

Seguimiento de la evolución de asentamientos para un futuro parque de carbones en el Polígono Industrial de Guadarranque, Cádiz (España)

RAMIRO GÓMEZ ESCOBES (*); MARCELO J. DEVINCENZI FABETTI (**)

RESUMEN Se presenta un caso real de investigación geotécnica en el cual se combinaron ensayos CPT's & CPTU's, sondeos con testigo continuo, toma de muestras inalteradas y ensayos de laboratorio. Se llevó a cabo el seguimiento de la evolución de los asentamientos por medio de un terraplén experimental instrumentado construido sobre sedimentos aluviales/deltaicos cuaternarios, blandos y heterogéneos. Se propone una correlación experimental entre FR% y c_v para las capas/lentes de consolidación a largo plazo. Cuando una capa tiene más de 15 cm con FR% < 1,5%, se considera como un borde drenante donde el asiento es instantáneo desde un punto de vista práctico. Las capas restantes se supone que consolidan de acuerdo a la teoría de Terzaghi. El registro de asentamientos del terraplén encaja muy bien entre dos predicciones teóricas, la primera considerando un c_v = constante = 4×10^{-4} cm²/seg y la segunda con un c_v variable. Se diseñó un sistema de precarga clásica sin ningún otro método del mejoramiento del terreno permitiendo una reducción de costos notable comparado con otros tratamientos.

SETTLEMENTS EVOLUTION FORECASTING FOR A FUTURE COAL STOCK PILING ON GUADARRANQUE INDUSTRIAL AREA, CÁDIZ (SPAIN)

ABSTRACT A case history about CPT's & CPTU's tests combined with borehole and undisturbed sampling, and laboratory tests is presented. Forecasting of settlements is checked by means of an experimental monitored embankment resting on soft and heterogeneous alluvial/deltaic quaternary sediments. An experimental correlation is proposed between FR% and vertical consolidation coefficient (c_v) for long term compressible layers and lenses, and from a practical design point of view. Free-draining borders are considered when more than 15 cm thick veins show FR% figures less than 1,5%, where settlements are considered to be produced in very short term, instantaneously in practice. Remaining layers are considered to consolidate according to Terzaghi theory. Actual records of settlements fit very well between two predictions, the first one with c_v = constant = 4×10^{-4} cm²/seg and the second one with variable c_v , according to the above mentioned correlation. Preloading, without any other soil improvement method was designed, allowing cost reduction compared to initial estimations for soil treatments.

Palabras clave: Ensayos geotécnicos in situ; Penetraciones estáticas; CPT; CPTU; Piezoconos; Terraplén experimental.

1. INTRODUCCIÓN

Terminal Internacional de Carbones, S.A., GIBRALTAR-INTERCAR es la promotora de un parque de acopio de carbones, en conexión con los planes de desarrollo de la Autoridad Portuaria de la Bahía de Algeciras.

La capacidad de descarga de la Terminal Marítima de Gibraltar-Intercar se estima en 5 M de toneladas mientras que la capacidad de carga es de 4M de toneladas. Sin embargo, los volúmenes actuales de su actividad distan mucho de estas cifras debido a la falta de un sitio de acopio apropiado.

Por esta razón se prevé el acondicionamiento de una parcela de 700 x 350 m localizada en el Polígono Industrial de

Guadarranque destinada al acopio de carbones, con capacidades crecientes en sucesivas etapas.

El emplazamiento original del proyecto debió cambiarse debido a consideraciones medioambientales, a fin de alejarlo de zonas residenciales, debido a la nueva Ley de Costas y debido al interés arqueológico del lugar.

Desafortunadamente, el nuevo emplazamiento presenta condiciones geotécnicas mucho más desfavorables que el inicial, por lo que fue necesario un nuevo reconocimiento para estudiar el comportamiento del suelo ante futuras cargas y diseñar el método de tratamiento del terreno óptimo desde un punto de vista económico de acuerdo a los plazos disponibles, teniendo en cuenta, además, la potencial contaminación de las aguas subterráneas.

2. MARCO GEOLÓGICO

El terreno elegido para la ubicación del parque se emplaza justo sobre la margen izquierda del río Guadarranque, en su

(*) IBERNISA, Madrid, España.

(**) IGOTEST, Castelló d'Empúries, Girona, España.

desembocadura en el Mar Mediterráneo en la Bahía de Algociras.

El perfil del suelo está constituido por un primer nivel de sedimentos cuaternarios de más de 20 m de espesor formado por niveles alternados de arenas finas, limos y arcillas con sus correspondientes gradaciones. En general son flojos o fangosos, con una proporción de finos normalmente superior al 30%. Corresponden a depósitos deltaicos y aluviales del río Guadarranque y el arroyo de la Madre Vieja. Estos sedimentos se han depositado con la erratividad típica de estos ambientes sedimentarios, dando lugar a lantejones de continuidad lateral limitada, hecho fundamental para evaluar las características de consolidación de la masa del suelo.

Los sedimentos cuaternarios se apoyan sobre una capa de arenas marinas fosilíferas calcáreas, posiblemente de edad pliocena, que se encuentra hasta los 45 m de profundi-

dad. Por último, el horizonte inferior lo forma un nivel de arcillas margosas y margas con intercalaciones de caliza de edad eocena (?), basamento rocoso regional.

3. INVESTIGACIÓN

La campaña de campo se planificó teniendo en cuenta la información recogida en estudios previos, la reconocida baja capacidad portante actual y heterogeneidad de los suelos y la presumible necesidad de tratamientos de mejora de los mismos. Se realizaron:

- 12 sondeos con recuperación continua de testigo dentro de los cuales se realizaron ensayos SPT, toma de muestras inalteradas y ensayos de permeabilidad Lefranc.
- 32 ensayos CPT con punta mecánica tipo Begemann.

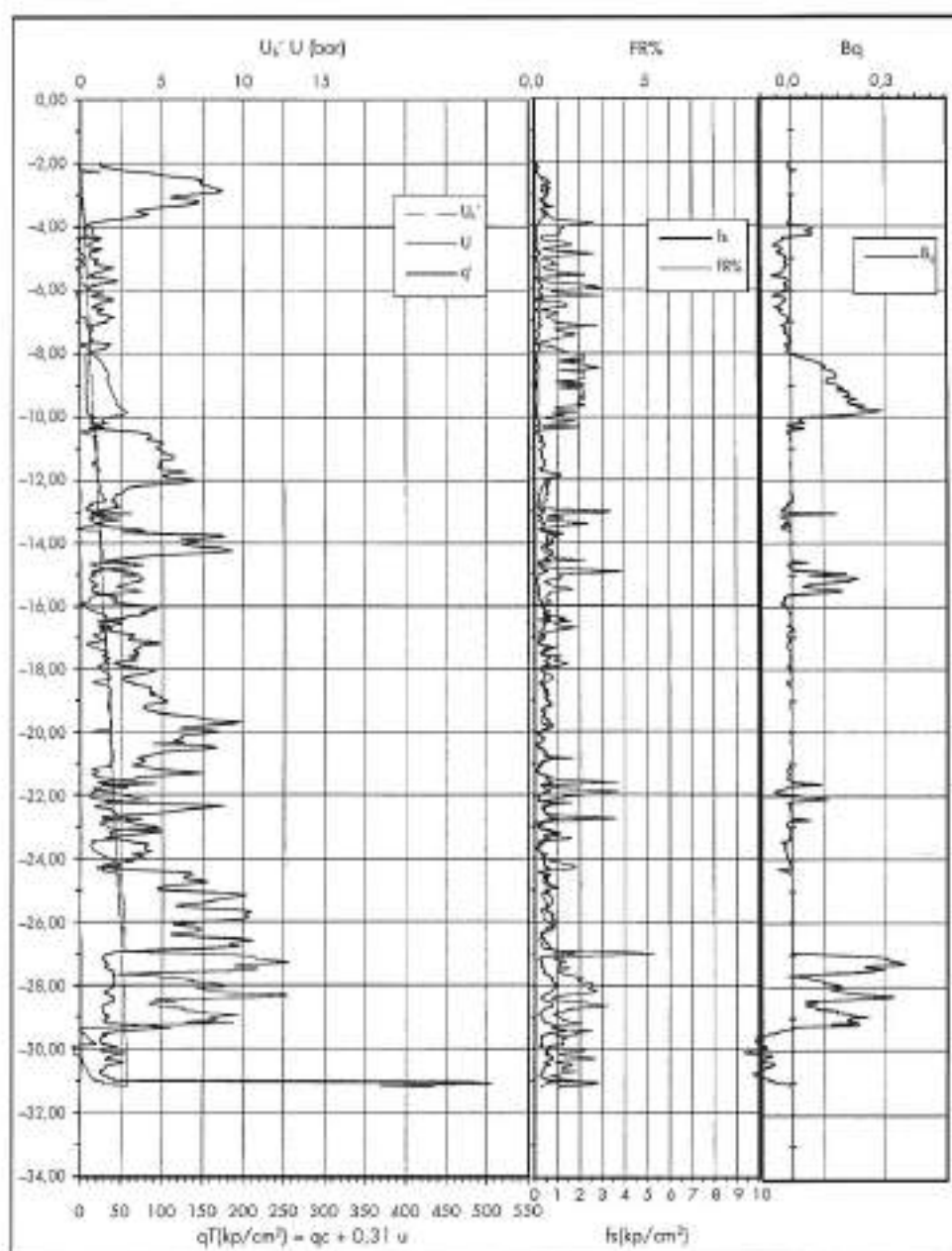


FIGURA 1. Piezocorreo U5.

	MÍNIMO	MEDIA	MÁXIMO
% finos (#200)	2,30	44,40	99,40
Límite líquido (%)	19,80	41,57	66,90
Índice de plasticidad (%)	4,20	22,95	44,10
γ_d (t/m ³) Densidad seca	1,10	1,43	1,79
W% Humedad natural	11,20	31,04	51,00
I.C. Índice de Consistencia	-1,97	0,30	1,40
q_u (kp/cm ²) Resistencia a compresión simple	0,09	0,73	5,00
C_u (t/m ²) Cohesión en tensiones totales	0,00	4,01	9,90
C_u' (t/m ²) Cohesión en tensiones efectivas	0,00	0,52	1,96
ϕ Ángulo de rozamiento en tensiones totales	5,84	14,20	25,02
ϕ Ángulo de rozamiento en tensiones efectivas	19,68	29,61	35,71
Parámetro A de Skempton	-0,25	0,14	0,79
a_0 Índice de huecos	0,411	0,900	1,308
Índice de Compresibilidad C_c	0,075	0,230	0,402
Índice de Entumecimiento C_e	0,016	0,066	0,155
$C_c / (1 + C_e)$	0,045	0,116	0,192
c_v (Cegrande) 10 ⁴ cm ² /s	0,74	7,16	38,10
c_v (Taylor) 10 ⁴ cm ² /s	0,76	54,29	172,20
Materia Orgánica%	0,16	1,12	2,90
[*] El 51,45% de las muestras resultaron ser "NO PLÁSTICAS"			

TABLA 1. Resultados de los ensayos de laboratorio.

- 12 ensayos CPTU (piezocono).
- Numerosos ensayos de laboratorio de reconocimiento, resistencia y deformabilidad (edómetros y triaxiales).

El piezocono utilizado (Sol-Essais-Etudes) fue el estándar de 35 mm diámetro, 60°, 10 cm² de punta y manguito de fricción de 150 cm² con el filtro poroso ubicada por encima de la base del cono.

Como sistema de hincas se utilizó un penetrómetro con dispositivo de autoanclaje de 10 t de reacción que permitió el satisfactorio reconocimiento de la zona, alcanzando en algunos casos los 38/40 m de profundidad.

Los ensayos se llevaron a cabo de acuerdo a las especificaciones de la ISSMFE.

4. CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA

A efectos prácticos de este estudio se pueden extraer las siguientes conclusiones para enmarcar suficientemente el contexto geotécnico de la zona:

- El basamento se encuentra siempre a una gran profundidad, no menor de 20 a 25 m.
- Es significativa la existencia de puntos cercanos con diferencias apreciables de la profundidad de rechazo y en la correlación de las capas (lentejones).
- Los espesores de terreno muy blando ($q_u < 1,5$ MPa $\approx N_{60} = 4$) son notables hasta los 10 m de profundidad, encontrándose en capas más delgadas hasta los 30 m. En la fi-

gura 1 se presenta la gráfica del piezocono U5, que ha sobrepasado los 31 m de profundidad.

- La heterogeneidad es la nota dominante como puede deducirse de los resultados de los ensayos de laboratorio, resumidos en la tabla 1. En las figuras 2 y 3 se presentan las relaciones ($q_T - \sigma_v$) vs. FR% y ($q_T - \sigma_v$) vs. B_q del ensayo U5, respectivamente. Estas figuras, que merecerían un análisis más detallado, permiten visualizar rápidamente el predominio de un tipo de suelo granular y sus gradaciones granulométricas en la vertical a suelos arcillo-limosos.
- Definitivamente, existe una gran heterogeneidad micro y macro textural tanto en el sentido horizontal como en el vertical.

5. CÁLCULO DE ASIENTOS TEÓRICO

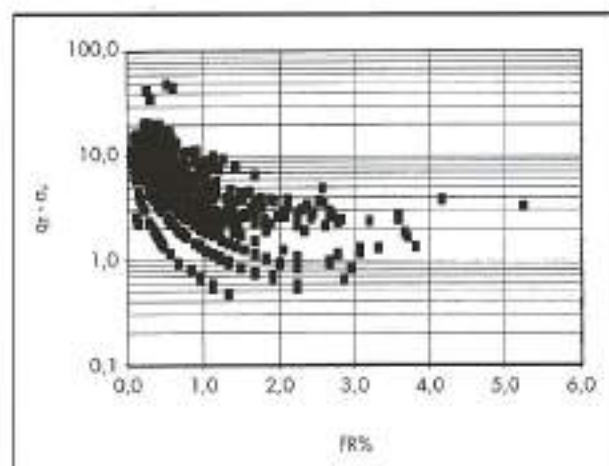
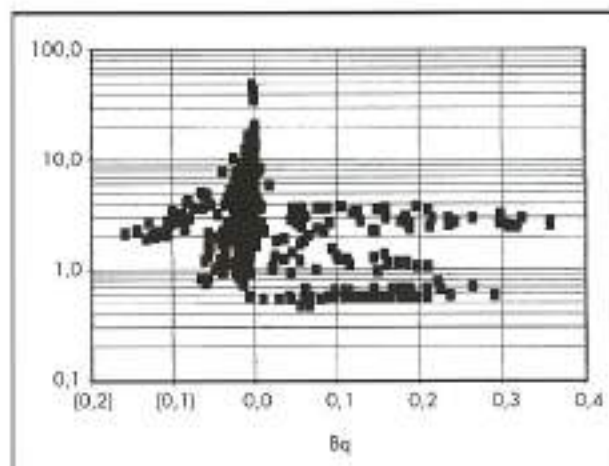
La estimación inicial de asientos se realizó por el método elástico a partir de los resultados de los ensayos CPT y CPTU, determinando el módulo confinado E_u mediante la relación:

$$E_u = \alpha \cdot q_u$$

Tentativamente se adoptó como primera aproximación un valor de:

$$\alpha \approx 2$$

Los asientos se calcularon teniendo en cuenta las siguientes hipótesis:

FIGURA 2. Relación FR% vs q_1/q_2 en el piezocónico U5.FIGURA 3. Relación FR% vs B_q en el piezocónico U5.

- carga uniforme de 0,3 MPa de extensión infinita, es decir, que llega íntegra a cualquier profundidad, sin minoración por distribución de tensiones.
- los asentamientos en terrenos más profundos que la cota de rechazo son nulos.

De este cálculo inicial y para todos los CPT (excepto 3) y CPTU se obtuvieron valores de asentamientos comprendidos entre 0,87 y 2,98 m.

Ante estas magnitudes resultaba innegable la necesidad de mejora del terreno a fin de conseguir la estabilidad de la obra.

6. TERRAPLÉN EXPERIMENTAL

Dada la gran extensión de terreno a ocupar por el futuro parque, se plantean grandes inversiones, cualquiera que sea la alternativa elegida para mejorar el terreno hasta un grado seguro para la funcionalidad de la maquinaria de explotación.

De todos los métodos disponibles se consideró como adecuado el de una precarga tradicional sin la adición de drenes verticales, debido a las numerosas intercalaciones drenantes en el interior del suelo.

Aún así, los costes de la mejora seguían siendo muy elevados (sin contabilizar las cimentaciones profundas de los futuros puentes sobre el río y de estructuras importantes) por lo que esta sola consideración bastaba para justificar el coste de un terraplén experimental con auscultación que permitiera seguir la evolución de los asentamientos y su interpretación.

Así pues, era necesario poder responder a preguntas fundamentales:

- ¿Es suficiente la precarga estática?
- En caso afirmativo, ¿cuál es la altura de las tierras que se requiere?

6.1. GEOMETRÍA

El terraplén experimental se ha construido sobre el CPTU 5, sin darle un tratamiento especial, es decir, se ha realizado de la misma forma constructiva con que se prevé construir la precarga de tierras en la extensión global.

Su superficie fue de 40 x 40 m en coronación con taludes 1H:1V y 12 m de altura. Su geometría se presenta en la figura 4.

6.2. INSTRUMENTACIÓN

Se instalaron los siguientes equipos de auscultación:

- 6 piezómetros de cuerda vibrante, alejados 3 por sonda.
- 4 células de presión total en la base del terraplén.
- 13 placas de asiento con su varillaje.
- 13 hitos de nivelación topográfica clavos de nivelación.

6.3. EVOLUCIÓN DE LAS PLACAS DE ASIENTOS

El primer punto que se puede destacar, aún por obvio que parezca, es que los asentamientos en las placas situadas al pie del terraplén son del orden de 4 veces menores que los registrados en la coronación.

Los objetivos fundamentales que se perseguían con la instrumentación era conocer los asentamientos reales y la disipación de las presiones intersticiales, función de la altura del terraplén, además de conocer el alcance de la influencia en los terrenos circundantes.

Al analizar las curvas de asentamientos se pueden distinguir dos zonas bien diferenciadas, una primera que corresponde a la fase de construcción del terraplén, donde los asentamientos aumentan rápidamente, y una segunda, una vez terminada la construcción, donde se ralentiza su velocidad. La relación entre el asiento producido al finalizar la construcción y el asiento a fecha de la última lectura es de 0,5, es decir, en los primeros 15 días se produjo el mismo asiento que en el mes y medio siguiente, lo que significa que la velocidad del asiento se ha reducido a la tercera parte.

Los asentamientos mayores se produjeron en la cara Sur del terraplén.

Por último, cabe destacar que si bien la velocidad de los asentamientos se habían ralentizado bastante, ni mucho menos el terraplén ha dejado de asentarse a fecha de la última lectura.

6.4. EVOLUCIÓN DE LOS CLAVOS DE NIVELACIÓN

Los clavos de nivelación cumplen una doble función: por un lado nos dan datos del comportamiento del terreno en las inmediaciones del terraplén y por otro, nos suministra información sobre posibles roturas del terreno, lo que a su vez aporta datos sobre la capacidad portante del mismo.

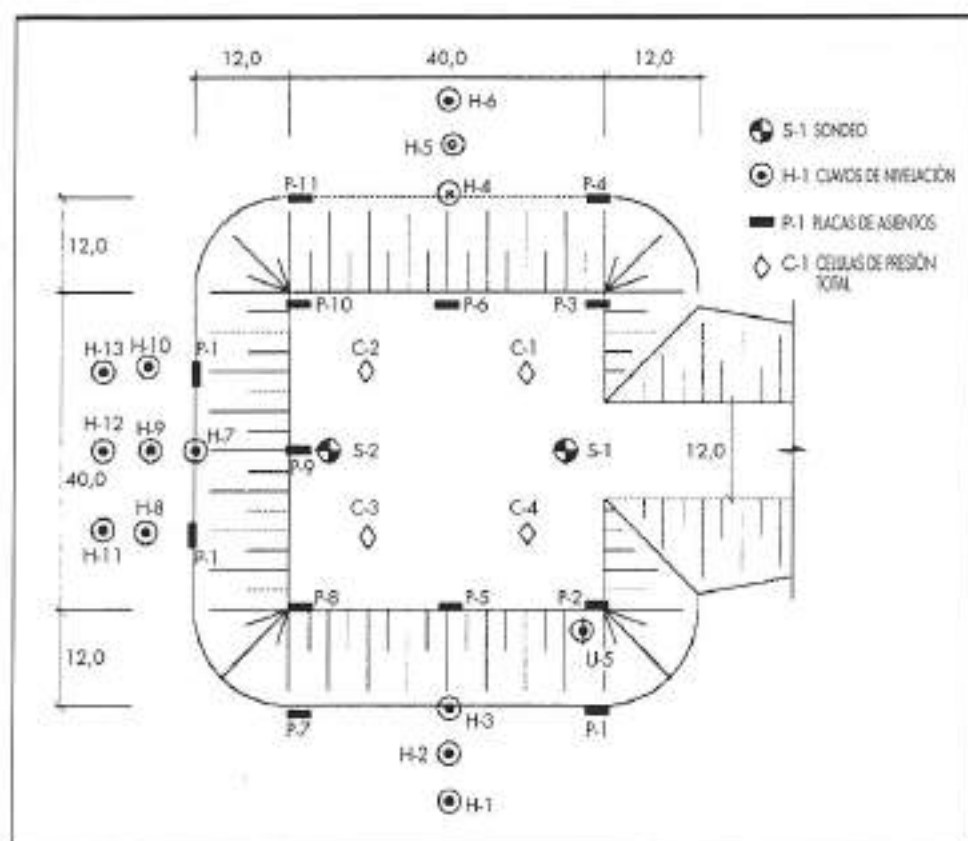


FIGURA 4. Terraplén experimental.

Los resultados obtenidos con los clavos ubicados en el pie del terraplén coinciden casi con total precisión con los observados en placas de asiento de posición similar.

A medida que nos alejamos de la base del terraplén los clavos asientan menos, llegando incluso a un pequeño levantamiento en algunos. Respecto a la evolución de sus movimientos, en un principio tendían a levantarse ligeramente a medida que iba aumentando la altura del terraplén, mientras que una vez finalizada la construcción, la tendencia es general y claramente tiende a un aumento de los asientos con el tiempo.

Respecto a la capacidad portante, podemos concluir que el terreno soporta sin romperse la carga del terraplén construido.

6.5. EVOLUCIÓN DE LOS PIEZÓMETROS

La evolución de los piezómetros también puede dividirse de forma clara en una primera fase de construcción, donde las presiones registradas van aumentando y una segunda etapa, una vez finalizada la construcción, en la que todos los piezómetros descienden.

Hasta el momento, únicamente los tres piezómetros más profundos han registrado la disipación total del incremento de presiones que produjo la construcción del terraplén. El resto de ellos todavía registran un pequeño aumento de la presión en exceso.

7. ANÁLISIS TEÓRICO

7.1. CONSIDERACIONES PRELIMINARES

Desde un punto de vista puramente geotécnico, se trataba de disipar varias dudas derivadas de la alta heterogeneidad

del suelo, la naturaleza lenticular de los depósitos y el desconocimiento de la relación c_v/c , así como el valor de c , global de la masa del suelo.

El punto clave, por su mayor influencia en la evolución de los asientos, y por lo tanto en la intensidad de aplicación de la mejora, resultaba el de la *determinación del criterio que permitiera diferenciar las capas que consolidan a largo plazo de las que constituyen bordes drenantes*, debido a las condicionantes geológicas mencionadas.

Se hicieron correlaciones entre diversos parámetros pero la heterogeneidad, y más que ésta en una misma vertical, las variaciones laterales reveladas por comparación entre reconocimientos próximos (incluso muy próximos), hacía dudar de la continuidad de las capas granulares y, por lo tanto de su real eficacia como bordes drenantes.

7.2. RELACIÓN $FR\%-T50(S_v)$ ($FR\%-c_v$)

En las figuras 5 y 6 pueden observarse las relaciones entre $t50 \cdot FR\%$ y $c_v \cdot FR\%$ para todos los CPTU realizados en el solar c_v , determinado a partir de:

$$c_v = \frac{T^* \cdot R^2 \cdot \sqrt{I_r}}{t}$$

donde:

T^* : factor tiempo modificado

R : radio del cono

I_r : coeficiente de rigidez

t : tiempo

de acuerdo a los planteamientos propuestos por Housley y Teh (1988).

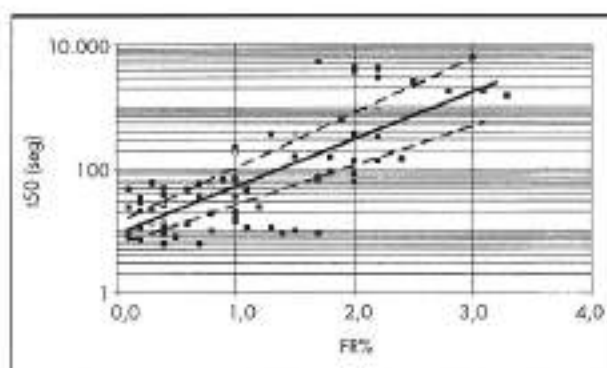


FIGURA 5. Relación t_{50} vs. FR% para todos los ensayos de disipación ejecutados.

Si bien la correlación no es fuerte (en la figura 5 se presenta la recta de regresión de ajuste y las rectas con un intervalo de confianza del 90%), se observa una tendencia en realidad útil desde un punto de vista práctico.

En las figuras 7 y 8 se presentan estas mismas relaciones para el ensayo CPTU U5. En este caso (para un solo ensayo), sí puede establecerse una regresión ajustada con parámetros estadísticos de correlación muy aceptables. Sin pretender generalizar, se demuestra su ajustada correlación empírica.

Las mencionadas relaciones, t_{50} vs. FR% y c_v vs. FR% para el piezocono U5, son:

$$\text{Log}(t_{50}) = 0,99 \text{ FR\%} + 0,94 = \text{FR\%} + 0,94$$

$$c_v = \frac{-1,64}{0,797 - 10^4 \text{ FR\%}}$$

y son válidas para el intervalo $0,0 < \text{FR\%} < 4,0$.

8. ASIENTOS EN CPTU U5

8.1. ASIENTOS A TIEMPO INFINITO (TEÓRICO)

El cálculo de asientos a tiempo infinito para el piezocono U5, según las hipótesis descritas en el epígrafe 5 resultó:

$$s = 1,894 \text{ m} = 1,9 \text{ m}$$

8.2. CONSOLIDACIÓN

Al desconocer la real eficacia de los bordes drenantes e intentando los resultados de los ensayos de laboratorio como muy

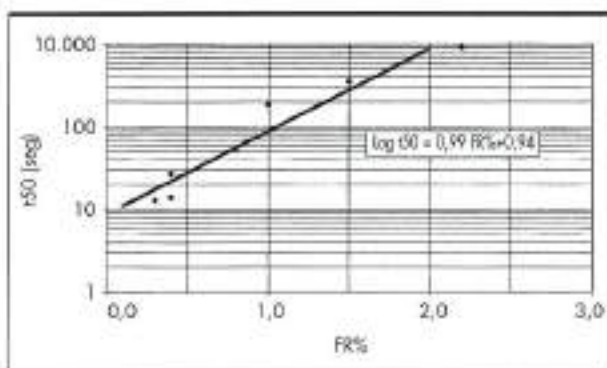


FIGURA 7. Relación t_{50} vs. FR% para el piezocono U5.

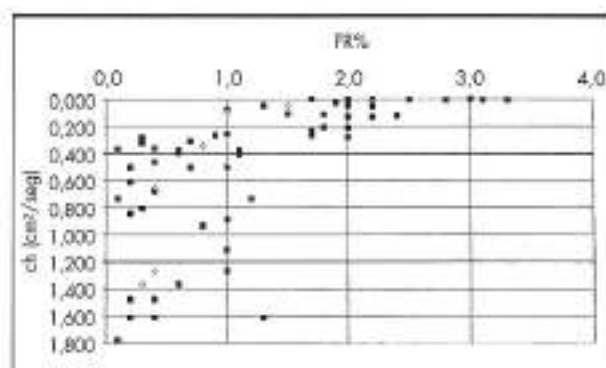


FIGURA 6. Relación ch vs. FR% para todos los ensayos de disipación ejecutados.

conservadores, se realizaron una serie de hipótesis de progresiva complejidad a fin de evaluar la evolución de los asientos con el tiempo y comparar estos resultados con el seguimiento de asientos del terraplén experimental.

- Se supone que la capa tipo tiene un espesor de 4 m y tiene bordes drenantes con un coeficiente de consolidación $c_v = 4 \times 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{s}$.
- Hay varias capas de 4 m con $c_v = 4 \times 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{s}$ y en el resto se obtiene un grado de consolidación un 10% mayor que el correspondiente a las capas "tipo", que se supone son 3, sumado 12 m (aproximadamente el espesor de las capas blandas en que $q_u < 0,35 \text{ MPa}$), lo que viene a significar que el asiento atribuible a estas capas es el 80% del total.
- Se analizan los registros del piezocono U5, realizando las siguientes operaciones:
 - Se calcula FR% para todo el perfil.
 - Se diferencian las capas con $\text{FR\%} > 1,5\%$.
 - Se agrupan tramos separados por menos de 20 cm en que $\text{FR\%} > 1,5\%$ (se considera que espesores menores no garantizan un borde drenante).
 - Se atribuye a las capas así consideradas un $c_v = 4 \times 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{s}$, con drenaje por ambas caras a efectos de consolidación.
 - Se calcula el módulo de deformabilidad ponderada para cada capa.
 - Se considera que el resto de las capas asienta casi instantáneamente.

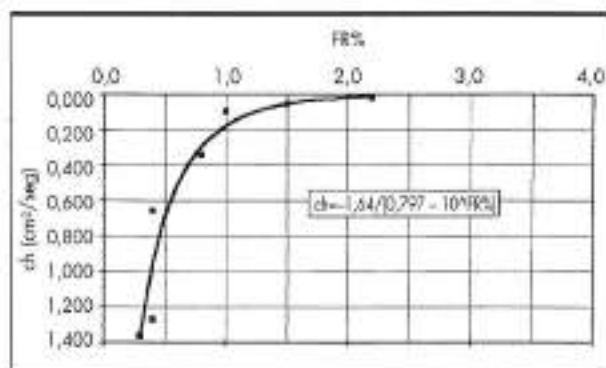


FIGURA 8. Relación ch vs. FR% para el piezocono U5.

d. Se mantiene la misma distribución de capas anterior, así como sus deformabilidades, pero diferentes valores de c_v , en función del FR% medio y máximo de cada capa. En conjunto se atribuyen los siguientes valores según intervalos de FR%:

FR%	$10^4 c_v$ (cm ² /s)
>5	2
4,5 - 5,0	4
4,0 - 4,5	6
3,5 - 4,0	8
3,0 - 3,5	12
2,5 - 3,0	15
2,0 - 2,5	20
1,5 - 2,0	25

TABLA 2. Valores asumidos de c_v .

En la figura 9 se presentan las cuatro curvas resultantes.

9. ANÁLISIS COMPARATIVO

Las placas de asientos están situadas unas bajo la vertical de los bordes del plano de coronación del terraplén y otras al pie de los taludes de derrame.

Por ello es necesario hacer una transformación que permita la comparación directa y por tanto un juicio correcto de la bondad o no de las hipótesis consideradas sobre la deformabilidad del terreno y el desarrollo con el tiempo de su manifestación, los asientos.

Por ello, además de la evidente ponderación del nivel de cargas real de las tierras colocadas, hay que tener en cuenta la relación entre el asiento en el centro y en los bordes.

Esta relación se puede deducir de un estudio teórico de distribución de tensiones. La forma más sencilla partiría de las hipótesis de Boussinesq de un semiespacio elástico, homogéneo e isótropo.

Sin embargo, el terreno, además de no ser elástico puro es, en este caso particular, altamente heterogéneo y sin duda anisótropo como ha quedado claramente expuesto.

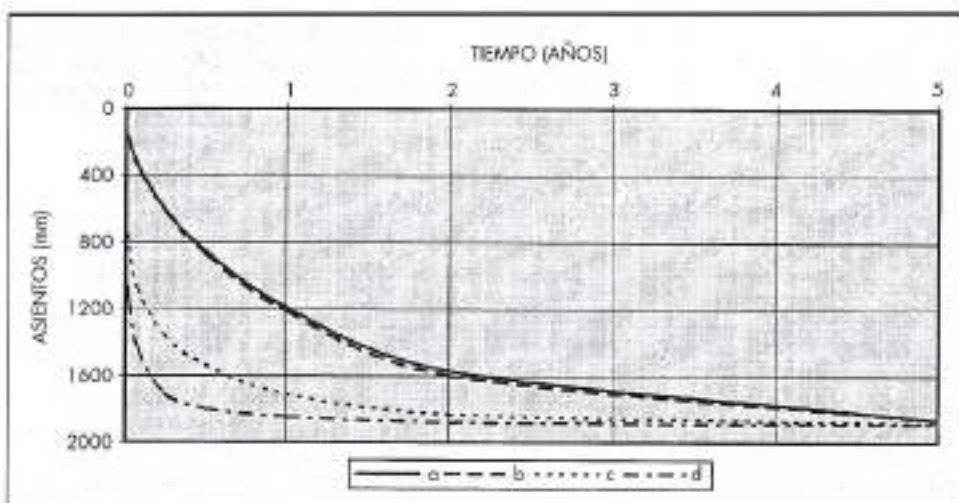
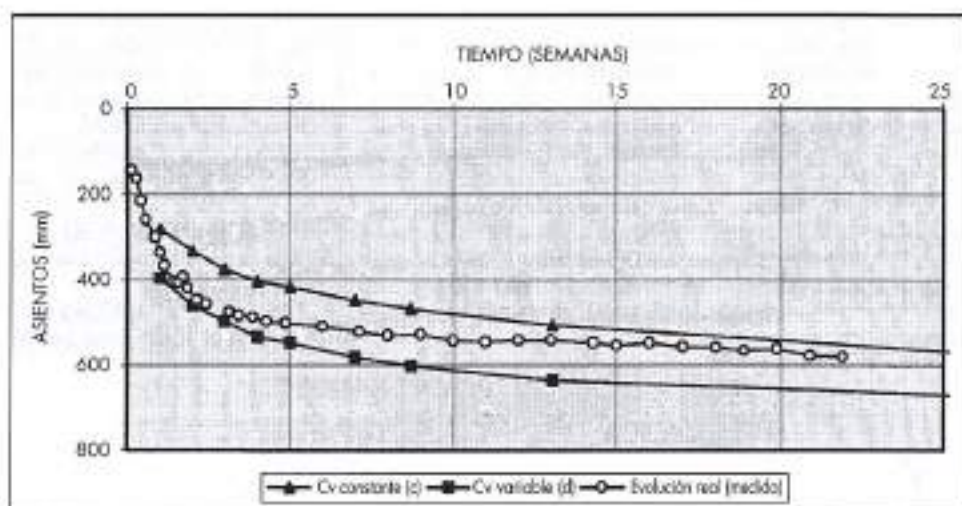


FIGURA 9. Posibles evoluciones teóricas de asiento para $\Delta P = 0,3$ MPa.

FIGURA 10. Comparación entre evolución real de asientos y teóricas "c" y "d".



Es por ello que, sin pretender tomar en cuenta la totalidad de los factores que alteran las condiciones uniformes del terreno ideal, se considera al menos la existencia de dos terrenos de diferente deformabilidad por medio de las tablas de Bestond et al. (1977).

Se hace la hipótesis de un primer terreno blando con $E_1 = 2000$ kPa y un segundo más profundo con $E_2 = 1$ MPa ($E_1/E_2 = 0.2$) y se prueba con varias relaciones H_1/H (espesor de la primera capa respecto al espesor total compresible), con un espesor total de 30 m.

La relación obtenida para valores de H_1/H comprendidas entre 0.2 y 0.3 oscila alrededor de 1.75 como cociente entre asiento en el centro y en las esquinas superiores.

Por otro lado, la altura del terraplén es 11.5 m por encima del nivel original del terreno, pues el desbroce inicial representó 0.5 mm, por lo que a efectos prácticos y con densidad de tierras de 16.7 kN/m³, se calcula que la presión máxima aplicada es 191.72 kPa.

En la figura 10 se presenta la evolución de los asientos representativos de placas de borde de coronación comparando con los que tendría el terreno según deformabilidades atribuibles según interpretación del U5, aplicando el factor de corrección correspondiente (0.372).

Otra corrección implícita consiste en la adopción del tiempo 0 a partir del cual se considera la aplicación instantánea y repentina de la carga (y a partir de ese momento uniforme y constante) que es inherente a los cálculos de los grados de consolidación según la teoría de Terzaghi.

En la misma figura 10 se representan también las dos curvas teóricas correspondientes a las hipótesis 3 y 4 del epígrafe 8.2.

10. DISCUSIÓN

El encaje de la curva real de asientos con las dos teóricas es más que satisfactorio al día de hoy.

El "desencaje" de la parte inicial no es sorprendente, pues al fin y al cabo, comparar el asiento teórico durante 1,2 y 4 días del terraplén completo con la realidad de 9, 10 y 12 días con alturas de terraplén comprendidas entre 0.0 y 5.5 m, 0.0 y 6.6 m y 0.0 y 8.4 m (-0.5m) respectivamente, es un absurdo, salvo que se hiciera un análisis más detallado del ritmo de construcción real, teniendo en cuenta descansos de fin de semana, distribución más detallada del avance zonal del terraplén, etc. Por otra parte, se considera irrelevante este aspecto inicial, pues lo que realmente importa es la magnitud final del asiento y su evolución a largo plazo.

Entre 1 y 4 semanas la evolución real se aproxima bastante a la teórica con c_v variable. Sin embargo entre 4 y 9 semanas se centre más entre ambas curvas teóricas, lo que se puede interpretar como tendencia hacia la curva con $c_v = c_{te} = c_v = 4 \times 10^{-4}$ cm²/s, o como una estabilización final a una magnitud total inferior a la teórica. Todavía es prematuro pronunciarse sobre cual de estas dos interpretaciones es más realista.

En cualquier caso, una aproximación del asiento final puede ser deducida por medio del método de Asoka, cuya aplicación da lugar a una predicción del asiento final, a partir de la lectura de todas las placas, de 595 mm, lo que conduciría a un coeficiente del módulo confinado $\alpha = 2.37$, cuando la predicción anterior se compara con el asiento esperado de 705 mm.

Puesto que los asientos de las placas situada bajo los bordes de la coronación del terraplén varían, los correspondientes valores de α oscilan entre un mínimo de 2.14 y un máximo de 3.16.

11. CONCLUSIONES

- La heterogeneidad es la característica principal de los suelos del Área Industrial de Guadarramaque.
- La cuestión clave para entender el comportamiento de la masa total del suelo ante futuras cargas es caracterizar en cantidad y espesor, así como en velocidad de asiento, las capas consideradas de consolidación a largo plazo.
- Se puede establecer una conclusión genérica: el estudio de las capas de consolidación lenta, consideradas como aquellas en que $FR > 1.5\%$ resulta un gran acierto, a la luz de la comparación realizada entre el pragmatismo del terraplén experimental y la teoría clásica de Terzaghi, aplicada a una interpretación pormenorizada de los ensayos CPT/CPTU, todo ello combinado con resultados de ensayos de laboratorio en general, y en célula edométrica en particular.
- Se propone una relación empírica entre c_v (T50) y $FR\%$.

12. AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su agradecimiento a las autoridades de Gibraltar Interar, S.A., a los Sres. Cesar Ramos (Iberinsa), Norberto Frank (Igeotest) y Alain Trottier (Sol-Essais-Etudes) y al Sr. John Schmertmann, quien inició a ambos autores en la comprensión y utilización del ensayo CPT & CPTU.

13. REFERENCIAS

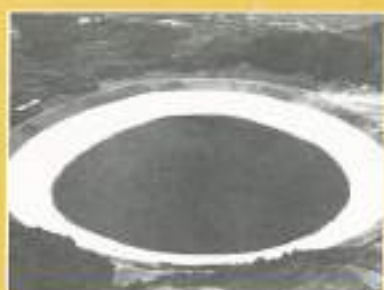
- BALIGH, M. M. and LEVADOUX, J. (1986). Consolidation after undrained piezocone penetration. II: Interpretation. *Journ. Geotech. Eng.*, Vol 112, N° 7.
- BESCOND, B., BOTERO, A., y TOUZOT, G. (1977). Fondations sur Sols Bi-couches. *Les Presses de l'Université du Québec-Eyrolles Editeur, Paris*.
- CRAWFORD, C. B. and CAMPANELLA, R. G. (1991). Comparison of field consolidation with laboratory and in situ tests. *Canadian Geotech. Journal*, Vol 28.
- GOMEZ, R. y RAMOS, C. (1996). Terraplén experimental en el Polígono de Guadarranque. *Conferencia presentada en el CEDEX*.
- HOULSBY, G. T. and TEH, C. I. (1988). Analysis of piezocone in clay. *International Symposium on Penetration Testing, 1, ISOPT 1, Orlando, Proceedings*, Vol. 2.
- KABIR, M. G. and LUTENEGGER, A. J. (1990). In situ estimation of the coefficient of consolidation in clays. *Canadian Geotech. Journal*, Vol 27.
- LEVADOUX, J. and BALIGH, M. M. (1986). Consolidation after undrained piezocone penetration. I: Prediction. *Journ. Geotech. Eng.*, Vol 112, N° 7.
- PAREZ, L. and FAURIEL, R. (1988). Le piezocone: améliorations apportées à la reconnaissance des sols. *Rev. Franç. Géotechnique*, N° 44.
- TEH, C. I. and HOULSBY, G. T. (1991). An analytical study of the cone penetration test in clay. *Géotechnique* 41, N° 1.

Alkorplan

LÁMINAS FLEXIBLES DE PVC.
ALTA TECNOLOGÍA AL SERVICIO DE LA
ESTANQUEIDAD



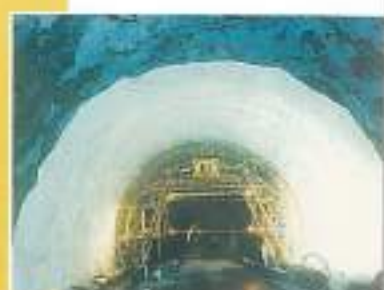
PISCINAS



EMBALSES



CUBIERTAS



OBRA CIVIL



Carretera del Montnegre, s/n.
Tel.: (93) 867 54 71 / Fax: 867 55 17
08470 Sant Celoni (Barcelona) España

INGENIERIA CIVIL

- Agronomía
- Obras Hidráulicas
- Ingeniería Sanitaria
- Estudios y Proyectos Medioambientales
- Ingeniería de Costas
- Ordenación del Territorio y Desarrollo Regional
- Geología y Minería
- Ingeniería del Transporte



INFORMES Y PROYECTOS, S.A.,
es una empresa de Ingeniería y Consultoría
con más de 25 años de experiencia en los campos
de la Ingeniería Civil, Industrial, de Recursos
Naturales y de Tratamiento de Residuos.

General Díaz Porlier, 48 - 28001 MADRID Tel. (91) 402 55 04 - 402 50 12 Fax (91) 402 13 91
Plaça Ferrnand Llesaps, 33 - 08023 BARCELONA Tel. (93) 415 00 17 Fax (93) 218 85 35
DELEGACIONES EN: SEVILLA, ZARAGOZA, GIJÓN, GALICIA, MURCIA Y VALENCIA

