

Obtención y Selección Apropriada del Valor de Cohesión No Drenada Para el Piedemonte de los Cerros Orientales de Bogotá Usando Ensayos In Situ

Jorge Leonardo Montenegro Bermúdez, Carlos Andrés Cuadros Romero
Programa de Ingeniería civil, Facultad de Ingeniería, Universidad Católica de Colombia
Bogotá D.C., Colombia

Resumen - Estimación de la cohesión no drenada en suelos arcillosos del piedemonte de los cerros orientales de Bogotá, mediante ensayos in situ SPT. Para una serie de datos obtenidos en un estudio realizado en el corredor de la carrera 7 entre las calles 38 y 170. Con ayuda de los resultados del ensayo SPT se estimará la relación más adecuada para emplear en un determinado tipo de suelo arcilloso.

Abstract- Estimating the undrained cohesion in clay soils of the foothills of the eastern hills of bogota, by SPT tests in situ. For a range of data obtained in a study in the seventh career corridor between the thirty eight street and the one hundred seventy street. Using SPT test results the best relationship it shall be deemed to be employed in a particular type of clay soil.

I. INTRODUCCIÓN

La velocidad de desarrollo de un país se refleja especialmente en cómo evolucionan sus vías para adaptarse al crecimiento demográfico, y todos los problemas que este crecimiento trae consigo como lo son el aumento del parque automotor, el comercio interno y externo, el consumo de recursos naturales entre otras. A los cual se debe responder con sistemas de vías y transporte que soporten este desarrollo.

En Colombia y especialmente en Bogotá este desarrollo no se ha logrado de la manera más adecuada el parque automotor y el crecimiento poblacional de la ciudad han colapsado las vías y los sistemas de transporte publico respectivamente, de igual forma los sistema de transporte público no dan abasto con la demanda de pasajeros que diariamente necesitan movilizarse en la ciudad. Como respuesta al problema del transporte público en Bogotá la alcaldía en el año 2008 desarrollo e implemento los estudios para construir una línea de metro ligero por la carrera séptima entre la calle 34 a la calle 170.

El consorcio encargado de los estudios para las cimentaciones entregó un reporte de perfiles de estratos, parámetros de diseño. Con la ayuda de estos resultados, y del ensayo de Penetración Estándar (SPT), en el presente trabajo de grado, se pretende determinar la relación teórica que más se ajuste al valor que se obtuvo en campo de la

Cohesión No Drenada (Cu), para saber cuál de los métodos existentes con los que se cuenta actualmente es el más útil para determinar qué relación emplearon en el estudio.

II. METODOLOGÍA

La metodología a realizar se basara en tres principales fases, las cuales contendrán subtemas para realizar paulatinamente, para así garantizar una buena aplicación de los tiempos y ejecución de las siguientes fases:

a. Fase 1: Organización y Búsqueda de Información

- Organizar los datos que se obtuvieron en el ensayo SPT que tiene relación con la Cohesión No Drenada (Cu).
- Organización de los datos que aplican para el presente trabajo los cuales van desde la calle 38 y calle 170 teniendo en cuenta algunos Box Culvert que se presentan a lo largo de la vía.
- Encontrar las características que tienen los suelos Cohesivos que se pueden encontrar en libros o en el internet.
- El tipo de suelo según estudios realizados por entidades distritales que se realizaron en la carrera 7^a.

Tabla I. Perfil estratigráfico promedio

Nivel (m)	Descripción	Característica
0.00 – 3.80	Se encuentra un relleno limo arenoso Carmelito, con escombros	<ul style="list-style-type: none"> • Porcentaje de finos de 35% - 74% • Porcentaje de Arenas de 19% - 20% • Porcentaje de Gravas de 5% - 46%
3.80 – 8.50	Suelo de arcilla limosa carmelita, con fragmentos de arenisca	<ul style="list-style-type: none"> • Porcentaje de Limos y Arcillas de 75% - 97% • Porcentaje de Arenas de 4% - 14% • Porcentaje de Gravas de 0% - 11%
8.50 – 13.00	Suelo arena limosa	<ul style="list-style-type: none"> • Porcentaje de finos 35% - 45% • Porcentaje de Arenas de 40% - 46% • Porcentaje de Gravas de 9% - 25%
13.00 – 15.00	Suelo limo con gravas gruesas y fragmentos de arenisca	<ul style="list-style-type: none"> • Porcentaje de finos 71% • Porcentaje de Arenas de 27% • Porcentaje de Gravas de 2%
15.00 – 50.00	Suelo con arenisca	<ul style="list-style-type: none"> • Porcentaje de finos 63% • Porcentaje de Arenas de 26% • Porcentaje de Gravas de 12%

- **Suelo 3.** Limo arcilloso.
- **Suelo 4.** Arena Arcillosa con Gravas o Arcilla Arenosa con Gravav/ Arcilla con gravas.
- **Suelo 5.** Limo arenoso / con gravas

Los resultados finales que se obtuvieron de la cohesión no drenada utilizando las relaciones de la tabla II, son los siguientes.

Tabla II. Correlaciones empleadas

AUTOR	ABREVIATURA	TIPO DE SUELOS	Su (Kpa) [Campo]	ECU. AL 60%	ECU. AL 45%
Sanglerat (1972)	Cl/CH	Arcillas no orgánicas de plasticidad pequeña y media / Arcillas no orgánicas de alta plasticidad, arcillas grasas.	12.5 N		
Terzaghi & Peck (1967)	Cl/CH	Arcillas no orgánicas de plasticidad pequeña y media / Arcillas no orgánicas de alta plasticidad, arcillas grasas.	6.25 N		
Hara et al. (1974)	Cl/CH	Arcillas no orgánicas de plasticidad pequeña y media / Arcillas no orgánicas de alta plasticidad, arcillas grasas.	29 N ^{0.72}		
Sowers (1979)	CH	Arcillas no orgánicas de plasticidad pequeña y media	12.5 N		
	CL	Arcillas no orgánicas de alta plasticidad, arcillas grasas.	3.75 N		
Nixon (1982)	Cl/CH	Arcillas no orgánicas de plasticidad pequeña y media / Arcillas no orgánicas de alta plasticidad, arcillas grasas.	12 N		
	CH	Arcillas no orgánicas de plasticidad pequeña y media	4.85 N	6.82 N	5.119 N
Sivrikaya & Toğrol (2002)	CL	Arcillas no orgánicas de alta plasticidad, arcillas grasas.	3.35 N	4.93 N	3.700 N
	Cl/CH	Arcillas no orgánicas de plasticidad pequeña y media / Arcillas no orgánicas de alta plasticidad, arcillas grasas.	4.4 N		
Décourt (1990)	Cl/CH	Arcillas no orgánicas de plasticidad pequeña y media / Arcillas no orgánicas de alta plasticidad, arcillas grasas.	12.5 N	15 N	11.259 N
Ajayi & Balogun (1988)	Cl/CH	Arcillas no orgánicas de plasticidad pequeña y media / Arcillas no orgánicas de alta plasticidad, arcillas grasas.	1.39N+74.2		
Hettiarachchi & Brown (2009)	Cl/CH	Arcillas no orgánicas de plasticidad pequeña y media / Arcillas no orgánicas de alta plasticidad, arcillas grasas.		4.1 N	3.077 N

- Determinar rangos de Cu para establecer zonas donde los Cu son semejantes.
- Buscar autores que relacionen el Ensayo SPT y métodos numéricos para determinar la Cohesión No Drenada (Cu)
- El desarrollo del trabajo de grado se enfocara en 10 autores que determinan la Cohesión No Drenada (Cu).

b. Fase 2: Realización de Cálculos y Estimación de Valores Para el Cu.

- Con los métodos consultados aplicarlos y determinar el valor Cu.
- Estimar los valores que se calcularon para así establecer las variables que influye en el suelo.

c. Fase 3: Comparación de Valores y Conclusiones.

- Realizados los cálculos se compara los datos de cada zona para luego saber su diferencia porcentual
- Determinar con cada uno de los que autores consultados que resultado es el más próximo al obtenido en campo
- Concluir si los métodos consultados se pueden utilizar para este estudio o si hay diferentes autores pueden aplicar para diferentes zonas.

Para simplificar los valores obtenidos en el estudio se realizó un ponderado de las relaciones y de los resultados obtenidos en el laboratorio (Tabla III y IV)

Tabla III. Valores ponderados de Cu (Kpa) de las relaciones

Tipo de Suelo	VALORES PONDERADO DE Cu (Kpa) DE LAS RELACIONES											
	Sanglerat (1972) [Campo] (Kpa)	Terzaghi & Peck (1967) [Campo] (Kpa)	Hara et al. (1974) [Campo] (Kpa)	Sowers (1979) [Campo] (Kpa)	Nixon (1982) [Campo] (Kpa)	Sivrikaya & Toğrol (2002) [Campo/45%] (Kpa)	Stroud (1974) [Campo] (Kpa)	Décourt (1990) [Campo/45%] (Kpa)	Ajayi & Balogun (1988) [Campo] (Kpa)	Hettiarachchi & Brown (2009) [45%] (Kpa)		
SUELO 1	63	92	97	82	96	84	74	128	63	71	107	32
SUELO 2			79			60	77			47		42
SUELO 3					36						99	
SUELO 4			146		252	10	95	20			94	
SUELO 5					24						124	

Tabla IV. Valores ponderados de Cu (Kpa) de laboratorio

Tipo de Suelo	VALORES PONDERADO DE Cu (Kpa) DE LABORATORIO											
	Sanglerat (1972) [Campo] (Kpa)	Terzaghi & Peck (1967) [Campo] (Kpa)	Hara et al. (1974) [Campo] (Kpa)	Sowers (1979) [Campo] (Kpa)	Nixon (1982) [Campo] (Kpa)	Sivrikaya & Toğrol (2002) [Campo/45%] (Kpa)	Stroud (1974) [Campo] (Kpa)	Décourt (1990) [Campo/45%] (Kpa)	Ajayi & Balogun (1988) [Campo] (Kpa)	Hettiarachchi & Brown (2009) [45%] (Kpa)		
SUELO 1	67	97.25	101.5	81.5	92.0	133.5	48.9	132.0	67.0	70.9	85.3	37.5
SUELO 2			78.5			53	53			53		23
SUELO 3					32.5						105	
SUELO 4			225.5		225.5	10	93	20.75			175.8	
SUELO 5					29						29	

III. RESULTADOS

Para la obtención de la cohesión no drenada se establecieron 5 tipos de suelo para analizar de manera más simple los resultados. De la siguiente manera.

- **Suelo 1.** Arcilla Con rastros/trazas de arena fina Arcilla Arenosa / Arcilla Limosa con rastros de arena /Arcilla Orgánica con rastros de arena.
- **Suelo 2.** Arena fina limosa/ Arena limo arcilloso.

Una vez que se reportaron los datos en las dos tablas se realizó la comparación entre ellas y se estimó el respectivo error porcentual, que se consignó en la tabla V.

Tabla V. Error porcentual entre las relaciones y el valor de laboratorio

ERRORES PORCENTUALES ENTRE LAS RELACIONES Y EL VALOR DE LABORATORIO												
Tipo de Suelo	Sanglerat (1972) [Campo] (Kpa)	Terzaghi & Peck (1967) [Campo] (Kpa)	Hara et al. (1974) [Campo] (Kpa)	Sowers (1979) [Campo] (Kpa)	Nixon (1982) [Campo] (Kpa)	Sivrikaya & Tojrol (2002) [Campo/45%] (Kpa)	Stroud (1974) [Campo] (Kpa)	Decourt (1990) [Campo/45%] (Kpa)	Ajayi & Balogun (1988) [Campo] (Kpa)	Hettiarachchi & Brown (2009) [45%] (Kpa)		
SUELO 1	7%	6%	5%	0%	4%	37%	32%	3%	7%	0%	26%	83%
SUELO 2			0%		11%	14%	40%			11%		81%
SUELO 3												6%
SUELO 4			35%		12%	1%	2%	5%				47%
SUELO 5						18%						328%

En función del error porcentual de esta tabla se estableció que la mejor metodología para estimar el valor de la cohesión no drenada C_u en campo es la de Hara et al.

$$C_u = 29 * N_{0.72}$$

Los suelos a lo largo de la carrera séptima en su mayoría corresponden a arcillas. Aproximadamente en un 70% de las zonas de estudio se estableció que el perfil estratigráfico se pueden encontrar, a distintas profundidades arcillas con trazas de arena o arcillosas limosas con rastros de arena.

Los valores de la cohesión no drenada presentada para la estación de la calle 38 en promedio son de 37 Kpa, los cuales son bajos en comparación con los de la calle 45 hasta la calle 60.

En la calle 64 y hasta la calle 79 el rango de valor de la cohesión no drenada es de 17.2 Kpa hasta 220 lo cual hace que la resistencia al corte varié en diferentes profundidades.

Desde la calle 79 se empieza a encontrar diferentes suelos de forma continua como son Arena fina limosa, Arena Arcillosa con Gravas o Arcilla Arenosa con Gravas y Limo arenoso con gravas; estas se encuentran de 2 m a 12 m lo cual quiere decir que la estratigrafía de los suelos no con continuos a lo largo de la carrera 7ª.

IV. CONCLUSIONES

- Para los suelos clasificados en el grupo “Suelo 1” la mejor relación con la que se puede estimar el valor de la cohesión no drenada (C_u) es la postulada por Hara et al. en 1974, la relación es la siguiente $29 * N_{0.72}$.
- Para los suelos clasificados en los grupos “Suelo 2”, “Suelo 3”, “Suelo 4”, y “Suelo 5” ninguna de las relaciones trabajadas lograron estimar un valor de cohesión no drenada (C_u) confiable.
- Los datos obtenidos en el análisis se reportaron en la figura 22, en la cual se puede determinar que casi el 70% de las estaciones estudiadas tiene

como suelo característico el tipo “Suelo 1”, por esta razón la investigación se enfatizó en el estudio de este tipo de suelo, ya que al estar presente en la mayoría de estaciones es posible tener una serie de datos amplia con los cuales poder determinar un resultado confiable

V. REFERENCIAS BLIOGRÁFICAS.

- [1] ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ. Informe de rendición de cuentas programa movilidad humana. [en línea]. Bogotá [citado: 8, feb., 2015]. Disponible en Internet: <URL: http://www.movilidadbogota.gov.co/hiwebx_archivos/ideo_folio/informe-rendicion-de-cuentas-sdm-2013_22579.pdf>.
- [2] GOOGLE MAPS. Zona nororiental de Bogotá [en línea]. Bogotá [citado: 14, nov., 2014]. Disponible en Internet: <URL: <https://www.google.com/maps/@4.6711565,-74.0418859,765m/data=!3m1!1e3>>.
- [3] EL TIEMPO. A la carrera Séptima le sobran estudios y le faltan soluciones. [en línea]. Bogotá [citado: 20, feb., 2015]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.eltiempo.com/bogota/tranvia-en-la-carrera-septima-no-empezara-en-gobierno-de-petro/14630616>>.
- [4] ALVARO J. y GONZALEZ G. Estimativos de parámetros efectivos de resistencia con el SPT [en línea]. Bogotá [citado: 15, feb., 2015]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.scg.org.co/wp-content/uploads/ESTIMATIVOS-DE-PARAMETROS-DE-RESISTENCIA-CON-SPT.pdf>>.
- [5] NASSAJI, Frazad y KALANTARI, Behzad. SPT Capability to Estimate Undrained Shear Strength of Fine-Grained Soils of Tehran [en línea]. Iran [citado: 15, feb., 2015]. Disponible en Internet: <<http://www.ejge.com/2011/Ppr11.120/Ppr11.120alr.pdf>>.
- [6] DEVINCENZI, M. & FRANK, N. Ensayo geotécnico in situ su ejecución e interpretación [en línea]. Bogotá [citado: 20, feb., 2015]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.estudiosgeotecnicos.info/wp-content/uploads/2014/06/Devincenzi-Ensayos-in-situ.pdf>>.
- [7] NVIAS. Ensayo de penetración normal (spt) y muestreo de suelos con tubo partido. [en línea]. Bogotá [citado: 11, feb., 2015]. Disponible en Internet: <URL: <http://unicauca.edu.co/Facultades/FIC/IngCivil/Especificac>>.

iones_Normas_INV-07/Normas/Norma%20INV%20E-111-07.pdf >.

[8] CRUZ, C. Ensayo de penetración estándar [en línea]. Bogotá [citado: 11, feb., 2015]. Disponible en Internet: <URL: http://es.slideshare.net/Carolina_Cruz/ensayo-spt-25606725>.

[9] SORIANO, C. Aspectos generales sobre el ensayo de penetración estándar SPT [en línea]. Bogotá [citado: 02, feb., 2015]. Disponible en Internet: <URL: <http://es.slideshare.net/cristiansorianoc/ensayo-de-penetracion-estandar>>.

[10] UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE. Informeensayode compresión simple [en línea]. Bogotá [citado: 15, feb., 2015]. Disponible en Internet: <URL: <http://es.slideshare.net/JorgeVizneyChambiMamani/30512569-informeensayodecompresionsimple>>.

[11] INVIAS. Compresión inconfiada en muestras de suelos [en línea]. Bogotá [citado: 15, feb., 2015]. Disponible en Internet: <URL: http://labsueloscivil.upbbga.edu.co/sites/default/files/Norma%20INV%20E-152-07_0.pdf>.

[12] IDU. Correlaciones a partir del ensayo de penetración estándar SPT. [en línea]. Bogotá [citado: 20, feb., 2015]. Disponible en Internet: <URL: <http://webidu.idu.gov.co:9090/jspui/bitstream/123456789/38714/9/60015584-03.pdf>>.

[13] IDU. Perfil estratigráfico promedio [en línea]. Bogotá [citado: 20, feb., 2015]. Disponible en Internet: <URL: <http://webidu.idu.gov.co:9090/jspui/bitstream/123456789/31922/6/60013158-02.pdf>>.

