

Anejo 4: Estudio de soluciones

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. Introducción

2. Alternativas posibles

- 2.1. Cimentación superficial**
- 2.2. Cimentación mediante pilotes in-situ**
- 2.3. Cimentación mediante pilotes prefabricados**

3. Comparación de alternativas

- 3.1. Comparación económica**
- 3.2. Ventajas pilotes prefabricados frente a in-situ**

4. Conclusiones

5. APÉNDICES

- 5.1. APÉNDICE 1: PLANTA PILOTAJE IN-SITU**
- 5.2. APÉNDICE 2: Qadm PILOTAJE PREFABRICADO**
- 5.3. APÉNDICE 3: CROQUIS PLANTA PILOTAJE PREFABRICAD**

1. Introducción

El presente anejo tiene como objeto estudiar las diferentes alternativas para la cimentación del edificio de “72 Viviendas en la parcela R-20, sector La Catalana, Sant Adrià del Besós”, utilizando como base criterios técnicos, económicos y de plazo principalmente.

En el siguiente apartado se estudiará la posibilidad de utilizar cada una de las 3 principales modalidades de cimentación utilizadas, que son cimentación superficial, cimentación profunda mediante pilotes hormigonados in-situ, y cimentación profunda mediante pilotes prefabricados hincados. Se seleccionará la mejor alternativa desde el punto de vista técnico-económico, para más adelante estudiar de forma más detallada la cimentación utilizando la técnica escogida.

2. POSIBLES ALTERNATIVAS

En este apartado se procederá a describir las diferentes alternativas existentes para resolver la cimentación de la obra. Éstas son: cimentación superficial mediante zapatas o losa de cimentación, cimentación profunda mediante pilos hormigonados in-situ, y cimentación profunda mediante pilotes prefabricados hincados.

2.1. 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.

Dado que el nivel limo arenoso (Q1) es un suelo granular, se determinará la tensión admisible de la losa de cimentación utilizando la expresión recomendada para el cálculo en el CTE para suelos en condiciones drenadas, a largo plazo. Dicha expresión viene definida por la formulación general de Brinch Hansen:

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

Dónde:

q_h = Presión vertical de hundimiento (o resistencia del terreno R_k).

q_{ok} = Presión vertical característica alrededor del cimiento a nivel base.

c_k = Valor característico de la cohesión del terreno.

B^* = Ancho equivalente del cimiento.

γ_k = Peso específico característico del terreno por debajo de la base del cimiento.

N_c, N_q, N_γ = Factores de capacidad de carga.

d_c, d_q, d_γ = Coeficiente corrector de influencia. Factores de profundidad.

s_c, s_q, s_γ = Coeficiente corrector de influencia. Factores de forma en planta del cimiento.

i_c, i_q, i_γ = Coeficiente corrector de influencia. Según la inclinación de las acciones sobre la vertical.

t_c, t_q, t_γ = Coeficiente corrector de influencia por proximidad de la cimentación a un talud.

El valor de q_{ok} a considerar en el cálculo es la presión vertical total, causada por la sobrecarga a nivel de cimentación.

Los coeficientes correctores de influencia de inclinación de acciones sobre la vertical y de influencia por proximidad a un talud no se consideran, debido a que el solar es plano y las tensiones actuantes se consideran verticales. Las expresiones de los coeficientes de forma y de profundidad, quedando del lado de la seguridad, y a modo de aproximación, tampoco se considerarán.

Por lo tanto la expresión queda de la siguiente forma:

$$q_h = c_k * N_c + q_{ok} * N_q + \frac{1}{2} * B^* * \gamma_k * N_\gamma$$

Los valores de los coeficientes de carga son los siguientes (considerando $\Phi' = 25^\circ$):

$$N_q = \frac{1 + \sin \Phi}{1 - \sin \Phi} e^{\pi \tan \Phi} = 10,66$$

$$N_\gamma = 1,5 (N_q - 1) \tan \Phi' = 6,76$$

$$N_c = \frac{N_q - 1}{\tan \Phi} = 20,71$$

$$q_h = 0,5 * 20,71 + 5 * 1,7 * 10,66 + \frac{1}{2} * 26 * 1,7 * 6,76 = 250,361 \text{ T/m}^2$$

Al valor obtenido se le aplica un coeficiente de seguridad de 3 para la obtención de la tensión admisible (sin la comprobación de los asientos), resultando un valor de:

$$83,45 \text{ T/m}^2$$

Dicha tensión admisible se considera demasiado reducida para plantear una cimentación superficial de un edificio residencial, por lo que el sistema de cimentación superficial queda descartado.

A continuación se compararán las alternativas de cimentación profunda mediante pilotes in-situ y pilotes prefabricados hincados.

2.2. 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 Φ 45 : 305 kN

1 Φ 65 : 605 kN

2 Φ 45 : 610 kN

2 Φ 55 : 880 kN

2 Φ 65 : 1210 kN

4 Φ 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

En el APÉNDICE 1 se puede observar la planta correspondiente a la solución de cimentación profunda mediante pilotes in-situ, la cual forma parte del proyecto constructivo original.

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

2.3. Cimentación mediante pilotes prefabricados hincados

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.

Dichos cálculos pueden consultarse en el APÉNDICE 2.

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

3. COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS

En este apartado se procederá a realizar una comparación de las alternativas existentes, que, tras haber sido descartada por motivos técnicos la alternativa de cimentación superficial mediante zapatas o losa de cimentación, son la cimentación profunda mediante pilotes hormigonados in-situ, o cimentación profunda mediante pilotes prefabricados hincados.

3.1. Comparación económica

En este apartado se realizará una comparación económica aproximada del pilotaje realizado mediante las dos técnicas posibles, los pilotes hormigonados in-situ y los pilotes prefabricados hincados.

Para realizar dicha comparación, a modo de simplificación, y por ser éste el factor más diferenciador entre una alternativa y otra, se evaluará únicamente el coste de los pilotes que corresponde a cada alternativa, dejando a un lado el coste de los encepados y las vigas, que se presupone que no variará en gran medida de una alternativa a otra.

3.1.1. Coste pilotaje alternativa in-situ.

Se tiene la siguiente medición:

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

Los armados de los pilotes son los siguientes:

Φ 45:

- Armadura principal: 8 Φ 12
- Cercos: 1 Φ 8 / 15 cm

Φ 55:

- Armadura principal: 8 Φ 16
- Cercos: 1 Φ 8 / 15 cm

Φ 65:

- Armadura principal: 10 Φ 16
- Cercos: 1 Φ 8 / 15 cm

Se suponen los siguientes costes de ejecución por metro lineal:

- Φ 45: 12,5 €
- Φ 55: 17,5 €
- Φ 65: 23,5 €

Se supone un coste del hormigón se 60 €/m3.

Se supone un exceso de hormigón de un 40 %, elevado debido a la técnica de pilotaje proyectada en esta obra, el hormigonado mediante barrenado continuo.

Se supone un coste del acero de 0,80 €/kg.

Se supone un exceso de un 5% en el acero de armaduras.

Se supone un rendimiento de pilotaje de 120 ml/día, con lo que, dividiendo los metros lineales totales de pilote, el pilotaje se realizará en aproximadamente 28,3 días.

Ya que el tipo de pilotaje es barrenado, es necesario retirar el sobrante de hormigón generado por esta técnica de hormigonado, para esto se supone un precio de extracción utilizando una mixta de 25 €/hora, con un trabajo de 10 horas/día.

Es necesario transportar el material excavado para hormigonar los pilotes, que se supone igual al volumen de hormigón total por un coeficiente de esponjamiento supuesto de 1,3/1,2, y con un precio de transporte de 6 €/m3.

Se supone un coste de partida alzada de 6.000 €.

Las mediciones relativas al hormigón son las siguientes:

HORMIGÓN				COSTE €/M3	Total m3 obra Kg obra
				60,0	
Ø (mm)	M3/M Teórico	Exceso	m3/ml	Coste ml	
450	0,159	40%	0,223	13,36 €	20,04
450	0,159	40%	0,223	13,36 €	136,05
550	0,238	40%	0,333	19,96 €	93,13
650	0,332	40%	0,465	27,87 €	473,86
650	0,332	40%	0,465	27,87 €	648,07
					1.371,14

Anejo 4: Estudio de soluciones

Las mediciones relativas al acero de armadura son las siguientes:

ACERO

												COSTE €/KG =		
Armadura principal				Cercos					0,80				Coste ml / total pilote	Total kg obra
Pilote	Diametro	Kg/ml	Nº Barras	Diametro	Kg/ml	Separacion	Exceso	Kg/ml	Coste ml	Long.Arm	Long.Pilote			
450	12	0,89	8	8	0,40	0,15	5%	10,48	8,4	10,00	10,00		8,39 €	943
450	12	0,89	8	8	0,40	0,15	5%	10,48	8,4	10,00	13,00		6,45 €	6.404
550	16	1,58	8	8	0,40	0,15	5%	17,16	13,7	11,00	14,00		10,78 €	4.804
650	16	1,58	10	8	0,40	0,15	5%	21,35	17,1	12,00	12,00		17,08 €	21.781
650	16	1,58	10	8	0,40	0,15	5%	21,35	17,1	12,00	15,00		13,67 €	29.789
														63.721,14

Con todos estos datos, los costes del pilotaje son los siguientes:

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

Con lo que el coste final de los pilotes asciende a 218.875,7 €.

3.1.2. Coste pilotaje alternativa prefabricados.

Se tiene la siguiente medición:

PILOTES PREFABRICADOS TIPO P14 (CLASE1, UNE-EN 12794; HA-50; B-500-SD)			
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
TOTAL	230 pilotes		2.578 ML.

Se supone un rendimiento de pilotaje de 200 ml/día, superior al de los pilotes hormigonados in-situ debido a la técnica de pilotaje.

Se supone un coste de transporte mediante trailers de 700 €.

Se supone un coste de partida alzada de desplazamiento de equipo de hinca de pilotes de 6.250 €/unidad.

Se supone que se utiliza un único equipo de hinca.

Debido a la longitud de los pilotes (10 y 12 m) no se dispondrán juntas en los pilotes (necesarias para unir pilotes de longitud mayor a 12 m, limitante debido al transporte por carretera).

Se supone que se utiliza un equipo de descabezado de pilotes, cuyo coste de partida alzada asciende a 550 €/unidad.

Se supone un rendimiento de descabezado de 40 pilotes/día, con lo que se obtiene un total de 6 unidades de descabezado.

Se supone un coste de 450 €/unidad de descabezado.

Se proyecta la realización de pruebas dinámicas de carga, debido a que el coeficiente de seguridad utilizado para calcular la carga admisible de los pilotes prefabricados es inferior a 3, por lo que el CTE obliga a realizar dicha prueba.

Se supone un coste de PDR de 4.000 €.

Con todos estos datos, añadiendo un beneficio para la empresa de pilotaje, se tienen los siguientes precios de pilote por metro lineal para las distintas secciones, procedentes de estudios internos de precios de la empresa de pilotes prefabricados "P14 CIMENTACIONES":

- P235: 33,50 €/ml
- P270: 37,5 €/ml
- P 350: 57,5 €/ml
- P 400: 62 €/ml

Anejo 4: Estudio de soluciones

Con todos estos supuestos se obtienen los siguientes precios:

PRESUPUESTO ORIENTATIVO				
DESCRIPCIÓN UD.			P.UNITARIOS	TOTAL
1 .1.- Transporte y montaje de maquinaria, incluso personal especializado				
Equipo de hincado de pilotes:	UD.	1	6.250,00 €	6.250,00 €
2 .1.- Hincado 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 €
TOTAL EUROS PRESUPUESTO ORIENTATIVO.....				141.882,00 €

DESCRIPCIÓN UD.		P.UNITARIOS	TOTAL	
4 .1.- Desplazamiento de personal especializado				
Equipo PDR para la realización de 8 pruebas dinámicas de carga, en una única intervención:	UD.	1	4.000,00 €	4.000,00 €
5 .1.- Transporte por cada ud. de equipo de descabezado de pilotes para un rendimiento medio de 60 ml/día, en una única intervención:				
	UD.	1	550,00 €	550,00 €
5 .2.- Día de alquiler de equipo descabezador de pilotes sin personal siendo por cuenta del cliente el corte del pilote, la retroexcavadora hidráulica giratoria de 20T y la limpieza y retirada del detritus del corte y descabezado a vertedero.				
Por 2 uds. de equipo descabezador	DÍA	6	450,00 €	2.700,00 €
TOTAL EUROS PRESUPUESTO ORIENTATIVO.....				7.250,00 €

Con lo que el precio total de pilotaje asciende a 141.882,00 €

3.2. Ventajas pilotes prefabricados frente a in-situ

En este apartado se expondrán las ventajas por las cuales se considera que la técnica de pilotes prefabricados hincados es más idónea para la realización de la cimentación de la obra que la de pilotes hormigonados in-situ.

El pilotaje de tipo “in situ” puede ejecutarse de diferentes maneras según los equipos que en la actualidad existen en el mercado:

- Perforados con hélice corta o cazo (en seco, CPI-7, con empleo de lodos bentoníticos, CPI-6, o con entubación recuperable, CPI-4, para mantener estable la perforación).
- Perforados con barrena continua. (CPI-8).

Los ejecutados con hélice en sus diferentes modalidades consisten en el vaciado de la excavación hasta el estrato portante, para una vez limpio de terrenos sueltos, introducir la armadura en su longitud total y después proceder al hormigonado desde el fondo de la perforación hacia arriba con la ayuda de un embudo y una tubería que se coloca en su interior.

En los pilotes ejecutados con barrena continua por el contrario, no se vacía la excavación, ya que se introduce en el terreno una hélice continua hasta el estrato portante y con toda la hélice introducida, y a través de su núcleo central que es un tubo, se procede al hormigonado inyectando un micro hormigón muy fluido, al mismo tiempo que se extrae la barrena con el terreno. Una vez finalizada la operación, se coloca la armadura pinchándola en el hormigón fresco, estando su longitud limitada a unos 6-8 metros por la imposibilidad de introducir más dicha armadura sin deformarla.

La decisión de utilizar un tipo u otro de pilote viene condicionada por el tipo de terreno que se tiene que atravesar. Los ejecutados con entubación recuperable permiten su utilización en cualquier tipo de terreno, siendo su costo más elevado que el resto de los sistemas.

En general los pilotes “in situ” plantean algunas desventajas con respecto a los prefabricados:

- Riesgo de deficiencias en la calidad final del hormigón colocado, con posibles cortes de hormigonado durante el proceso constructivo, sobre todo cuando los valores de cohesión del terreno son bajos en los primeros metros de la perforación, como en el caso que nos ocupa. Este riesgo obliga a un control adecuado de la obra con métodos no destructivos que analicen la continuidad e integridad de los pilotes y se reduce con la elección para este tipo de obra de un sistema de ejecución con entubación recuperable y de una empresa de reconocido prestigio, con procesos de control de calidad y sobre todo con medios técnicamente suficientes.
- Incertidumbre sobre la correcta disposición de la armadura (recubrimientos, separación entre cercos, espaciamiento entre barras de la armadura longitudinal), especialmente en los pilotes perforados con barrena continua.
- Excesos de hormigonado frecuentes en los terrenos flojos, con excesos de hasta el 40%, que pueden producirse especialmente en los primeros metros, con valores de SPT en muchos casos inferiores a 5 golpes.

- Al ser un sistema de extracción, se produce una acumulación del terreno extraído, con la correspondiente necesidad de ser retirado para permitir el movimiento de equipos, con el coste añadido que esto supone.
- Rendimientos máximos de 40-60 ml/día por equipo en función del sistema empleado.
- Contaminación de suelos y acuíferos por el empleo de Lodos Bentoníticos y/o Hormigón Fluido.
- Necesidad de aportaciones complementarias por parte del contratista, como suministro de agua, energía eléctrica, equipo de soldadura, peones para soldar, mayor superficie de trabajo, etc.
- 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.
- Así mismo 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, así como la comprobación de la correcta ejecución y funcionamiento. En pilotes barrenados el corte de hormigonado se puede producir por fallos en la bomba de hormigonado o en el suministro de hormigón.

CONCLUSIONES:

Por todo lo anteriormente mencionado consideramos más idóneo el sistema de ejecución de pilotaje mediante pilotes prefabricados hincados. Este sistema presenta las siguientes ventajas:

- Control individual del rechazo de cada pilote durante la hincada:

En contra de otros tipos de pilotes en los que se suelen definir unas longitudes en los proyectos, extrapolando a toda la zona de cimentación los datos y resultados obtenidos en un número puntual de ensayos, datos que son de difícil comprobación en obra, sobre todo en el caso de diámetros de perforación pequeños. En los pilotes prefabricados hincados, este control se realiza mediante la aplicación de una fórmula dinámica de hincada, en este caso la “Holandesa”, que a continuación se expresa:

$$Q_{adm} = \frac{M^2 \cdot H}{F \cdot e \cdot (P + M)}$$

Siendo:

Qp: Carga admisible del pilote.

M: Peso de la maza.

H: Altura de caída de la maza.

e: rechazo o penetración por una serie de golpes.

P: Peso del pilote.

F: coeficiente de fórmula (10 para mazas de cable y 7 para equipos de caída libre).

Asimismo, permiten la ejecución de pruebas de carga dinámicas no destructivas efectuadas sobre pilotes definitivos de obra y con un coste muy inferior al que supondría la realización de unas pruebas estáticas de carga.

Estas pruebas dinámicas de carga nos facilitan información sobre: carga de hundimiento del pilote, distribución de la misma por punta y por fuste, comprobación de la integridad de los pilotes, rendimiento de los equipos de hinca, etc. Datos de enorme relevancia técnica y económica para la obra.

- Compactación del terreno

Debido al efecto dinámico de golpeo se genera un bulbo de punta en el pilote que efectúa en profundidad una compactación del terreno. Además se generan unas presiones radiales durante la hinca que lo compactan lateralmente en clara diferencia con los pilotes de extracción que descomprimen el terreno, sobre todo en el extremo de la perforación.

- Limpieza de la obra

Dado que el pilote es un producto prefabricado, y que no es necesaria la extracción del terreno, no existe ningún material procedente de la excavación del pilotaje que necesite ser transportado a vertedero, evitando cánones y dificultades en su reubicación cuando el origen de estos materiales es tóxico o contaminante. A su vez, queda descartada toda contaminación de suelos y acuíferos por filtraciones de lodos y lechadas de hormigón.

- Elevados rendimientos

Se puede conseguir rendimientos medios aproximados de unos 150 ml/día por equipo de hinca.

- Calidad del Material

Al ser un elemento prefabricado, mediante los controles adecuados que se llevan a cabo en el proceso de fabricación, el cual efectuamos bajo la normativa nacional e internacional vigente recogida en un Manual de Garantía de Calidad, certificado por AENOR, se asegura un material de alta calidad (las normas españolas aún siendo muy conservadoras, permiten una carga del orden de 150 kg/cm²). Se asegura también la obtención de los recubrimientos adecuados, y además, todos nuestros pilotes se fabrican con un cemento CEM I o II-52,5-SR, con lo que queda asegurada la resistencia al ataque de aguas agresivas.

- Utilización de Juntas

La utilización de juntas, que permite alcanzar grandes profundidades, viene avalada por la experiencia y garantía que supone su empleo desde hace más de 50 años.

Todos los elementos que la componen, salvo la chapa exterior, que sirve únicamente para el montaje, quedan totalmente hormigonados y por tanto protegidos del medio exterior.

La Junta ABB se conecta directamente en obra una vez unidas las dos piezas que la forman, quedando tensadas asegurando una perfecta transmisión de esfuerzos.

- Menor plazo de ejecución global de la obra.

La ejecución de la obra con pilotes prefabricados, nos permite casi de manera simultánea la construcción de encepados y vigas sin necesidad de esperas para cumplir periodos de curado del hormigón, por lo que se solapan en el diagrama de tiempos sin marcar plazo a otras unidades de obra.

- Mayor contribución a la sostenibilidad:

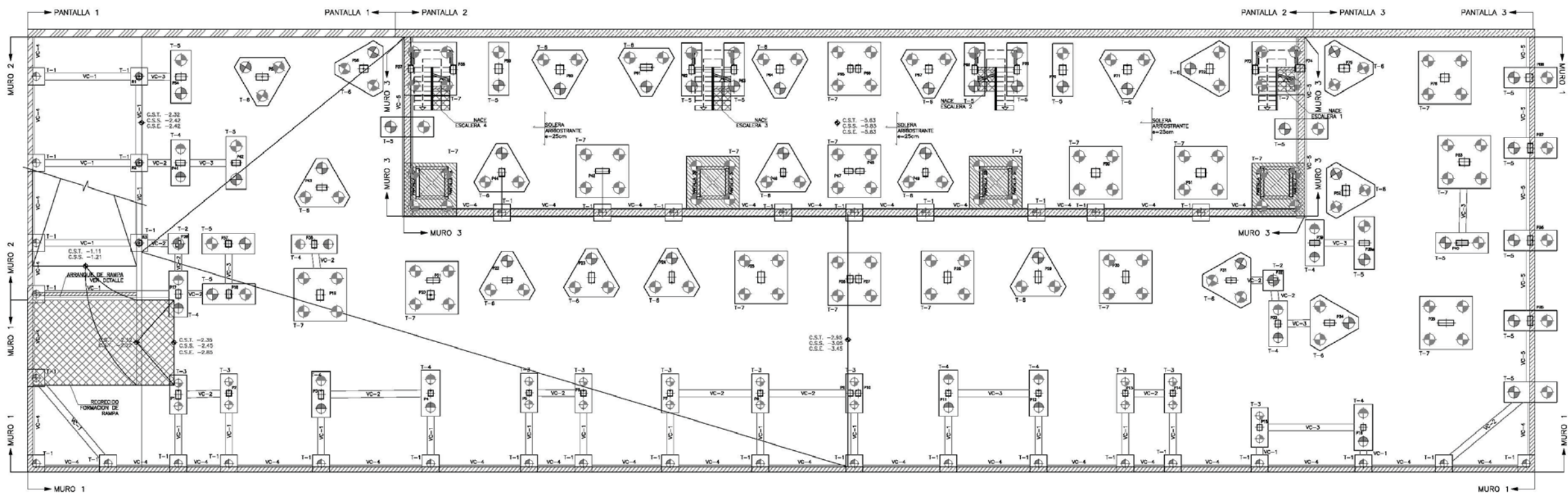
Buena parte del concepto de sostenibilidad se basa en la optimización de recursos y materiales, y en el pilote prefabricado, dada su calidad en el hormigón, el tope estructural es alto por lo que se resiste igual carga vertical con menos volumen, no se desperdicia material (en los pilotes in-situ pueden producirse excesos de hormigonado, frecuentes en los terrenos flojos), los elevados rendimientos y reducidos plazos de ejecución y fabricación suponen menos horas de funcionamiento de la maquinaria, con menores consumos de combustible, aceite y repuestos, luego menos contaminación y mayor aprovechamiento energético. Al no generar detritus que llevar a vertedero se ahorran los consumos y contaminación asociados a los elementos de transporte, y se reduce al mínimo la necesidad de dichos vertederos controlados, que en algunos lugares escasean. Tampoco se requieren suministros externos (ni agua, ni electricidad, ni hormigón), lo cual también contribuye a la sostenibilidad. Yendo un poco más allá, el aprovechamiento ingenieril de toda la capacidad resistente del terreno, e incluso mejorarla por el efecto dinámico de la hincas, también contribuye a la sostenibilidad al reducir al máximo la cimentación necesaria. Esta mejora del terreno y la optimización de la cimentación pueden verificarse mediante la realización de pruebas dinámicas de carga, de bajo coste y escasos recursos necesarios, que permiten evaluar la capacidad de carga real de los pilotes, en vez de basarse en parámetros normalmente conservadores para compensar su incertidumbre, que llevan a cimientos sobredimensionados.

4. 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.

5. APÉNDICES

5.1. APÉNDICE 1: PLANTA PILOTAJE IN-SITU



T-7	ENCEPADO 4Ø650
-----	-------------------

TIPOS DE PILOTES	
⊕	PILOTE Ø 450 mm
⊕	PILOTE Ø 550 mm
⊕	PILOTE Ø 650 mm

5.2. APÉNDICE 2: Qadm PILOTAJE PREFABRICADO

OBRA: 72 VIVIENDAS SECTOR LA CATALANA R-20

PILOTES PREFABRICADOS HINCADOS - CARGA ADMISIBLE

CODIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN - CTE-DB-SE 2006

HUNDIMIENTO

CS fuste = 2,5

CS punta 2,5

ARRANCAMIENTO

CS fuste = 3,5

NIVEL FREÁTICO

Cota = 0,0

Ysum (T/m3) = 0,90

Lado Pilote (mm)	Díametro equivalente	Área punta	Área fuste	Tope estructural	Longitud Pilote	Punta Pilote	Resistencia Punta Unit.	Qh Fuste Compresión	Qh Fuste Tracción	Qh Punta	Qh Total	Coefficiente Seguridad Qadm. Hundimiento	% Aprov. TE	Qadm. Arrancamiento (Coef.Seg.)
200	0,226 m	413,10 cm2	80,00 cm2/cm	61,97 T	12,00 m	Q3: ARENA FINA LIMOSA	800,00 T/m2	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 cm2	94,00 cm2/cm	85,01 T	12,00 m	Q3: ARENA FINA LIMOSA	800,00 T/m2	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 cm2	108,00 cm2/cm	111,99 T	12,00 m	Q3: ARENA FINA LIMOSA	800,00 T/m2	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 cm2	120,00 cm2/cm	137,94 T	12,00 m	Q3: ARENA FINA LIMOSA	800,00 T/m2	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 cm2	140,00 cm2/cm	187,71 T	12,00 m	Q3: ARENA FINA LIMOSA	800,00 T/m2	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 cm2	160,00 cm2/cm	244,82 T	12,00 m	Q3: ARENA FINA LIMOSA	800,00 T/m2	73,20 T	51,24 T	130,57 T	203,77 T	81,51 T	33,3%	14,64 T

	Q1: LIMO ARENOSO	Q2: ARENA MEDIA	Q3: ARENA FINA LIMOSA
	Tipo estrato Granular Potencia (m) 3,0 Techo = 0,00 m Muro = 3,00 m	Tipo estrato Granular Potencia (m) 6,0 Techo = 3,00 m Muro = 9,00 m	Tipo estrato Granular Potencia (m) 3,0 Techo = 9,00 m Muro = 12,00 m
Metodo Cálculo SPT	Metodo Cálculo SPT	Metodo Cálculo SPT	Metodo Cálculo SPT
Nspt Fuste	Nspt Fuste 5	Nspt Fuste 18	Nspt Fuste 20
Nspt Punta	Nspt Punta 5	Nspt Punta 18	Nspt Punta 20
pl (T/m2)			
po (T/m2)			
Ø	25	32	33
σ'v techo (T/m3)			
σ'v muro (T/m3)			
Yap (T/m3)	1,9	1,9	1,9
Cu (Kpa)			
	Resistencia Fuste rf techo = 2,5 * N = 1,25 T/m2 rf muro = 2,5 * N = 1,25 T/m2	Resistencia Fuste rf techo = 2,5 * N = 4,50 T/m2 rf muro = 2,5 * N = 4,50 T/m2	Resistencia Fuste rf techo = 2,5 * N = 5,00 T/m2 rf muro = 2,5 * N = 5,00 T/m2
	Resistencia Punta rp techo = 0,4 * N = 200,00 T/m2 rp muro = 0,4 * N = 200,00 T/m2	Resistencia Punta rp techo = 0,4 * N = 720,00 T/m2 rp muro = 0,4 * N = 720,00 T/m2	Resistencia Punta rp techo = 0,4 * N = 800,00 T/m2 rp muro = 0,4 * N = 800,00 T/m2
Sección Pilote (mm)	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 3,00 8,26	0,00 21,60 29,74	0,00 12,00 33,05
235	0,00 3,53 11,33	0,00 25,38 40,80	0,00 14,10 45,34
270	0,00 4,05 14,93	0,00 29,16 53,76	0,00 16,20 59,73
300	0,00 4,50 18,39	0,00 32,40 66,21	0,00 18,00 73,57
350	0,00 5,25 25,03	0,00 37,80 90,10	0,00 21,00 100,11
400	0,00 6,00 32,64	0,00 43,20 117,51	0,00 24,00 130,57

5.3. APÉNDICE 3: CROQUIS PLANTA PILOTAJE PREFABRICAD

RECuento PILOTES

PREFABRICADOS

x P235 → 36 PILOTES

o P270 → 20 PILOTES

■ P350 → 132 PILOTES

⊕ P400 → 42 PILOTES

TOTAL → 230 PILOTES

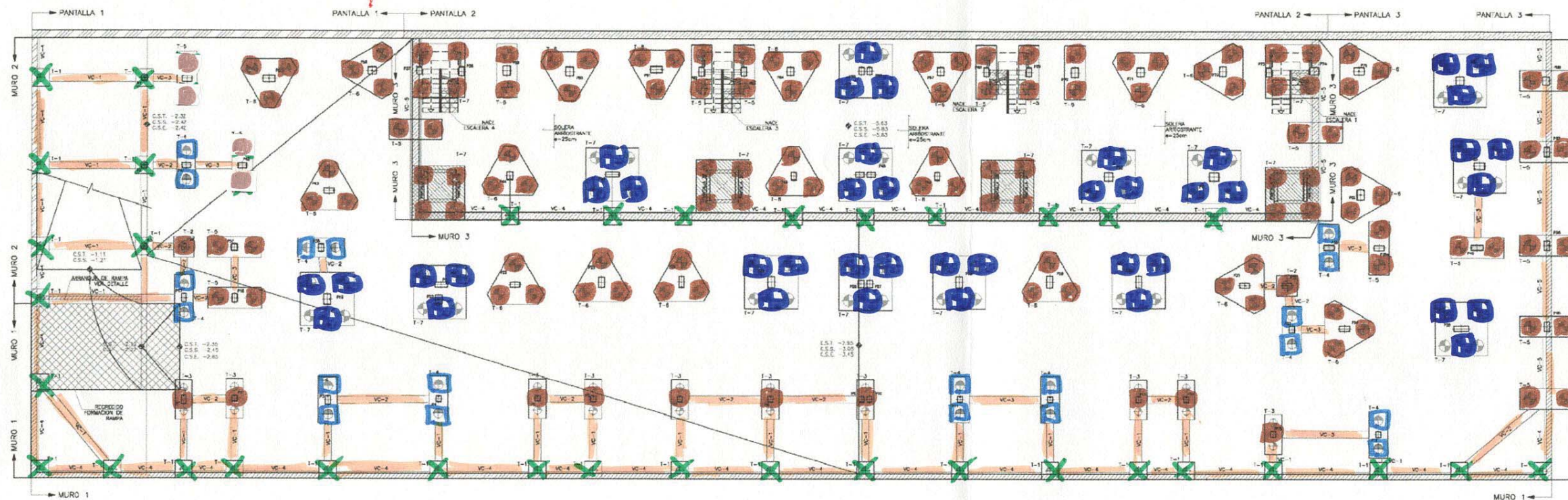
IN-SITU (CPI-8)

D 450 mm → 56 PILOTES ⊕

D 550 mm → 20 PILOTES ⊕

D 650 mm → 180 PILOTES ⊕

TOTAL → 256 PILOTES



	ENCEPADO 40650
TIPOS DE PILOTES	
⊕	PILOTE Ø 450 mm
⊕	PILOTE Ø 550 mm
⊕	PILOTE Ø 650 mm

cargas consideradas: (según cliente)

1 p45 = 305 MN

1 p65 = 605 MN

2 p45 = 630 MN

2 p65 = 880 MN

2 p65 = 1230 MN

4 p65 = 2420 MN

Qadr P34

235 = 35'34 t

270 = 43'66 t

300 = 51'39 t

350 = 65'66 t

400 = 81'55 t

Legenda:

x → P235

o → P270

■ → P350

⊕ → P400

→ Vigas arriostrante