

Relleno hidráulico para la Regasificadora en el puerto de El Musel. Propiedades y sus correlaciones. (Gijón, España)

Coz, Ana ⁽¹⁾, Garcia-Gutierrez, José Miguel ⁽²⁾, Garcia-Suárez, Julio C. ⁽³⁾ & Román, Fernando. ⁽⁴⁾

(1) Eng. Geologist, Madrid (Spain).

(2) Civil Engineer, ENAGAS, Madrid (Spain).

(3) Mining Engineer, ENAGAS, Madrid (Spain).

(4) Prof. Dr. Civil Engineer, Universidad Politécnica de Madrid (UPM), Madrid (Spain).

Corresponding author: fernando.roman@upm.es

Abstract:

A liquefied natural gas (LNG) plant has been constructed on a hydraulic fill in El Musel Port (Gijon, Northern Spain). The hydraulic fill is mainly composed of marine sands dredged from nearby locations, and it was placed on site using the rainbow surcharge and bottom dump methods. This paper presents the results of the geotechnical characterization campaign conducted at the site (SPT, CPT, DPSH) and at the laboratory.

1. GENERAL

En la última ampliación del puerto de El Musel, en Gijón, se consiguieron casi 3 km nuevos de muelle, 145 ha de superficie tras los muelles, y 140 ha de dársena. La mayor parte de la superficie se consiguió con rellenos hidráulicos usando dragas. El volumen de rellenos superaba los 32 millones de m³ a los que hay que sumar más de 13 millones de m³ de rock-fill usados en la construcción de los diques de contención.

La primera industria instalada en esta ampliación fue Enagás (Empresa Nacional de Gas) quien construyó una nueva Planta de Regasificación de GNL para la que la Autoridad Portuaria de Gijón (APG) creó en el verano de 2009 una superficie de 260.000 m² de los cuales Enagás ocupó 220.000 m².

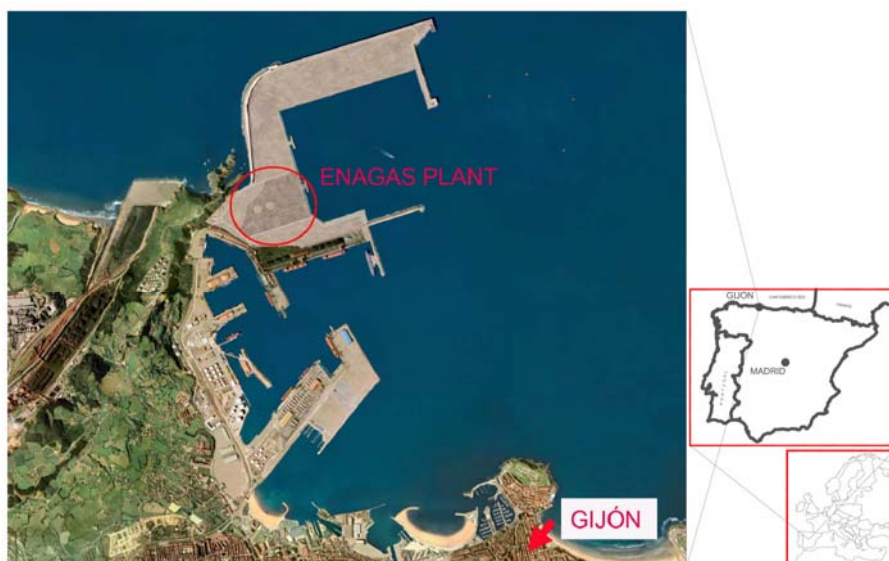


Figura 1: Situación de la Planta de Enagás

IV INTERNATIONAL SEMINAR: EARTHWORKS IN EUROPE

En la nueva Planta de Regasificación destacan dos tanques de almacenamiento de GNL de 78,2 m de diámetro y 50,5 m de altura máxima, capaces de almacenar 150.000 m³ cada uno.

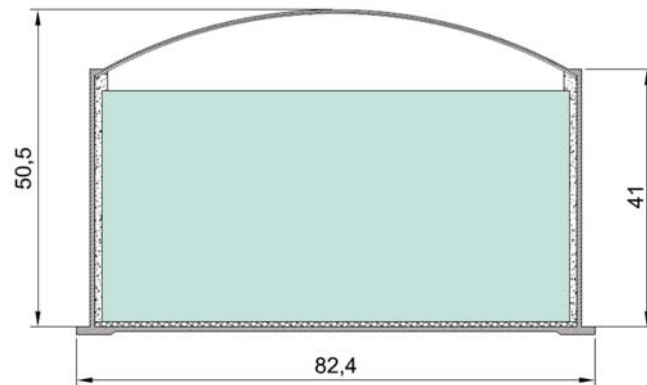


Figura 2: Sección esquemática de un tanque

Antes de la ampliación del puerto, el fondo del mar estaba a unas cotas de entre la -15 y la -20. En los años 2006 a 2008, la APG había comenzado los rellenos en la zona de Enagás con un volumen del orden de 600.000 m³ que supuso que el fondo estuviera en algún punto de la esquina suroeste a la cota -8.

En el verano de 2009 se vertieron casi 4,5 millones de m³ con dos dragas usando sistemas de regado, descarga por fondo y vertido mediante tubería.

La cota final alcanzada es aproximadamente la +6,40 lo que supone la existencia de rellenos hidráulicos de entre 21 y 26 metros de espesor.

El sustrato bajo el relleno hidráulico consiste en delgados niveles cuaternarios de gravas y arenas, densas, sobre una formación rocosa en la que existen, calizas, margas y cuarcitas.

2. CAMPAÑA DE RECONOCIMIENTOS

Enagás ha querido caracterizar con precisión las propiedades de este relleno hidráulico para lo cual se realizaron un total de:

- 25 sondeos mecánicos a rotación con toma de muestras inalteradas cada 3 metros y ensayo SPT inmediatamente después de cada una de ellas.
- 55 ensayos de penetración dinámica DPSH
- 2 ensayos de penetración dinámica BORRO (Tipo DPH)
- 23 ensayos de penetración estática con medida de la presión intersticial CPTU con 6 ensayos de disipación.
- 6 ensayos de cono sísmico SCPTU con medida de la velocidad de onda.
- 10 catas.

Aunque la situación de las prospecciones se ajustó a la posición de las instalaciones de la Planta, se procuró que en el conjunto se permitiera tener una buena información de toda la parcela.

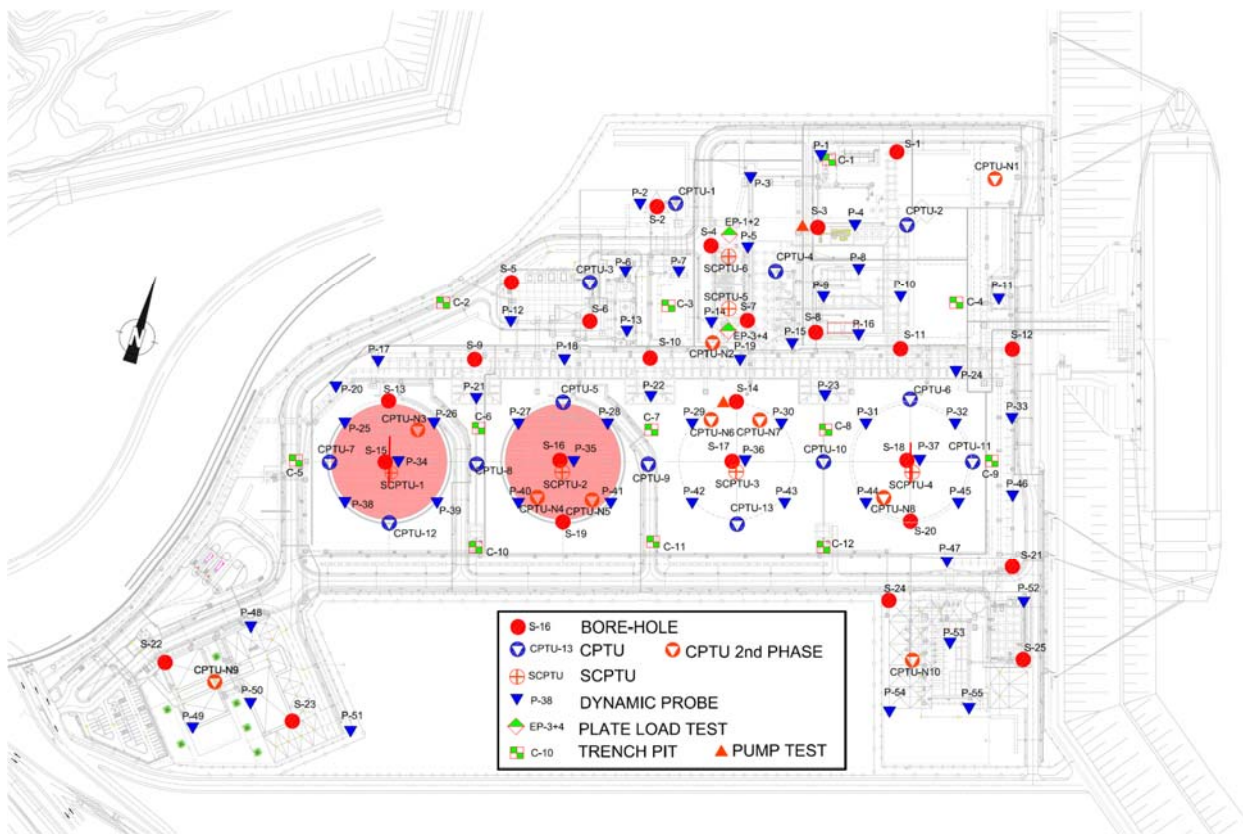


Figura 3.- Situación de los Reconocimientos

3. CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA

3.1 Naturaleza, granulometría y plasticidad

Son arenas con una proporción variable de limo, cuyos fragmentos proceden de los caparazones de moluscos en un porcentaje del 50 al 60% (vease foto1). Esta composición ha hecho que se hayan realizado ensayos para averiguar si hay variaciones de densidad - por rotura de fragmentos - sometiendo las muestras a la acción de un pisón tipo Proctor Modificado.

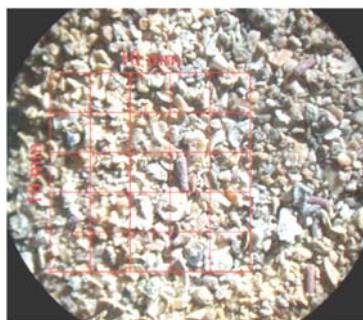
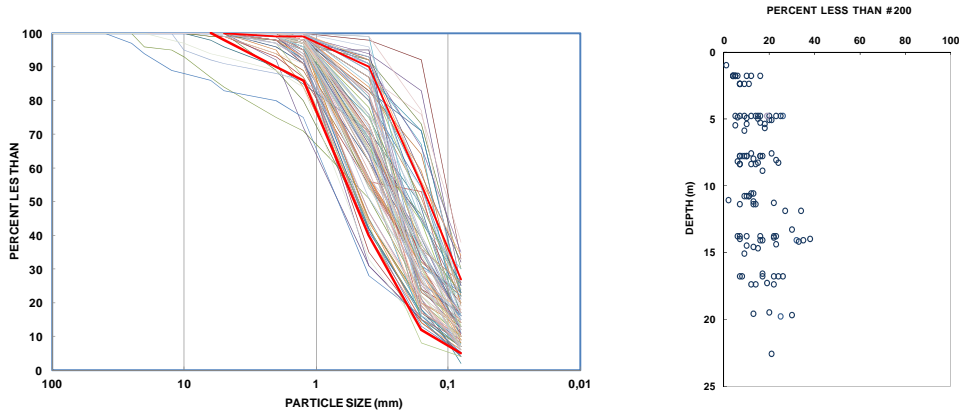


Foto 1: Muestra de arenas con una malla que mide 10 mm

En la Figura 4 se muestran las curvas granulométricas de todas las muestras obtenidas en los sondeos. En la mayor parte de los casos el porcentaje de finos es menor del 30%.

En la figura 5 se muestra el porcentaje de finos en función de la profundidad.

Las partículas menores de 0,4 mm son siempre no plásticas.



Figuras 4 y 5: Curvas granulométricas y variación del porcentaje de finos con la profundidad

3.2 Resistencia a la penetración dinámica. SPT, DPSH y BORROS.

Se han realizado ensayos SPT en el interior de los sondeos poniendo especial cuidado de que no se produjera sifonamiento en el momento de extraer el testigo antes de la realización del ensayo. Los resultados pueden verse en la figura 6 donde se ha representado un valor medio de las medidas y en la tabla 1 los valores representativos. En la figura 7 se representan los valores del $N_{1(60)}$, es decir el SPT corregido por energía y presión efectiva.

Tabla 1: Valores representativos del SPT

Prof. (m)	N_{30} SPT
(encima de nivel freático)	7 - 15
3,5 a 8,5	3 - 7
8,5 a 13	4 - 9
13 a 18	6 - 14
18 a 22	8 - 17
22 a 24	15 -23

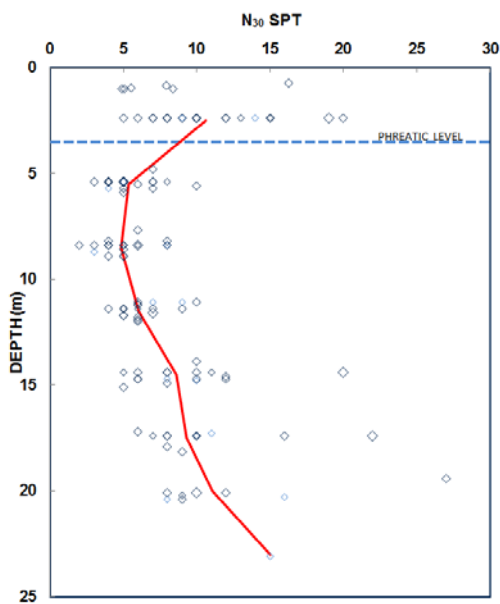


Figura 6.- N_{30} SPT versus profundidad.

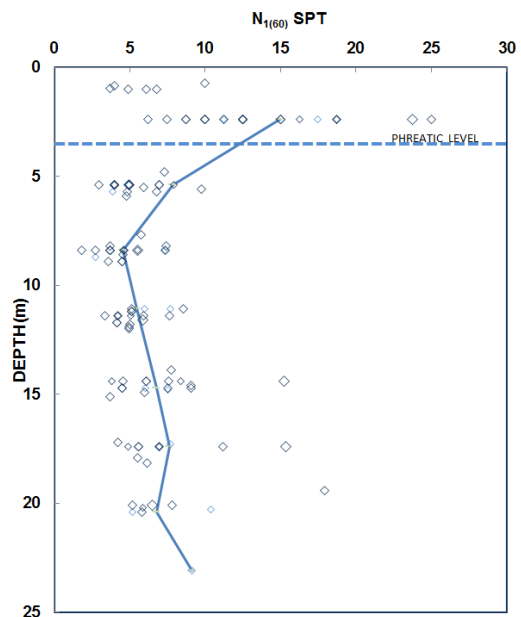


Figura 7.- $N_{1(60)}$ SPT versus profundidad

IV INTERNATIONAL SEMINAR: EARTHWORKS IN EUROPE

Se han usado ensayos de penetración dinámica DPSH como herramienta fundamental para averiguar la densidad de las arenas en toda la extensión de la parcela. En la figura 8 se muestran los resultados en función de la profundidad y en la tabla 2, los valores representativos a cada profundidad. Por razones de contraste del ensayo también se han realizado dos ensayos BORROS. En la figura 9 se muestra la correlación entre los dos ensayos de penetración dinámica y en la figura 10, esta correlación en función de la profundidad.

Tabla 2: Valores representativos del N_{20} DPSH

Prof. (m)	N_{20} DPSH
(encima de nivel freático)	5 – 11
3,5 a 8	1 – 4
8 a 13	3 – 8
13 a 16	6 – 10
16 a 18	8 – 15
18 a 24	12 -18

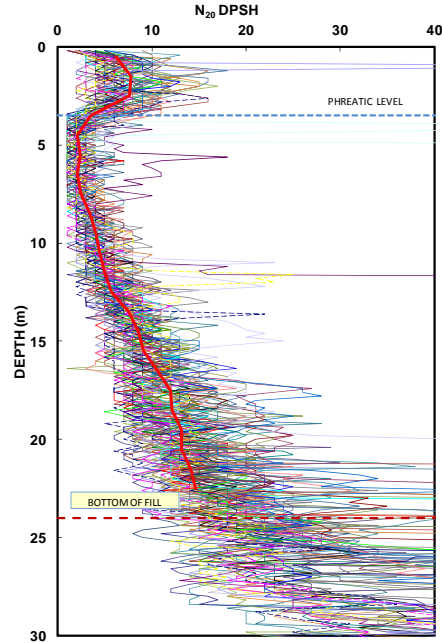


Figura 8: N_{20} DPSH versus profundidad

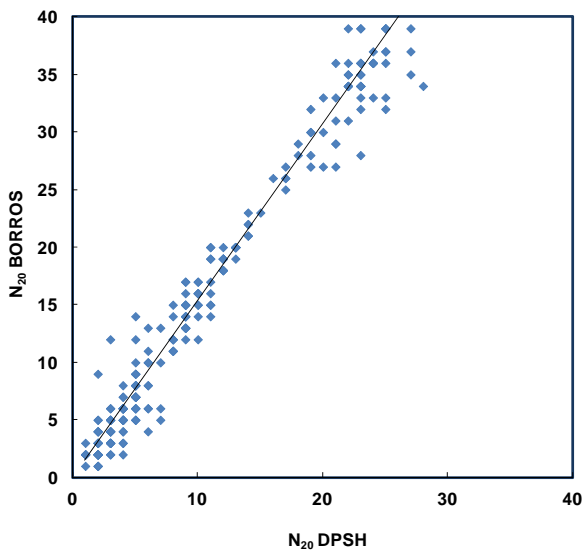


Figura 9: Correlación DPSH-Borros

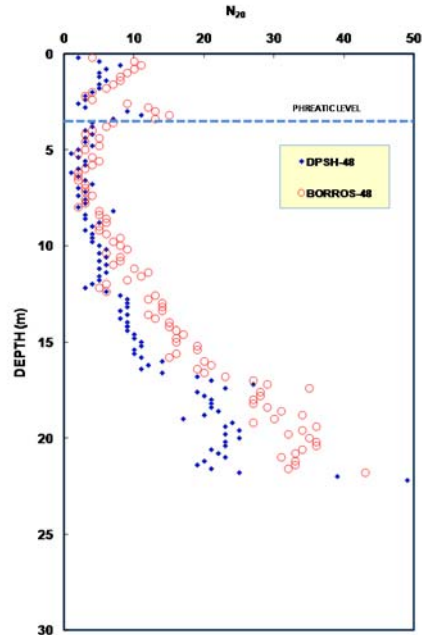


Figura 10: N_{20} DPSH and Borros versus profundidad

Se podría establecer una relación de

$$N_{20DPSH} = 0,67 \cdot N_{20BORROS}$$

Se ha intentado correlacionar el golpeo del ensayo DPSH con el del SPT, en este caso normalizando el valor para obtener el $N_{1(60)}$. En el ensayo DPSH las varillas tienen una coacción lateral algo mayor que en el SPT lo que hace que haya una

IV INTERNATIONAL SEMINAR: EARTHWORKS IN EUROPE

pérdida de energía mayor en el SPT. Cuando el ensayo es a poca profundidad la energía del SPT es similar en ambos lo que hace que resulten golpes de un promedio de 1,5 veces mayores en el SPT (se hincan 30 cm frente a 20 cm). En profundidad, ambos golpes son similares y esto es porque en el $N_{1(60)}$ se efectúa una corrección por longitud de varilla ($C_R=0,75$) y en el DPSH no. En la figura 11 se representa esta relación en función de la profundidad y en la tabla 3 se muestran los valores representativos, teniendo en cuenta (*) que entre 3,5 y 8 hay una dispersión grande al ser los golpes muy reducidos.

Tabla 3: Valores representativos de $N_{1(60)}$ / N_{20} DPSH

Prof. (m)	$N_{1(60)}$ / N_{20} DPSH
(encima de nivel freático)	1,2 - 2,2
3,5 a 7	1,2 - 2,2 (*)
7 a 10	1 - 1,7 (*)
10 a 24	0,8 - 1,2

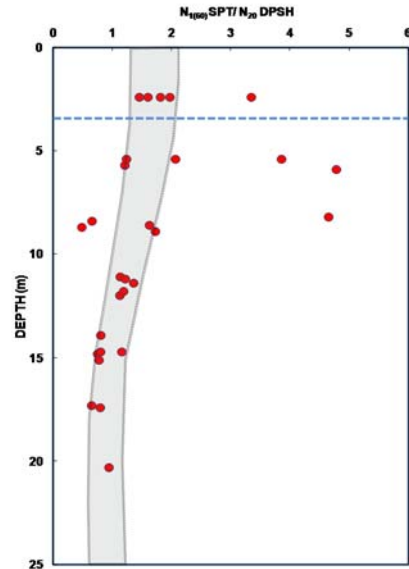
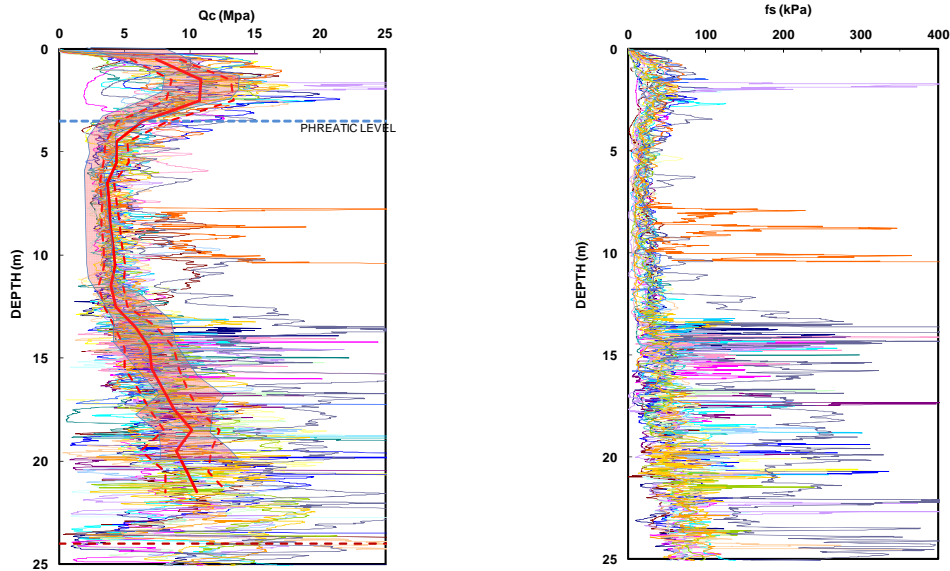


Figura 11: $N_{1(60)}$ / N_{20} DPSH versus profundidad

3.3 Resistencia a la penetración estática. CPTU

Las resistencias por la punta y por el fuste medidas en los CPTU son las indicadas en las figuras 12 y 13



Figuras 12 y 13: Resistencia por punta Q_c y por fuste F_s versus profundidad

En la tabla 4 se muestran los valores representativos que corresponden a la zona sombreada de la figura 11.

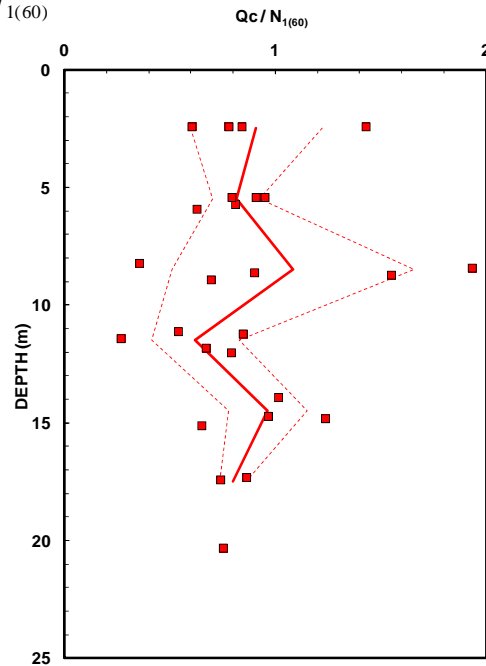
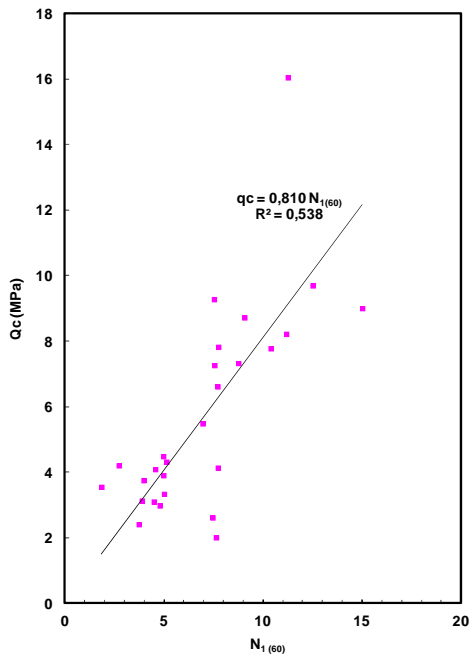
IV INTERNATIONAL SEMINAR: EARTHWORKS IN EUROPE

Tabla 4: Valores representativos de Q_c

Prof (m)	Q_c (MPa)
(encima de nivel freático)	7 - 14
3,5 a 13	3 - 6
13 a 16	4 - 10
16 a 24	6 - 13

Si correlacionamos la resistencia a la penetración estática Q_c con la resistencia a la penetración dinámica en el SPT, o en el DPSH, se llega a las figuras 14, 15 y 16, y a la tabla 5. También podría establecerse la relación:

$$Q_c = (0,8 a 1) \cdot N_{1(60)}$$



Figuras 14 y 15: Correlación entre Q_c y $N_{1(60)}$, y Relación $Q_c/N_{1(60)}$ versus profundidad.

Tabla 5: Valores representativos de Q_c/N_{20} DPSH

Prof (m)	Q_c/N_{20} DPSH
(encima de nivel freático)	1,0 - 1,6
3 a 7	1,5 - 2 (*)
7 a 10	1,0 - 1,6
10 a 24	0,7 - 0,9

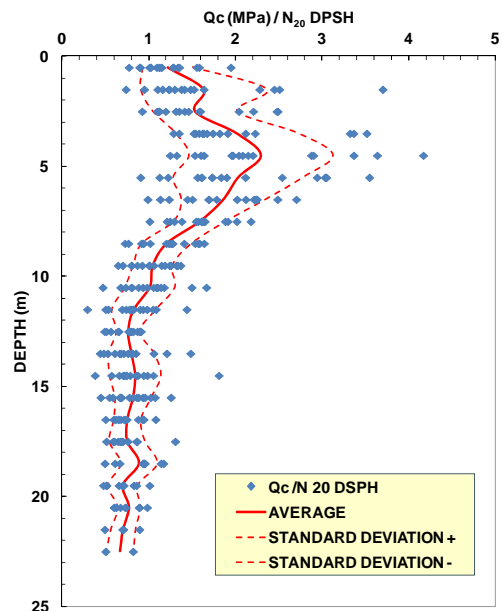
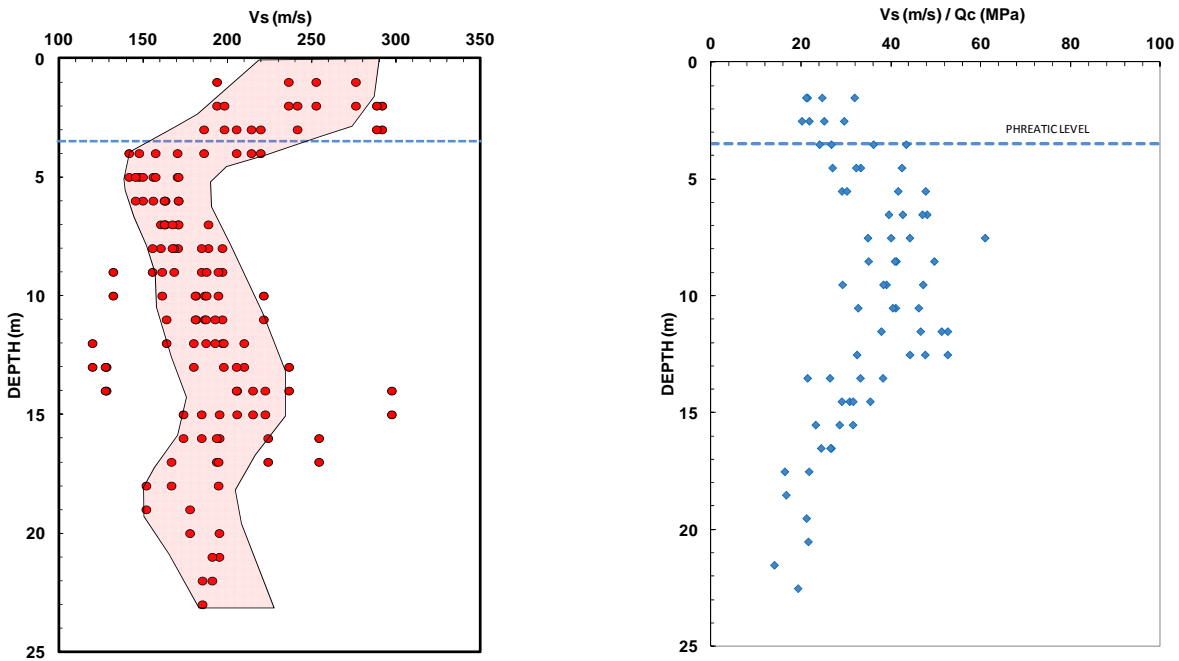


Figura 16: Relación Q_c/N_{20} DPSH versus profundidad.

3.4 Velocidad de propagación de ondas sísmicas medidas en los SCPTU

Las velocidades medidas en el tramo de relleno hidráulico en los SCPTU se muestran en la figura 17 y, en la 18, se muestra la relación de la velocidad con la resistencia a la penetración estática Q_c .



Figuras 17 y 18: Velocidad de las ondas (S) obtenida a partir de SCPTU y variación de V_s/Q_c , versus profundidad

Durante las pruebas de comportamiento del terreno bajo cargas, usando extensómetros, inclinómetros y placas de asiento, se han medido deformaciones que se traducen en los módulos de la figura 19.

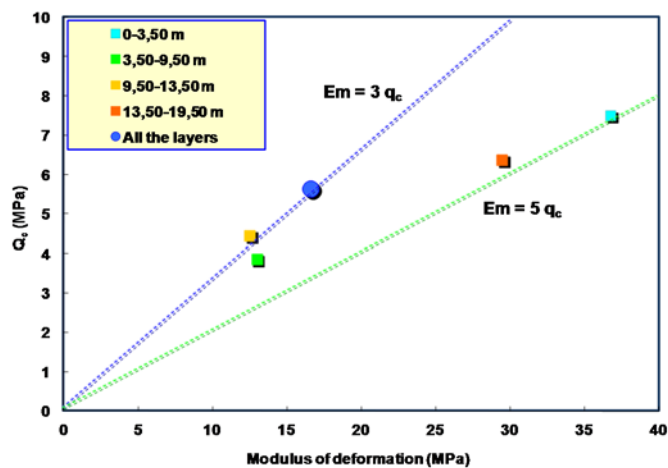


Figura 19: Correlación entre Q_c y E_m

IV INTERNATIONAL SEMINAR: EARTHWORKS IN EUROPE

3.5 Conclusiones

Creemos que ENAGAS ha realizado una extensa investigación sobre las características geotécnicas de este relleno hidráulico que ha permitido tomar decisiones acertadas sobre la tipología de cimentación de las distintas instalaciones de la Planta Regasificadora. El objetivo de esta comunicación no es más que exponer una síntesis de estas propiedades que contribuyan a que el profesional geotécnico pueda tener un complemento de documentación sobre estas materias.

References

- LEE, K.M. (2001). *"Influence of placement method on the cone penetration resistance of hydraulically placed sand fills"*. Canadian Geotechnical Journal. 38(3). pp. 592–607.
- LEE, K.M., SHEN, C.K., MITCHELL, J.K. (1999). *"Effects of placement method on geotechnical behavior of hydraulic fill sands"*. Journal of Geotechnical And Geoenvironmental Engineering (ASCE); 125(10). pp. 832–846.
- NA, Y.M., CHOA, V., THE, C.I., CHANG M.F. (2005). *"Geotechnical parameters of reclaimed sandfill from the cone penetration test"*. Canadian Geotechnical Journal; 42. pp. 91–109.
- PYKE, R.M., KNUPPPEL, L.A., LEE, K.L. (1978). *"Liquefaction potential of hydraulic fills"*. Journal of the Geotechnical Engineering Division; 104(GT11). pp. 1335–1354.
- ROBERTSON, P.K., CAMPANELLA, R.G., GILLESPIE, D. y GREIG, J. (1986). *"Use of piezocone data"*. Proc. ASCE Spec. Conf. In Situ'86: Use of in situ test in Geotech. Eng., Blacksburg.
- ROBERTSON, P.K., CAMPANELLA, R.G. y WIGHTMAN, A. (1983). *"SPT-CPT Correlations"*. Journ. Of Geotech. Eng. ASCE, 109(11).
- ROMÁN, F., JIMÉNEZ, R., GARCÍA-S, JC. and COZ, A. (2012). *Preloading of a hydraulic fill for foundation of LNG tanks*. ISSMGE - TC 211 International Symposium on Ground Improvement IS-GI. Brussels.
- SHEN C.K. y LEE, K.M. (1995). *"Hydraulic fill performance in Hong-Kong"*. Geo Report N° 40. Geotech. Eng. Office. Civil Eng. Department Hong-Kong.
- SLADEN, J.A., HEWITT, K.J. (1989). *"Influence of placement method on the in situ density of hydraulic sand fills"*. Canadian Geotechnical Journal; 26. pp. 453–466.
- WHITMAN, R.V. (1970). *"Hydraulic fills to support structural loads"*. Journal of the Soils Mechanics and Foundations Division (Proceedings of the American Society of Civil Engineers); 96(SM1). pp. 23–47.