



EL ENSAYO PENETRÓMETRO DE CONO APLICADO A LA DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA AL CORTE NO DRENADA DE SUELOS DE GRANO FINO

FALL-CONE TEST APPLIED TO THE DETERMINATION OF UNDRAINED SHEAR STRENGTH OF FINE-GRAINED SOILS

Miriam Rosanna Escalaya Advíncula, Marco Antonio Hernández Aguilar
César Giancarlo Rojas Llactas, Ronald Saúl Vega López
Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú

RECIBIDO: 28 de septiembre de 2023.
ACEPTADO: 11 de diciembre de 2023.

RESUMEN

El comportamiento de suelos finos blandos es considerado uno de los más complejos y problemáticos desde el punto de vista geotécnico. Por tal motivo, es importante y fundamental el conocimiento de sus parámetros de resistencia y compresibilidad. En el presente artículo, se realiza una revisión de la literatura disponible acerca de la utilización del penetrómetro de cono en la determinación de la resistencia no drenada de estos suelos, las calibraciones necesarias y los principales avances en la determinación del factor de cono K. Este ensayo es utilizado comúnmente en la obtención del límite líquido de los suelos, y debido a la facilidad de su uso se convierte en una alternativa rápida y económica para la obtención de la resistencia no drenada de suelos arcillosos blandos.

Palabras clave: penetrómetro de cono, arcillas blandas, resistencia no drenada

Cómo citar

M. R. Escalaya Advíncula, M. A. Hernández Aguilar, C. G. Rojas Llactas, y R. S. V. L. Ronald Saúl Vega López, «El ensayo penetrómetro de cono aplicado a la determinación de la resistencia a la corte no drenada de suelos de grano fino», *Perfiles_Ingenieria*, vol. 19, n.º 20, pp. 15–34, dic. 2023.

ABSTRACT

The behavior of soft fine-grained soils is considered one of the most complex and problematic, from a geotechnical point of view. For this reason, knowledge of its strength and deformability parameters is important and fundamental. In this paper, a review of the available literature is carried out about the use of fall-cone test in determining the undrained shear strength of these soils, the necessary calibrations and the main advances in the determination of the cone factor K. Fall-Cone test is widely used to obtain the liquid limit of soils, and due to the ease of use it becomes a quick and economical alternative to obtain the undrained shear strength of soft clay soils.

Keywords: fall-cone test, soft clays, undrained shear strength.

© Los autores. Este artículo Open Access esta publicado bajo la Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional. (CC-BY 4.0)



Introducción

La resistencia al corte de un suelo es típicamente analizada a partir de ser drenada o no drenada (S_u), dependiendo principalmente de la permeabilidad de la masa del suelo y de la velocidad de aplicación del esfuerzo normal. En condiciones drenadas, el corte del suelo ocurre a una velocidad que permite la disipación del agua de su estructura, y consecuentemente de las presiones intersticiales. Por su parte, en condiciones no drenadas, eso no sucede; es decir, las presiones intersticiales no se disipan antes de ocurrir el corte. Esta es la situación típica de los suelos finos en la situación de corto plazo.

Se entiende, por tanto, que la resistencia al corte de un suelo es una característica compleja de estudiar ya que intervienen varios factores como la heterogeneidad del suelo, la cantidad de agua, la capacidad del drenaje del suelo, la historia geológica, condiciones ambientales, etc. Con la finalidad de cuantificar la resistencia al corte de suelos, así como sus parámetros asociados, han sido creados varios ensayos de laboratorio y campo.

La evaluación de esta propiedad en el laboratorio, comúnmente se realiza mediante ensayos de compresión simple y triaxiales, en los cuales la muestra tiene que ser preparada cuidadosamente para mantener las condiciones originales de campo, lo que en el caso de suelos arcillosos blandos es muy difícil. Ante esta dificultad, la utilización de equipos de laboratorio simples puede ser una alternativa para la obtención de la resistencia no drenada (S_u) de estos suelos de una manera rápida, económica y sin problemas de perturbación de la muestra. Dentro de estos equipos, se tiene la veleta de laboratorio, que no es de uso habitual en la práctica de la ingeniería peruana, y el Penetrómetro de Cono, que es usado comúnmente en la obtención del límite líquido del suelo y que es de fácil acceso en los laboratorios del país.

1. Ensayo Penetrómetro de Cono

El ensayo Penetrómetro de Cono fue desarrollado entre los años 1914 y 1922 por la Comisión Geotécnica de Vías de Suecia. Comparado con otros ensayos, es considerado un método sencillo, lo que llevó a su amplio uso en Escandinavia [1]. Fue originalmente desarrollado para estimar la resistencia de suelos arcillosos remoldeados y se tornó ampliamente

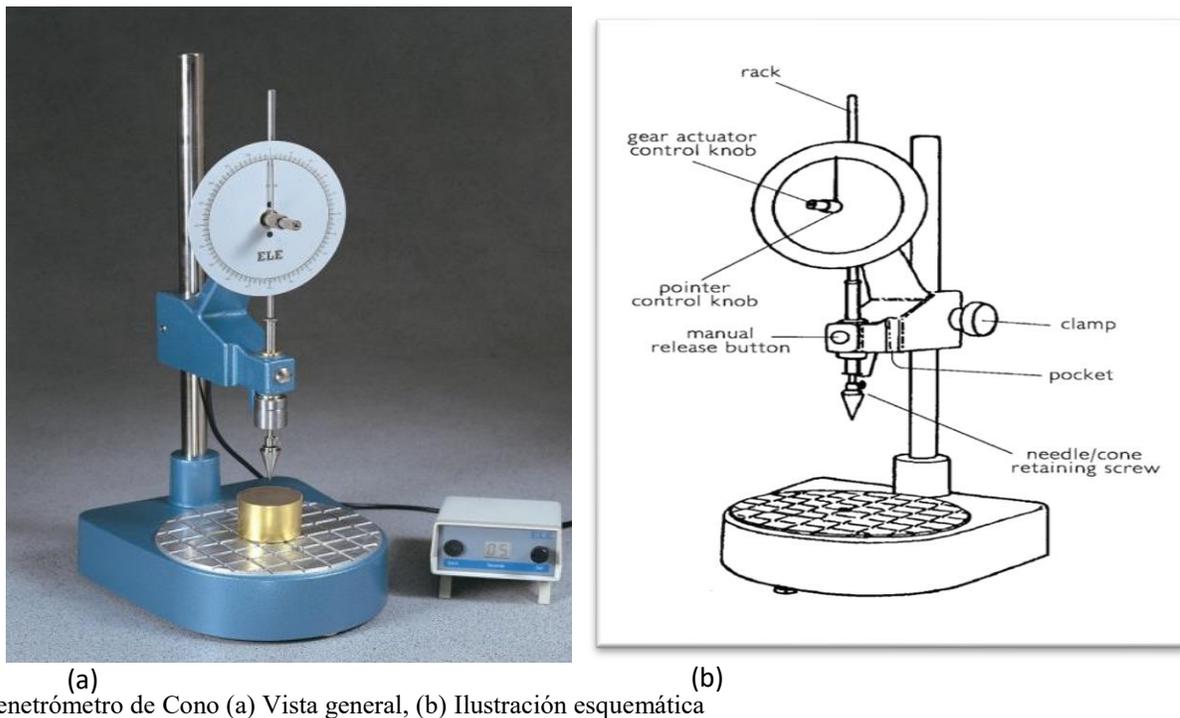
utilizado como método alternativo para determinar el límite líquido de arcillas [2] y ha sido incluido en las normas británicas, suecas, canadienses y japonesa.

A lo largo de los años, se han realizados diversas evaluaciones experimentales de la resistencia al corte no drenado de suelos de grano fino, basadas en el ensayo del Penetrómetro de Cono. Entre ellas están las de Karlsson [3], Wood [4], Brown e Huxley [5], Rajasekaran e Rao [6], Tanaka et al. [7], y Lemos y Pires [8]. Asimismo, Wang et al. [9], Bastos et al. (2014), Gruchon y Zydrón [10], Oliveira et al. [11], Pinto et al. [12] y Cabalar et al. [13], trabajaron con muestras de suelos artificiales y mezclas de suelos, validando el modelo propuesto por Hansbo [1].

Adicionalmente, diversos análisis teóricos basados en la teoría de la plasticidad corroboran la idea de que este ensayo mide la resistencia al corte del suelo (Houlsby [14]; Koumoto y Houlsby [2]; Dastider et al. [15]).

En la Figura N° 1, se muestra el equipo utilizado en el ensayo Penetrómetro de Cono.

Figura N° 1



Existen dos configuraciones del Penetrómetro de Cono, ampliamente utilizadas: (i) el cono de punta de 60° y 60 g de masa que es utilizado principalmente en países como Canadá, Japón, Noruega y Suecia, y (ii) el cono de punta de 30° y 80 g de masa, utilizado en Australia, Francia, Gran Bretaña y Nueva Zelanda.

El cono británico es la configuración más común y estandarizada en la Norma BS 1377-2, *Methods of Test for Soils for Civil Engineering Purposes. Part 2: Classification Test*.

Koumoto y Houlsby [2] recomiendan el uso del cono de ángulo de 60° con masa de 60 g debido a que su base teórica es más clara; mientras que Llano Serna et al. [16] consideran que el ángulo más agudo del cono de 30° es más útil para evaluar la resistencia de los suelos más rígidos.

El ensayo Penetrómetro de Cono se inicia con la punta de cono apoyada sobre la superficie del suelo, posteriormente se suelta y cae por su propio peso. La profundidad de penetración final del cono en el suelo se registra después de 5 segundos. A partir de este ensayo sencillo, se han derivado varias relaciones teóricas.

Un estudio detallado de Hansbo [1] estableció la relación entre la profundidad de penetración del cono con la resistencia al corte no drenado del suelo (S_u). El análisis dimensional se basa en el movimiento del cono (análisis dinámico) y se describe a continuación:

$$S_u = K \cdot \frac{Q}{h^2} \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde:

S_u = resistencia al corte no drenado,

K = factor de cono,

Q = peso total del cono, y

h = profundidad de penetración del cono.

K es la pendiente de la relación lineal entre Q/h^2 y S_u . Es una constante empírica que depende del ángulo (α) y de la rugosidad (ξ) del cono.

Varios estudios han intentado, mediante ensayos de laboratorio, cuantificar la influencia de diferentes parámetros (p. ej. rugosidad de la superficie del cono, la velocidad de corte, ángulo

del cono) en el factor K del cono (Karlsson [3], Wood [17], Sivakumar et al. [18], Farias and Llano-Serna [19], Vardanega et al. [20], Llano-Serna and Contreras [21] y Zeng et al. [22]).

Según Koumoto y Houlsby [2], utilizando un enfoque cuasi estático, el peso Q puede aproximarse considerando la teoría de la capacidad de carga, lo que resulta en lo siguiente:

$$Q = N_{ch} S_u A = N_{ch} S_u \pi \tan^2 (\beta/2) h^2 \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde

N_{ch} = factor de capacidad portante del cono en el que se tiene en cuenta el levantamiento producido por el suelo desplazado

A = sección transversal del cono en el nivel de la superficie original

β = ángulo de la punta del cono

La Ec. 2 puede ser simplificada por:

$$Q/S_u = Fh^2 \quad (\text{Ec. 3})$$

Donde F puede ser expresado como:

$$F = N_{ch} \pi \tan^2 (\beta/2) \quad (\text{Ec. 4})$$

Los autores calcularon también los valores de N_{ch} dependiendo de la rugosidad del cono y considerando una simplificación lineal de la elevación (lado izquierdo de la Figura N° 2).

Por otro lado, Hazell [23] aplicó el método de elementos finitos con enmallado adaptativo para evaluar la influencia de la superficie curva en el factor N_{ch} (lado derecho de la Figura N° 2).

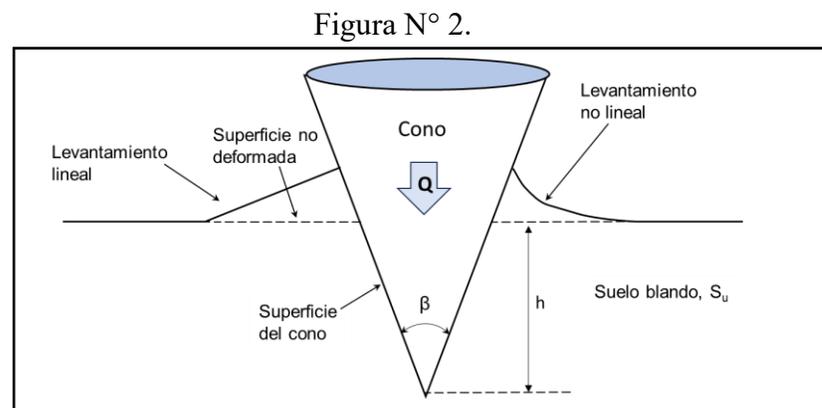
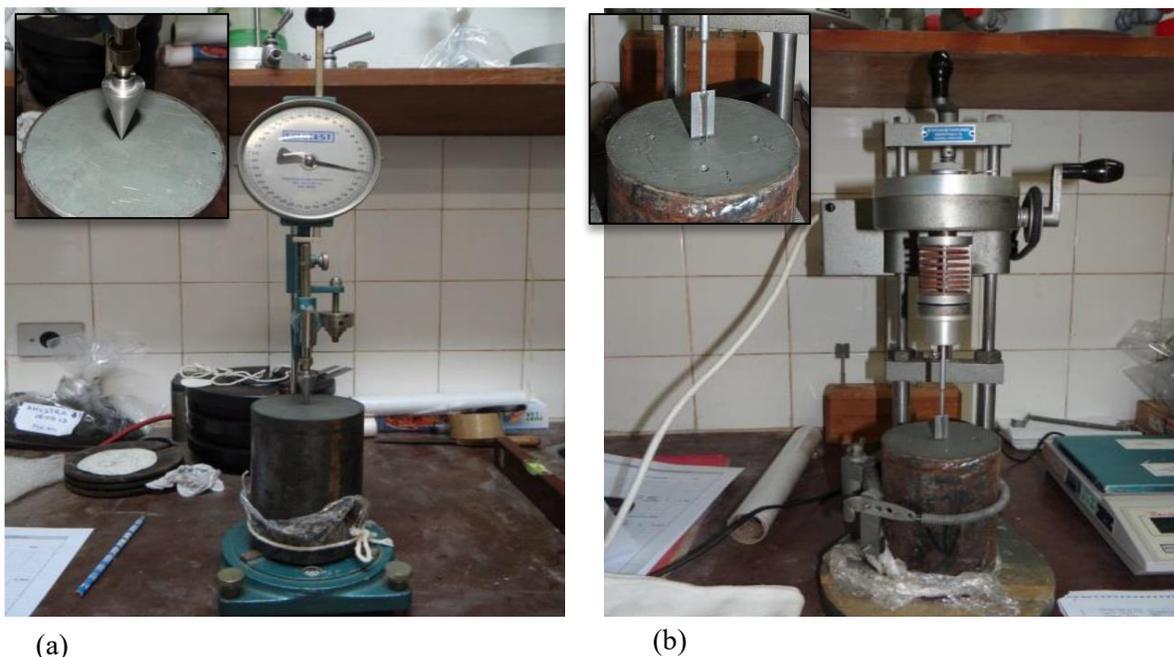


Ilustración esquemática de la penetración del cono. El lado izquierdo representa el análisis de Koumoto y Houlsby [2], y el lado derecho representa los resultados del análisis de elementos finitos de Hazell [23]

2.1 Calibración del Penetrómetro de Cono

Para calibrar el ensayo Penetrómetro de Cono, se requiere conocer la resistencia al corte no drenada de un suelo arcilloso a partir de una prueba alternativa. Para ello, se suele considerar el ensayo de corte con el equipo de veleta de laboratorio [1] [19] [24] [25] [4] [3] [26] [27]. En la Figura N° 3, se muestra la calibración realizada por Lemos [27] en muestras de arcillas blandas.

Figura N° 3.



Calibración del Penetrómetro de Cono mediante la comparación de resultados obtenidos con el ensayo de veleta de laboratorio. (a) Ensayos realizados con el Penetrómetro de Cono; (b) Ensayo realizado con veleta de laboratorio [27]

Las pruebas de Penetrómetro de Cono proporcionan una estimación simple y rápida de la resistencia al corte no drenado (S_u) de suelos de grano fino con diversos contenidos de agua. La precisión de dicha estimación depende en gran medida de la selección de un factor de caída de cono K que relacione la profundidad de penetración final h con S_u .

Para la calibración se grafican los resultados de h y la resistencia al corte no drenada del equipo de veleta de laboratorio, S_u , con el valor de Q/h^2 en abscisas versus S_u en ordenadas.

Luego, se encuentra el mejor ajuste para una línea recta que pasa por el origen. De esta forma, es posible encontrar la pendiente y, en consecuencia, el valor del factor del cono adimensional, K.

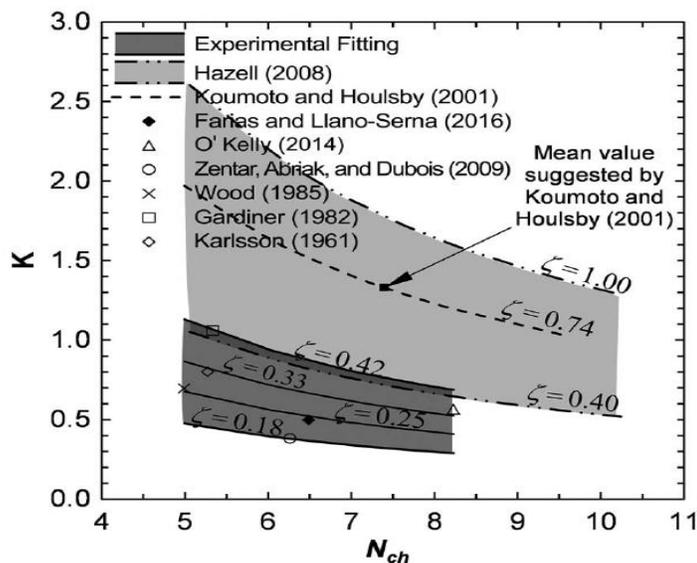
En el Cuadro N° 1, se muestran los diferentes valores del factor de cono K y el factor de capacidad de carga N_{ch} obtenidos para diferentes conos. En la Figura N° 4 se muestra una comparación entre los resultados [16].

Cuadro N° 01

	Adecuado a Ec.1		Adecuado a Ec.3		
	K	R ²	F	N _{ch}	R ²
Farias y Llanos [19]	0.498	0.974	1.464	6.488	0.980
O’Kelly [24]	0.565	0.848	1.855	8.226	0.856
Zentar, Abriak, and Dubois [25]	0.380	0.945	1.413	6.264	0.950
Wood [4]*	0.696	0.960	1.126	4.992	0.934
Gardiner [28]*	1.058	0.948	1.204	5.339	0.979
Karlsson [3]*	0.800	0.986	1.190	5.275	0.967

Nota: * representa el peso del cono $Q = 0.981 \text{ N}$ (100 g)
 Valores de K y N_{ch} calculados por diferentes autores (adaptado de [16])

Figura N°4



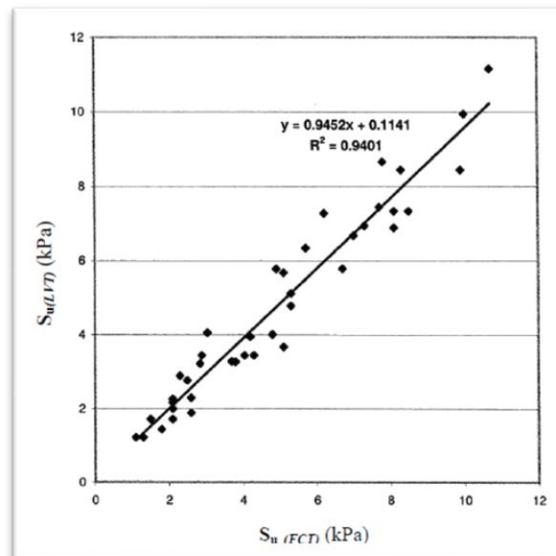
Nota: Factor del penetrómetro de cono K versus factor de capacidad de carga N_{ch} para un determinado rango de valores de [23] [2] [19] [24] [25] [4] [3] [28] ([16])

2.2 Estudios Realizados en los Últimos Años

Entre los estudios referenciados anteriormente, podemos mencionar las investigaciones siguientes.

Rajasekaran y Narimha Rao [6] utilizaron el ensayo de Penetrómetro de Cono para medir la resistencia al corte de arcillas marinas. Los estudios indicaron que existe una relación lineal entre los resultados de los ensayos de laboratorio de Penetrómetro de Cono (FCT) y de la veleta de laboratorio (LVT) en arcillas marinas tratadas y no tratadas con cal, conforme se muestra en la Figura N° 5. Los resultados permitieron a los autores concluir que el ensayo Penetrómetro de Cono puede ser un excelente método alternativo para medir la resistencia al corte no drenada de suelos marinos blandos.

Figura N° 5.

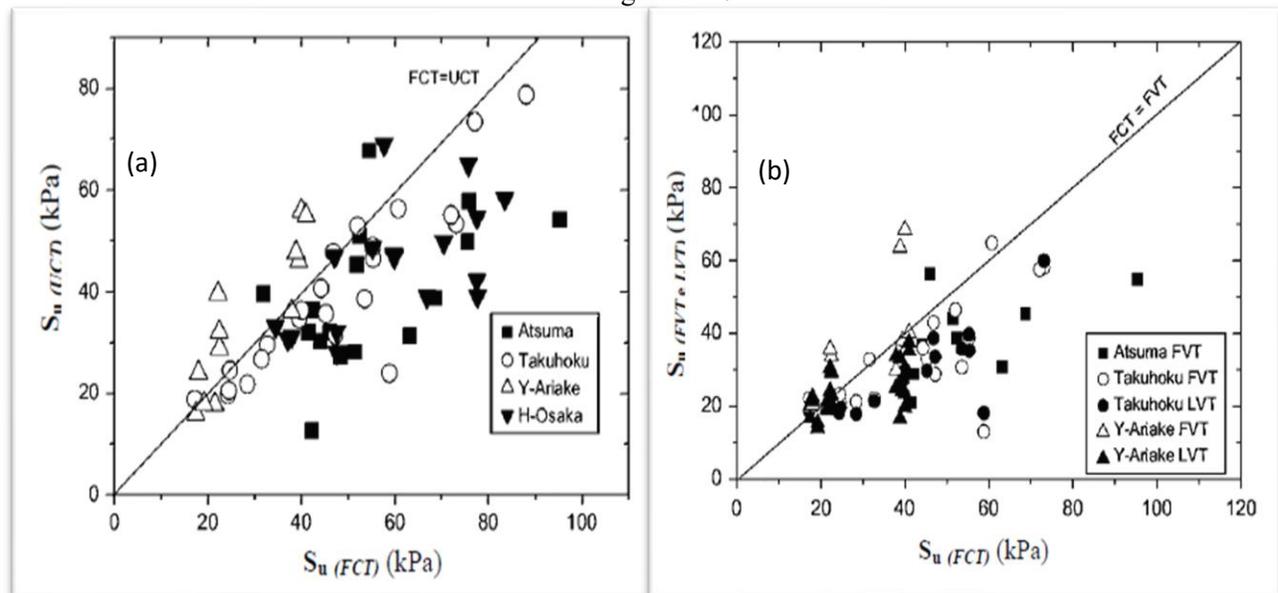


Comparación de resistencia no drenada obtenida por el ensayo de cono (FCT) y veleta de laboratorio (LVT) para arcillas marinas tratadas y no tratadas con cal [6]

Tanaka et al. [7] evaluaron el uso del ensayo Penetrómetro de Cono (FCT) para la obtención de la resistencia no drenada y la sensibilidad de cuatro diferentes depósitos de arcilla blanda, ampliamente estudiados en Japón, mediante la comparación de resultados del ensayo FCT con los resultados obtenidos con los ensayos de compresión simple (UCT), veleta de campo (FVT) y veleta de laboratorio (LVT). Las arcillas estudiadas tenían características y parámetros

diferentes, pero con resistencias relativamente próximas (entre 20 a 80 kPa). La Figura N° 6(a) presenta la comparación de los resultados de la resistencia no drenada obtenida por los ensayos FCT y UCT, en la que los autores reconocen la tendencia de los valores de S_u obtenidos por el ensayo de compresión simple menores a los obtenidos con el Penetrómetro de Cono. Asimismo, la Figura 6(b) presenta una comparación de los resultados obtenidos por el Penetrómetro de Cono y la veleta de laboratorio (LVT), en la que también se observa la tendencia de los valores de resistencia obtenidos con la veleta de campo y laboratorio, menores a los obtenidos con el Penetrómetro de Cono.

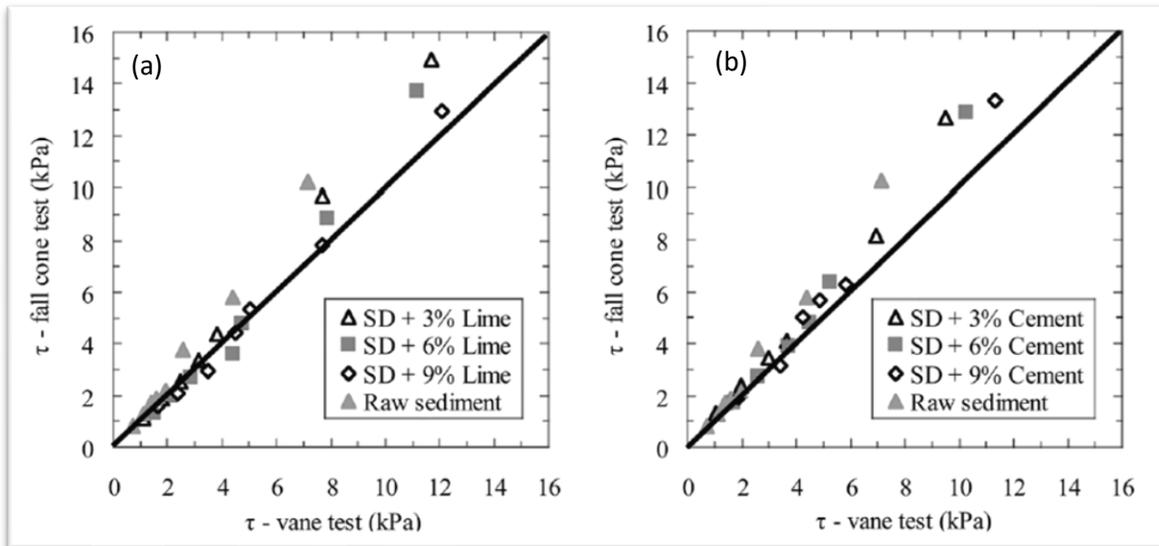
Figura N° 6.



Comparación de resistencia no drenada medida por dos ensayos. (a) Compresión simple (UCT) y cono (FCT); (b) Ensayos de veleta de campo (FVT), veleta de laboratorio (LVT) y cono (FCT) [7]

Wang et al. [9] utilizaron la prueba de Penetrómetro de Cono y veleta de laboratorio para obtener la resistencia no drenada de sedimentos solidificados con cemento/cal del puerto de Dunkirt en Francia. Comparando los resultados obtenidos, encontraron relaciones lineales entre las resistencias obtenidas en ambos ensayos, en el rango de 0 a 6 kPa; con resistencias mayores, la discrepancia de los resultados se vuelve más evidente (ver Figura N° 7).

Figura N° 7



Comparación de resistencia no drenada definida por el ensayo penetrómetro de cono y veleta de laboratorio. (a) Tratamiento con cal; (b) Tratamiento con cemento [9]

Bastos et al. [29] [30] realizaron una investigación con la finalidad de evaluar el potencial uso del ensayo Penetrómetro de Cono en la estimación de la resistencia no drenada de suelos finos (S_u); con tal fin, correlacionaron resultados de ensayos obtenidos con el cono y la paleta de laboratorio en muestras consolidadas de suelos artificiales, producidas a partir de mezclas de caolín, bentonita y arena fina. Los resultados validaron el empleo del Penetrómetro de Cono en la estimación de S_u y la aplicación del modelo propuesto por Hansbo [1].

Lemos y Pires [8] estimaron la resistencia no drenada de muestras inalteradas de arcilla blanda con diferentes índices de plasticidad provenientes de las costas brasileras. La resistencia no drenada obtenida con el penetrómetro de cono se comparó con los resultados obtenidos con los ensayos de laboratorio y campo, comúnmente utilizados para obtener este parámetro: ensayos de cono y veleta de campo, y las pruebas de laboratorio de compresión no confinada, triaxial no consolidado no drenado (UU) y veleta de laboratorio. La resistencia al corte no drenado normalizado se comparó con algunas correlaciones empíricas reportadas en la literatura basadas en el índice de plasticidad, por lo que se verificó cierta similitud de comportamiento.

Canela et al. [31] utilizaron el ensayo Penetrómetro de Cono para evaluar su aplicación en la determinación del límite líquido y la resistencia no drenada, comparando sus resultados con los obtenidos con ensayos comúnmente utilizados para su obtención. Los autores evaluaron cuatro muestras de suelos arcillosos, en condición remoldeada, provenientes de la región centro-oeste de Portugal.

Cabalar, Khalar e Isik [13] realizaron ensayos con el Penetrómetro de Cono y veleta de laboratorio con la finalidad de determinar la resistencia no drenada de mezclas de arcilla con arena. Los resultados mostraron que los valores de S_u obtenidos con la veleta de laboratorio eran mayores que los obtenidos con el Penetrómetro de Cono y que los resultados eran influenciados significativamente por las características de la arena.

Clemente et al. [32, 33] evaluaron la aplicabilidad del Penetrómetro y obtuvieron la resistencia no drenada mediante pruebas adicionales como ensayos triaxiales no consolidados no drenados (UU) y ensayos de veleta de laboratorio. Los materiales utilizados en la investigación fueron suelos marinos brasileros en condiciones inalterada y remoldeada. Se concluyó que el ensayo de Penetrómetro de Cono es compatible con los ensayos tradicionales, además de ser un método simple y rápido, por lo que se puede considerar como una opción para complementar y ayudar en las evaluaciones de resistencia al corte no drenado de suelos blandos.

Dastider et al. [15, 34, 35] realizaron mediante un análisis de elementos finitos la simulación de la evolución de la resistencia del suelo alrededor de un cono que penetra a través del suelo. Basándose en los resultados presentaron un factor de cono modificado, K_d (Ec. 5), para ser usado en el cálculo de la resistencia no drenada, teniendo en cuenta la ganancia de resistencia dependiente de la tasa de deformación en suelos de grano fino, la inercia del suelo durante la penetración no drenada del cono, y la velocidad del cono distinta de cero al inicio de la penetración. Se cuantificaron los efectos de la tasa de deformación y las condiciones de rugosidad de la interface del cono sobre la resistencia no drenada.

$$K_d = \left[\frac{3}{\pi N_{fc} \tan^2(0.5\beta)} \right] \left(1 + \frac{h_d}{h_f} \right) = K \left(1 + \frac{h_d}{h_f} \right) \quad (\text{Ec. 5})$$

Donde K_d = Factor de cono modificado, β = ángulo del cono, N_{fc} = factor de capacidad de carga de caída del cono, h_f = profundidad de penetración del cono, h_d = altura de caída del cono.

$$N_{fc} = N_{fc0} (1 + B\mu) \quad (\text{Ec. 6})$$

Donde $B = 9.5$ para las condiciones de interface lisa y rugosa.

El Cuadro N° 2 muestra los valores de N_{fc0} obtenidos a partir del análisis de elementos finitos con diferentes ángulos de cono β y diferentes condiciones de interface suelo-cono.

Cuadro N° 2.

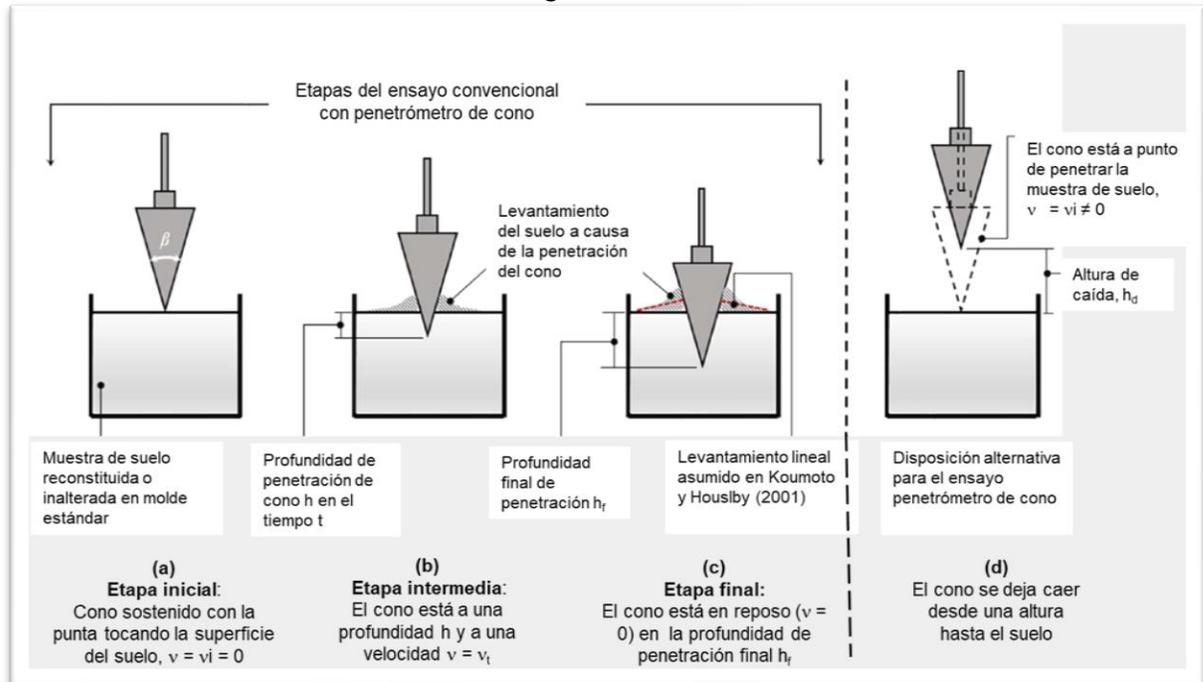
Ángulo del cono, β (grados)	Factor de capacidad de carga del penetrómetro de cono	
	liso	rugoso
30	5.4	10.63
45	5.4	9.17
60	5.55	8.71
75	6.02	8.58

Valores de factores de capacidad de carga del penetrómetro de cono N_{fc0} obtenidos a partir del análisis de elementos finitos con diferentes ángulos de cono β y diferentes condiciones de interface suelo-cono [15]

La ecuación propuesta fue verificada mediante la predicción de la resistencia no drenada para dos diferentes tipos de suelos con varios contenidos de agua. Se tuvieron en cuenta varios ángulos β del vértice del cono, con condiciones de interface cono-suelo lisas y rugosas, además se incrementó la altura de caída del cono (H_d), de modo que el cono golpee la superficie del suelo con una velocidad de impacto, como se muestra en la Figura N° 8.

El ensayo penetrómetro de cono aplicado a la determinación de la resistencia al corte no drenada de suelos de grano fino

Figura N° 8



Diferentes etapas de un ensayo convencional de penetrómetro de cono y una alternativa para el ensayo penetrómetro de cono con bajo contenido de agua [15]

2. Conclusiones

El ensayo Penetrómetro de Cono es un importante método para la evaluación de la resistencia al corte no drenado, especialmente en el caso de suelos blandos de grano fino, donde no es posible la fabricación de cuerpos de prueba para la ejecución de ensayos convencionales de laboratorio que nos permitan la obtención de este parámetro. En comparación con otros ensayos disponibles para la determinación de S_u , este ensayo tiene ventajas con relación a la simplicidad y repetibilidad.

Hasta la actualidad, en el Perú, no se han realizado estudios para evaluar el uso potencial del Penetrómetro de Cono en la determinación de las propiedades de resistencia de los suelos arcillosos existentes en el país. Actualmente, en coordinación con el departamento de Investigación de la Universidad Ricardo Palma, los autores están estudiando las propiedades de resistencia de los suelos finos de la Región San Martín a través de la aplicación de este ensayo.

Referencias bibliográficas

- [1] S. Hansbo, A new approach to the determination of the shear strength of clay by the Fall-Cone test, Stockholm: Stockholm, 1957.
- [2] T. Koumoto y G. Houlsby, «Theory and practice of the fall cone test,» *Geotechnique*, vol. 51, n° 8, pp. 701-712, 2001.
- [3] R. Karlsson, «Suggested improvements in the liquid limit test, with reference to flow properties of remolded clays,» de *Proceeding of the 5th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Paris, 1961.
- [4] D. M. Wood, «Some fall cone tests,» *Geotechnics*, vol. 35, n° 1, pp. 64-68, 1985.
- [5] P. Brown y M. Huxley, «The cone factor for a 30° cone,» *Ground Engineering*, vol. 29, n° 10, pp. 34-36, 1996.
- [6] G. Rajasekaran y N. Rao, «Falling cone method to measure the strength of marine clays,» *Ocean Engineering*, vol. 31, n° 14-15, pp. 1915-1927, 2004.
- [7] H. Tanaka, H. Hirabayashi, T. Matsuoka y H. Kaneko, «Use of fall cone test as measurement of shear strength for soft clay materials,» *Soils and foundations*, vol. 52, n° 4, pp. 590-599, 2012.
- [8] S. Lemos y P. Pires, «The undrained strength of soft clays determined from unconventional and conventional tests,» *Soils and Rocks*, vol. 40, n° 3, pp. 291-301, September-December 2017.
- [9] D. Wang, R. Zentar, N. Abriak y W. Xu, «Shear Strength Behavior of Cement/Lime-Solidified Dunkirk Sediments by Fall Cone Tests and Vane Shear Tests,» *Geotechnical Testing Journal*, vol. 36, n° 1, pp. 1-8, 2013.
- [10] A. Gruchot y T. Zydron, «Impact of a test method on the undrained shear strength of a chosen fly ash,» *Journal of Ecological Engineering*, vol. 17, n° 4, pp. 41-49, Sept 2016.

- [11] C. Oliveira, L. Eichelberger, A. Alves y C. Bastos, «Resistencia não drenada de solos artificiais remoldados através do ensaio de cono e queda,» de *XIX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos, COBRAMSENG 2018*, Salvador, Bahia, Brasil, 2018.
- [12] P. Pinto, A. Lima y B. Berkert, «Fall cone test applied to studies of plasticity and shear strength of artificial soils,» *Geotecnia*, n° 143, pp. 85-110, July 2018.
- [13] A. F. Cabalar, M. M. Khalaf y H. Isik, «A comparative study on the undrained shear strength results of fall cone and vane shear tests in sand–clay mixtures,» *Arab J Geosci*, p. 13:395, 2020.
- [14] H. Hously, «Theoretical analysis of the fall cone test,» *Geotechnique* 32, n° 2, pp. 111-118, 1982.
- [15] A. Dastider, S. Chatterjee y P. Basu, «Advancement in estimation of undrained shear strength through fall cone tests,» *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, vol. 147, n° 7, 2021.
- [16] M. A. Llano-Serna, M. Farias, D. Pedroso, D. Williams y D. Sheng, «Considerations on the experimental calibration of the fall cone test,» *Geotechnical Testing Journal*, 2018.
- [17] D. Wood, «Cone penetrometer and liquid limit,» *Géotechnique*, vol. 32, n° 2, pp. 152-157, 1982.
- [18] V. Sivakumar, B. O'Kelly, L. Henderson, C. Moorhead y S. Chow, «Measuring the plastic limit of fine soils: An experimental study,» *Proc. Inst. Civ. Eng. Geotech. Eng.*, vol. 168, n° 1, pp. 53-64, 2015.
- [21] M. A. Llano-Serna y L. F. Contreras, «The effect of surface roughness and shear rate during fall-cone calibration,» *Géotechnique*, vol. Géotechnique, n° 4, pp. 1-11, 2020.

- [22] X. Zeng, Y. Li, X. Liu, J. Yao y Z. Lin, «Relationship between the shear strength and the depth of cone penetration in fall cone tests,» *Advances in Civil Engineering*, vol. 2020, 2020.
- [23] E. Hazell, *Numerical and experimental studies of shallow cone penetration in clay*, Phil.thesis.Dept thesis.Dept.of Engineering Science, Univ Oxford, 2008.
- [24] B. O'Kelly, «Characterisation and undrained strength of amorphous clay,» *Proc. Inst. Civ. Eng. Geotech. Eng.*, vol. 167, nº 3, pp. 311-320, 2014.
- [25] R. Zentar, N. Abriak y V. Dubois, «Fall cone test to characterize shear strength of organic sediments,» *J. Geotech. Geoenviron. Eng.*, vol. 135, nº 1, pp. 153-157, 2009.
- [26] T. Lu y W. Bryant, «Comparison of vane shear and fall cone strengths of soft marine clay,» *Marine Georesources & Geotechnology*, vol. 15, nº 1, pp. 67-82, 1997.
- [27] S. Lemos, *Estudo da resistência não drenada de solo de baixa consistência por meio de ensaios de campo e laboratório*, Vitória: Universidade Federal do Espírito Santo, 2014.
- [28] E. Gardiner, «Part II Project Report,» Cambridge University Engineering Department, Unit Kingdom, 1982.
- [29] C. Bastos, A. Alves, M. Pereira, K. Rosa, M. Viegas y E. De Jesus, «Estudo sobre a resistência não drenada de solos finos pelo ensaio de cone de queda livre empregando amostras de solos artificiais,» de *XV Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica*, Goiana, 2014.
- [30] C. A. Burkert Bastos, A. M. Alves, M. Camargo Pereira , K. Rosa, M. R. Viegas y S. Guedes de Jesus, «Estudo sobre a resistência não drenada de solos finos pelo ensaio de cone de queda livre empregando amostras de solos artificiais,» de *XVII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica*, 2014.

CIVIL

El ensayo penetrómetro de cono aplicado a la determinación de la resistencia al corte no drenada de suelos de grano fino

- [31] D. Canela y I. Fernandes, «Use of fall cone test for the determination of undrained shear strength of cohesive soil,» de *MATECWeb Conferences IPICSE*, 2018.
- [32] C. Clemente, V. Faro y M. Moncada, «Determination of undrained shear strength by the fall cone method - analysis, concept and guidelines,» de *17th European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*, 2019.
- [33] C. Clemente, V. Faro y M. Moncada, «Determination of the undrained shear strength by the fall cone method in marine soils,» de *International Journal of Civil & Environmental Engineering IJCEE-IJENS*, 2020.
- [34] A. Dastider, S. Chatterjee y P. Basu, «Closure to “Advancement in estimation of undrained shear strength through fall cone tests,» *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, vol. 148, 2022.

Miriam Rosanna Escalaya Advíncula

Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú.

Doctora en Ingeniería Civil en el Área de Especialización de Geotecnia de la Pontificia Universidad Católica de Río de Janeiro-Brasil, Maestra en Ciencias con Mención en Ingeniería Geotécnica de la Universidad Nacional de Ingeniería, Ingeniera Civil de la Universidad Nacional San Luis Gonzaga de Ica. Actualmente se desempeña como Especialista Geotécnica en la Empresa Jorge E. Alva Hurtado Ingenieros SAC, con gran experiencia en el área. Ejerce la actividad docente en el pregrado de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Ricardo Palma y en la sección de Posgrado de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería.

Autora corresponsal: miriam.escalaya@urp.edu.pe

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-0620-8633>

Marco Antonio Hernández Aguilar

Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú.

Ingeniero Civil CIP 064415, graduado en la Universidad Ricardo Palma 1985 – 1991, Magíster en Ciencias de la Ingeniería, con mención en Ingeniería Geotécnica por la Universidad Católica de Río de Janeiro - Brasil. 1993 – 1995. Gerente General de Geo Master Ingenieros Consultores S.AC. 1997 – a la actualidad. Consultor Geotécnico de obras de Diseños de Presas de Relave, Estabilización de Taludes, Colocación y Monitoreo de Instrumentación Geotécnica de Campo, estudio y Evaluación de Capacidad Portante, Evaluación Geotécnica del subsuelo mediante perforaciones diamantinas. Docente Universitario de los cursos de Mecánica de Suelos I y II en el Pregrado de la Universidad Ricardo Palma, desde el año 2000 a la actualidad, además de los cursos de titulación profesional para la carrera de ingeniería civil.

marco.hernandez@urp.edu.pe.

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-1534-428X>

César Giancarlo Rojas Llactas

Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú.

Estudiante de la carrera de Ingeniería Civil.

201811351@urp.edu.pe.

Orcid: <https://orcid.org/0009-0002-0180-1160>

CIVIL

El ensayo penetrometro de cono aplicado a la determinación de la resistencia al corte no drenada de suelos de grano fino

Ronald Saúl Vega López

Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú.

Bachiller en Ingeniería Civil con estudios realizados en la Universidad Ricardo Palma Lima, Perú; con enfoque en las especialidades de mecánica de suelos, geotecnia, pavimentos y minería. Cuento con experiencia en el desarrollo y estructuración de proyectos de mecánica de suelos con fines de cimentación y pavimentación, participación en los estudios de ensayos de campo del tipo (SPT, DPL, CPT, refracciones sísmicas, ensayos de densidad de cono, permeabilidad), participación en los ensayos de laboratorio e interpretación de resultados. Uso de los distintos softwares para la representación gráfica y explícita de los distintos resultados del proyecto.

ronald.vega@urp.edu.pe

Orcid: <https://orcid.org/0009-0005-3498-5586>.

Contribución de autoría

Los cuatro coautores del presente artículo Miriam Escalaya, Marco Hernández, César Rojas y Ronald Vega, hemos asumido las tareas de recopilar, organizar y evaluar los datos, llevar a cabo el desarrollo ensayo y proponer las conclusiones de la investigación.

Financiamiento

La presente investigación ha sido realizada con recursos propios de los coautores de la investigación.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses en la presente investigación.

Responsabilidad ética y legal

El desarrollo de la investigación se realizó bajo la conformidad de los principios éticos del conocimiento, respetando la originalidad de la información y su autenticidad.

Correspondencia: miriam.escalaya@urp.edu.pe