

Estimación de los parámetros de resistencia al corte en arenas, mediante ensayos de penetración en muestras confinadas.

Gary Chujutalli Vela*, David Mamani Mamani*

Recibido 10 de junio de 2015, aceptado 11 de agosto de 2015

Received: June 10, 2015 Accepted: August 11, 2015

RESUMEN

En el análisis y diseño de cimentaciones es importante conocer con certeza las propiedades mecánicas del suelo, ya que de ello dependerá que la capacidad de carga del suelo sea determinada adecuadamente. Sin embargo la tarea de determinar las propiedades mecánicas del suelo, siempre resulta dificultoso ya que las condiciones del suelo son muy variadas, razón por la cual en la actualidad existen variadas metodologías entre directas e indirectas. El objetivo de esta investigación es determinar las propiedades mecánicas del suelo con la ecuación de Terzaghi, reduciéndolo a una ecuación de una sola incógnita que viene a ser el ángulo de fricción, la misma que tendría solución dentro de los números reales y llevarlo a un modelo a escala en un laboratorio de mecánica de suelos haciendo uso de una muestra del terreno natural confinada en un molde de acero que permite representar lo anteriormente descrito. Este modelo permite además plantear una metodología directa para la obtención del ángulo de fricción como parámetro de resistencia al corte. Mediante pruebas de laboratorio se corrobora los resultados obtenidos los cuales a su vez se encuentran dentro de parámetros ya establecidos por bibliografía actual. La ventaja de este método radica en la posibilidad de estudiar arenas gruesas y relativamente gruesas de forma directa con una buena confiabilidad, esta metodología resulta también bastante accesible ya que podría aplicarse en cualquier laboratorio que posea el equipo necesario para realizar la penetración de una muestra, sobre una muestra confinada.

Palabras clave: Ángulo de fricción, penetración, arenas.

* Estudiantes de Ingeniería Civil. Universidad Peruana Unión – Juliaca.

ABSTRACT

In the analysis and design of foundations, it is important to know, with certainty, the mechanical properties of the soil, as it will depend on it that the soil bearing capacity is determined properly. However, the task of determining the mechanical properties of the soil is always difficult because soil conditions are varied, which is why today there are varied methodologies between direct and indirect. The objective of this research is to determine the mechanical properties of the soil with the Terzaghi equation, reducing it to an equation of one unknown that becomes the friction angle, the same that would have a solution within real numbers and take it to a scale model in a soil mechanics laboratory using a sample of the natural terrain confined in a steel mold that can represent the above described. This model also let us pose a direct method for obtaining friction angle as shear strength parameter. Through laboratory tests, we corroborate the results obtained which are in turn within parameters established by current literature. The advantage of this method lies in the possibility of studying thick sand and relatively thick sand directly with good reliability, this methodology is also quite accessible as it could be applied in any laboratory that has the necessary equipment to do the penetration of a sample, on a confined sample.

Keywords: Friction angle, penetration, sands

INTRODUCCIÓN

El objeto de la investigaciones es la de poder plantear un método para la determinación del ángulo de fricción como parámetro de resistencia al corte, a través de pruebas de penetración en muestras confinadas. En la actualidad conocer las características mecánicas de un suelo resulta siempre una tarea importante ya que de ello dependerá el adecuado comportamiento del suelo ante la presencia de una carga adicional que está representado por un edificio. Para la determinación de dichas características se disponen de variedad de métodos entre directos e indirectos, los métodos directos que son conocidos, por lo general se aplican en suelos finos, ya que no se dispone ampliamente de métodos directos para evaluar el ángulo de fricción. Por otro lado se sabe que la capacidad de carga última de un suelo puede determinarse a partir de las expresiones que plantea Terzaghi, el cual permite conocer la carga última que provocara la falla en el suelo en función a los parámetros de resistencia al corte, para el caso en el cual la carga se aplica de forma uniformemente distribuida sobre un área circular, la carga ultima se determina mediante la siguiente expresión:

$$q_u = 1.3cN_c + qN_q + 0.3B\gamma N_\gamma \dots (Ec. 1)$$

En caso que la carga repartida se aplica sobre un suelo arenoso, y directamente sobre la superficie del terreno los parámetros “c” y “q” de la ecuación anterior serán

iguales a “cero” por lo que la expresión anterior se reduce a la siguiente:

$$q_u = 0.3B\gamma N_\gamma \dots (Ec. 2)$$

La variable N_γ se conoce también como factor de capacidad de carga, el cual puede determinarse de forma directa a partir de una expresión que resulta del despeje de la última ecuación:

$$N_\gamma = \frac{q_u}{0.3B\gamma} \dots (Ec. 3)$$

de carga anteriormente mostrado depende directamente del ángulo de fricción que presenta el suelo, el mismo que según Terzaghi es igual a:

$$N_\gamma = \frac{1}{2} \left(\frac{K_{py}}{\cos^2 \varphi} - 1 \right) \tan \varphi \dots (Ec. 4)$$

La siguiente tabla muestra la variación que existe entre el ángulo de fricción y el factor de capacidad de carga. Lo cual evidencia lo expresado en la última formula escrita:

Tabla 1

Factores de capacidad de carga de Terzaghi.

φ	N_c	N_q	N_γ	φ	N_c	N_q	N_γ
0	5.70	1.00	0.00	26	27.09	14.21	9.84
1	6.00	1.1	0.01	27	29.24	15.90	11.60
2	6.30	1.22	0.04	28	31.61	17.81	13.70
3	6.62	1.35	0.06	29	34.24	19.98	16.18
4	6.97	1.49	0.10	30	37.16	22.46	19.13
5	7.34	1.64	0.14	31	40.41	25.28	22.65
6	7.73	1.81	0.20	32	44.04	28.52	26.87
7	8.15	2.00	0.27	33	48.09	32.23	31.94
8	8.60	2.21	0.35	34	52.64	36.50	38.04
9	9.09	2.44	0.44	35	57.75	41.44	45.41
10	9.61	2.69	0.56	36	63.53	47.16	54.36
11	10.16	2.98	0.69	37	70.01	53.80	65.27
12	10.76	3.29	0.85	38	77.50	61.55	78.61
13	11.41	3.63	1.04	39	85.97	70.61	95.03
14	12.11	4.02	1.26	40	95.66	81.27	115.31
15	12.86	4.45	1.52	41	106.81	93.85	140.51
16	13.68	4.92	1.82	42	119.67	108.75	171.99
17	14.60	5.45	2.18	43	134.58	126.50	211.56
18	15.12	6.04	2.59	44	151.95	147.74	261.60
19	16.56	6.70	3.07	45	172.28	173.28	325.34
20	17.69	7.44	3.64	46	196.22	204.19	407.11
21	18.92	8.26	4.31	47	224.55	241.80	512.84
22	20.27	9.19	5.09	48	258.28	287.85	650.67
23	21.75	10.23	6.00	49	298.71	344.63	831.99
24	23.36	11.40	7.08	50	347.50	415.14	1072.80
25	25.13	12.72	8.34				

*Según Kumbhojkar (1993)

Lo expresado hasta ahora para la determinación del factor de capacidad de carga, puede modelarse mediante la penetración de un pistón de carga en una muestra confinada según lo mostrado en la figura 1. Según lo que se ha visto es posible determinar el ángulo de fricción en cuanto se conozca el factor de capacidad de carga según las tablas mostradas. Con la investigación se pretende encontrar valores tolerables típicos para suelos arenosos que es también objeto de estudio en esta investigación. En la Tabla 2, se muestra algunos valores típicos para suelos arenosos los cuales deberán ser obtenidos a partir de los conceptos mostrados anteriormente:

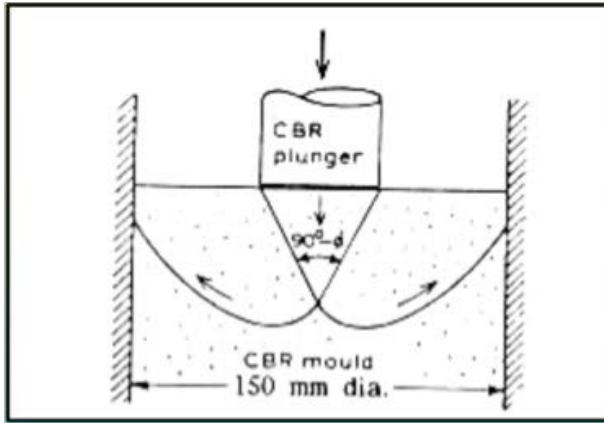


Figura 1. Penetración de muestras confinadas

Tabla 2

Valores típicos del ángulo de fricción drenado en arenas y limos.

Tipo de suelo	ϕ (grados)
<i>Arena: granos redondeados</i>	
Suelta	27-30
Media	30-35
Densa	35-38
<i>Arena: granos angulares</i>	
Suelta	30-35
Media	35-40
Densa	40-45
<i>Grava con algo de arena</i>	34-48
Limos	26-35

Materiales y Métodos

El método utilizado en la presente investigación se basa en lo expuesto en la introducción tomando en cuenta las ecuaciones planteadas anteriormente, y para ello se considera lo siguiente:

Muestras de estudio

Las muestras de estudio en la presente investigación corresponden en todos los casos a arenas, el cual se refleja en la clasificación SUCS que presenta y que se muestran en la Tabla 3.

En la tabla se presenta la granulometría y los límites de consistencia que dan certeza de que el tipo de suelo seleccionado para el estudio son los que corresponden según la metodología y el problema planteado. El número de muestras seleccionadas en este caso son de siete, y para todos los casos el tamaño máximo varía entre los 4.75mm y 25.4 mm. El hecho de que las muestras presenten límites de consistencia, hace que se deduzcan que las arenas presenten arcilla.

Tabla 3

Muestras de estudio correspondientes a arenas arcillosas

Muestra	Granulometría						LL	IP	SUCS	
	1/2"	3/8"	No 4	No 10	No 40	No 100				No 200
M1	100.0	98.9	97.8	97.2	84.7	46.9	39.0	22.60	6.30	SC-SM
M2	98.8	96.2	88.1	84.5	47.8	41.2	36.1	24.20	9.90	SC
M3	97.4	95.8	92.9	90.8	77.1	32.9	25.1	20.30	5.40	SC-SM
M4	100.0	90.0	85.9	82.5	71.7	34.3	27.5	19.30	4.70	SC-SM
M5	100.0	100.0	100.0	99.7	90.7	45.3	38.6	25.19	8.63	SC
M6	100.0	100.0	99.1	97.9	89.3	46.6	35.6	24.65	7.82	SC
M7	100.0	99.2	98.0	96.0	85.5	47.4	37.5	24.83	8.55	SC

Instrumentos y Materiales

Para cumplir con los objetivos planteados y verificar las hipótesis planteadas, los equipos de laboratorio utilizados básicamente consistieron en aquellos que son necesarios para aplicar esfuerzos de penetración sobre muestras confinadas, que se reducen al uso de una prensa de CBR y moldes de acero de 6".



Figura 2. Penetración de muestras confinadas en laboratorio

El modelo de la Figura 2, representa lo planteado en la Figura 1. Por lo cual se puede deducir que lo planteado en las ecuaciones anteriores tendrá su representación en la metodología planteada.

Análisis de datos

Con las muestras presentadas en la tabla 3, se realiza el ensayo de penetración confinada, hasta que se produzca en cada una de ellas su capacidad de carga última. De donde se obtuvieron resultados que operados con el resto de variables (Diámetro de pistón y Peso específico), permiten obtener el factor de capacidad de carga N_γ .

Una vez obtenido el factor de capacidad de carga, se puede aproximar el ángulo de fricción que se produce para dicho factor con ayuda de la Tabla 1. Dichos ángulos como se puede observar son obtenidos de manera directa y se encontrarían prestos para una validación o verificación de resultados obtenidos con algún otro procedimiento convencional.

Tabla 4

Angulo de fricción obtenido a partir de las muestras confinadas

Muestra	Peso Especifico	q_u	N_γ	Angulo de Fricción
M1	2.021	23.87	7.87	24.60
M2	2.021	23.17	7.64	24.50
M3	2.107	17.99	5.69	22.60
M4	2.108	17.50	5.53	22.50
M5	2.020	27.23	8.99	25.50
M6	2.014	23.10	7.65	24.40
M7	2.016	27.60	9.13	25.60

Resultados y Discusión

Los resultados obtenidos que se han mostrado en la Tabla 4, serán sometidos a discusión tomando en cuenta solamente si estos se encuentran dentro de los valores típicos que suelen darse para estos casos y que se han presentado en la Tabla 2.

En caso se quisieran realizar una validación de los resultados obtenidos, sería necesario contar con resultados de otro método convencional que permitiría observar las diferencias significativas.

Los resultados que se han obtenido se pueden agrupar para dos tipos de suelos, los cuales fueron los que se encontraron en la investigación realizada.

El primer grupo de suelos corresponde a “Arenas arcillosas con limo” cuyo símbolo según la clasificación SUCS corresponde a “SC-SM”. En este caso los valores del ángulo de fricción varían entre 22.5° y 24.6°. Según la tabla 2, estos resultados se aproximan bastante al caso de arenas sueltas con grano redondeado, lo que significa que el método tendría la verificación adecuada en caso esta quiera realizarse.

El segundo grupo de suelos corresponde a “Arenas arcillosas” cuyo símbolo es “SC”. Para este caso los ángulos de fricción varían entre valores de 24.4° y 25.6°. Según la tabla 2, estos resultados se encuentran dentro de los valores típicos de arenas sueltas con grano redondeado. Cuyo análisis y discusión conduce también a lo encontrado en la anterior discusión.

Conclusiones

Es posible obtener el ángulo de fricción a partir de la ecuación de capacidad de carga última en áreas circulares uniformemente cargadas.

Los valores del ángulo de fricción que se obtienen a partir de la penetración de muestras confinadas resultan ser semejantes a los valores típicos que se tienen para estos tipos de suelos. Con lo cual se concluye que el método planteado presenta validez y credibilidad.

El método planteado posee un sustento matemático y físico, lo que además significa que las ecuaciones utilizadas en este caso resultan siendo dimensionalmente homogéneas y válidas.

La penetración sobre muestras confinadas puede realizarse no solo en suelos finos y arenas, sino que también pueden ser ampliadas a suelos gravosos y medianamente gravosos.

Recomendaciones

Se recomienda verificar la validez de la metodología planteada, contrastando resultados con métodos estandarizados que se encuentren normados y aceptados.

Se recomienda ampliar el estudio a otros tipos de suelos gruesos, a fin de establecer la metodología con todas sus implicaciones y consideraciones necesarias de manera genérica para todo tipo de suelos gruesos.

Referencias

- Braja M. Das (2001). *Fundamentos de ingeniería geotécnica*. (1ra Edición) México: Editorial Thomson, (Capítulo 7)
- Braja M. Das (2006). *Principios de ingeniería de cimentaciones*. (5ta Edición) México: Editorial Thomson, (Capítulo 3)
- Juarez B., & Rodríguez R. (1986). *Mecánica de suelos, tomo I*. (5ta Edición) México: Editorial Limusa.
- Alfonso Rico, Hermillo del Castillo (2005). *La ingeniería de suelos en las vías terrestres*. (2da Edición) México: Editorial Limusa.
- Carlos Crespo Villalaz (2004). *Mecánica de suelos y cimentaciones*. (5ta Edición) México: Editorial Limusa.
- Jaime Suarez (1998). *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales*. (1ra Edición) Colombia: Publicaciones UIS.