



## Uso del ensayo penetrómetro de cono en la determinación de la resistencia al corte no drenado de suelos arcillosos blandos de la región San Martín, Perú

*Use of fall cone test to estimation of undrained shear strength of soft clay soils from region San Martin, Peru*

Miriam Rosanna Escalaya Advíncula, Marco Antonio Hernández Aguilar, César Giancarlo Rojas Llactas

RECIBIDO: 26 de abril de 2024.  
ACEPTADO: 03 de junio de 2024.

### RESUMEN

En esta investigación, se busca determinar experimentalmente la resistencia no drenada ( $S_u$ ) de un suelo arcilloso blando por métodos no convencionales en la práctica de la Ingeniería en el Perú. Se empleó el Penetrómetro de Cono que es un equipo de laboratorio comúnmente utilizado para obtener el límite líquido de los suelos. Para calibrar los resultados, se usó un equipo de Veleta de Laboratorio, que proporciona la medida directa de  $S_u$ . El estudio se llevó a cabo con trece muestras inalteradas extraídas de las localidades de Rioja y Moyobamba en la región San Martín, Perú. Como resultado, se obtuvo una correlación empírica que permite determinar la resistencia no drenada de estos suelos a partir del ensayo de Penetrómetro de Cono. En la investigación se concluye que, con una calibración adecuada, el Penetrómetro de cono es una herramienta confiable para la determinación de la resistencia no drenada de los suelos blandos. Además, su ejecución sencilla y de bajo costo, lo convierte en un alternativa rápida y económica.

**Palabras clave:** resistencia no drenada, penetrómetro de cono, veleta de laboratorio, arcillas blandas.

### Cómo citar

M. R. Escalaya Advíncula, M. A. Hernández Aguilar, y C. G. Rojas Llactas, «Uso del Ensayo Penetrómetro de Cono en la Determinación de la Resistencia al Corte No Drenada de Suelos Arcillosos Blandos de la Región San Martín, Perú», *Perfiles\_Ingenieria*, vol. 20, n.º 21, pp. 95-110, jun. 2024.

### ABSTRACT

In this research, we seek to experimentally determine the undrained shear strength ( $S_u$ ) of a soft clay soil by unconventional methods in the practice of Peruvian Engineering. The fall-cone test was used, which is a laboratory equipment commonly used to obtain the liquid limit of soils. To calibrate the results, laboratory miniature vane test equipment was used, which provides direct measurement of  $S_u$ . The study was conducted with thirteen undisturbed samples extracted from the localities of Rioja and Moyobamba in the San Martín region, Peru. As a result, an empirical correlation was obtained that allows the undrained shear strength of these soils to be determined from the fall-cone test. The research concludes that, with adequate calibration, the fall-cone is a reliable tool for determining the undrained shear strength of soft soils. Furthermore, its simple and low-cost execution makes it a quick and economical alternative.

**Keywords:** undrained shear strength, fall-cone test, laboratory miniature vane, soft clays.

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



## 1. Introducción

La resistencia no drenada es un parámetro importante en los proyectos de ingeniería geotécnica en los que el suelo se carga rápidamente sin permitir el drenaje del agua intersticial. Esta situación suele ser crítica, por lo que muchos de estos proyectos requieren conocer este valor durante la fase de planificación, dimensionamiento y evaluación de las obras geotécnicas. Este es el caso del diseño de cimentaciones, análisis de estabilidad a corto plazo, etc. La resistencia no drenada puede ser evaluada mediante ensayos tanto de campo como de laboratorio.

En el laboratorio, esta propiedad se evalúa comúnmente mediante ensayos triaxiales que requieren preparación cuidadosa de las muestras para preservar las condiciones de campo. Sin embargo, en suelos arcillosos blandos, esta preparación es muy difícil.

En el Perú, existen varias ciudades ubicadas sobre suelos arcillosos, donde las obras pueden presentar problemas técnicos no experimentados en otras zonas, debido a las características del suelo y la falta de equipos de laboratorio adecuados para la determinación de sus principales propiedades. Ante esta escasez de equipos apropiados, la presente investigación propone el uso del ensayo Penetrómetro de Cono, que es un equipo común en muchos de los laboratorios del país, para determinar la resistencia no drenada de suelos arcillosos blandos. Para el desarrollo de la investigación se seleccionaron suelos de la región San Martín, ubicada en la selva peruana.

El ensayo Penetrómetro de Cono fue desarrollado por la comisión Geotécnica de Vías de Suecia entre 1914 y 1922. Originalmente, el objetivo era estimar la resistencia de suelos arcillosos remoldeados y se convirtió en un método alternativo para determinar el límite líquido de arcillas. Es un método sencillo comparado con otros, por lo que forma parte de las normas británicas, canadienses, japonesa y suecas.

La determinación de la resistencia al corte no drenado de suelos de grano fino, utilizando el ensayo del Penetrómetro de Cono, ha sido evaluada de forma experimental a lo largo del tiempo. En varias de estas evaluaciones, particularmente en [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10], [11] y [12], se emplearon muestras de suelos inalteradas y mezclas de suelos, que confirmaron la validez del modelo propuesto por Hansbo [13]. Un resumen de ellas es mostrado en [14].

Hansbo [13] determinó la relación entre la resistencia al corte no drenado del suelo ( $S_u$ ) y la profundidad de penetración del cono.

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

Donde:  $S_u$  = resistencia al corte no drenada,  $K$  = 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 ( $\alpha$ ) y de la rugosidad ( $\xi$ ) del cono.

Para cumplir con el objetivo principal de la investigación, fue necesario calibrar el Penetrómetro de Cono con el fin de obtener la resistencia no drenada mediante una prueba alternativa. Para ello, se utilizó el equipo de Veleta de Laboratorio, que proporciona directamente el valor de  $S_u$ , y que ha sido usado ampliamente en otros estudios, como [13], [2], [15], [16], [17], [18], [19], [20], [21] y [22].

## 2. Materiales y métodos

Para la ejecución del estudio se seleccionaron lugares de la región San Martín (Rioja y Moyobamba), conocidos por la presencia de suelos arcillosos blandos. Para la recolección de muestras, se realizaron excavaciones a cielo abierto o calicatas de 1.0 m, en promedio, de profundidad. De estas, mediante el uso de tubos de acero de pared delgada, se extrajeron muestras en estado inalterado (figura 1). La investigación se limitó a 13 muestras porque varias de las muestras recolectadas presentaban una consistencia mayor a la capacidad de trabajo de la veleta de laboratorio.

### Figura 1.

(a) Vista de una de las calicatas donde se extrajo la muestra de suelo, (b) Tubo de pared delgada, utilizado para la obtención de muestras inalteradas



(a)

(b)

Cada uno de los tubos con muestras de suelo, se cortó transversalmente para la obtención de especímenes con una altura de 7 cm de altura y un diámetro de 8.5 cm, como se muestra en la figura 2. Se realizaron un total de dos cortes por tubo, tomando especial cuidado para que la sierra no penetrara en el suelo. El tubo se giró en cada paso hasta cortar toda la circunferencia. El personal de Maestranza de la Universidad Ricardo Palma brindó apoyo para esta actividad. Luego, se utilizó un hilo de nylon para cortar el suelo, separar los segmentos y alisar la superficie de la muestra.

**Figura 2.**

(a) Corte de tubos de pared delgada (b) Vista de cuerpo de prueba, preparado para el ensayo



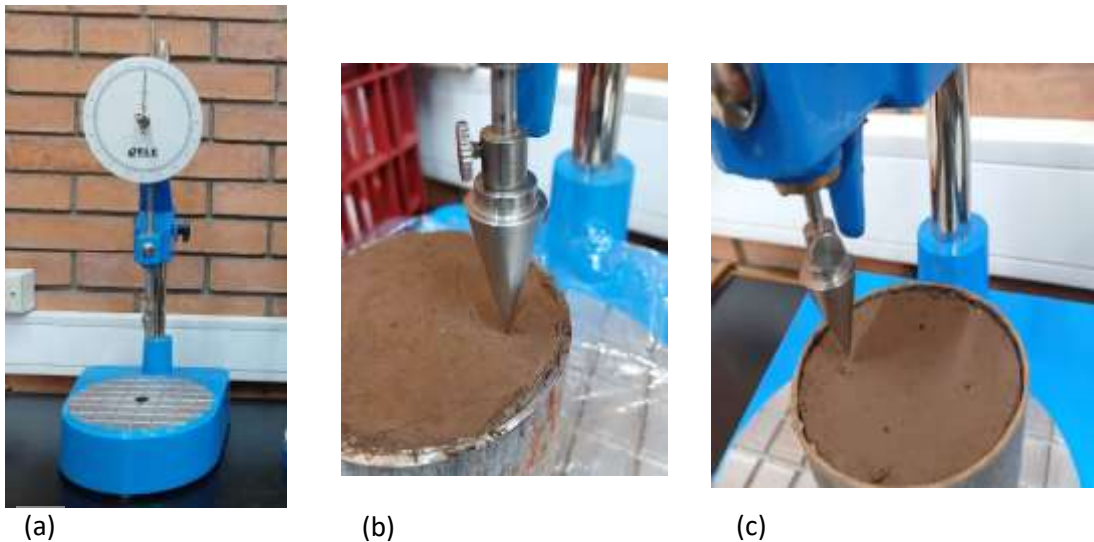
Para determinar la resistencia no drenada utilizando el ensayo del Penetrómetro de Cono, fue necesario realizar una calibración previa, y se obtuvo simultáneamente la resistencia no drenada mediante el ensayo de Veleta de Laboratorio.

El ensayo de Veleta de Laboratorio se llevó a cabo de acuerdo con la norma ASTM D4648-16 “Standard Test Methods for Laboratory Miniature Vane Shear Test for Saturated Fine-Grained Clayey Soil”, y las recomendaciones de [23]. Asimismo, el ensayo Penetrómetro de Cono se realizó conforme con la norma BS 1377-2,1990 “Methods of Test for Soils for Civil Engineering Purposes. Part 2: Classification Test”.

En el ensayo Penetrómetro de Cono, el procedimiento comenzó colocando el cuerpo de prueba debajo del cono y asegurándose de que este hiciera un contacto muy ligero con la superficie del suelo, mientras que el vástago tocaba el dial. Luego, se dejó caer el cono y se registró la profundidad de penetración (h) después de 5 segundos. Se realizaron cuatro lecturas equidistantes desde el centro y se repitió el mismo procedimiento en la cara opuesta del cuerpo de prueba. En la figura 3, se observa el equipo Penetrómetro de Cono y los pasos principales realizados durante el ensayo.

**Figura 3.**

(a) Equipo Penetrómetro de Cono, (b) Se muestra la posición del cono antes del ensayo (c) El ensayo se llevó a cabo en cuatro puntos equidistantes



Para el ensayo con la Veleta de Laboratorio, se seleccionó uno de los cuatro resortes que vienen con el equipo, cuyas rigideces son diferentes. Después de instalar el resorte, se ajustó la lectura a  $0^\circ$  para la medición interior y exterior. La veleta se introdujo gradualmente en el centro del cuerpo de prueba, y se aseguró su estabilidad para evitar cualquier giro durante la inserción. La profundidad de inserción fue de 2 veces la altura de la veleta.

El ensayo se comenzó registrando el tiempo y girando la manivela en sentido horario a una velocidad constante de  $60^\circ/\text{min}$  hasta alcanzar los  $90^\circ/\text{min}$  y se observó el momento en el que el puntero dejó de girar. El procedimiento se repitió en la otra cara del cuerpo de prueba. En la figura 4, se presenta el equipo de Veleta de Laboratorio y los pasos principales durante el ensayo.

Para calcular la resistencia no drenada ( $S_u$ ), se usaron tablas de calibración donde las lecturas registradas se multiplican por la rigidez del resorte empleado y la constante K específica de acuerdo con las dimensiones de la veleta.

**Figura 4.**

(a) Equipo Veleta de Laboratorio, (b) Posición de la veleta antes de ensayo (c) El ensayo se realizó en el centro del cuerpo de prueba



(a)



(b)



(c)

Con el fin de evitar posibles influencias, todos los ensayos fueron ejecutados con los mismos equipos y un único operador. Con los datos recopilados, se realizaron análisis estadísticos para determinar el factor K promedio, que correlaciona los resultados de profundidad de penetración (h) obtenidos con el penetrómetro de cono y la resistencia no drenada ( $S_u$ ) del equipo de Veleta de Laboratorio. Durante este análisis, se consideraron las medidas de variabilidad de los datos, lo que permitió una evaluación exhaustiva de la consistencia y confiabilidad de los resultados.

**3. Resultados**

La tabla 1 resume los resultados de los ensayos de granulometría, límite líquido, límite plástico, límite de contracción, y gravedad específica. Las muestras seleccionadas fueron clasificadas según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS). La determinación del límite líquido se llevó a cabo siguiendo la norma ASTM, que utiliza la copa de Casagrande.

**Tabla I:**

*Resumen de resultados de los ensayos de caracterización*

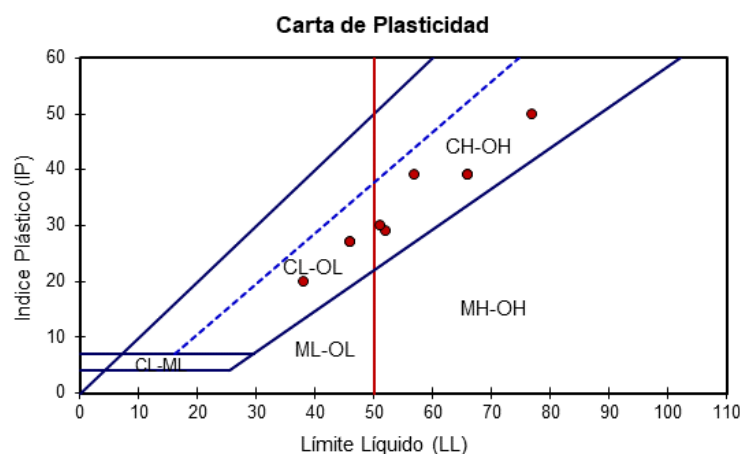
Ubicación	Muestra	LL	LP	LC	IP	SUCS	G <sub>s</sub>
Posic (Rioja)	M-1	139 (61)	29	35	110	OH	2.57
Posic (Rioja)	M-2	139(61)	29	35	110	OH	2.57
Posic (Rioja)	M-3	-	-	-	-	Pt	-
Posic (Rioja)	M-4	-	-	-	-	Pt	-
Jepelacio (Moyobamba)	M-5	46	19	16	27	CL	2.73
Jepelacio (Moyobamba)	M-6	46	19	16	27	CL	2.73
Jepelacio (Moyobamba)	M-7	66 (46)	27	17	39	OH	2.74
Jepelacio (Moyobamba)	M-8	66(46)	27	17	39	OH	2.74
Moyobamba-Yantaló	M-9	38	18	19	20	CL	2.74
Moyobamba-Yantaló	M-10	57	18	20	39	CH	2.64
Moyobamba-Yantaló	M-11	52	23	19	29	CH	2.71
Moyobamba-Yantaló	M-12	51	21	23	30	CH	2.66
Rioja-La Perla de Cascayunga	M-13	77 (43)	27	49	50	OH	2.63

\* LL=límite líquido, LP=límite plástico, LC=límite de contracción, IP=Índice de plasticidad, G<sub>s</sub>=gravedad específica. El valor indicado entre paréntesis fue obtenido con muestra secada al horno previamente

Los resultados obtenidos con los límites líquido y plástico son mostrados en la carta de plasticidad en la figura 5, en la que se observa que todas las muestras se encuentran por encima de la línea A, por lo que la mayoría fue de alta plasticidad.

**Figura 5.**

*Carta de Plasticidad*



Los ensayos de Veleta y de Penetrómetro de Cono se llevaron a cabo en las caras superior e inferior de las trece muestras inalteradas, excepto en el caso de la muestra M-4, en la que solo se registró los resultados de la cara inferior del cuerpo de prueba. Esto se debió a que el ensayo en la cara superior no cumplió con el tiempo de ruptura especificado en la norma ASTM D4648-16 (entre 2 a 3 minutos).

Después de la realización de los ensayos, se determinó la humedad de la sección ensayada. Un resumen de los resultados es mostrado en la tabla 2.

**Tabla 2.**

*Resultados obtenidos en los ensayos de Penetrómetro de Cono y Veleta de Laboratorio*

Ubicación	Muestra	Penetrómetro de cono		Veleta de laboratorio			w%	
		h mm	Q/h <sup>2</sup> kPa	S <sub>u</sub> kPa	S <sub>ur</sub> kPa	S <sub>u</sub> /S <sub>ur</sub>		
Posic (Rioja)	M-1	sup	5.3	27.6	6.9	1.0	7	221.93
		fon	7.1	15.7	7.1	1.1	6	229.55
Posic (Rioja)	M-2	sup	7.7	13.2	7.0	0.9	8	203.38
		fon	6.5	18.6	6.7	1	8	116.75
Posic (Rioja)	M-3	sup	3.2	75.1	31.7	4.9	6	89.86
		fon	3.5	65.3	41.6	8.4	5	72.13
Posic (Rioja)	M-4	fon	3.5	62.9	32.0	7.1	4	90.72
Jepelacio (Moyobamba)	M-5	sup	7.8	12.8	5.4	2.3	2	71.10
		fon	7.1	15.6	5.0	3.1	2	65.72
Jepelacio (Moyobamba)	M-6	sup	7.0	16.0	5.0	3.4	1	65.40
		fon	7.0	16.0	4.3	3.1	1	40.62
Jepelacio (Moyobamba)	M-7	sup	1.6	306.6	51.5	25.3	2	23.19
		fon	2.3	151.6	76.3	25.3	3	23.72
Jepelacio (Moyobamba)	M-8	sup	2.5	125.6	53.1	19.8	3	27.81
		fon	1.3	447.0	54.1	19.8	3	23.39
Moyobamba- Yantaló	M-9	sup	2.8	100.1	60.9	16.6	4	19.38
		fon	2.7	110.4	56.4	16.1	4	20.07
Moyobamba- Yantaló	M-10	sup	5.0	31.0	14.4	3.9	4	86.68
		fon	3.4	67.9	21.6	4.0	5	41.82
Moyobamba- Yantaló	M-11	sup	2.0	206.4	104.9	34.8	3	26.89
		fon	1.6	297.2	152.6	50.1	3	26.42
Moyobamba- Yantaló	M-12	sup	2.8	102.5	67.6	20.5	3	29.83
		fon	2.2	158.5	83.2	32.8	3	27.72
Rioja - La Perla de Cascayunga	M-13	sup	2.0	206.4	101.6	13.8	7	33.17
		fon	2.0	196.2	95.8	13.8	7	37.46

\* h=profundidad de penetración del cono, Q=peso total del cono, S<sub>u</sub>=resistencia no drenada, S<sub>ur</sub>= resistencia no drenada residual, w=humedad



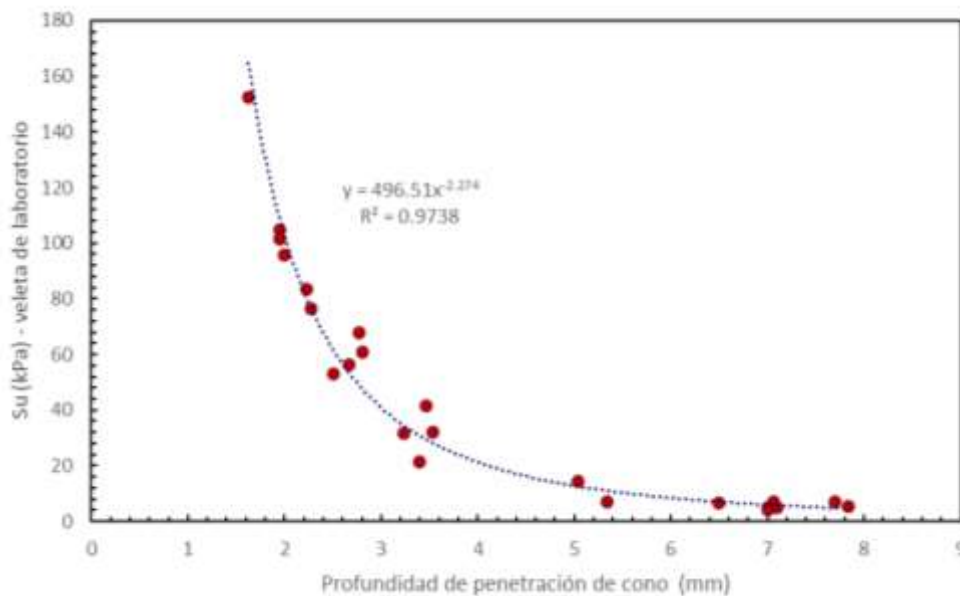
La resistencia no drenada obtenida de la veleta de laboratorio fue calculada mediante la Ec (1).

#### 4. Discusión de resultados

Los resultados de los ensayos fueron comparados y se muestran en la figura 6. En este gráfico, se presenta la relación entre la profundidad de penetración del Penetrómetro de Cono y la resistencia no drenada medida con la Veleta de Laboratorio. La línea de tendencia que mejor se ajustó a los datos fue una función potencial, con un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 0.97, lo que indica una alta correlación entre los resultados obtenidos. En el gráfico, se observa que, a mayor profundidad de penetración, los valores de resistencia no drenada disminuyen.

#### Figura 6.

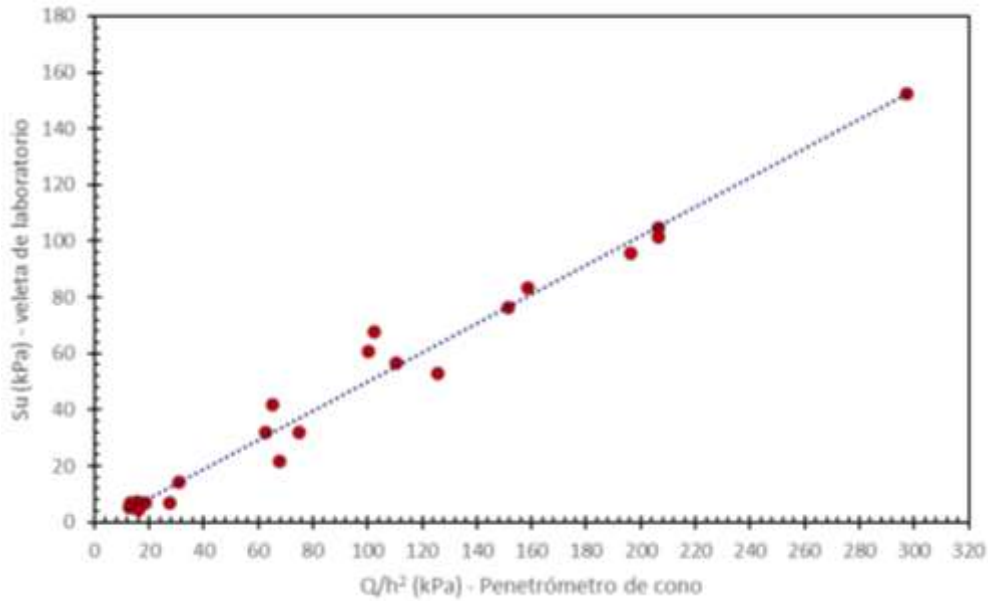
*Relación entre la resistencia no drenada medida con la Veleta del Laboratorio y la profundidad de penetración del Cono*



Según la ecuación lineal de Hansbo (Ec.1), se determina una relación lineal entre la inversa de la penetración del cono ( $1/h^2$ ) y la resistencia al corte no drenada ( $S_u$ ) medida en la veleta en miniatura de laboratorio. La figura 7 presenta la calibración del Penetrómetro de Cono, la pendiente representa el factor de cono,  $K$ , cuyo valor es 0.518. Se debe considerar que el peso del cono es igual a  $Q=mg$ , donde  $m$  es igual a 0.08 kg (80g), e incluye la masa del cono y el vástago, y  $g$  es  $9.81 \text{ m/s}^2$ . Se observa una concordancia significativa entre los resultados experimentales y la expresión de Hansbo [13], respaldada por un coeficiente de correlación  $R^2=0.978$ . En la figura 8, se puede observar que existe una buena compatibilidad con los resultados obtenidos.

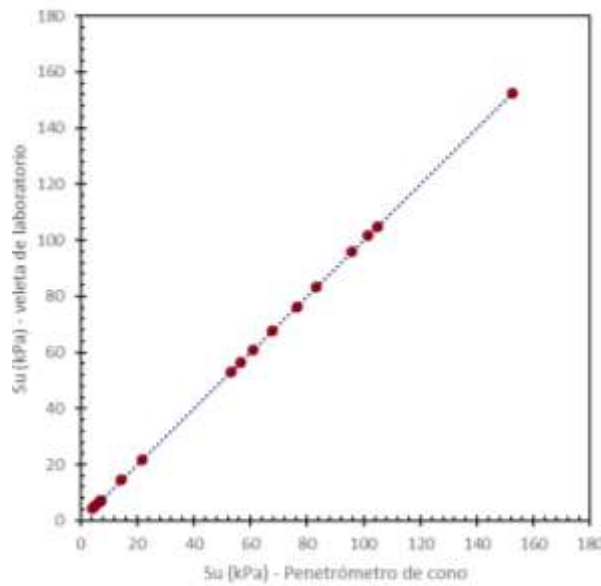
**Figura 7.**

*Correlación entre la resistencia no drenada y la penetración del cono obtenida en la presente investigación, donde el fator de cono es  $K=0.518$*



**Figura 8.**

*Comparación de resistencia no drenada obtenida con Veleta de Laboratorio y Penetrómetro de Cono obtenida por la ecuación 1*



El valor de K obtenido fue comparado con los valores encontrados por otros autores. Según la tabla 3, se observa que el valor obtenido es muy cercano al de O'Kelly [17] y Farias y Llano-Serba [19].

**Tabla 3.**

*Factores de cono K obtenidos en diferentes estudios, comparados con el obtenido en la presente investigación*

Investigador	K	R <sup>2</sup>
Farias y Llano-Serna [19]	0.498	0.974
O'Kelly, B [17]	0.565	0.848
Zentar, R.; Abriak, N.; Dubois, V. [16]	0.380	0.945
Wood D. [2]	0.696	0.960
Gardiner, [24]	1.058	0.948
Karlsson, [1]	0.800	0.986
<b>Presente Investigación (2023)</b>	<b>0.518</b>	<b>0.978</b>

**Nota:** Adaptado de [25]

## 5. Conclusiones

- La investigación presenta una metodología sencilla para estimar la resistencia al corte no drenada utilizando el Ensayo Penetrómetro de Cono, un equipo accesible en los laboratorios del Perú. La metodología se basa en la relación entre la resistencia al corte no drenada ( $S_u$ ) y la profundidad de penetración del cono, como propuso Hansbo en 1957.
- Es necesario destacar la importancia de una calibración previa y adecuada para determinar el factor de cono (K), ya que este parámetro depende mucho de la rugosidad superficial del cono. Asumir un valor de K, sin tomar en cuenta esta característica fundamental, puede conducir a resultados inexactos. En este estudio, la calibración del penetrómetro de cono se realizó utilizando los resultados de la profundidad de penetración (h) y la correspondiente resistencia al corte no drenada, resultante del ensayo de veleta en miniatura de laboratorio, y se obtuvo un valor de factor de cono de  $K=0.518$  con un coeficiente de correlación  $R^2=0.978$ .
- El estudio demuestra que, con una calibración adecuada, el Penetrómetro de Cono es una herramienta confiable para estimar la resistencia al corte no drenada en arcillas. Aunque la validación respecto a los resultados de los ensayos de Veleta de Laboratorio es limitada, la simplicidad y el bajo costo del Penetrómetro hacen de esta metodología

una herramienta útil para obtener parámetros para un análisis de ingeniería preliminar. Además, la simplicidad del ensayo puede ser atractiva en aplicaciones de ingeniería que requieren análisis rápidos de arcillas saturadas.

## 6. Referencias

- [1] 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.
- [2] D. M. Wood, «Some fall cone tests,» *Geotechnics*, vol. 35, n° 1, pp. 64-68, 1985.
- [3] P. Brown y M. Huxley, «The cone factor for a 30° cone,» *Ground Engineering*, vol. 29, n° 10, pp. 34-36, 1996.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 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.

- [12] 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.
- [13] S. Hansbo, A new approach to the determination of the shear strength of clay by the Fall-Cone test, Stockholm: Stockholm, 1957.
- [14] M. A. H. A. C. G. R. L. y. R. S. V. L. R. S. V. L. M. R. Escalaya Advíncula, «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, nº 20, pp. 15-34, 2023.
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] B. O'Kelly, «Characterisation and undrained strength of amorphous clay,» *Proc. Inst. Civ. Eng. Geotech. Eng.*, vol. 167, nº 3, pp. 311-320, 2014.
- [18] 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.
- [19] M. Farias y L. S. M. A., «Simple methodology to obtain critical state parameters of remolded clays under normally consolidated conditions using the fall-cone test,» *Geotech. Test. J.*, vol. 39, nº 5, 2016.
- [20] 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.
- [21] 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.
- [22] 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.
- [23] Head, K and Epps, R, *Manual of Soil Laboratory Testing*, Scotland, UK: Whittles, 2011.
- [24] E. Gardiner, «Part II Project Report,» Cambridge University Engineering Department, United Kingdom, 1982.

[25] 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.

### **Trayectoria académica**

#### **Miriam Rosanna Escalaya Advíncula**

Universidad Ricardo Palma, 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 las Universidad Ricardo Palma.

**Autora corresponsal:** [miriam.escalaya@urp.edu.pe](mailto:miriam.escalaya@urp.edu.pe) / [m\\_escalaya@hotmail.com](mailto:m_escalaya@hotmail.com)

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

#### **Marco Antonio Hernández Aguilar**

Universidad Ricardo Palma, Perú.

Magíster en Ciencias de la Ingeniería con mención en Ingeniería Geotécnica por la Universidad Católica de Río de Janeiro - Brasil. 1993-1995. Ingeniero Civil CIP 064415, graduado en la Universidad Ricardo Palma 1985-199. Gerente General de Geo Master Ingenieros Consultores S.AC. 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, Estudios Geotécnicos para plantas de tratamientos de aguas residuales, agua de mina y depósitos de relaves, evaluación y diseños de pavimentos, trabajos geotécnicos para estudios hidrogeológicos, para tanques de combustibles. Ejerció la actividad docente en la Universidad San Ignacio de Loyola y Universidad Peruana de Ciencia Aplicadas. Actualmente es Docente Universitario de los cursos de Mecánica de Suelos I y II en el Pregrado de la Universidad Ricardo Palma.

[marco.hernandez@urp.edu.pe](mailto:marco.hernandez@urp.edu.pe)

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

CIVIL

Uso del ensayo penetrómetro de cono en la determinación de la resistencia al corte no drenado de suelos arcillosos blandos de la región San Martín, Perú

---

### **César Giancarlo Rojas Llactas**

Universidad Ricardo Palma, Perú.

Estudiante de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, de la Universidad Ricardo Palma, Perú. Colaborador en el desarrollo de Proyectos de Investigación Científica con enfoque en las especialidades de Mecánica de Suelos, Geotecnia y Cimentaciones.

[201811351@urp.edu.pe](mailto:201811351@urp.edu.pe)

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

### **Contribución de autoría**

Miriam Escalaya Advíncula: Coordinación trabajos de campo y ensayos de laboratorio, discusión de resultados, redacción de artículo.

Marco Hernández Aguilar: Coordinación trabajos de campo, análisis y discusión de resultados.

César Rojas Llactas: Coordinación trabajos de campo, análisis y discusión de resultados.

### **Conflicto de intereses**

Los autores declaran que no existen conflicto de intereses en el desarrollo de 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.

### **Declaración sobre el uso de LLM (Large Language Model)**

Este artículo no ha utilizado para el desarrollo de la investigación textos provenientes de LLM (ChatGPT u otros).

CIVIL

Miriam Rosanna Escalaya Advíncula, Marco Antonio Hernández Aguilar, César Giancarlo Rojas Llactas

### **Financiamiento**

La presente investigación ha sido financiada por el Vicerrectorado de Investigación de la Universidad Ricardo Palma.

### **Agradecimiento**

Al Vicerrectorado de Investigación de la Universidad Ricardo Palma por financiamiento del Proyecto.

**Correspondencia:** [miriam.escalaya@urp.edu.pe](mailto:miriam.escalaya@urp.edu.pe) / [m\\_escalaya@hotmail.com](mailto:m_escalaya@hotmail.com)