nivel de limo arenoso aflora una capa de arena de grano medio a grueso de color marrón – beige. En profundidad la arena pasa a tener una coloración marrón oscuro con tonos grises. De forma dispersa aparecen gravas sueltas que localmente forman lentejones de espesor centimétrico, tal y como se aprecia en el registro de los sondeos. El espesor de la capa de arena media oscila entre 3,8 y 6,8 m.

Su compacidad es moderadamente densa, presentando un valor medio del ensayo SPT de N30= 18-20. Se puede adoptar para esta un valor del ángulo de rozamiento interno del orden de 32°. La cohesión se estima nula. El módulo elástico es del orden de 2500 - 3500 T/m<sup>2</sup> (según tabla D.23 del CTE).

A continuación se recogen sus parámetros resistentes:

Unidad geotécnica	$\Phi'$ (°)	$C'$ (T/m <sup>2</sup> )	$\gamma_{ap}$ (T/m <sup>3</sup> )	$E$ (T/m <sup>2</sup> )
Arena media (Q2)	32	0,0	1,90	2500

#### Arena fina limosa (Q3):

En profundidad, a partir de 10,0 - 12,2 m el depósito aluvial cuaternario pasa a estar constituido por de arena de grano fino limosa de color grisáceo. El contenido en fracción fina es bajo – moderado. Cabe señalar la presencia niveles localizados de limo arcilloso de espesor centimétrico (inferior a 0,2 m) intercalado en la arena fina.

Esta unidad tiene una compacidad moderada a densa, obteniendo para el estrato un valor medio del SPT de  $N_{30} = 20-22$ . Según correlaciones consultadas (tabla D.27 del CTE y el cuadro 2.6 de Ingeniería Geológica (Vallejo, 2002)) puede adoptarse para la arena fina limosa un valor del ángulo de rozamiento interno del orden de  $33^\circ$ . La cohesión se estima nula. El módulo elástico es del orden de  $3500 \text{ T/m}^2$  (según tabla D.23 del CTE).

A continuación se pueden observar sus parámetros resistentes:

Unidad geotécnica	$\Phi'$ ( $^\circ$ )	$C'$ ( $\text{T/m}^2$ )	$\gamma_{ap}$ ( $\text{T/m}^3$ )	$E$ ( $\text{T/m}^2$ )
Arena fina limosa ( $Q_3$ )	33	0,0	1,90	3000

## 5. ACTUACIONES PREVIAS

Dentro de las actuaciones previas a la cimentación se engloban la toma de datos topográficos, los movimientos de tierras, la generación de la explanada, etc.

La toma de datos topográficos es una actuación necesaria previa a la realización de cualquier proyecto de construcción, para lo cual se determina la posición relativa de una serie de puntos situados en la superficie de la parcela, y se sitúan otra serie de puntos clave de la construcción para conocer los perfiles de la parcela.

Para todo esto se utilizan modelos matemáticos para analizar y ajustar los datos topográficos obtenidos en campo. Se utilizará en este caso una estación total para la toma de datos topográficos.

El despeje y desbroce consiste en eliminar todos los árboles presentes en la parcela, así como su raíces y la cubierta vegetal, compuesta por hierba, arbustos y tierra vegetal, hasta una profundidad igual o mayor a la alcanzada por las raíces de los árboles.

Tras realizar el vallado de la zona, se procede el despeje y desbroce, que en el caso de estudio se realizará utilizando una retroexcavadora con pala frontal, retirando con estos medios la cubierta vegetal, realizando una retirada de poca envergadura, ya que la vegetación de la zona está únicamente compuesta por arbustos y hierbas.

En cuanto al movimiento de tierras, se procederá a la excavación de la parcela hasta la cota del sótano -2, situada a la cota +0,87. Según los datos obtenidos, todos los suelos presentes en la zona son excavables con medios mecánicos convencionales.

Para realizar la excavación se procederá a rebajar el nivel freático utilizando pozos de bombeo, para lo cual se realizarán una serie de excavaciones en las que se introducirán una serie de tubos-dren.

Tras todo esto se procede al replanteo de la nave, con el que se sitúa la ubicación de los ejes de los pilares del edificio. Para esto se utiliza una estación total, utilizando como referencia los puntos obtenidos durante la toma de datos topográficos.

Dicho replanteo se realizará con el terreno despejado, sin la presencia de obstáculos que dificulten la puesta de lienzas y piquetas en el terreno. Además de los puntos de replanteo, es habitual usar un punto de referencia situado cerca de los ejes y la cimentación, puesto que es posible que mientras se trabaja cerca de estas marcas, las mismas queden deterioradas, por lo que es necesario que se pueda volver a marcar estas sin necesidad de hacer un nuevo replanteo.

## 6. ESTUDIO DE SOLUCIONES

En este apartado se decidirá la tipología de la cimentación a realizar, para ello se estudiarán los 3 principales tipos de cimentación existentes y utilizados en construcciones como la que se está estudiando, las cuales son: cimentación superficial, cimentación profunda mediante pilotes in-situ, y cimentación profunda mediante pilotes prefabricados hincados.

### 6.1. Cimentación superficial

En primer lugar se va a valorar la posibilidad de resolver la cimentación de la estructura mediante el sistema de cimentación superficial, utilizando una losa de cimentación.

Para ello es necesario comprobar que el estrato del terreno sobre el que se asienta la estructura tiene la suficiente capacidad portante para que se pueda utilizar este tipo de cimentación.

Tras realizar las excavaciones correspondientes a 2 sótanos, la rasante del terreno quedará embebida en el estrato denominado como "Q1, limo arenoso con niveles de arcilla", por lo que se procederá a continuación a comprobar si dicho estrato posee la suficiente capacidad portante para soportar una cimentación del tipo superficial.

En primer lugar, se procederá a calcular la carga admisible correspondiente a dicho estrato.

Tras los cálculos que se han realizado, que pueden consultarse en el "Anejo 4: Estudio de soluciones", la carga admisible obtenida para el terreno es de 83,45 t/m<sup>2</sup>, la cual se considera demasiado reducida para albergar la cimentación de un edificio residencial, por lo cual se descarta esta alternativa.

### 6.2. Cimentación mediante pilotes in-situ

La solución facilitada de proyecto viene dada con cimentación profunda mediante pilotes in-situ, siendo estos de la tipología CPI-8, pilotes barrenados.

En este apartado se comparará dicha cimentación de proyecto con la posible cimentación equivalente con la utilización de pilotes prefabricados hincados.

Según la ingeniería que ha facilitado el proyecto constructivo, para los pilotes in-situ se consideran las siguientes cargas:

1  $\Phi$  45 : 305 kN

1  $\Phi$  65 : 605 kN

2  $\Phi$  45 : 610 kN

2  $\Phi$  55 : 880 kN

2  $\Phi$  65 : 1210 kN

4  $\Phi$  65 : 2420 kN

Los pilotes in-situ están colocados con las siguientes longitudes:

Φ 45:

- Sótano 1: 13 m
- Sótano 2: 10 m

Φ 55:

- Sótano 1: 14 m
- Sótano 2: 11 m

Φ 65:

- Sótano 1: 15 m
- Sótano 2: 12 m

El recuento de pilotes in-situ de proyecto es el siguiente:

Φ 45:

- 56 pilotes (9 de 10 m y 47 de 13 m)
- 701 m totales

Φ 55:

- 20 pilotes (20 de 14 m)
- 280 m totales

Φ 65:

- 180 pilotes (85 de 12 m y 93 de 15 m)
- 2.415 m totales

Total:

- 256 pilotes
- 3,396 m totales

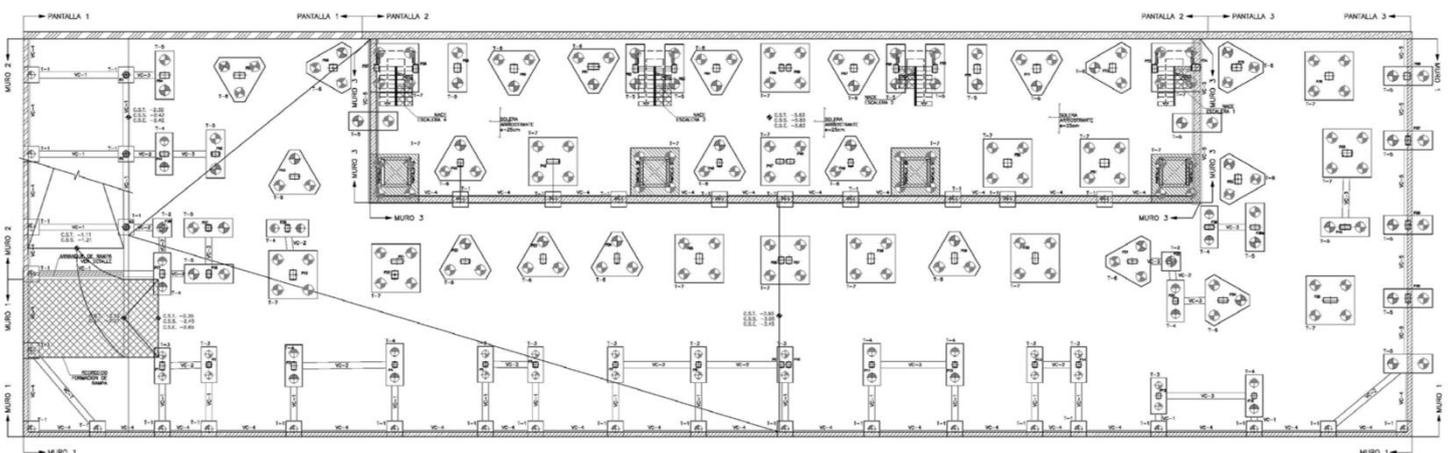


Imagen 5. Plano planta solución de pilotes in-situ

---

### 6.3. Cimentación mediante pilotes prefabricados

En la actual fase de estudio no se dispone de las cargas transmitidas a cimentación, por lo que, con la intención de tener material para efectuar la comparación entre las soluciones de pilotaje in-situ y prefabricado, se va a proceder a sustituir los encepados correspondientes a pilotes in-situ por encepados formados por pilotes prefabricados que tengan igual o mayor carga admisible.

Los pilotes prefabricados hincados se estudiarán para una longitud de 10 m en el sótano 2 y 12 m en el sótano 1.

Para ello se calculará una carga admisible para pilotes prefabricados utilizando los métodos basados en el SPT, con los parámetros facilitados en el estudio geotécnico correspondiente.

Los resultados son los siguientes para las diferentes secciones de pilotes prefabricados existentes:

- P235: 354,4 kN
- P270: 436,6 kN
- P300: 513,9 kN
- P350: 656,6 kN
- P400: 8151,1 kN

Dicha carga de hundimiento se ha realizado para una longitud de pilotaje de 12m.

En el APÉNDICE 3 se puede observar el croquis de la planta de la solución correspondiente a la utilización de pilotes prefabricados hincados, realizando una alternativa a la solución de proyecto mediante pilotes in-situ.

El recuento de pilotes prefabricados hincados es el siguiente:

P 235:

- 36 pilotes
- 414 m totales

P 270:

- 20 pilotes
- 240 m totales

P 300:

- 132 pilotes

- 1.450 m totales

P 400:

- 42 pilotes
- 474 m totales

Total:

- 230 pilotes
- 2.578 m totales

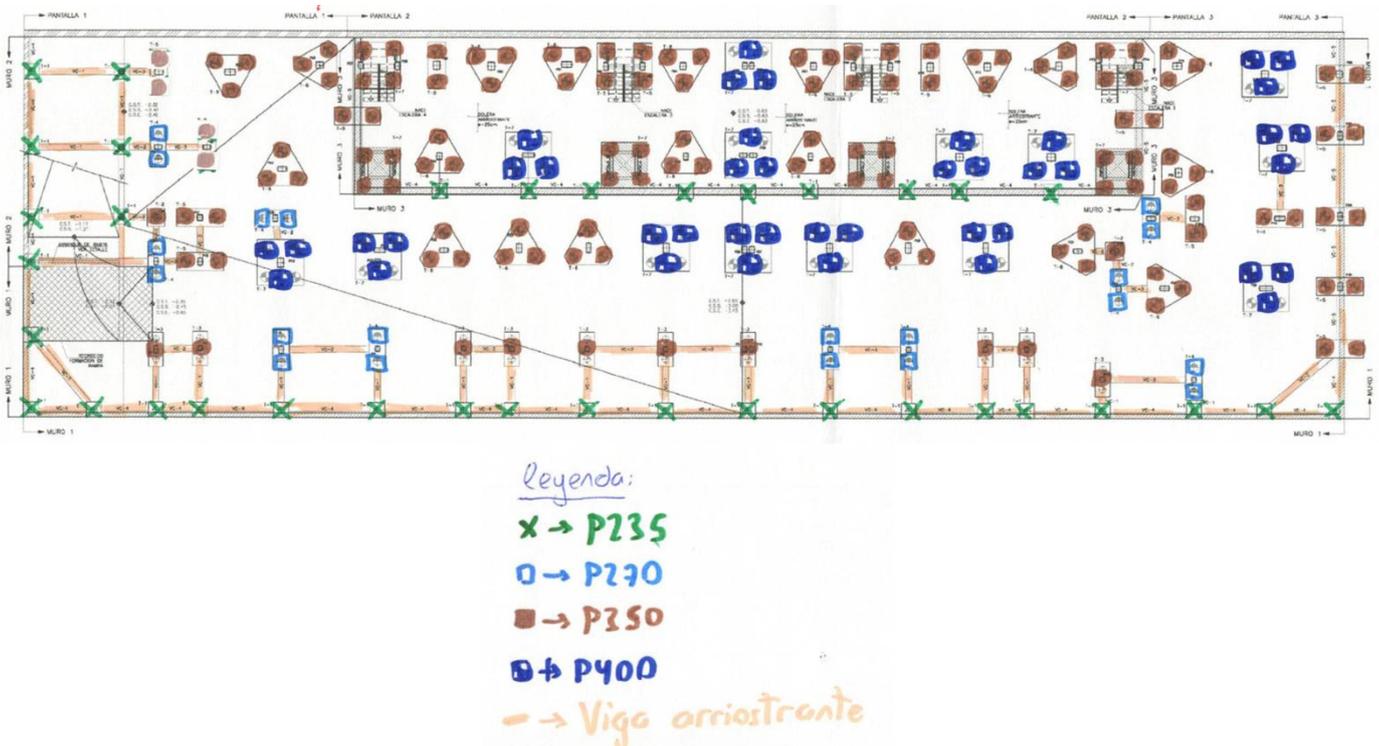


Imagen 6. Croquis solución pilotes prefabricados hincados.

**6.4. Comparación de alternativas:**

Comparación económica:

Se realizará una comparativa del coste incluyendo únicamente el costo del pilotaje, que es lo que puede marcar la diferencia de una alternativa a otra, ya que el coste de los encepados y las vigas riostras se puede considerar prácticamente equivalente entre ambas alternativas

Coste pilotaje alternativa pilotes in situ:

A continuación puede observarse la medición correspondiente a la solución de pilotes hormigonados in-situ:

<b>PILOTES IN SITU</b>				
<b>TIPOLOGIA</b>	<b>Ø perforación (mm)</b>	<b>Uds.</b>	<b>Long. Estimada (m.)</b>	<b>Medición aprox. (ml.)</b>
<b>CPI-8</b>	450	9	10,00	90,00
<b>CPI-8</b>	450	47	13,00	611,00
<b>CPI-8</b>	550	20	14,00	280,00
<b>CPI-8</b>	650	85	12,00	1.020,00
<b>CPI-8</b>	650	93	15,00	1.395,00
<b>TOTAL</b>		<b>254 pilotes</b>		<b>3.396 ML.</b>

El coste correspondiente a esta medición es el siguiente:

	MATERIALES	EJECUCIÓN	€/ML	TOTAL ML	TOTAL HR OBRA	28,3	HORMIGÓN (M3)	1.371	PRESUPUESTO
					HR/DÍA	10	TIERRAS (M3)	1.485	
					MIXTA (€/HR)	25	TIERRAS (€/M3)	6,00 €	
<b>450</b>	21,74 €	<b>12,5</b>	34,24 €	3.082,04 €	7.075		8.912		3.505,73 €
<b>450</b>	19,81 €	<b>12,5</b>	32,31 €	19.741,30 €					22.617,72 €
<b>550</b>	30,74 €	<b>17,5</b>	48,24 €	13.507,55 €					14.825,71 €
<b>650</b>	44,96 €	<b>23,5</b>	68,46 €	69.826,12 €					74.627,99 €
<b>650</b>	41,54 €	<b>23,5</b>	65,04 €	90.731,29 €					97.298,56 €
									PA <b>6.000</b>
									<b>Coste total 218.875,7 €</b>

El coste total es de 218.875,7 €.

Coste pilotaje alternativa pilotes prefabricados:

Se puede observar en la siguiente tabla la medición correspondiente a la solución mediante pilotes prefabricados hincados:

<b>PILOTES PREFABRICADOS TIPO P14 (CLASE 1, UNE-EN 12794; HA-50; B-500-SD)</b>			
SECCIÓN	Uds.	Long. Estimada (m.)	Medición aprox. (ml.)
P235*235 mm. (4Ø16 cØ6a15)	36	10 y 12	414
P270*270 mm. (4Ø16 cØ6a15)	20	12	240
P350*350 mm. (4Ø20 cØ6a10)	132	10 y 12	1.450
P400*400 mm. (8Ø16 cØ6a10)	42	10 y 12	474
<b>TOTAL</b>	<b>230 pilotes</b>		<b>2.578 ML.</b>

El coste que corresponde a esta medición es el siguiente:

<b>PRESUPUESTO ORIENTATIVO</b>				
DESCRIPCIÓN UD.			P.UNITARIOS	TOTAL
1 .1.- Transporte y montaje de maquinaria, incluso personal especializado				
Equipo de hincas de pilotes:	UD.	1	6.250,00 €	6.250,00 €
2 .1.- Hincas de pilote prefabricado tipo P14 vertical, Clase 1 conforme a UNE-EN 12794 (Marcado CE, Productos Pref. de Hormigón- Pilotes de Desplazamiento.)				
Pilotes Prefabricados Tipo P235:	ML.	414,00	33,50 €	13.869,00 €
Pilotes Prefabricados Tipo P270:	ML.	240,00	37,50 €	9.000,00 €
Pilotes Prefabricados Tipo P350:	ML.	1.450,00	57,50 €	83.375,00 €
Pilotes Prefabricados Tipo P400:	ML.	474,00	62,00 €	29.388,00 €
<b>TOTAL EUROS PRESUPUESTO ORIENTATIVO.....</b>				<b>141.882,00 €</b>

El coste total es de 141.882,0 €.

#### Ventajas pilotes prefabricados frente a in-situ:

Los pilotes in-situ presentan ciertas desventajas con respecto a los prefabricados, las cuales se recogen, de forma resumida, a continuación:

- Riesgo de deficiencias en la calidad final del hormigón.
- Incertidumbre sobre la correcta disposición de la armadura, especialmente en pilotes perforados con barrena continua.
- Excesos de hormigonado frecuentes en terrenos flojos, con excesos de hasta el 40 % en perforados con barrena continua.
- Al ser un sistema de extracción, se produce acumulación del terreno extraído.
- Rendimientos máximos de 40-60 ml/día
- Contaminación de suelos y acuíferos por empleo de lodos bentolíticos y hormigones fluidos.

- Estas desventajas se incrementan notablemente si el sistema de pilotaje “in situ” empleado es el de barrera continua (CPI-8), en cuyo caso habría que considerar otros inconvenientes y problemas añadidos.
- Además, el PG-3 y Código Técnico establecen que en caso de interrumpir el hormigonado bajo agua, el pilote no será aceptado como válido, salvo que se arbitren medidas para su recuperación o terminación.

Además, el sistema de ejecución de pilotes prefabricados hincados presenta las siguientes ventajas:

- Control individual del rechazo de cada pilote durante la hinca: lo cual facilita información sobre la carga de hundimiento de cada pilote, comprobación de integridad del pilote, etc.
- Compactación del terreno durante la hinca.
- Limpieza de la obra, ya que no es necesaria la extracción de terreno.
- Elevados rendimientos, de hasta cerca de 150 ml/día por cada equipo de hinca.
- Calidad del material, al ser un elemento prefabricado, pasa mayores controles en el proceso de fabricación.
- Utilización de juntas, lo cual permite alcanzar grandes profundidades.
- Menor plazo de ejecución de la obra, lo cual reduce el presupuesto y permite iniciar la construcción de la estructura en un plazo menor.
- Mayor contribución a la sostenibilidad.

### 6.5. Conclusiones

Tras todo lo expuesto en este documento, y teniendo como principal factor para la elección de una u otra alternativa el aspecto económico (además de criterios técnicos, por los cuales se ha descartado la solución de cimentación superficial mediante zapatas o losa de cimentación), pero basando también la decisión, en menos medida, en las ventajas que ofrece la técnica de cimentación mediante pilotes prefabricados hincados, se concluye que la alternativa elegida es la de cimentación profunda mediante pilotes prefabricados hincados, que tiene un coste de pilotaje de 141.882,00 frente a los 218.875,7 € euros de coste a los que asciende el pilotaje mediante pilotes hormigonados in-situ.

## 7. CARGA ADMISIBLE

En este apartado se obtendrá la carga admisible de los pilotes, es decir, la carga vertical que es capaz de soportar el pilote, bien debida a su tope estructural, o a la carga máxima que el terreno es capaz de soportar.

La resistencia característica frente a hundimiento de un pilote aislado se considera dividida en dos partes, que son la resistencia por fuste, o rozamiento, y la resistencia por punta.

$$R_{ck} = R_{pk} + R_{fk}$$

Siendo:

$R_{ck}$ : Resistencia característica frente a hundimiento

$R_{pk}$ : Resistencia frente a hundimiento soportada por la punta

$R_{fk}$ : Resistencia frente a hundimiento soportada por fusta debido al contacto pilote-terreno.

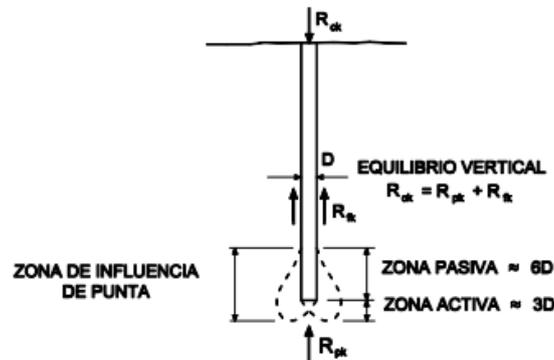


Imagen 7. Carga admisible pilotes.

Para obtener la carga admisible de los pilotes, se realizarán los cálculos utilizando 3 métodos. Primero, con los métodos basados en el SPT, después por métodos analíticos a largos plazo, y por último, al arrojar estos dos primeros unos resultados demasiado desfavorables en cuanto a carga admisible, se analizarán las pruebas dinámicas de carga realizadas en una parcela adyacente con el fin de conocer la carga real a la que pueden ser cargados los pilotes en la obra.

### 7.1. Métodos basados en el S.P.T.

En este primer apartado se estudiará la carga admisible de los pilotes prefabricados hincados utilizando los métodos basados en los ensayos SPT, recogidos en el Código Técnico de la Edificación.

Este método de cálculo de la carga admisible es válido tanto para pilotes perforados como para pilotes prefabricados hincados en suelos granulares, que no tengan gran proporción de gravas gruesas, cantos o bolos (<30% de tamaño mayor de 2 cm), lo cual puede desvirtuar el resultado del ensayo, debido a la heterogeneidad de los registros obtenidos.

La resistencia unitaria por punta para pilotes prefabricados hincados se calcula según estos métodos con la siguiente expresión:

$$q_p = f_N * N \text{ (MPa)}$$

La resistencia unitaria por fuste obtenida según los métodos basados en el SPT se calcula con la siguiente expresión:

$$\tau_f = 2,5 * N_{spt} \text{ (kPa)}$$

OBRA: 72 VIVIENDAS SECTOR LA CATALANA R-20

**PILOTES PREFABRICADOS HINCADOS - CARGA ADMISIBLE**  
**CODIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN - CTE-DB-SE 2006**

<b>HUNDIMIENTO</b>	<b>NIVEL FREÁTICO</b>
CS fuste = 2,5	Cota = 0,0
CS punta = 2,5	Ysum (T/m3) = 0,90
<b>ARRANCAMIENTO</b>	
CS fuste = 3,5	

Lado Pilote (mm)	Diámetro equivalente	Área punta	Área fuste	Tope estructural	Longitud Pilote	Punta Pilote	Resistencia Punta Unit.	Qh Fuste Compresión	Qh Fuste Tracción	Qh Punta	Qh Total	Coeficiente Seguridad		
												Qadm. Hundimiento	% Aprov. TE	Qadm. Arrancamiento (Coef.Seg.)
200	0,226 m	413,10 cm <sup>2</sup>	80,00 cm <sup>2</sup> /cm	61,97 T	12,00 m	Q3: ARENA FINA LIMOSA	800,00 T/m <sup>2</sup>	36,60 T	25,62 T	33,05 T	69,65 T	27,86 T	45,0%	7,32 T
235	0,265 m	566,70 cm <sup>2</sup>	94,00 cm <sup>2</sup> /cm	85,01 T	12,00 m	Q3: ARENA FINA LIMOSA	800,00 T/m <sup>2</sup>	43,01 T	30,10 T	45,34 T	88,34 T	35,34 T	41,6%	8,60 T
270	0,305 m	746,60 cm <sup>2</sup>	108,00 cm <sup>2</sup> /cm	111,99 T	12,00 m	Q3: ARENA FINA LIMOSA	800,00 T/m <sup>2</sup>	49,41 T	34,59 T	59,73 T	109,14 T	43,66 T	39,0%	9,88 T
300	0,339 m	919,60 cm <sup>2</sup>	120,00 cm <sup>2</sup> /cm	137,94 T	12,00 m	Q3: ARENA FINA LIMOSA	800,00 T/m <sup>2</sup>	54,90 T	38,43 T	73,57 T	128,47 T	51,39 T	37,3%	10,98 T
350	0,395 m	1251,40 cm <sup>2</sup>	140,00 cm <sup>2</sup> /cm	187,71 T	12,00 m	Q3: ARENA FINA LIMOSA	800,00 T/m <sup>2</sup>	64,05 T	44,84 T	100,11 T	164,16 T	65,66 T	35,0%	12,81 T
400	0,451 m	1632,10 cm <sup>2</sup>	180,00 cm <sup>2</sup> /cm	244,82 T	12,00 m	Q3: ARENA FINA LIMOSA	800,00 T/m <sup>2</sup>	73,20 T	51,24 T	130,57 T	203,77 T	81,51 T	33,3%	14,64 T

Sección Pilote (mm)	Q1: LIMO ARENOSO			Q2: ARENA MEDIA			Q3: ARENA FINA LIMOSA		
	Lempot. (m)	Qh Fuste parcial (T)	Qh Punta parcial (T)	Lempot. (m)	Qh Fuste parcial (T)	Qh Punta parcial (T)	Lempot. (m)	Qh Fuste parcial (T)	Qh Punta parcial (T)
200	0,00	0,00	8,26	0,00	21,60	29,74	0,00	12,00	33,05
235	0,00	0,00	11,33	0,00	25,38	40,80	0,00	14,10	45,34
270	0,00	0,00	14,93	0,00	29,16	53,76	0,00	16,20	59,73
300	0,00	0,00	18,39	0,00	32,40	66,21	0,00	18,00	73,57
350	0,00	0,00	25,03	0,00	37,80	90,10	0,00	21,00	100,11
400	0,00	0,00	32,64	0,00	43,20	117,51	0,00	24,00	130,57

Se obtienen los siguientes resultados:

- P200: 27,66 T (45,0 % TE)
- P235: 35,34 T (41,6 % TE)
- P270: 43,66 T (39,0 % TE)
- P300: 51,39 T (37,3 % TE)
- P350: 65,66 T (35,0 % TE)
- P400: 81,51 T (33,3 % TE)

## 7.2. Métodos analíticos

En este segundo apartado se calculará la carga admisible de los pilotes utilizando métodos analíticos, los cuales están basados en la teoría de la plasticidad.

La resistencia unitaria por punta para suelos granulares, obtenida según métodos analíticos se calcula con la siguiente expresión:

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

Siendo:

$$N_q = \frac{1 + \text{sen}(\phi)}{1 - \text{sen}(\phi)} * e^{\pi * t * g(\phi)}$$

La resistencia unitaria por fuste según estos métodos se calcula de acuerdo a la siguiente expresión:

$$\tau_f = \sigma'_v * k_f * f * t * g(\phi) \leq 120 \text{ kPa}$$

OBRA: 72 VIVIENDAS SECTOR LA CATALANA R-20

### PILOTES PREFABRICADOS HINCADOS - CARGA ADMISIBLE CODIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN - CTE-DB-SE 2006

<b>HUNDIMIENTO</b>	<b>NIVEL FREÁTICO</b>
CS fuste +2,5	Cota = 1,0
CS punta 2,5	Vsum (Tim3) = 0,90
<b>ARRANCAMIENTO</b>	
CS fuste +3,5	

Lado Pilote (mm)	Diámetro equivalente	Área punta	Área fuste	Tope estructural	Longitud Pilote	Punta Pilote	Resistencia Punta Unit.	Qh Fuste Compresión	Qh Fuste Torsión	Qh Punta	Qh Total	Coeficiente Seguridad		
												Qadm. Hundimiento	% Aprov. TE	Qadm. Arrancamiento (Coef.eg)
200	0,226 m	413,10 cm <sup>2</sup>	80,00 cm <sup>2</sup> /cm	61,97 T	12,00 m	Q3: ARENA FINA LIMOSA	923,66 Tim <sup>2</sup>	33,80 T	23,86 T	38,16 T	71,95 T	28,78 T	46,4%	6,76 T
235	0,265 m	566,70 cm <sup>2</sup>	94,00 cm <sup>2</sup> /cm	85,01 T	12,00 m	Q3: ARENA FINA LIMOSA	923,66 Tim <sup>2</sup>	39,71 T	27,80 T	52,34 T	92,06 T	36,82 T	43,3%	7,94 T
270	0,305 m	746,60 cm <sup>2</sup>	108,00 cm <sup>2</sup> /cm	111,99 T	12,00 m	Q3: ARENA FINA LIMOSA	923,66 Tim <sup>2</sup>	45,63 T	31,94 T	68,96 T	114,59 T	45,84 T	40,9%	9,13 T
300	0,339 m	919,60 cm <sup>2</sup>	120,00 cm <sup>2</sup> /cm	137,94 T	12,00 m	Q3: ARENA FINA LIMOSA	923,66 Tim <sup>2</sup>	50,70 T	35,49 T	84,94 T	135,64 T	54,25 T	39,3%	10,14 T
350	0,395 m	1251,40 cm <sup>2</sup>	140,00 cm <sup>2</sup> /cm	187,71 T	12,00 m	Q3: ARENA FINA LIMOSA	923,66 Tim <sup>2</sup>	59,15 T	41,40 T	115,59 T	174,73 T	69,89 T	37,2%	11,83 T
400	0,451 m	1632,10 cm <sup>2</sup>	160,00 cm <sup>2</sup> /cm	244,62 T	12,00 m	Q3: ARENA FINA LIMOSA	923,66 Tim <sup>2</sup>	67,60 T	47,32 T	150,75 T	218,35 T	87,34 T	35,7%	13,52 T

Sección Pilote (mm)	Q1: LIMO ARENOSO			Q2: ARENA MEDIA			Q3: ARENA FINA LIMOSA		
	Lempot. (m)	Qh Fuste parcial (T)	Qh Punta parcial (T)	Lempot. (m)	Qh Fuste parcial (T)	Qh Punta parcial (T)	Lempot. (m)	Qh Fuste parcial (T)	Qh Punta parcial (T)
200	0,00	1,86	4,89	0,00	17,28	26,14	0,00	14,66	38,16
235	0,00	2,19	6,71	0,00	20,30	35,86	0,00	17,22	52,34
270	0,00	2,52	8,84	0,00	23,32	47,24	0,00	19,79	68,96
300	0,00	2,80	10,88	0,00	25,91	58,19	0,00	21,99	84,94
350	0,00	3,26	14,81	0,00	30,23	79,18	0,00	25,65	115,59
400	0,00	3,73	19,32	0,00	34,55	103,27	0,00	29,32	150,75

Se obtienen los siguientes resultados:

- P200: 28,78 T (46,4 % TE)
- P235: 36,82 T (43,3 % TE)
- P270: 45,84 T (40,9 % TE)
- P300: 54,25 T (39,3 % TE)
- P350: 68,89 T (37,2 % TE)
- P400: 87,34 T (35,7 % TE)

### 7.3. Pruebas dinámicas de carga

Se han realizado ocho pruebas de carga dinámica sobre pilotes prefabricados de secciones cuadradas 235 x 235, 300 x 300 y 400 x 400, en la obra de cimentación de 38 viviendas en el sector La Catalana, parcela R-14 en Sant Adrià del Besós. Las pruebas se realizaron el día 23 de octubre de 2018.

La maquinaria de obra usada para la realización de las pruebas de carga dinámica, ha sido un equipo de hinca Junttan PM20, con un martillo hidráulico de doble acción y alto rendimiento de 7000 Kg.

Los pilotes, una vez instrumentados y preparados, se sometieron a una serie de golpes mediante el martillo hidráulico de hinca a distintas alturas de caída de martillo. Mediante el equipo PDA de Allnamics, las señales resultantes del golpeo se han registrado en formato electrónico para su posterior tratamiento y análisis mediante el software ALLWAVE DLT.

El trabajo en gabinete consiste en el tratamiento y mejora de las señales obtenidas mediante filtrado y/u otras opciones. De todas las señales (golpes) obtenidas de la prueba de un pilote, se selecciona un golpe, normalmente el de mayor energía obtenida, el cual se vuelca al software ALLWAVE DLT. De la señal escogida, el software construye una gráfica de resistencia/tiempo, la cual se usará de modelo para un ajuste iterativo de una gráfica construida mediante el programa. Esta gráfica se obtiene modelizando en terreno donde se ha hincado el pilote con los datos del informe geotécnico y variando parámetros dinámicos del suelo, tales como: límites elásticos, factores de amortiguación, esfuerzos máximos de materiales, etc.

Los resultados obtenidos son los siguientes:

<u>Pilote</u>	<u>Tipo</u>	<u>Longitud hincada (m.)</u>	<u>Resistencia movilizada (KN.)</u>		
			<u>Fuste</u>	<u>Punta</u>	<u>Total</u>
P3-2	P300	23,00	1701	1211	2912
P5	P400	23,00	3731	1451	5182
P19-2	P300	23,00	1763	1680	3443
P33-1	P400	23,00	3462	1884	5346
P34-1	P400	23,00	3903	1372	5275
P37-2	P400	23,00	3405	1930	5336

Además, los bajos rechazos obtenidos durante la realización de las pruebas sugieren que mucha de la resistencia por fuste y punta de los pilotes no ha sido movilizada.

Hay que tener en cuenta que los resultados de resistencia obtenidos mediante Pruebas Dinámicas de Carga, no son la carga última de hundimiento de los pilotes, sino tan solo la resistencia movilizada derivada del golpeo durante las pruebas. Por este motivo, la carga de hundimiento real sería mayor.

A la vista de lo expuesto anteriormente, se utilizará como carga admisible de hundimiento el Tope Estructural de los pilotes.

#### **7.4. Conclusiones**

A la vista de los resultados, a pesar de que realizando los cálculos tanto por métodos basados en el SPT como por métodos analíticos, los resultados indican que no se alcanza el tope estructural de los pilotes para la longitud propuesta, se consideran válidos los resultados obtenidos de las pruebas de carga, ya que reflejan el comportamiento real de los pilotes en el terreno, y están realizados en la parcela adyacente a la de la obra en estudio.

Por lo tanto, se concluye que la carga admisible de los pilotes en el terreno de la obra en estudio es igual al tope estructural de los pilotes, que es el siguiente:

- P235: 85 toneladas.
- P270: 112 toneladas.
- P300: 137,9 toneladas.
- P350: 187,7 toneladas.
- P400: 244,9 toneladas.

---

## 8. CÁLCULO DE LA CIMENTACIÓN

En este apartado se relatarán las bases utilizadas para el cálculo de la cimentación de la estructura. Utilizando las solicitaciones en base de cimentación proporcionadas por el cliente en forma de hipótesis simples para cada pilar, se realizarán las combinaciones de acciones de acuerdo al Código Técnico de la Edificación. Una vez obtenidas las combinaciones, se realizarán los repartos de esfuerzos en los pilotes, probando con distintas configuraciones de encepados, variando el número de pilotes, la separación y la orientación de los mismos, con el objetivo de optimizar al máximo posible el pilotaje de la obra.

Una vez calculado el pilotaje, se dimensionarán los encepados y los elementos de arriostramiento de los pilotes, en este caso las vigas de cimentación. El dimensionamiento de estos elementos se realizará siguiente la EHE 08.

Además, se calculará como solución de contención de tierras una pantalla de pilotes P400, con una excavación de 3,45 metros.

### 8.1. Datos de partida

Para el cálculo de la cimentación y de la solución de contención se parte de los siguientes datos, facilitados por el cliente:

- Planos de proyecto
- Informe Geotécnico de GEOPLANNING de fecha septiembre de 2017 y referencia 9888.
- Informe Geotécnico de GEOPLANNING de fecha septiembre de 2017 y referencia 9887. Este informe geotécnico pertenece a un estudio de caracterización del suelo de la parcela R-14 que está a escasos metros de la parcela objeto de estudio.
- Acciones a Cimentación (ANEJO 02) sobre cada nudo de la estructura a fecha de 22-03-2018.
- Pruebas de carga dinámicas realizadas en la Parcela R-14.

### 8.2. Normativa aplicable

La presente memoria de cálculo se refiere a las características, tanto geométricas como mecánicas, de los pilotes prefabricados tipo P14 para el dimensionamiento de la estructura proyectada. Refleja, por tanto, los diferentes tipos de pilotes, su cuantía de armaduras, las características de los materiales constituyentes y su capacidad estructural.

La normativa utilizada es la siguiente:

- Norma UNE-EN 12.794:2.006+A1:2.008/AC de enero 2.009.
- Instrucción de Hormigón Estructural (EHE-08).
- Código Técnico de la Edificación. Documento Básico SE-Cimientos (marzo de 2.006).
- Guía de Cimentaciones en Obras de Carretera, GCOC (2.002).
- Recomendaciones Geotécnicas para Obras Marítimas y Portuarias, ROM 0.5-05 (2.005).

- Norma de Construcción Sismorresistente (NSCE-02/NCSP-07).
- Norma UNE-EN 12.699 de septiembre 2016.

### 8.3. Características de los pilotes

Los pilotes tipo P14, Clase 1 según UNE-EN 12794+A1, se fabrican en las siguientes secciones:

SECCIONES NOMINALES	ÁREA REAL
<b>P200: Sección Recta: 200 x 200 mm</b>	413,1 cm <sup>2</sup>
<b>P235: Sección Recta: 235 x 235 mm</b>	566,7 cm <sup>2</sup>
<b>P270: Sección Recta: 270 x 270 mm</b>	746,6 cm <sup>2</sup>
<b>P300: Sección Recta: 300 x 300 mm</b>	919,6 cm <sup>2</sup>
<b>P350: Sección Recta: 350 x 350 mm</b>	1.251,4 cm <sup>2</sup>
<b>P400: Sección Recta: 400 x 400 mm</b>	1.632,1 cm <sup>2</sup>

Fabricados bajo un Sistema de Calidad UNE-EN ISO 9001:2000 certificado por AENOR, las longitudes de fabricación están comprendidas entre 5 y 12 m. Para longitudes mayores, se emplea la junta de unión tipo EMECA que cuentan con la clasificación según la norma UNE-EN 12794+A1.

Se fabrican con cemento N/SRC, según la Instrucción para la Recepción de Cementos RC-16, resistente tanto a los sulfatos como al agua de mar. Con hormigón de resistencia característica a 28 días no menor de 50 N/mm<sup>2</sup> (HA-50, según Instrucción EHE-08), con un contenido mínimo de cemento superior a 350 kg/m<sup>3</sup>, una relación agua/cemento inferior a 0,45 y una penetración de agua bajo presión máxima menor de 30 mm y media menor de 20 mm (hormigón apto para su empleo en clases de exposición IV+Qc ó inferiores).

Todas las secciones están armadas en toda su longitud mediante barras de acero corrugado de calidad B500SD, de límite elástico 500 N/mm<sup>2</sup>, de la siguiente forma:

SECCIONES NOMINALES	ARMADO LONGITUDINAL
<b>P200</b>	4 Ø 12/16 mm
<b>P235</b>	4 Ø 16 mm
<b>P270</b>	4 Ø 16 mm
<b>P300</b>	4 Ø 20 mm
<b>P350</b>	4 Ø 20 mm
<b>P400</b>	8 Ø 16 mm

Se sitúan dos redondos en cada esquina para la sección P400 y uno en cada esquina para el resto de secciones.

Todas las secciones cuentan, también a lo largo de toda su longitud, con armadura transversal en forma cercos con acero B500SD de 6 mm de diámetro. El paso de hélice o separación entre cercos en cada una de ellas (St), cumpliendo con la cuantía mínima por cortante indicada en el artículo 44.2.3.4.1 de la EHE-08, es el siguiente:

SECCIONES NOMINALES	SEPARACIÓN ARMADO TRANSVERSAL
P200	17 cm
P235	15 cm
P270	15 cm
P300	10 cm
P350	10 cm
P400	10 cm

La separación entre cercos se reduce en los 50 cm próximos a los extremos en todas las secciones, en cumplimiento del artículo B.9.5.3 de la norma UNE-EN 12794+A1 para dar cabida al número de vueltas o cercos que en él se prescriben.

El recubrimiento nominal de los pilotes entre el paramento y la armadura es el siguiente:

SECCIONES NOMINALES	RECUBRIMIENTO NOMINAL
P200	30 mm
P235	30 mm
P270	30 mm
P300	35 mm
P350	35 mm
P400	35 mm

En todos los casos el margen de recubrimiento es de 5mm.

## 8.4. Capacidad estructural de los pilotes

### Capacidad frente a compresión centrada (Tope Estructural)

Las cargas estructurales máximas de compresión en servicio (tope estructural) se deducen a partir de lo indicado en el Código Técnico de la Edificación en su Documento Básico de Seguridad Estructural Cimientos (Tabla 5.1), en la Guía de Cimentaciones en Obras de Carretera (Tabla 5.5) y en la ROM 0.5-05 (Tabla 3.6.5):

$$Q_{TOPE} = \sigma \cdot A$$

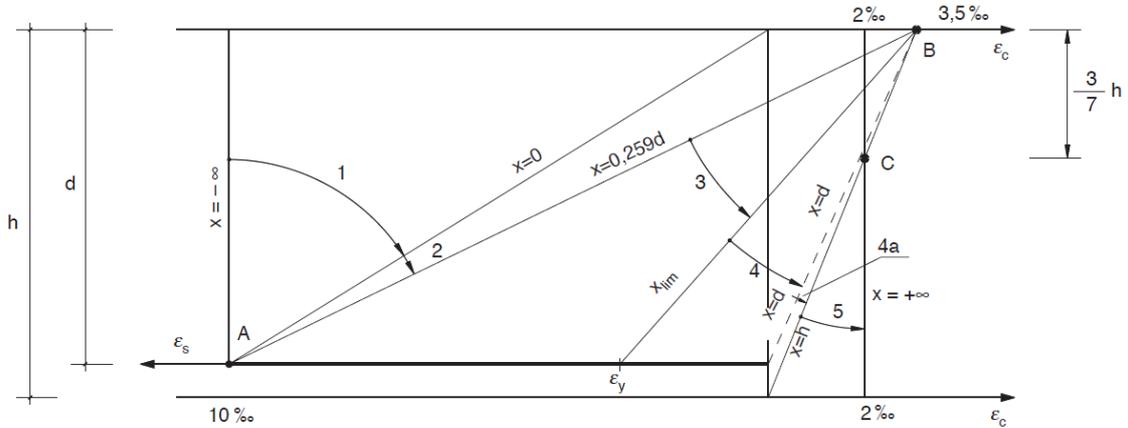
Siendo:

Sustituyendo en los diferentes casos se tiene:

SECCIONES NOMINALES	AREA	TOPE ESTRUCTURAL
P200	413,1 cm <sup>2</sup>	62,0 t
P235	566,6 cm <sup>2</sup>	85,0 t
P270	746,6 cm <sup>2</sup>	112,0 t
P300	919,6 cm <sup>2</sup>	137,9 t
P350	1.251,4 cm <sup>2</sup>	187,7 t
P400	1.632,1 cm <sup>2</sup>	244,8 t

**Capacidad frente a solicitaciones normales**

La capacidad de los pilotes para absorber esfuerzos combinados de axiles y momentos flectores se realiza conforme al artículo 42 de la EHE-08 para la obtención de las curvas de interacción (Anejo 1). Se contemplan por lo tanto todos los dominios de deformación.



Los cálculos se han realizado con la sección cuadrada orientada en cualquier según diferentes direcciones para contemplar cualquier esviaje en el momento flector actuante (flexión compuesta esviada). Las curvas reflejan la envolvente pésima y por tanto validan cualquier dirección en la actuación del momento flector.

**Capacidad frente a cortante**

La capacidad de los pilotes para absorber esfuerzos combinados de axiles y cortantes se realiza conforme al artículo 44 de la EHE-08 para la obtención de las curvas de interacción (Anejo 1).

En las curvas queda fijado, para cada valor de carga axil de diseño y habiendo tenido en cuenta el momento flector concomitante pésimo, el cortante último que resistiría cada sección.

Las curvas son válidas para cualquier dirección en la actuación del esfuerzo cortante total resultante.

**8.5. Distribución de esfuerzos en pilotes**

La distribución de pilotes se obtiene de forma que en ningún caso se supere ni el tope estructural ni la carga admisible del terreno, de acuerdo con las solicitaciones actuantes a cota de cimentación. Para la comprobación de que los esfuerzos pésimos por pilote son admisibles hemos empleado las siguientes expresiones:

**Carga vertical:**

Dado que las distribuciones de pilotes propuestas para los pilares se han resuelto con encepados de 1 a n pilotes tipo P14, se ha empleado la siguiente expresión:

$$N_i = \frac{N_t}{n} \pm \frac{(M_L + Q_L \cdot L'/2) \cdot x_i}{\sum x_i^2} \pm \frac{(M_T + Q_T \cdot L'/2) \cdot y_i}{\sum y_i^2} \leq Q_{adm} \leq Q_{TOPE} \quad (1)$$

(1) Incluir el término  $Q \cdot L' / 2$  añadido al momento permite tener en cuenta el incremento de carga axial que genera el cortante (traslacionalidad). Alternativamente podría no incluirse, calculándose en ese caso el incremento de carga axial a partir del momento inducido en los pilotes:  $\Delta N_i = x_i \cdot n \cdot M_{i,L} / \sum x_i^2 + y_i \cdot n \cdot M_{i,T} / \sum y_i^2$

Carga horizontal:

Tras componer las acciones horizontales longitudinales y transversales facilitadas, empleamos la siguiente expresión:

$$Q_i = \frac{Q_{\max}}{n} \leq \frac{V_{\text{ult}}}{\gamma_{\text{cargas}}} \quad (\text{cortante admisible en servicio de los pilotes})$$

En el caso de que existan encepados con pilotes inclinados, práctica común para absorber acciones horizontales y reducir el cortante y el momento inducido que reciben los pilotes, los cortantes longitudinal y transversal netos resultantes en la base del encepado y el c.d.g. de los pilotes se calculan según las siguientes expresiones:

$$Q_{L,\text{Neto}} = Q_L - \sum(N_i \cdot \tan \alpha_x^i) \quad Q_{T,\text{Neto}} = Q_T - \sum(N_i \cdot \tan \alpha_y^i)$$

Flexión inducida por el esfuerzo cortante:

Para determinar el momento flector pésimo en el pilote hay que calcular en primer lugar la longitud de empotramiento ficticia, para ello empleamos las siguientes expresiones (Carlos Oteo, Guía para el proyecto y la ejecución de micropilotes en obras de carretera):

$$L' = 1,2 \cdot L_e$$

$$L_e = \sqrt[4]{\frac{E_p \cdot I_p}{E_s / 3}}$$

Una vez obtenida la longitud de empotramiento ficticia, el momento flector inducido por el esfuerzo horizontal en cabeza de pilote (considerando al conjunto pilotes-encepado como un pórtico) es el siguiente:

$$M_i = \frac{Q_i \cdot L'}{2} \leq \frac{M_{\text{ult}}}{\gamma_{\text{cargas}}} \quad (\text{momento flector admisible en servicio de los pilotes})$$

Los valores  $V_{\text{ult}}$  y  $M_{\text{ult}}$  a considerar en las curvas de interacción axial-momento y axial-cortante reflejadas en los Anejos 1 y 2 serán los correspondientes a los axiles de diseño máximo y mínimo de los pilotes del encepado, mayorando o no los axiles de servicio pésimos del lado de la seguridad según sea más desfavorable. Alternativamente, si los valores  $N_i$ ,  $Q_i$  y  $M_i$  se han obtenido a partir de cargas a cimentación en Estado Límite Último, se compararán directamente dichos valores con los de las gráficas (sin el coeficiente  $\gamma_{\text{cargas}}$ ). En todo caso el criterio  $N_i \leq Q_{\text{adm}} \leq Q_{\text{TOPE}}$ , se aplica con las cargas de servicio sin mayorar.

---

## 8.6. Encepados y elementos de arriostramiento

Los encepados son los elementos de unión y transición de los pilares con los pilotes. Como elementos de hormigón armado su cálculo se realiza, en el caso de encepados de más de un pilote, según lo indicado en el artículo 58 de la Instrucción EHE-08; los encepados de un pilote se comprueban de acuerdo al artículo 61 de la misma como macizos sometidos a cargas concentradas.

Las vigas de atado que arriostran los encepados individuales en dos direcciones y los dobles la dirección perpendicular al eje del encepado, han de estar dimensionadas para absorber, además de las cargas que graviten sobre ellas o que reciban de los pilares o muros, un momento adicional en sus extremos producido por una excentricidad accidental de los pilotes de hasta 10 cm.

Estas vigas de atado se dimensionan de acuerdo al cálculo simplificado de secciones en estado límite de agotamiento frente a sollicitaciones normales, descrito en el Anejo 8 de la EHE 08.

En ambos elementos el hormigón será al menos de 25 N/mm<sup>2</sup> de resistencia característica y el acero de calidad B500S (B500SD en zonas sísmicas), con 500 N/mm<sup>2</sup> de límite elástico.

### Entrega de pilote dentro del encepado

La longitud de pilote sin descabezar dentro del encepado (entrega) será de al menos cincuenta milímetros (50 mm). De cara a tener en cuenta una posible desviación en el nivel de la cara superior de un pilote se establece una entrega nominal de pilote en el encepado de 100 mm.

### Longitud de anclaje de las barras de los pilotes en los encepados

Desde la cara inferior del encepado, que es necesaria para garantizar la resistencia del anclaje por adherencia.

Según el artículo 69.5.1.2 de la EHE-08, posición I (ángulo respecto a la horizontal entre 45º y 90º), la longitud neta de anclaje en prolongación recta para poder agotar su límite elástico se define como:

$$l_{bl,neto} = m \cdot \varnothing \geq f_{yk} \cdot \varnothing / 20$$

Si por limitaciones de canto de la cimentación se dispusiera de un anclaje en patilla normalizada (figura 69.5.1.1 de la EHE-08), la longitud de anclaje a disponer será de un 70% de la neta calculada.

En zonas sísmicas en las que sea de aplicación la norma NCSE-02, esta longitud se aumentará en 10  $\varnothing$ .

Cuando se trate de grupos de 2 barras (pilotes P400 o de armado especial), la longitud neta de anclaje del grupo se multiplicará por 1,3 (después de la reducción por patilla y/o del aumento por efectos dinámicos en su caso).

Sustituyendo en los diferentes casos se tiene:

Sección	$l_{bI,neto}$ prolongación recta (mm)		$l_{bI,neto}$ patilla (mm)	
	Sin sismo	Con sismo	Sin sismo	Con sismo
P200 (12/16)	300/400	420/560	210/280	330/440
P235	400	560	280	440
P270	400	560	280	440
P300	520	720	364	564
P350	520	720	364	564
P400	520	728	364	572

Las longitudes indicadas en patilla corresponden a la distancia entre la cara inferior del encepado y la generatriz superior de la patilla, tras la cual aparecerá la patilla normalizada (1 radio de giro según tabla 69.3.4 de EHE-08 más  $5 \varnothing$ ). Del lado de la seguridad, y también cuando no se cuenta con canto suficiente para la patilla normalizada o, el anclaje podrá disponerse como barra doblada con un tramo vertical reducido (para encajarlo en el canto) y una patilla mayor a la normalizada o un gancho de forma que la longitud total del desarrollo del anclaje (tramo vertical, más giro, más patilla o gancho) sea mayor o igual a la longitud de anclaje en prolongación recta indicada.

### 8.7. Solución de contención

Se propone como solución de contención de las tierras una pantalla de pilotes prefabricados de sección P400. En el intradós de la pantalla, se realizará una excavación de 3,45 metros.

A continuación, se muestran los datos, hipótesis y formulaciones adoptadas en el modelo de cálculo de la pantalla. Se considera que la fase más desfavorable en cuanto al nivel de cargas que recibe la pantalla es la fase provisional en la que se realiza la excavación sin estar hormigonado el forjado que la arriostrará en cabeza en fase definitiva.

Considerando una separación entre caras de pilotes de 30cm, las características por metro lineal de pantalla serían las características mecánicas de un pilote.

**DATOS DE LOS PILOTES:**

$$f_{ck} := 50 \text{ MPa}$$

$$f_{cm} := f_{ck} + 8 \text{ MPa} = 58 \text{ MPa}$$

$$E_{cm} := 8500 \cdot \sqrt[3]{\frac{f_{cm}}{\text{MPa}}} \cdot \text{MPa} = (3.29 \cdot 10^4) \text{ MPa}$$

$$E_{cm} \rightarrow 32902.451445336272 \cdot \text{MPa}$$

$$\nu := 0.2$$

$$E_{cm} = (3.355 \cdot 10^5) \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$G := \frac{E_{cm}}{2 \cdot (1 + \nu)} = (1.371 \cdot 10^4) \text{ MPa}$$

$$G = (1.398 \cdot 10^5) \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$l_{pilote} := 400 \text{ mm}$$

$$A_{pilote} := l_{pilote}^2 = (1.6 \cdot 10^3) \text{ cm}^2$$

$$A_{cortante} := \frac{5}{6} \cdot A_{pilote} = (1.333 \cdot 10^3) \text{ cm}^2$$

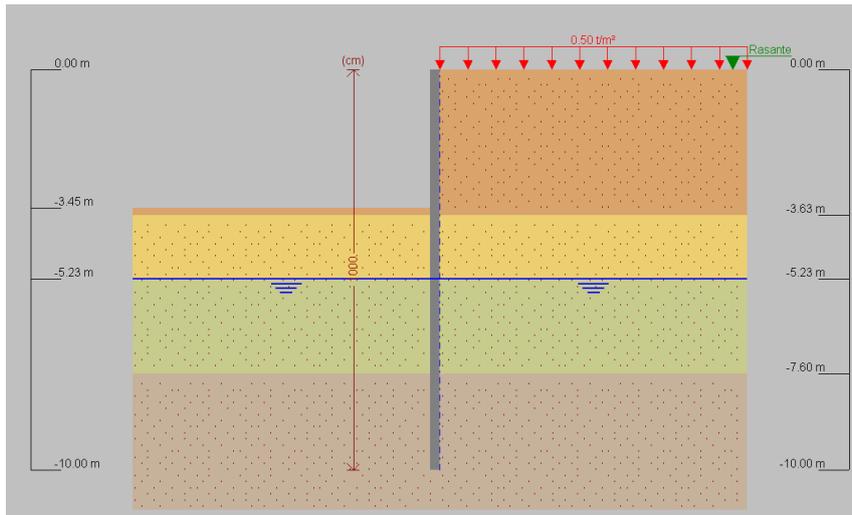
$$A_{cortante} \rightarrow 1333.3333333333335 \cdot \text{cm}^2$$

$$I_{pilote} := \frac{1}{12} \cdot l_{pilote}^4 = (2.133 \cdot 10^5) \text{ cm}^4$$

$$I_{pilote} \rightarrow 213333.33333333343 \cdot \text{cm}^4$$

**Nota:** Se ha escogido un área de cortante para la pantalla de un valor de 5/6 el valor de la sección transversal tal y como recomienda el manual del programa SAP2000.

En cuanto a la sobrecarga considerada en el trasdós de las pantallas, se ha considerado una sobrecarga de 0,5 t/m2.



Los cálculos correspondientes a dicha solución de contención pueden consultarse en el “Apéndice 8: Propuesta de solución de contención” del “Anejo 5: Cálculo de la cimentación”

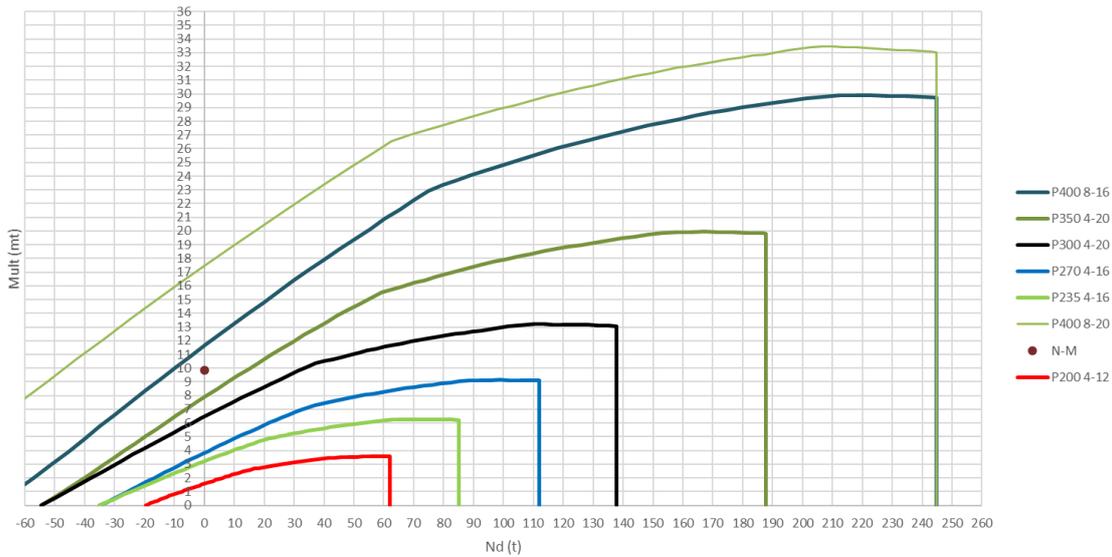
Los esfuerzos máximos que se producen en los pilotes de la pantalla son:

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	-0.09 Cota: -10.00 m	4.08 Cota: -10.00 m	5.06 Cota: -3.75 m	9.87 Cota: -4.75 m	2.51 Cota: -10.00 m	0.00 Cota: 0.00 m
Mínimos	-32.01 Cota: 0.00 m	-0.00 Cota: 0.00 m	-3.05 Cota: -6.50 m	-0.00 Cota: 0.00 m	-4.96 Cota: -4.25 m	0.00 Cota: 0.00 m

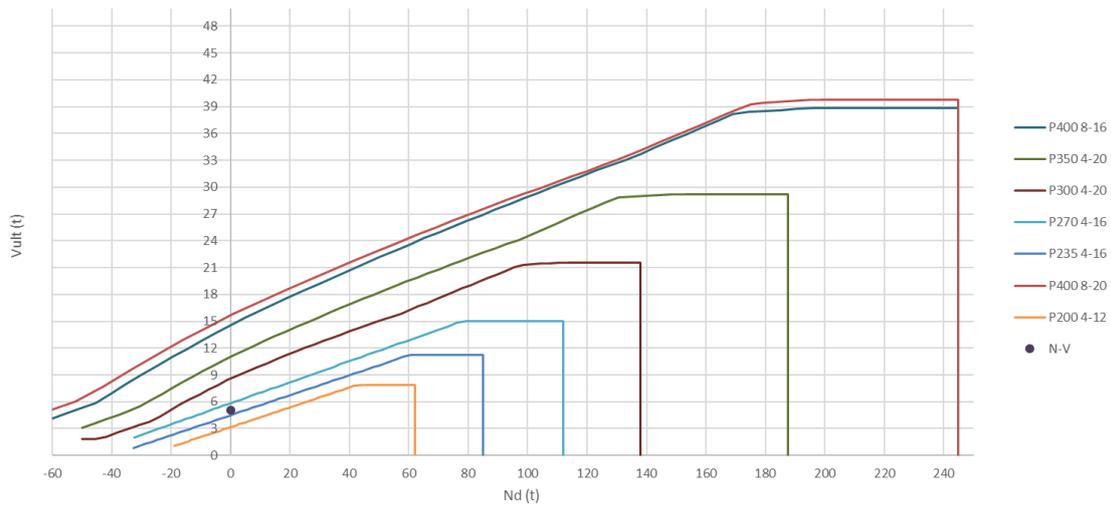
Para estos esfuerzos se ha realizado la comprobación seccional de los pilotes mediante los diagramas de interacción Axil-Momento Flector y Axil-Cortante.

Los resultados se muestran a continuación:

Curva de resistencia axil-momento (en cualquier dirección)



Curva de resistencia axil-cortante



Cabe indicar que los esfuerzos sobre los pilotes obtenidos en el cálculo de la pantalla no se han mayorado por tratarse de una fase provisional.

**CONCLUSIONES:**

A la vista de los resultados obtenidos, se propone que las pantallas sean configuradas con pilotes de sección P400 armados con una armadura longitudinal de  $8\varnothing 16$  con una separación entre ejes de pilotes de 70 cm y una longitud de 10 metros.

## 9. CUBICACIÓN DE VIGAS Y ENCEPADOS

A continuación observarse los resultados correspondientes a la cubicación teórica de vigas y encepados de la obra.

El hormigón utilizado para vigas y encepados es HA-30.

El acero utilizado para armaduras en vigas y encepados es B 500 SD

Los resultados obtenidos son los siguientes:

- Acero total en encepados: 21.185 kg.
- Hormigón total en encepados: 209,61 m3.
- Acero total en vigas: 8.938 kg.
- Hormigón total en vigas: 58,32 m3.
- Acero total: 30.123 kg.
- Hormigón total: 267,93 m3.

ENCEPADO TIPO	ENCEPADOS Uds	PILOTES Uds	HORMIGÓN (unitario) M3	HORMIGÓN (total) M3	ACERO (unitario) (Kg)	ACERO (total) (Kg)
<b>ENCEPADOS DE 1 PILOTE</b>						
1 P-235	30	30	0,47	14,09	24,43	732,90
1 P-270	3	3	0,47	1,41	28,97	86,91
1 P-300	5	5	0,65	3,24	31,46	157,30
1 P-350	8	8	0,72	5,78	43,41	347,28
1 P-400	7	7	0,80	5,60	63,31	443,17
1 P-400 PANTALLA-1	161	161	0,00	0,00	0,00	0,00
1 P-400 PANTALLA-2	4	4	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>ENCEPADOS DE 2 PILOTES</b>						
<b>2 P-270</b>						
2 P-270 e=1,00m H=0,85m	5	10	1,69	8,46	140,94	704,71
<b>2 P-300</b>						
2 P-300 e=1,2m H=0,95m	9	18	2,08	18,73	214,82	1933,41
<b>2 P-350</b>						
2 P-350 e=1,25m H=1,25m	12	24	3,01	36,08	297,93	3.575,17
2 P-350 e=1,5m H=1,25m	1	2	3,33	3,33	344,16	344,16
<b>2 P-400</b>						
2 P-400 e=1,4m H=1,25m	7	14	3,42	23,95	377,33	2.641,29
2 P-400 e=1,65m H=1,25m	8	16	3,92	31,33	428,74	3429,90
<b>ENCEPADOS DE 3 PILOTES</b>						
<b>3 P-235</b>						
3 P-235 e=1,20m H=0,7m	1	3	2,14	2,14	198,47	198,47
<b>3 P-300</b>						
3 P-300 e=1,20m H=0,9m	2	6	2,96	5,92	363,99	727,98
<b>3 P-350</b>						
3 P-350 e=1,25m H=1,1m	4	12	4,50	18,00	499,75	1.999,00
3 P-350 e=2,00m H=1,2m	1	3	7,30	7,30	796,55	796,55
<b>3 P-400</b>						
3 P-400 e=1,40m H=1,1m	3	9	5,26	15,77	738,65	2.215,95
3 P-400 e=2,20m H=1,25m	1	3	8,47	8,47	850,99	850,99
<b>TOTAL</b>	<b>272</b>	<b>338</b>		<b>209,61</b>		<b>21.185</b>

VIGA TIPO	VIGA ml	HORMIGÓN m3/ml	HORMIGÓN M3	ACERO ML. (Kg B 500S)	ACERO TOT. (Kg)
VA	91,08	0,24	21,86	29,28	2666,65
VB	64,79	0,26	16,85	43,31	2805,93
VC	56,04	0,35	19,61	61,84	3465,44
<b>TOTAL</b>	<b>211,91</b>		<b>58,32</b>		<b>8.938</b>

Observaciones:

Recubrimiento inferior 15 cm, recubrimiento resto armaduras 7 cm

Las cuantías de acero deberán mayorarse convenientemente por solapes, despuntes, etc.

El hormigón considerado para la cubicación teórica es HA-30.

## **10. TIEMPO DE CONSTRUCCIÓN**

El plazo de ejecución de la cimentación de la obra en estudio es, sin contar el proceso previo correspondiente al estudio geotécnico, estudio y vallado de la obra, se estima en 64,29 días. La obra empieza el día 14/10/19 y termina el día 13/01/20.

Para conocer la estimación de la duración de cada una de las tareas o trabajos de la obra se puede consultar el Anejo 8: Programa de trabajos, en el que también se puede visualizar el diagrama de Gantt de la obra.

## **11. PRESUPUESTO DE OBRA**

Para conocer los aspectos relacionados con el presupuesto de la obra se puede consultar el Documento nº3: Presupuesto estimativo, en el cual se puede observar la medición de la obra, los precios unitarios, así como la justificación de dichos precios con su descomposición, el presupuesto con las mediciones y el resumen del presupuesto.

Dicho coste es únicamente una aproximación del coste total de la cimentación, por lo que no puede tomarse como un precio definitivo.

El coste aproximado de la cimentación es de **SEISCIENTOS SESENTA Y SIETE MIL QUINIENTOS CATORCE EUROS CON OCHENTA Y DOS CÉNTIMOS (667.514,82 €)**.

## **12. DOCUMENTACIÓN ADJUNTA AL PROYECTO**

- **01. Documento nº1: Memoria**
  - **01.1-9. Anejo 1: Antecedentes**
  - **01.2-9. Anejo 2: Estudio geotécnico**
  - **01.3-9. Anejo 3: Actuaciones previas**
  - **01.4-9. Anejo 4: Estudio de soluciones**
  - **01.5-9. Anejo 5: Carga admisible**
  - **01.6-9. Anejo 6: Cálculo de la cimentación**
  - **01.7-9. Anejo 7: Cubicación de vigas y encepados**
  - **01.8-9. Anejo 8: Programa de trabajos**
  - **01.8-9. Anejo 9: Autorizaciones**
  
- **02. Documento nº2: Planos**
  - **02.1 Planta de cimentación**
  - **02.2 Detalles encepados y vigas 1**
  - **02.3 Detalles encepados y vigas 2**
  - **02.4 Detalle pantalla de pilotes**
  
- **03. Documento nº3: Presupuesto estimativo**

### **13. DECLARACIÓN DE OBRA**

Tras la redacción de los apartados anteriores se da por concluido el proyecto básico de “Estudio técnico-económico para la cimentación de un edificio de viviendas en Sant Adriá del Besós Barcelona)”

**Valencia, septiembre de 2018**



**David Lago Naveiras**