



Correlación entre el ensayo penetrómetro dinámico Grizzly (DPSH) y SPT en arenas potencialmente licuables del sector Punta Arenosa en la ciudad de Punta Arenas

Valentina Peredo Andrade (1); Ramón Carrasco Poll (2)

(1) Ingeniera Civil, Universidad de Chile / Geotecnia Patagonia Ltda.

(2) Ingeniero Civil, Universidad Técnica Federico Santa María / Geotecnia Patagonia Ltda.
rcarrasco@geotecniapatagonia.cl, Av. España 0686, Punta Arenas, Chile

Resumen

Para materializar dos importantes proyectos a nivel regional, se realizó una extensa exploración geotécnica en un terreno ubicado en el sector conocido como Punta Arenosa en la ciudad de Punta Arenas.

El estudio geotécnico, corroboró que el tipo de suelo corresponde principalmente a arenas potencialmente licuables. Adicionalmente, Geotecnia Patagonia Ltda. realizó ensayos con un penetrómetro dinámico llamado Grizzly (ensayo DPSH), cuya principal ventaja con respecto a los equipos tradicionales, es que cuenta con un sistema automático y computarizado que calcula en tiempo real la penetración por golpe y además, muestra gráficamente la resistencia de punta (o a la penetración) en profundidad.

En este trabajo se presenta una correlación del número de golpes entre el ensayo SPT y Grizzly para las arenas potencialmente licuables del sitio y hasta aproximadamente 20 m de profundidad. Además, se obtiene la resistencia de punta asociada al límite de licuación de dichas arenas.

Palabras-Clave: SPT, DPSH, Grizzly, Licuación.

Abstract

An extensive geotechnical exploration was carried out to materialize two important regional projects on a site located in the area known as Punta Arenosa in the city of Punta Arenas.

The geotechnical study corroborated that the soil of this site corresponded mainly to liquefied sands. Additionally, Geotecnia Patagonia Ltda. carried out dynamic cone penetrometer Grizzly (DPSH) whose main advantage compared to traditional equipment (SPT) is the automatic and computerized system which immediately calculates the blow penetration and the dynamic cone resistance profile.

In this article is presented a correlation of the number of blows between SPT and Grizzly (DPSH) tests for the liquefied sands detected on site and up to approximately 20m depth. Furthermore, a liquefaction limit resistance profile is obtained for the sand mentioned earlier.

Keywords: SPT, DPSH, Grizzly, Liquefaction.



SOCIEDAD CHILENA DE GEOTECNIA
CHILEAN GEOTECHNICAL SOCIETY

1 Introducción

En la ciudad de Punta Arenas, en un terreno ubicado en la costa del sector llamado Punta Arenosa, se pretende materializar dos proyectos de ingeniería de gran envergadura. Para ello, Geotecnia Patagonia Ltda., realizó una extensa exploración geotécnica mediante calicatas; sondajes; ensayos de laboratorio y geofísicos. Además, se realizó un estudio de peligro sísmico e hidrogeológico.

Los antecedentes recopilados para el estudio, revelan que la zona denominada como Punta Arenosa se caracteriza por tener el límite de una terraza glaciolacustre, bordes de paleo-costas y una punta de acreción compuesta principalmente por gravas y arenas con restos de conchas. Además, el área es prácticamente plana y presenta niveles freáticos cercanos a la superficie con registros de ensayos SPT menores a 20 golpes [1]. En efecto, los resultados de la exploración realizada corroboraron la presencia de arenas potencialmente licuables aproximadamente a partir de los 6,5 m. A continuación, en la Tabla 1 se presenta el perfil estratigráfico representativo del sitio hasta los 20 m (Profundidad del ensayo DPSH Grizzly). Cabe señalar, que la napa freática, fue detectada a los 1,70 m respecto al nivel de terreno natural y corroborado en el estudio Hidrogeológico realizado como parte de la exploración geotécnica.

Tabla 1 – Perfil estratigráfico representativo del sitio

Entre Cotas m.	Clasificación U.S.C.S.	Descripción Visual del Suelo
0,00-1,50	---	Suelo vegetal y/o relleno heterogéneo.
1,50-4,50	SW, SP	Arena color café de compacidad media a densa, sin plasticidad, humedad mojado a saturado y estructura estratificada.
4,50-5,50	GW, GP, GW-GM	Grava color café de compacidad media a muy densa, sin plasticidad, humedad saturado y estructura estratificada.
5,50-20,00	SM, SP-SM	Arena limosa color gris azulada de compacidad muy suelta a suelta, sin plasticidad, humedad saturado y estructura homogénea. Presencia de partículas de carbón y restos calcáreos marinos a partir de los 10 m aproximadamente.

Adicionalmente, se realizaron ensayos con el penetrómetro dinámico llamado Grizzly, cuya principal ventaja con respecto al ensayo SPT, es que cuenta con un sistema automático y computarizado, que calcula en tiempo real el número de golpes y la resistencia de punta (o a la penetración) q_d en profundidad.

En este paper se presenta la metodología empleada para determinar la correlación entre el número de golpes del ensayo Grizzly y el valor $(N_1)_{60CS}$ [3], éste último correspondiente al número de golpes del ensayo SPT normalizado por presión de confinamiento y corregido por factores de energía, diámetro del sondaje, largo de barras, uso de liner y contenido de finos de las arenas licuables detectadas en el sitio, para posteriormente, a partir del valor $(N_1)_{60CS}$, determinar el perfil de resistencia de punta que define el límite de licuación para las arenas mencionadas anteriormente. Esta información, es muy relevante, ya que este tipo de suelo ha sido detectado a lo largo de todo el borde costero de la zona centro y norte de la ciudad de Punta Arenas.

2 Penetrómetro Dinámico Grizzly (DPSH)

El penetrómetro dinámico Grizzly, corresponde al ensayo conocido como Cono de Penetración Dinámica Super Pesada (DPSH), una de las técnicas más antigua utilizada para la inspección de suelos [9]. Sin embargo, la principal virtud del equipo Grizzly radica en el sistema automático y computarizado incorporado en la máquina, que permite medir, calcular y registrar en tiempo real la penetración alcanzada en cada golpe y la resistencia de punta q_d , esta última calculada a partir de Ec. (1), conocida como fórmula de los holandeses [2]. Cabe señalar, que mediante la penetración alcanzada en cada golpe es posible calcular el valor N_{30} , correspondiente al número de golpes medidos en una penetración de 30 cm.

$$q_d = \frac{m \cdot g \cdot H}{A \cdot e} * \frac{m}{m + m'}. \quad (1)$$

Donde m es la masa de caída, g es la aceleración de gravedad, H es la altura de caída, A corresponde al área de la punta, e es la penetración por golpe y m' es la suma de la masa del yunque, la cabeza de golpeo y las barras.

En la Fig. 1 se muestra el equipo Grizzly, correspondiente a una máquina ROLATEC modelo ML-76 A, desarrollado e instrumentado por la empresa francesa Sol-Solution. Sus principales características técnicas se muestran en la Tabla 2.



Fig. 1 – Equipo Grizzly (izq.), computadora incorporada (centro) y perfil de resistencia q_d (der.)

Tabla 2 – Características técnicas del penetrómetro dinámico Grizzly [2]

Peso de la masa, m (kg)	63,5
Altura de caída, H (m)	0,76
Energía de impacto nominal, E_b (Nm)	473,4
Diámetro de las barras, d_t (mm)	32
Superficie del cono, A (cm ²)	20
Dimensiones, L/l/H (m)	1,90/0,89/1,25
Peso del equipo, P_{total} (kg)	770 (vacío) – 890 (completo)
Velocidad de traslación, V_t (km/h)	0 - 3
Fuerza de extracción (Tm)	11
Proporción de energía transmitida, con respecto a la teórica, ETR (%)	86,2

3 Definición de la Correlación del Número de Golpes entre el ensayo SPT y Grizzly (DPSH)

Con el objetivo de determinar una correlación que permita obtener el número de golpes medido en una penetración de 30 cm (N_{30}) a partir del valor $(N_1)_{60CS}$ del ensayo SPT [3] y luego, con estos valores calcular el perfil de resistencia mediante la Ec. (1), se utilizaron 6 pares de ensayos SPT-Grizzly hasta 20 m de profundidad distribuidos en el terreno en estudio, cuya estratigrafía resultó ser homogénea y con presencia de arenas potencialmente licuables a partir de los 6,5 m de profundidad [3]. En el análisis, se determinó comparar el valor $(N_1)_{60CS}$ del ensayo SPT [3] con el valor N_{30} obtenido directamente del equipo Grizzly, debido a que los ensayos SPT fueron realizados con 2 máquinas de diferentes energías (47,6% y 84,4 %).

En la Fig. 2 se muestra la razón $N_{30}/(N_1)_{60CS}$ obtenida para cada par de ensayos en función de la profundidad. Cabe señalar, que, en dicho análisis, sólo se consideraron los valores de $(N_1)_{60CS}$ y N_{30} a partir de los 6,5 m de profundidad promedio, correspondiente a las arenas potencialmente licuables, analizadas mediante los resultados del ensayo SPT.

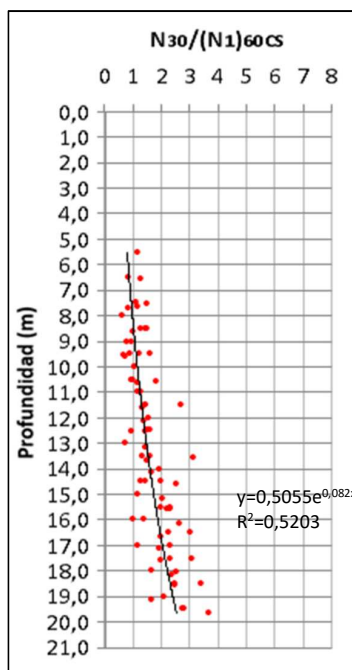


Fig. 2 – $N_{30}/(N_1)_{60CS}$ en función de la profundidad

A continuación, la Ec. (2) presenta la correlación obtenida entre N_{30} y $(N_1)_{60CS}$ en función de la profundidad.

$$N_{30_SPT} = (0,5055 * e^{-0,082h}) (N_1)_{60CS}. \quad (2)$$

h corresponde a la profundidad en metros medida a partir del nivel de terreno natural. Esta correlación es válida para profundidades mayores a los 6.5 m y valores de $(N_1)_{60CS}$ entre 5 y 19.

En las Fig. 3 a la 8, se muestran los valores de $(N_1)_{60CS}$ calculados a partir de los resultados del ensayo SPT, los valores de N_{30} medidos directamente con el equipo Grizzly y el número de golpes N_{30_SPT} estimado a partir de la Ec. (2).

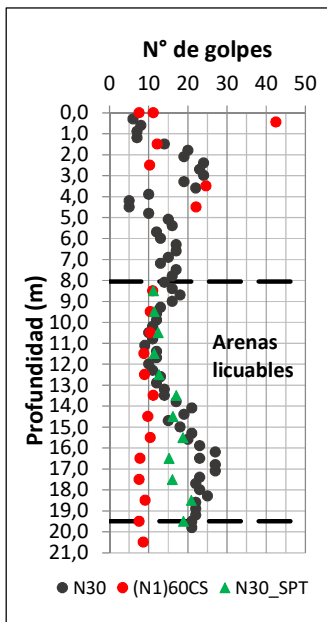


Fig. 3 – Resultados correlación Sondaje N°1 – Grizzly N°1

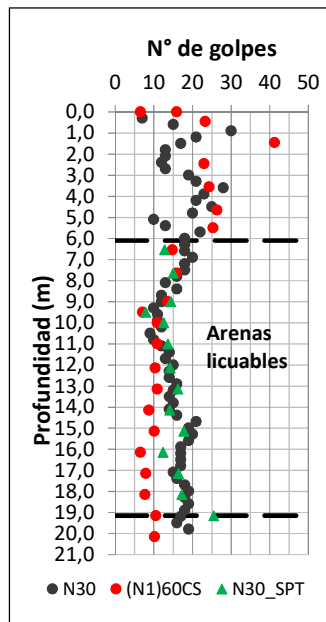


Fig. 4 – Resultados correlación Sondaje N°2 – Grizzly N°2

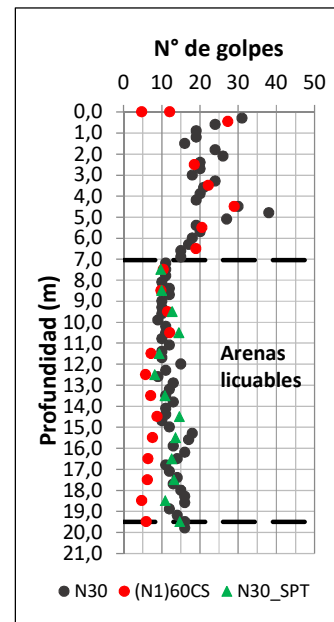


Fig. 5 – Resultados correlación Sondaje N°3 – Grizzly N°3

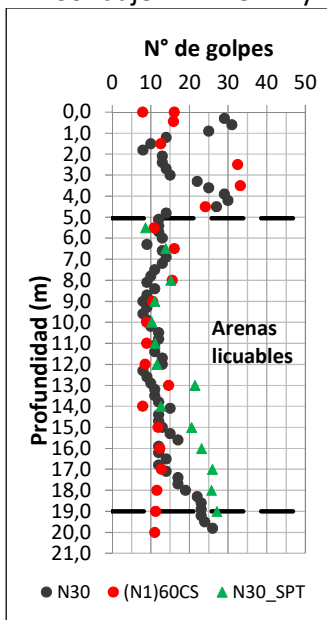


Fig. 6 – Resultados correlación Sondaje N°4 – Grizzly N°4

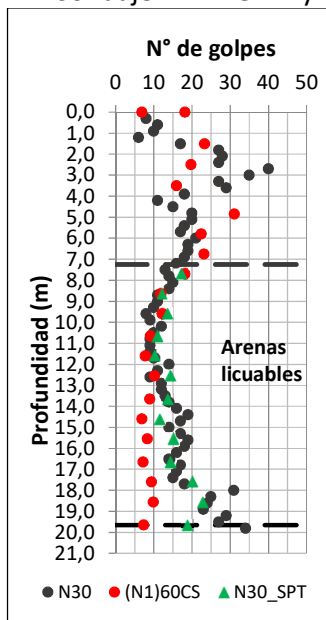


Fig. 7 – Resultados correlación Sondaje N°5 – Grizzly N°5

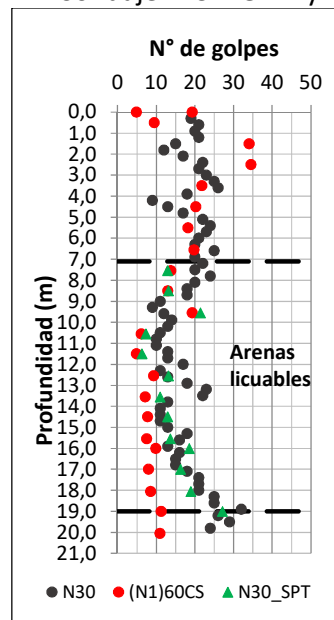


Fig. 8 – Resultados correlación Sondaje N°6 – Grizzly N°6

4 Estimación de la Resistencia de Punta Límite de Licuación

Para estimar la resistencia de punta q_d en profundidad a partir de los ensayos SPT, se utilizó la Ec. (1) considerando la penetración “e” equivalente a 30 cm dividido el valor de N_{30_SPT} calculado en el capítulo anterior, para obtener de esta manera la penetración por golpe. A continuación, en las Fig. 9 a la 14, se presentan dichos perfiles de resistencia y también, los obtenidos directamente a través del ensayo Grizzly.

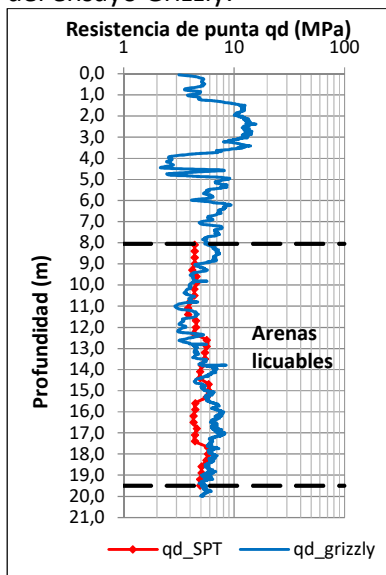


Fig. 9 – Perfil de resistencia Sondaje N°1 – Grizzly N°1

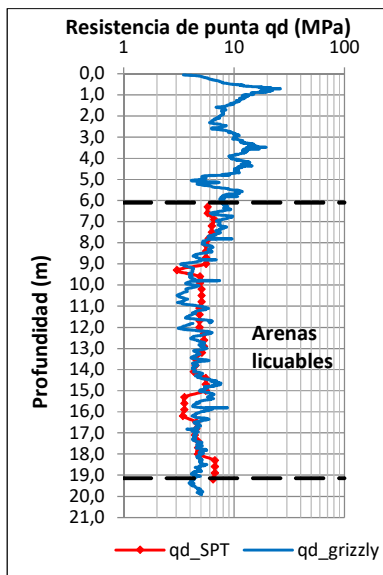


Fig. 10 – Perfil de resistencia Sondaje N°2 – Grizzly N°2

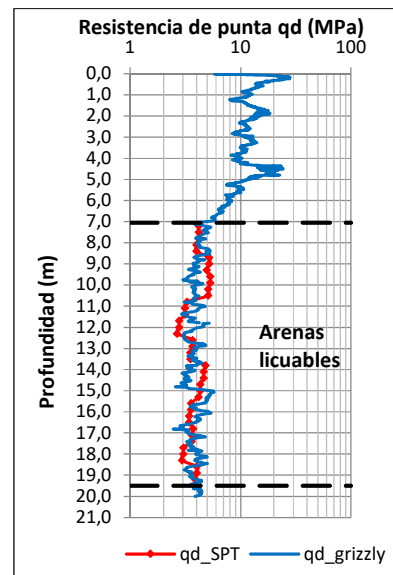


Fig. 11 – Perfil de resistencia Sondaje N°3 – Grizzly N°3

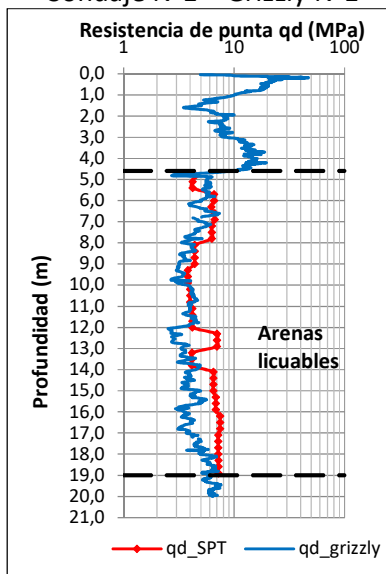


Fig. 12 – Perfil de resistencia Sondaje N°4 – Grizzly N°4

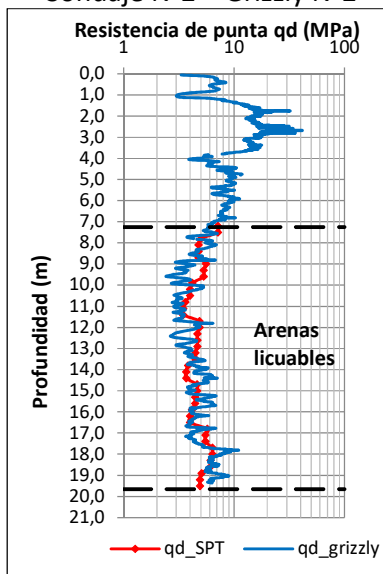


Fig. 13 – Perfil de resistencia Sondaje N°5 – Grizzly N°5

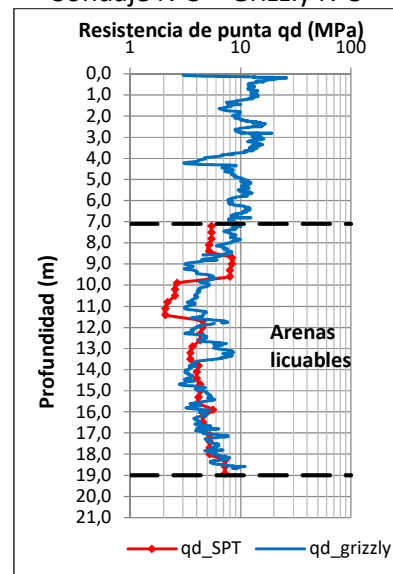


Fig. 14 – Perfil de resistencia Sondaje N°6 – Grizzly N°6

Con el fin de obtener gráficamente un valor de resistencia que defina el límite en el cual las arenas del sector se verían afectadas por un eventual efecto de licuación, variando el número de golpes del ensayo SPT, se calcularon los valores máximos de $(N_1)_{60CS}$ con los cuales el suelo podría licuar [3]. Cabe señalar, que para el análisis de licuación se utilizaron los datos obtenidos de los estudios de Peligro Sísmico ($M_w=6,8$ y aceleración máxima de $0,25g$) e Hidrogeológicos (profundidad de la napa a 1.70 m) realizados en el sitio. La Fig. 15, muestra los perfiles de resistencia de punta límite de licuación para cada sondaje y su respectiva tendencia lineal, definida aproximadamente a los 7,5 MPa para las arenas del sector en estudio.

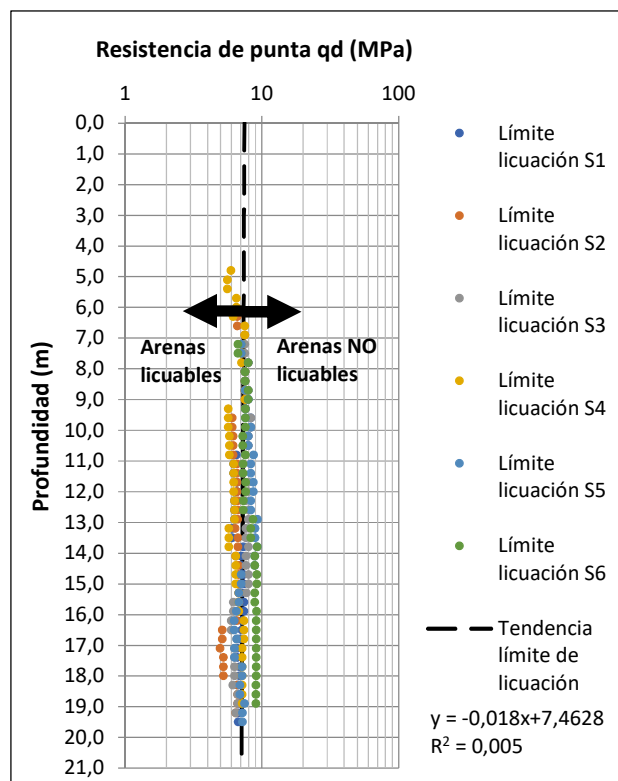


Fig. 15 – Resistencia de punta límite de licuación

5 Análisis de Resultados

A partir de los resultados mostrados en la Fig. 2, se observa que la relación entre el número de golpes N_{30} obtenido directamente del equipo Grizzly y el valor $(N_1)_{60CS}$ calculado a partir de los resultados del ensayo SPT, para las arenas licuables del sitio en estudio, es cercana a la unidad y aumenta a medida que se alcanza una mayor profundidad. Los motivos de esta diferencia radican principalmente en factores asociados a la ejecución de cada ensayo, por ejemplo: el registro manual del número de golpes del SPT; las diferencias de energía aplicada en cada ensayo; la fricción que ejerce el suelo en las barras del equipo Grizzly a medida que aumenta la profundidad; el aumento

del contenido de finos, etc. Sin embargo, en las Fig. 3 a la 8, se observa que los valores de N_{30_SPT} calculados con la Ec. (2) entregan resultados muy cercanos a los valores de N_{30} registrados con el equipo Grizzly, lo que entrega un alto grado de confiabilidad a la correlación determinada en este trabajo.

Luego, el perfil de resistencia por punta q_d obtenido a partir de los valores N_{30_SPT} (Fig. 9 – 14), en la mayoría de los sondajes, se aproxima bastante bien al perfil entregado por el equipo Grizzly. Y en relación a este último punto, cabe señalar, que una de las principales ventajas del penetrómetro dinámico Grizzly, es la continuidad en que se registran los datos, logrando obtener un perfil en profundidad muy detallado, lo que no ocurre en el ensayo SPT donde se registran datos cada un metro aproximadamente.

Con respecto a la resistencia límite de licuación estimada a partir de los sondajes, en la Fig. 16 a continuación, se corrobora que la resistencia de punta de 7,5 MPa es un valor adecuado para definir si este tipo de suelo es susceptible al efecto de licuación, ya que de la exploración geotécnica se concluyó que las arenas licuables se detectaron a partir de los 6,5 m, lo que también se observa en la Fig. 16.

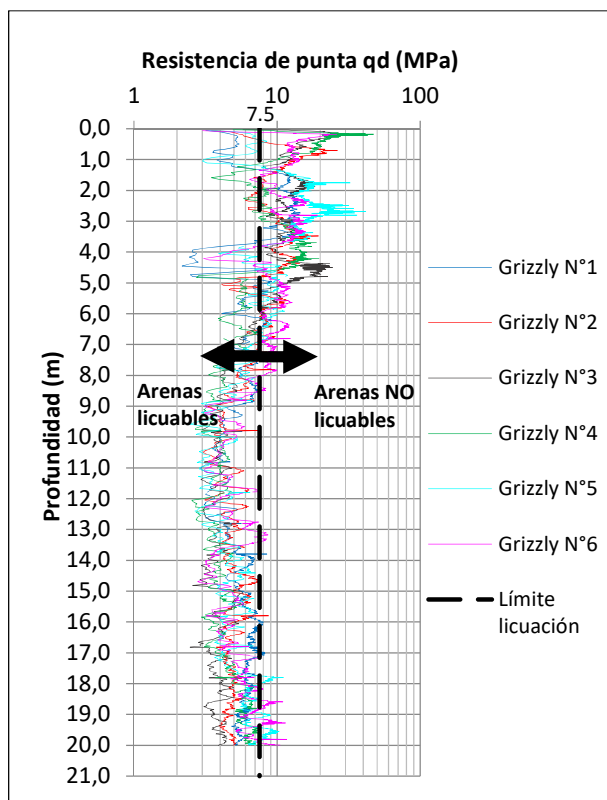


Fig. 16 – Perfil de resistencia ensayos Grizzly y límite de licuación arenas licuables



6 Conclusiones

Una vez realizados los diferentes análisis, se concluye que el valor de resistencia de punta límite de licuación para las arenas del sitio en estudio (u otros suelos de similares características) corresponde a 7,5 MPa. Con este último valor, mediante las herramientas computacionales del ensayo Grizzly, es posible evaluar preliminarmente y en tiempo real, el potencial de licuación de suelos en un sitio de similares características geotécnicas.

La correlación y la resistencia límite de licuación presentadas en este trabajo, se recomiendan sólo para el sector específico analizado y siempre como un ensayo o información complementaria a la exigida por norma.

Es importante aclarar, que el penetrómetro dinámico Grizzly, no reemplaza por ningún motivo al ensayo SPT, ya que no proporciona información estratigráfica del terreno ni extracción de muestras. Sin embargo, resulta ser un ensayo muy útil en proyectos de pequeña envergadura donde no se cuenta con información de sondajes, pero si con antecedentes de presencia de arenas sueltas y saturadas (potencialmente licuables).

Por otro lado, para terrenos de mucha extensión o superficie, el penetrómetro dinámico Grizzly, puede ser utilizado como un ensayo complementario a los sondajes, para obtener información del número de golpes y resistencia por punta en forma continua en profundidad, detectando presencia de estratos de suelos sueltos como las arenas potencialmente licuables, pero también, suelos muy compresibles como arcillas blandas e incluso suelos orgánicos como las turbas. Además, otro de los principales beneficios de este ensayo, es su fácil implementación en terreno y rapidez de ejecución, lo que se traduce en un ahorro de tiempo y costo, tanto en estudios geotécnicos definitivos como de prefactibilidad.

Referencias

- [1] Uribe P. Geología y Consideraciones Geotécnicas del Suelo de Fundación de Punta Arenas, 1982.
- [2] Escobar E, Benz M A, Gourvès R, Lahoz F, Villavicencio G. Desarrollo de un Penetrómetro Dinámico DPSH a Energía Variable asistido por computador: GRIZZLY EV. XI Congreso Chileno de Energía Geotécnica, 2016.
- [3] Youd T.L., Idriss I.M., Andrus R.D., Arango I, Castro G, Christian J.T., Dobry R, Liam Finn W.D., Harder Jr L.F., Hynes M.E., Ishihara K, Koester J.P., Liao S, Marcuson III W.F., Martin G.R., Mitchell J.K., Moriwaki Y, Power M.S., Robertson P.K., Seed R.B., Stokoe II K.H. Liquefaction Resistance of Soils: Summary Report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF Workshops on Evaluation of Liquefaction resistance of Soils. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 2001.



- [4] Aravena S, Jaramillo M. Correlación de resultados ensayos DPSH y SPT en suelos finos. VIII Congreso Chileno de Ingeniería Geotécnica 2014.
- [5] MacRobert C, Kalumba D, Beales P. Correlating Standard Penetration Test and Dynamic Probe Super Heavy penetration resistance values in sandy soils. Journal of the South African Institution of Civil Engineering, Volume 53 Number 1, April 2011.
- [6] Carrasco R. Zonificación Geotécnica en Algunos Sectores de Punta Arenas y Soluciones Particulares para Mejoramiento y/o Fundaciones. Tesis de Título, 1997.
- [7] Norma ASTM D1586, Standard Test Method for Penetration Test and Split-Barrel Sampling of Soils.
- [8] Norma NCh. 3364, Ensayo de Penetración Estándar.
- [9] Norma UNE 103801:1994 - Geotecnia. Prueba de Penetración Dinámica Superpesada.