
ÍNDICE

1. OBJETO DE LA NOTA TÉCNICA	1
2. DATOS GENERALES DEL PILOTAJE PROYECTADO	1
3. ESTUDIO DE INFLUENCIA DE LA CAPA DE ARCILLAS	2
4. CASO DEL PILOTE S1	4
5. CONCLUSIONES	5

1. OBJETO DE LA NOTA TÉCNICA

El proyecto "Obra Civil Nuevo Syncrolift Muelle Catalunya" se redactó a partir de la información geotécnica disponible en el momento de su redacción. La APB ha facilitado una información adicional complementaria "Campaña de Reconocimiento Geotécnico" llevada a cabo por Geocisa en Agosto del 2016 y solicita que se efectúe una valoración para determinar si es necesario introducir alguna modificación o por le contrario el diseño continua cumpliendo con las especificaciones de todo tipo aplicables al mismo.

2. DATOS GENERALES DEL PILOTAJE PROYECTADO

Los datos principales de los pilotes del proyecto se recogen en la siguiente tabla:

Pilote	Φ, p (mm)	L, p (m)	Q, k (kN)	Z, p (m)
T1	1500	33.0	8075.8	-32.0
T2	1500	30.0	6945.9	-29.0
T3	1500	28.0	6351.3	-27.0
M1	1800	30.0	8471.3	-39.0
M2	1500	34.0	6813.1	-43.0
M3	1500	30.0	6149.7	-39.0
R1	1500	38.0	8126.6	-37.0
R2	1500	35.0	7478.1	-34.0
R3	1500	32.0	7046.2	-31.0
S1	1800	38.0	9323.7	-51.0
S2	1800	20.0	4898.4	-33.0

Tabla 1: Datos principales pilotes proyecto "OCNS".

Para cada tipo de pilote se presenta:

- Diámetro (Φ)
- Empotramiento previsto (L,p) en el terreno. En el caso de los pilotes marítimos o de syncrolift, se mide desde la cota de fondo marino actual o dragada.
- La carga de servicio (Q,k) en combinación fundamental, que consta de la acción de explanada máxima, el peso propio del pilote de la parte exenta, y el rozamiento negativo si fuera el caso.
- La cota de situación de la punta (Z,p).

La estimación de carga de hundimiento y los coeficientes de seguridad frente a este modo de fallo son los siguientes:

Pilote	Q,hun (kN)	F,hun
T1	18021.3	2.23
T2	15565.7	2.24
T3	13999.3	2.20
M1	19535.8	2.31
M2	15879.4	2.33
M3	14115.1	2.30
R1	18892.9	2.32
R2	17525.8	2.34
R3	16054.2	2.28
S1	32486.2	3.48
S2	13096.2	2.67

Tabla 2: Carga y factos seguridad frente a hundimiento.

Estos coeficientes son adecuados (tabla 3.6.1. ROM 0.5-05) incluso para una estimación por métodos basados en fórmulas analíticas –valor superior a 2,20, cuando sería suficiente 1,80-, aunque en realidad se ha utilizado el valor del cálculo por parámetros, por datos de presiómetros y por valores aportados por CPTU. Es decir se efectuó un diseño conservador dada la incertidumbre geotécnica, que por otra parte no es inusual en este tipo de obras-.

Se trata ahora de obtener una referencia cuantitativa de la influencia de la capa de arcillas situada al nivel -46,0m.

3. ESTUDIO DE INFLUENCIA DE LA CAPA DE ARCILLAS

Como consecuencia de la nueva campaña, se ha detectado en todos los nuevos puntos investigados una capa de arcillas limosas, que se sitúa a las siguientes profundidades y cotas absolutas:

Posición	Z,bh	Zo	Z,arcilla
S-1	-36.6	-9.8	-46.4
S-2	-36.0	-11.6	-47.6
S-3	-36.0	-10.9	-46.9
S-4	-33.0	-11.5	-44.5
S-5	-45.0	2.1	-42.9



Por ello supondremos su presencia a una cota media aproximada de -46,0. Su potencia es variable entre 5 y 8 m aproximadamente. Bajo ella se ha detectado un capa de suelo muy firme que, aunque pierde su carácter arcilloso, posee un alto porcentaje de finos, y siempre con niveles entrelazados marcadamente arcillosos sin continuidad lateral.

Tal supuesto se contempla en el apartado 3.6.4.7.3 de ROM 0.5-05 "Suelos cohesivos bajo la punta de los pilotes", en el que se propone una fórmula de influencia relacionada con la resistencia al corte sin drenaje de la arcilla (S_u), la posición de la punta, y el rozamiento interno del suelo granular donde se sitúa la punta.

$$q_p \leq 9s_u + \sigma'_v \left(1 + \frac{4H}{D} \operatorname{tg}^3 \phi \right)$$

Donde:

- S_u = Resistencia al corte sin drenaje
- Φ = Ángulo de rozamiento interno del suelo granular donde se sitúa la punta.
- H = Distancia de la punta a la capa arcillosa.
- D = Diámetro del pilote
- σ'_v = Presión efectiva vertical del suelo al nivel de la punta.
- q_p = Presión de punta a hundimiento de pilote corregida por efecto de la capa arcillosa.

La información geotécnica existente nos proporciona un valor de S_u para la caracterización del nuevo nivel de 85 kPa. En cuanto al ángulo de rozamiento interno, a estos efectos, se puede considerar un valor mínimo de 33° para la unidad UG-2 y 37° para UG-3 de acuerdo a los datos de CPTU, pudiéndose interpolar en función de la posición relativa de la punta respecto al nivel estimado de su posición que oscila entre las cotas -36,0 a -38,0 m. En la fórmula citada se considera la resistencia de la arcilla en condiciones no drenadas al intervenir solo su resistencia al corte sin drenaje.

Con este planteamiento se puede obtener las cargas de hundimiento modificadas para cada tipo de pilote:



Pilote	DH (m)	φ (°)	qp,o (kPa)	σ'_y (kPa)	qp,c (kPa)	Qp,c (kN)	Q,f (kN)	Q,hun (kN)	F,h
T1	14	32	4879.3	320.0	3999.8	7068.3	9398.9	16467.2	2.04
T2	17	32	4341.7	290.0	4262.6	7532.7	7893.3	15425.9	2.22
T3	19	32	3983.3	270.0	4372.7	7727.3	6960.2	14687.5	2.31
M1	7	35	4135.7	292.0	2616.4	6657.8	9011.6	15669.4	1.85
M2	3	35	3737.9	332.0	2008.8	3549.9	9274.0	12823.9	1.88
M3	7	32	3737.9	292.0	2386.9	4218.0	7509.7	11727.7	1.91
R1	9	34	5600.0	342.0	3625.8	6407.4	8996.9	15404.3	1.90
R2	12	33	5600.0	312.0	3811.4	6735.2	7629.8	14365.1	1.92
R3	15	32	5600.0	282.0	3799.2	6713.7	6158.1	12871.9	1.83
S1	-5	35	7219.6	380.0					
S2	13	32	3146.5	200.0	2374.7	6042.9	5089.4	11132.3	2.27

Tabla 3: Carga y factos seguridad frente a hundimiento modificadas para cada pilote.

En la tabla anterior para cada pilote se menciona:

- DH: Es la distancia desde la punta del pilote a la capa de arcillas
- φ : Ángulo de rozamiento interno promediado dependiendo de la posición de la punta respecto UG-2 y UG3
- $q_{p,o}$: Es la resistencia unitaria límite por punta considerada en el proyecto.
- σ'_y : Es la presión vertical efectiva en la punta del pilote
- $q_{p,c}$: Es la resistencia unitaria límite por punta corregida por el efecto de capa blanda.
- $Q_{p,c}$: Es la contribución por punta total con este efecto.
- Q_f : Es la contribución por fuste, que no se ve modificada.
- Q_{hun} : Es la nueva carga de hundimiento estimada con efecto de capa blanda.
- F_h : Es el nuevo coeficiente de seguridad.

Como se puede observar, y con el planteamiento mencionado, existe una cierta influencia de este nuevo dato, pero siempre se mantiene la seguridad superior a un valor de 1,80, que consideramos aceptable ya que estamos tomando en consideración los valores de CPTU.

El caso del pilote tipo S1, apoyo portante del Syncrolift, el dimensionado previsto sitúa su punta a unos 51,0m de profundidad. Este caso particular lo analizaremos a continuación.

4. CASO DEL PILOTE S1

La punta se posiciona aproximadamente en el nivel -51, con unos 5,0 m bajo el nivel de arcillas. Suponiendo conservadoramente que aún existieran otros 5,0 m bajo ella,



la resistencia por punta la zona activa inferior (2D aproximadamente) quedaría determinada por este nivel, y la superior (6D aproximadamente), quedaría promediada entre parámetros de UG-3 y de arcillas.

La resistencias por fuste apenas se ve influenciada, ya que se considera limitada la fricción a 90 kPa: El nuevo valor sería de 13.695 kN. Para la estimación de la resistencia por punta consideraremos unos parámetros conservadores de rozamiento interno de $(\varphi') = 28^\circ$ y una cohesión $(c') = 30$ Kpa, en tensiones efectivas. Con estos parámetros y limitando la presión efectiva máxima en punta por efecto Kerisel, se estima que la presión unitaria máxima por punta en estas arcillas sería de 3,76 Mpa; ello supondría una carga máxima en punta de 7655,2 kN, y una previsión de carga de hundimiento de 21261 kN. Con estas hipótesis la seguridad al hundimiento de este pilote seguiría siendo suficiente: 2,28.

Sin embargo es preciso considerar también el posible incremento de asientos: Aplicando la misma metodología (fórmulas elásticas y criterio de ROM 0.5-05 en función de la carga de hundimiento), el valor de asiento esperable es del orden de 22 mm, unos 8 mm superior a la estimación anterior. Este valor está lleno de incertidumbres -tanto de modelo como de información geotécnica-, y solo los ensayos de prueba de carga determinarían su valor real.

5. CONCLUSIONES

La aparición de un nivel de arcillas a la cota -46,0 reduce algo los valores de resistencia por punta estimados en el proyecto, en especial en los pilotes más largos, que se ven influenciados por el posible efecto de punzonamiento de la capa granular. Para considerarlo se ha efectuado una estimación de la reducción de la carga unitaria por punta de acuerdo al Art. 3.6.4.7.3 de ROM 0.5-05. Sus resultados revelan una ligera reducción de la seguridad respecto a la prevista en el proyecto, pero la mantienen por encima de 1,8, valor límite del coeficiente de acuerdo al conjunto de metodologías empleadas para la estimación de este modo de fallo.

Un caso especial son los pilotes largos de apoyo de Syncrolift (tipo S-1), cuya punta se encuentra situada dentro de la capa arcillosa. Dado el amplio coeficiente de seguridad con que se diseñó este elemento, la seguridad sigue siendo suficiente a pesar de la fuerte reducción de la colaboración de la punta. Sin embargo es preciso considerar el comentario de ROM al respecto, y que puede incrementar significativamente su asiento, aspecto este determinante para la funcionalidad del sistema de izado. Por

ello, tal y como ya está previsto en el proyecto, deberá validarse definitivamente con la ayuda de las pruebas de carga contempladas en el mismo.

Madrid, 7 de septiembre de 2016

El Ingeniero Autor del Proyecto



Ramón Ruiz Ruiz de Gopegui ICCP
Nº de colegiado 7.459
PROINTEC