

ENSAYO DE PENETRACIÓN DINÁMICA SÚPER PESADA (DPSH): EQUIVALENCIA PARA EL ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR (SPT) EN COLOMBIA

Dynamic Probing Super Heavy (DPSH): Equivalence for the Standard Penetration Test (SPT) in Colombia

Edgar Leonardo Salamanca Medina¹, Juan José López Domínguez²
¹⁻²Departamento de Geología y Geotecnia, Zofre SAS, Bogotá DC, Colombia
Email: edgarleonardo.salamanca@gmail.com, juan.lopez@zofre.com.co

(Recibido septiembre 15 de 2021 y aceptado noviembre 22 de 2021)

Resumen

En este trabajo se presentan los resultados de una serie de equivalencias directas entre el ensayo de penetración dinámica súper pesada (DPSH) y el ensayo de penetración estándar (SPT), a partir de 129 datos recolectados en distintos proyectos de exploración geotécnica ejecutados en Colombia. Las equivalencias entre los resultados de las pruebas se obtuvieron en términos de golpeo, comparando estos para distintas agrupaciones texturales de suelos con base en ensayos de laboratorio, principalmente, de clasificación. Como resultado de un análisis estadístico de estos datos se derivaron cinco equivalencias directas en función a la clasificación granulométrica del suelo, las cuales han sido comparadas con las propuestas de otros autores. Este proceso permitió ampliar el rango de uso para demás texturas de suelo que, actualmente, no habían sido correlacionadas.

Palabras clave: *caracterización geotécnica, correlación, ensayo de penetración dinámica super pesada (DPSH), ensayo de penetración estándar (SPT).*

Abstract

This paper presents the results of a series of direct equivalencies between the dynamic probing super heavy (DPSH) and the standard penetration test (SPT) based on 129 data collected from different geotechnical exploration projects carried out in Colombia. The equivalences between the results of the tests were obtained in terms of blows, comparing these for different textural groupings of soils based on, mainly, in classification laboratory tests. As a result of a statistical analysis of these data, five direct equivalences were derived formed on the granulometric classification of the soil, which have been compared with the proposals of other authors. This process allows expanding the range of use for other soil textures that had not currently been used correlated.

Key words: *geotechnical site characterization, correlation, dynamic probing super heavy (DPSH), standard penetration test (SPT).*

1. INTRODUCCIÓN

La metodología de trabajo para una correcta caracterización geotécnica del subsuelo en obras de ingeniería se soporta en dos principios fundamentales: en primer lugar, una campaña de exploración geotécnica, la cual desarrolla dentro de sus alcances la ejecución de exploración directa que permita obtener muestras representativas del subsuelo y que, simultáneamente, se acompaña de pruebas o ensayos de campo en segundo lugar, la ejecución de ensayos de laboratorio sobre las muestras recuperadas durante la campaña de exploración geotécnica.

Todo este proceso permite conocer las propiedades geotécnicas de los materiales testificados [1]. Entre las pruebas de campo para la investigación del terreno, se encuentra la llamada prueba de penetración estándar (SPT), de uso extendido en Colombia y en el mundo, ya que sobre la misma existe una extensa base de datos para estimar los parámetros de resistencia de los suelos a partir de su resultado. En la actualidad, el uso de pruebas dinámicas similares al ensayo SPT, como las pruebas de penetración dinámica ligera (DPL), mediana (DPM), pesada (DPH) y super pesada (DPSH), han aumentado permanentemente, ya que permiten conocer la sensibilidad a cambios en el perfil estratigráfico mediante registros continuos de golpeo. Además, los equipos de ejecución han tenido significativos procesos de mejora tecnológica [2]; sin embargo, en Colombia, se tiene poco conocimiento sobre las modalidades de dichas pruebas y, por lo general, se limita al uso de la prueba SPT, donde existe la tendencia a ejecutarse de manera manual [3].

La prueba de penetración dinámica super pesada (DPSH) es un ensayo *in situ* que está normalizado en Europa, el cual consiste en un penetrómetro dinámico automatizado bajo unas especificaciones de golpeo particulares, que posibilita obtener indicaciones cualitativas y cuantitativas de las características del subsuelo y que tienen una gran aplicación en la mecánica de suelos [4].

El problema que surge para su uso es que el ensayo no está normalizado en la mayoría de países de América, pero existen algunos casos de estudio de empresas europeas con sede en el continente que han usado los resultados de este ensayo con fines de reconocimiento y diseño. Por ejemplo, Jordá y Jordá [5] realizaron una nota sobre el uso de distintos penetrómetros, entre ellos el DPSH, en países como Ecuador y Perú. Por otro lado, los autores en [6] recogen dos casos prácticos de aplicación del ensayo DPSH en varios emplazamientos en la república de México. Recientemente, en [7] obtienen la resistencia dinámica de punta del ensayo DPSH asociada al límite de licuación de un suelo arenoso en la Patagonia chilena.

Por ser un ensayo que comparte algunas características similares al ensayo SPT, los valores de la prueba DPSH se pueden correlacionar de forma directa con el número de golpes/pie(ft) del SPT. De la misma manera, se han presentado algunas investigaciones en donde correlacionan esta prueba con otros tipos de ensayos de campo, como el mencionado en [8], en el cual se presentan equivalencias entre los valores de la prueba DPSH y la resistencia estática q_c de la prueba de penetración estática de cono (CPT) en ciertos suelos cohesivos de Lituania. En este mismo sentido, el trabajo desarrollado por [9] relaciona algunos resultados de la prueba de dilatómetro de Marchetti (DMT) con pruebas DPSH y SPT en suelos residuales de Portugal.

Durante los últimos 50 años, se han estudiado correlaciones entre los resultados de la prueba DPSH (N_{DPSH}) y los resultados de la prueba SPT (N_{SPT}) para distintos tipos de suelos. Por ejemplo, el autor [10] propone una correlación general para suelos arenosos a partir de ensayos ejecutados en Suecia. En [11] se publicó una correlación para el uso en suelos de textura finogranular en España.

Los autores en su investigación [12] obtienen distintas relaciones a partir de 139 datos en los suelos de la cuenca de Madrid (España). Así también, el trabajo de [13] comunica una relación para suelos arenosos en

Sudáfrica, aunque registrando los valores de N_{DPSH} cada 30 cm. En este sentido, [14] establece los límites máximos y mínimos de la relación N_{SPT}/N_{DPSH} obtenidos entre pruebas manuales SPT y ensayos DPSH en Brasil. Recientemente, en [15] se relaciona los resultados de 32 pares de valores DPSH – SPT obtenidos en cuatro campos experimentales en Portugal sobre suelos arenosos, y compara los resultados obtenidos con las expresiones alcanzadas en [16] para los mismos campos experimentales.

Como resultado de este rastreo, en la Tabla 1, se agrupan las correlaciones más conocidas y utilizadas para predecir el valor de N_{SPT} . De las cinco correlaciones mostradas, dos están basadas en regresiones logarítmicas y tres en regresiones exponenciales. Algunas de estas correlaciones no tienen estadísticas bien definidas o bien, se han propuesto a partir de datos de una zona en particular;

por lo tanto, su uso requiere juicio y precaución, ya que deben ser utilizadas sólo en determinadas condiciones de suelo y procedimientos definidos.

Este artículo propone equivalencias entre las pruebas DPSH y SPT a partir datos obtenidos de distintos trabajos realizados en Colombia. Esto puede significar un primer paso para establecer el grado de confianza que pueda tenerse en nuestro medio, cuando se aplique alguna de las correlaciones planteadas en este trabajo y que, como reflexión, es importante transmitirlo al gremio la necesidad de ampliar las posibilidades de investigación geotécnica, para dar mayor versatilidad a los métodos de caracterización geotécnica que actualmente se usan en Colombia.

Tabla 1. Relaciones entre el N_{SPT} y el N_{DPSH} propuestas por diferentes autores

Referencia	Correlación	R ²	Tipo de suelo
Dahlberg [10]	$N_{SPT} = 25 * \log_{10} (1.22 * N_{DPSH}) - 15.16$	-	Granulares
Dapena y Lacasa [11]	$N_{SPT} = (13 * \log_{10} N_{DPSH}) - 2$	-	Cohesivos
	$N_{SPT} = 2.24 * N_{DPSH}^{0.87}$	0.84	General
López-Chinarro <i>et al.</i> [12]	$N_{SPT} = 2.25 * N_{DPSH}^{0.86}$	0.87	Granulares
	$N_{SPT} = 2.10 * N_{DPSH}^{0.90}$	0.81	Cohesivos

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Los datos de las pruebas para este estudio se han obtenido, esencialmente, de proyectos ejecutados en Colombia, entre los años 2016 a 2021, donde coincidieran proyectos de diseño que involucraran la ejecución de pruebas SPT y DPSH adyacentes; para ello, se han consultado, principalmente, exploraciones geotécnicas para proyectos de áreas de emplazamientos de zonas de vertido de materiales de excavación, cimentaciones superficiales y profundas, y en menor medida, exploración para estudios de estabilidad de taludes. En términos geológicos, las pruebas fueron realizadas sobre depósitos

aluviales finos y gruesos, depósitos de vertiente, así como, en horizontes de suelos residuales.

Las pruebas DPSH se han realizado bajo la norma española UNE-EN ISO 22476-2 [17], utilizando un equipo moderno. En relación con los útiles del ensayo, específicamente, se han usado barras de 1 m de longitud y de diámetro de 32 mm, marcadas en su periferia cada 20 cm, tal y como lo indica la citada norma. También se ha usado un sistema con puntazas perdidas (sin rosca). El conjunto ha sido golpeado continuamente mediante un martillo con dispositivo de elevación automática, con una velocidad comprendida entre 15 y 30 golpes por minuto,

registrando los golpes necesarios para hacer avanzar las barras cada 20 cm, obteniendo los valores de N_{20} ó N_{DPSH} , es decir, el número de golpes en cada serie de 20 cm de avance.

Las pruebas SPT se han realizado siguiendo las normas INV E-111-13 [18] y UNE-EN ISO 22476-3 [19]. El equipo para la ejecución del ensayo ha sido el mismo que el de la prueba DPSH, salvo que como útiles de ensayo, se ha usado tubería de 1 m de longitud y de 50 mm de diámetro, junto con la cuchara característica de este ensayo.

Ciento veintinueve pares de valores (129) de SPT y DPSH fueron considerados en este estudio, los cuales se encuentran entre profundidades de 0 a 25 m, siendo más recurrente las pruebas hasta los 10 m, y no distanciados entre sí no más de 2 m en todos los casos. Cada valor de N_{SPT} fue tomado directamente del valor obtenido en campo, por lo tanto, no se le ha aplicado las correcciones por esfuerzo efectivo, profundidad, varillaje, etc.

Para cada muestra SPT se realizaron ensayos de laboratorio de clasificación, específicamente, granulometría por tamizado [20] y límites de Atterberg [21]. La metodología de clasificación utilizada ha sido el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos USCS [22]. De los resultados de clasificación, el 46.5% de las muestras corresponden a suelos de textura arenosa con abundantes finos, 32.6% corresponde a datos de suelos cohesivos, y, el porcentaje restante a suelos arenosos limpios y gravas.

Previo a la estimación de las correlaciones, ha sido necesario definir las agrupaciones texturales de estudio, definiendo una de manera general (sin diferenciación textural), así como agrupaciones que se han basado en la facilidad de diferenciación de suelos cohesivos (arcillas y limos) y granulares, en estos últimos para arenas relativamente limpias (<12% finos), arenas con contenidos apreciables de finos (12%<%finos<50%) y gravas. Tras el razonamiento anterior, se han graficado los pares de valores N_{SPT} y N_{DPSH} de acuerdo con dichas agrupaciones, y se determinaron los coeficientes de correlación construyendo la línea de tendencia que más

se ajustara para cada uno de los supuestos analizados, ajustando cada iteración mediante un algoritmo de regresión de distancia ortogonal (ODR).

Finalmente, se han analizado y comparado los ajustes obtenidos con las expresiones logradas por distintos autores. La Figura 1 ilustra los pasos que se siguieron para lograr el objetivo de este estudio.

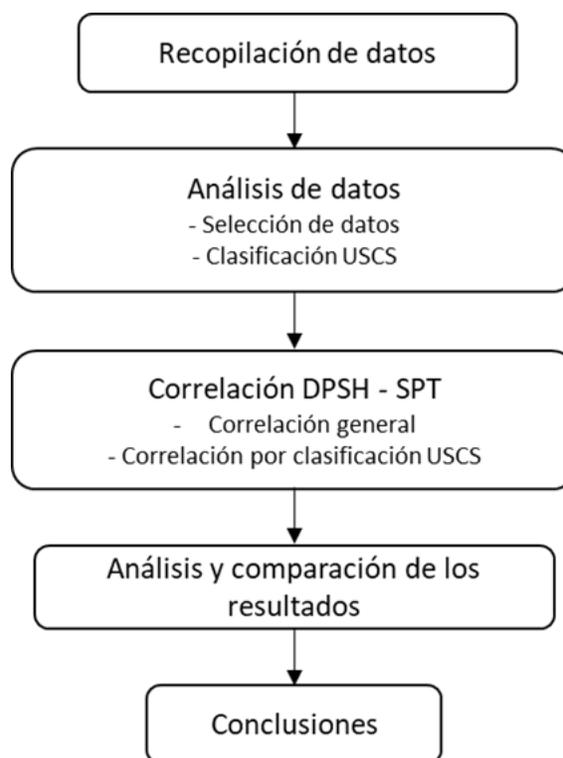


Figura 1. Diagrama de flujo metodológico seguido en el presente trabajo

3. RESULTADOS

Se han obtenido cinco equivalencias a manera de regresiones exponenciales. La primera equivalencia corresponde a una correlación general sin particularizar las características texturales de los suelos evaluados, mientras que las equivalencias restantes relacionan las texturas de los suelos de acuerdo con las agrupaciones que se han mencionado anteriormente. En la Tabla 2 y en la Figura 2 se muestran las expresiones y las gráficas de

cada uno de los análisis descritos.

La correlación general fue obtenida para los casos donde la caracterización del terreno incluye solamente este tipo de ensayos, desconociendo las características texturales de los suelos. La curva de regresión para todos los casos queda mejor ajustada en el entorno de 1 a 13 golpes, mientras que para golpes superiores la dispersión aumenta, con valor medio general de la relación $N_{SPT}/N_{DPSH} \approx 1.62$.

En los suelos finos se obtiene una regresión casi lineal, aunque con pocos datos de golpes superiores a 15. La relación media obtenida es de $N_{SPT}/N_{DPSH} \approx 1.80$.

Ahora bien, en suelos arenosos con apreciables contenidos de finos se observan las mayores dispersiones evaluadas, sin embargo, esta correlación presenta buena cantidad de datos introducidos que representan una regresión confiable, con un coeficiente de correlación R^2 de 0.94 y una relación media de $N_{SPT}/N_{DPSH} \approx 1.76$.

De otro lado, la menor cantidad de datos están involucrados en las regresiones de suelos arenosos limpios y gravas, donde se marcan regresiones un poco más horizontalizadas con respecto a las demás regresiones, y con valores de R^2 no menores a 0.88. La relación media de N_{SPT}/N_{DPSH} es de 1.35 y 1.57, respectivamente.

Tabla 2. Correlaciones obtenidas DPSH- SPT

Tipo de suelo	Agrupación USCS [22]	Función línea de tendencia	Ecuación obtenida	R^2
General	Todos	Exponencial	$N_{SPT}=2.29*N_{DPSH}^{0.88}$	0.95
Arcillas y limos	CL, CH, ML, MH	Exponencial	$N_{SPT}=2.07*N_{DPSH}^{0.95}$	0.97
Arenas con finos	SC, SM	Exponencial	$N_{SPT}=2.52*N_{DPSH}^{0.88}$	0.94
Arenas limpias	SW, SP, SW-SC, SW-SM, SP-SC, SP-SM	Exponencial	$N_{SPT}=2.72*N_{DPSH}^{0.75}$	0.91
Gravas	GW, GP, GW-GC, GW-GM, GP-GC, GP-GM	Exponencial	$N_{SPT}=2.75*N_{DPSH}^{0.81}$	0.88

4. DISCUSIÓN

4.1. Correlaciones obtenidas

Es importante anotar que las correlaciones concebidas en la Tabla 2 están orientadas a predecir un N_{SPT} de campo con sistema automático de caída, dada las características del equipo utilizado.

Como se ha mencionado anteriormente, en los suelos finos se presenta una limitante de golpes después de los 15 golpes, que tiene que ver en gran parte con las profundidades de las pruebas valoradas, la génesis geológica de los suelos evaluados y del nivel de esfuerzos a la profundidad de penetración. Es importante resaltar que, en este tipo de suelos, el rozamiento superficial a lo largo de la barra tiene una influencia considerable sobre la resistencia a la penetración; por lo cual, existe la incertidumbre sobre el porcentaje de golpeo que se le atribuye a este rozamiento [17].

Las dispersiones en los datos sobre la regresión en suelos arenosos con apreciable contenido de finos pueden acudir al contenido de partículas finas, que van desde un 12% hasta un 50%; por otro lado, cuanto mayor sea el porcentaje de finos, de igual manera, tendrá afectaciones por rozamiento en las barras de hinca. No obstante, en arenas relativamente limpias y gravas, la resistencia a la penetración aumenta con el incremento de la densidad relativa [17], en una proporción más o menos lineal.

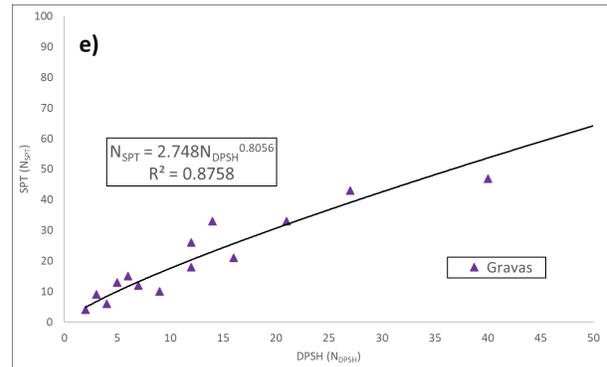
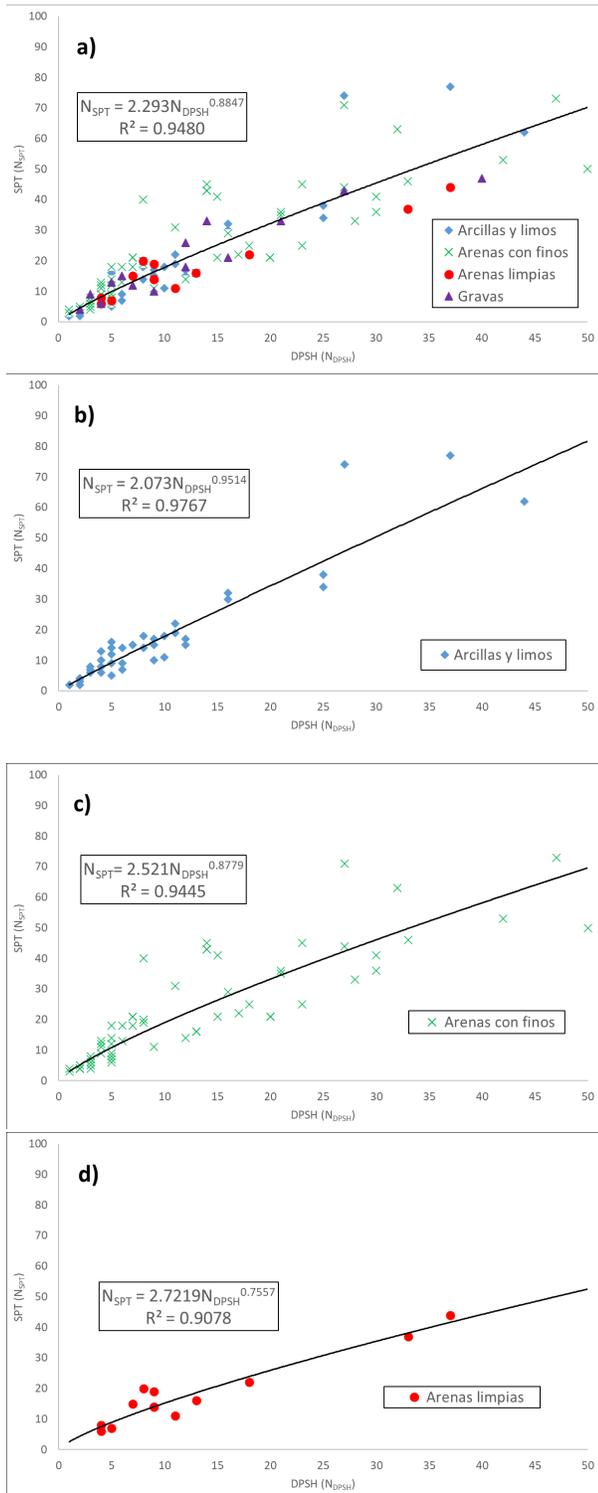


Figura 2. Correlaciones para los diferentes tipos de suelos. a) Correlación general. b) Arcillas y limos. c) Arenas con finos. d) Arenas limpias. e) Gravas.

Un aspecto importante en este tipo de suelos es que la distribución y forma de las partículas (esfericidad y redondez), la selección de los mismos (coeficientes de uniformidad y de curvatura) y el grado de cementación influyen en la resistencia a la penetración [17], [19]. Por otro lado, se ha visto con la experiencia en este tipo de suelos que la resistencia a la penetración de una misma capa por debajo del nivel freático es más baja que por encima del mismo, lo cual podría relacionarse a que el esfuerzo efectivo vertical es más bajo.

En consecuencia, el rozamiento de las barras en los datos obtenidos se manifiesta en la concavidad de las curvas de regresión, es decir, a mayores golpes, la pendiente de la relación DPSH vs SPT es cada vez menor. Eso implica que a mayor profundidad harán falta, proporcionalmente, más golpes DPSH que SPT. Bajo esta situación, entran en juego dos factores: la influencia del rozamiento de las varillas y el peso de estas en la energía del golpeo.

Como resultado, al examinar la totalidad de datos del presente estudio, se ha graficado la relación N_{SPT}/N_{DPSH} en función de la profundidad, tal y como se muestra en la Figura 3, observándose que la mayoría de los datos se encuentran en profundidades entre los 0 y 7 m, con un valor promedio de $N_{SPT}/N_{DPSH} \approx 1.62$. Para profundidades entre los 10 a 20 m se observan valores de N_{SPT}/N_{DPSH} entre 1.40 a 1.20 para suelos cohesivos como para arenas con contenidos apreciables de finos.

Finalmente, después de los 20 m de profundidad, y aunque solo se obtuvo un dato de referencia en suelos arenosos con finos, la relación se acerca a la unidad. En cualquier caso, estos valores son muy dependientes del grado de homogeneidad del suelo a lo largo del perfil del ensayo, ya que en cierto modo algunos suelos tendrán distinto aporte por rozamiento. Con el fin de involucrar la influencia del rozamiento, se ha realizado un análisis de regresión lineal múltiple para todos los datos, obteniéndose la ecuación (1), que, de manera general, presenta la predicción del valor de N_{SPT} en función del N_{DPSH} y de la profundidad z , con un coeficiente de correlación R^2 de 0.78.

$$N_{SPT} = 5.15 + 1.38 * N_{DPSH} - 0.21 * z \quad (1)$$

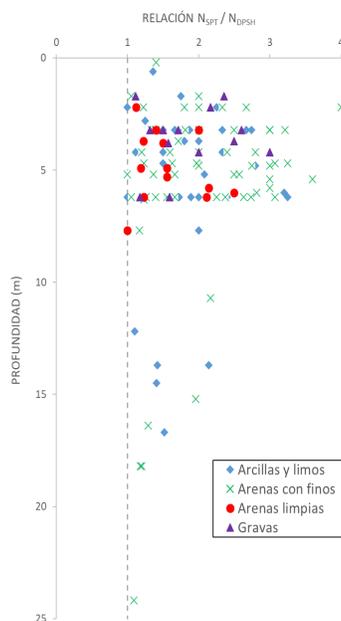


Figura 3. Relación N_{SPT}/N_{DPSH} con la profundidad para los datos evaluados

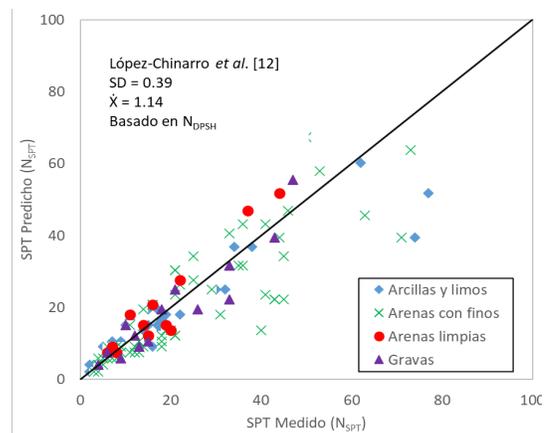
4.2. Comparación

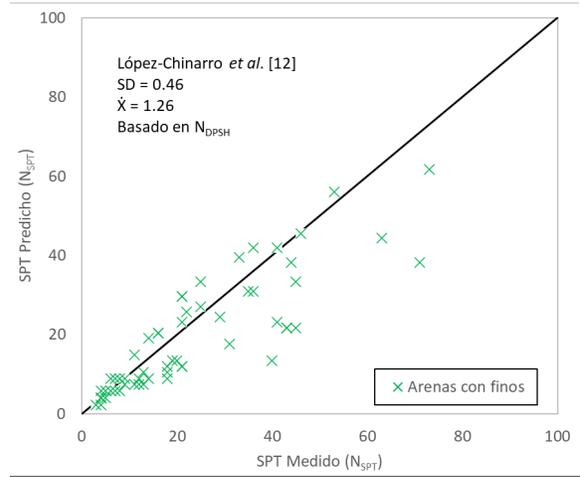
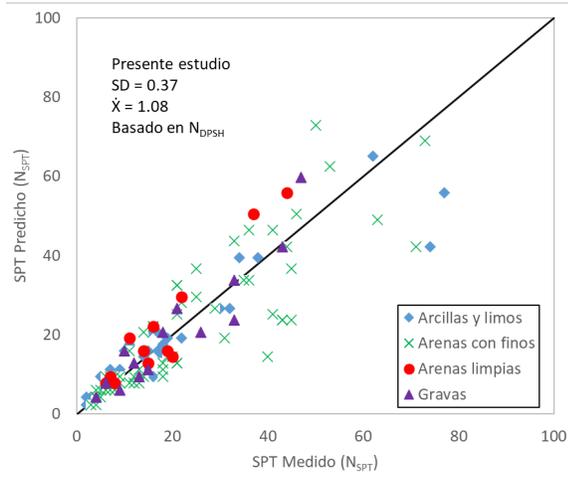
Para evaluar la confianza de las correlaciones propuestas en el presente estudio a partir de los valores N_{DPSH} , los valores de N_{SPT} medidos se graficaron con respecto a los valores de N_{SPT} predichos, y se compararon con las correlaciones obtenidas en [12], ya que este presenta

el mayor número de datos base hasta el momento publicados, los cuales no son muy distantes en cantidad a los utilizados en el presente estudio. En este sentido, y para la evaluación estadística de las correlaciones se utilizó la media estadística (\bar{X}) y la desviación estándar (SD) con la media y la desviación estándar de la relación N_{SPT} Medido y N_{SPT} Predicho, respectivamente. La Figura 4 muestra el N_{SPT} Medido vs el N_{SPT} Predicho para las correlaciones del trabajo citado, así como para las correlaciones obtenidas en el presente estudio.

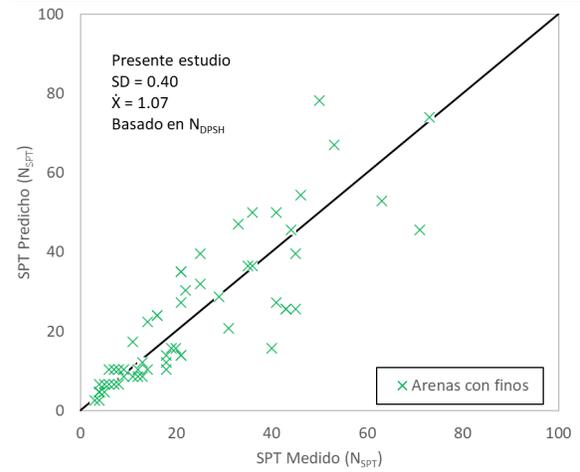
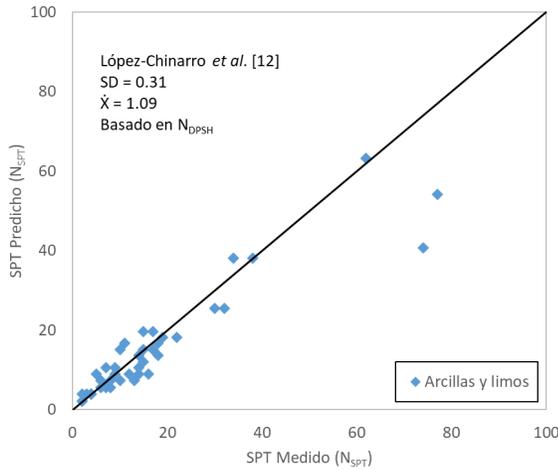
Los resultados de la comparación indicaron que las correlaciones propuestas han proporcionado una estimación acertada con respecto a los datos medidos (SD=0.37 y \bar{X} =1.08 para la correlación general, SD=0.28 y \bar{X} =1.01 para arcillas y limos, SD=0.40 y \bar{X} =1.07 para arenas con finos, y SD=0.24 y \bar{X} =1.01 para arenas limpias). Después de las correlaciones propuestas, la correlación para suelos cohesivos de [12] tuvo la mejor estimación y el error más bajo (SD=0.31 y \bar{X} =1.09).

Por otro lado, se observa que la correlación propuesta para suelos granulares de los autores citados anteriormente, en comparación con las correlaciones de suelos arenosos del presente estudio, expone mejores estimaciones y errores más bajos cuando se compara con la correlación de arenas limpias (SD=0.25 y \bar{X} =0.96), lo cual puede indicar, que esta correlación puede haberse obtenido para esta textura predominante, y tendría una leve limitante al usarla para el caso de suelos arenosos con contenidos apreciables de finos.

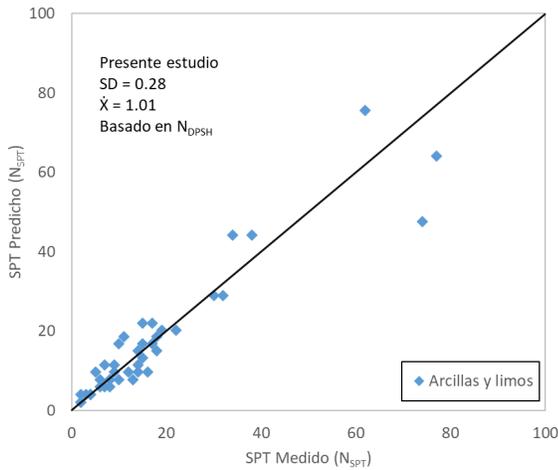




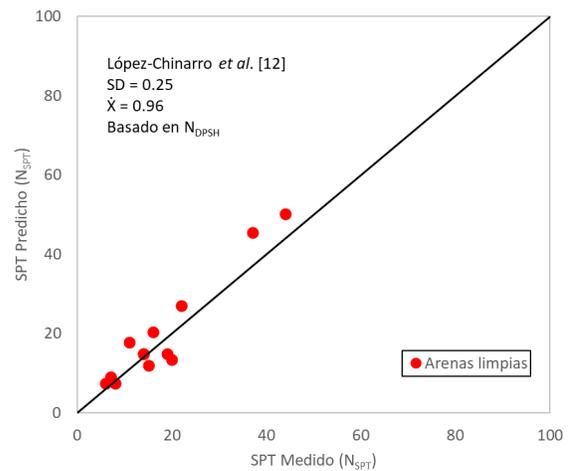
a) Correlación general

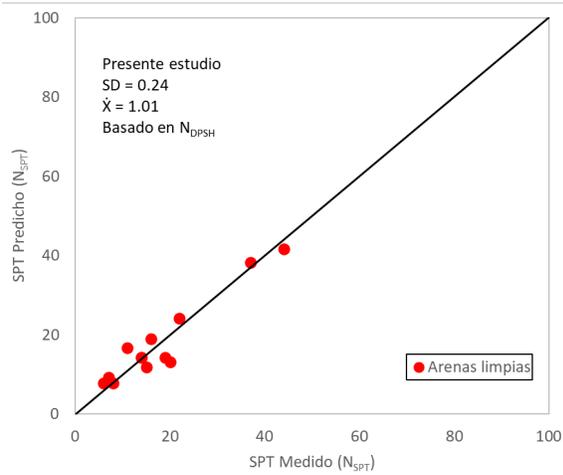


c) Correlación en arenas con finos



b) Correlación en suelos cohesivos





d) Correlación en arenas limpias

Figura 4. Valores de SPT Medidos vs SPT Predichos

5. CONCLUSIONES

En el presente estudio se han usado técnicas estadísticas ordinarias para correlacionar los valores de la prueba de penetración estándar (SPT) y la prueba de penetración dinámica super pesada (DPSH). Para ello, se han considerado 126 pares de valores de estos ensayos, incluyendo su clasificación granulométrica. Con este conjunto de datos se realizaron varias regresiones exponenciales y un estudio comparativo para reportar el grado de confianza de las correlaciones obtenidas con las propuestas de distintos autores.

Este estudio concluye, que si bien, las propuestas de correlación de los autores estudiados se ajustan de manera coherente a las obtenidas en el presente documento, se incluye de forma más particularizada rangos texturales que en la actualidad no habían sido correlacionados, de la misma manera, se involucran dos correlaciones generales, para cuando la incertidumbre en el tipo de material atravesado sea alta, o, para tener en cuenta el rozamiento de las barras según la profundidad del ensayo.

De manera indirecta lo que indaga este artículo, es importante destacar que la prueba DPSH es un ensayo de

campo que por su rapidez y economía resulta atractiva frente a los métodos convencionales usados en Colombia, como el ensayo SPT, que, en la mayoría de los casos, se ha visto en un atraso tecnológico en cuanto al control, forma y mecanismo de ejecución. Asimismo, la prueba DPSH se presenta como un registro directo y continuo de campo que permite valorar de manera más precisa la sensibilidad a cambios de compacidad y/o consistencia en el perfil estratigráfico de los suelos.

En consecuencia, la prueba DPSH es un método válido y automatizado para la caracterización geotécnica del terreno, entendiendo sus limitaciones, pero siempre que sea posible, deberá acompañarse de campañas geotécnicas de confirmación (sondeos, apiques, calicatas, etc.), que permitan conocer la textura del subsuelo.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su sincero agradecimiento a la empresa Zofre SAS por facilitar los registros de las pruebas y los datos de los ensayos de laboratorio.

REFERENCIAS

- [1] J. Herrera and J. Castilla, *Utilización de Técnicas de Sondeos en estudios Geotécnicos*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid. Departamento de Explotación de Recursos Minerales y Obras Subterráneas, 2012. Acceso: Mar. 11, 2022. [Online]. Disponible en: <https://oa.upm.es/10517/>
- [2] U. K. Jadoon, I. Khalid, S. A. Khan, W. Ullah, and W. Ullah, "Design and Simulation of Dynamic Probing Super Heavy Machine used for Geotechnical Investigation," in *1st International conference on recent advances in civil and earthquake engineering (ICCEE)*, Oct. 2021, p. 59.
- [3] A. J. González, "Estimativos de parámetros efectivos de resistencia con el SPT," *X Jornadas geotécnicas de la ingeniería colombiana*, 1999.
- [4] J. Díaz-Curiel, S. Rueda-Quintero, B. Biosca, and G. Donate-Matilla, "Advance in the penetrometer test formulation to estimate allowable pressure in

- granular soils,” *Acta Geotechnica*, vol. 12, no. 5, pp. 1119–1127, 2017, doi: 10.1007/s11440-017-0565-x.
- [5] R. Jordá and L. Jordá, “Notas sobre los ensayos de penetración dinámica superpesada en la zona Andina (Ecuador y Perú),” *Ingeopres: Actualidad técnica de ingeniería civil, minería, geología y medio ambiente*, no. 224, pp. 52–56, 2013.
- [6] Á. A. Martínez Girón, D. Martín Sánchez, D. Orbezo Parrao, and Á. Fernández Vélez, “Los ensayos ‘in situ’ de penetración dinámica continua y su utilización en México,” *XXVII Reunión Nacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería Geotécnica*, Nov. 2014.
- [7] V. Peredo Andrade and R. Carrasco Poll, “Correlación entre el ensayo penetrómetro dinámico Grizzly (DPSH) y SPT en arenas potencialmente licuables del sector Punta Arenosa en la ciudad de Punta Arenas,” *X Congreso Nacional Sochige Valparaíso*, 2018.
- [8] G. Žaržojus and K. Dundulis, “Problems of correlation between dynamic probing test (DPSH) and cone penetration test (CPT) for cohesive soils of Lithuania,” *Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*, vol. 5, no. 2, pp. 69–75, 2010, doi: 10.3846/bjrbe.2010.10.
- [9] N. Cruz and A. Viana da Fonseca, “Portuguese experience in residual soil characterization by DMT tests,” *2nd Int. Conf. On Flat Dilatometer*, 2006.
- [10] R. Dahlberg, “Penetration testing in Sweden,” *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, vol. 13, no. 9, p. A110, 1976, doi: 10.1016/0148-9062(76)90104-2.
- [11] E. Dapena and J. G. Lacasa, “Relación entre los resultados de los ensayos de penetración dinámica Borros DPSH y el SPT en un suelo arcilloso,” *Actas del Simp. sobre geotecnia de las infraestructuras lineales. Soc. Española de Mec. del Suelo e Ing. Geotécnica*, 2000.
- [12] J. A. López-Chinarro, F. P. Marín, and R. C. Pugh, “Propuesta de correlación para los suelos de la cuenca de Madrid entre el golpeo obtenido con ensayos de penetración DPSH y SPT,” *Revista Digital del Cedex*, no. 146, p. 111, 2007.
- [13] C. MacRobert, D. Kalumba, and P. Beales, “Correlating standard penetration test and dynamic probe super heavy penetration resistance values in sandy soils,” *Journal of the South African Institution of Civil Engineering Joernaal van die Suid-Afrikaanse Instituut van Siviele Ingenieurswese*, vol. 53, no. 1, pp. 46–54, 2011, doi: 10.10520/EJC27057.
- [14] S. F. de Carvalho, “Prova dinâmica super pesada-DPSH: uma proposta de correlação com a sondagem de simples reconhecimento SPT,” Florianópolis, Brasil, 2017.
- [15] V. do C. Destéfano, “Ensaio de penetração dinâmica—correlações entre o ensaio standard penetration test (SPT) e o penetrómetro dinâmico super pesado (DPSH),” Bragança, Portugal, 2021.
- [16] A. F. Afonso, “Correlações entre resultados de ensaios in situ de penetração dinâmica DP com o ensaio standard penetration test,” Bragança, Portugal, 2016.
- [17] UNE-EN ISO, “22476-2: Investigación y ensayos geotécnicos. Ensayos de campo. Parte 2: Ensayo de penetración dinámica,” *AEONOR: Madrid, España*, 2008.
- [18] Instituto Nacional de Vías, “E-111: Ensayo normal de penetración (SPT) y muestreo de suelos con tubo partido,” *Especificaciones generales de construcción de carreteras y normas de ensayo para materiales de carreteras. Bogotá, Colombia*, 2013.
- [19] UNE-EN ISO, “22476-3: Investigación y ensayos geotécnicos. Ensayos de campo. Parte 3: Ensayo de penetración estándar,” *AEONOR: Madrid, España*, 2006.
- [20] ASTM, “D 422: Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils,” *ASTM International, West Conshohocken*, 2002.
- [21] ASTM, “D 4318: Standard test methods for liquid limit, plastic limit and shrinkage limit of soils,” *ASTM International, West Conshohocken*, 2017.
- [22] ASTM, “D 2487: Standard classification of soils for engineering purposes,” *ASTM International, West Conshohocken*, 2011.