METODOLOGÍA SHANSEP APLICADA A LOS SUELOS DEL CAMPUS DE LA ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO.

Resumen.

En el presente proyecto se utilizó la metodología SHANSEP, (Stress History and Normalized Soil Engineering Properties) planteada por Ladd y Foott en 1974, para estimar la resistencia al corte no drenada de las arcillas del Campus de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. Por medio de esta metodología es posible obtener correlaciones que sirven para poder predecir el comportamiento de la resistencia no drenada al corte, bajo diferentes niveles de esfuerzos verticales.

Para desarrollar la metodología SHANSEP es necesario parametrizar la Ecuación (1) establecida por Ladd y foott mediante la realización de varios ensayos, principalmente, consolidaciones y triaxiales de tipo consolidado no drenado (CU). El punto de partida es establecer el estado de esfuerzos al que se encuentra sometido el suelo, con lo cual es necesario la ejecución de una serie de consolidaciones, para definir el mínimo esfuerzo de preconsolidación y de esta manera obtener un rango en la historia de esfuerzos del suelo, dentro de los cuales se realizarán los ensayos triaxiales (CU).

$$\frac{Su}{\sigma'v0} = S * OCR^m \qquad \text{Ecuación 1}$$

Los ensayos triaxiales se realizan en dos etapas. En la primera etapa, las muestras se someten a unos esfuerzos que inducen un estado normalmente consolidado; esta etapa es fundamental y requiere de una cuidadosa ejecución ya que aquí se define si la arcilla presenta un comportamiento normalizable, lo cual es un requisito esencial para poder desarrollar la metodología SHANSEP, también se establece el parámetro “S” de la Ecuación 1. En la segunda etapa de los ensayos triaxiales, la muestra de suelo se induce a un estado sobreconsolidado de esfuerzos para obtener el parámetro “m” de la Ecuación 1. Es importante aclarar que todos los ensayos triaxiales (CU) se debe realizar con un meticuloso control en la trayectoria de esfuerzos, durante la etapa de consolidación y la etapa de carga no drenada para finalmente obtener unos resultados acertados que permitan definir los parámetros establecidos por Ladd y Foott en la metodología SHANSEP.

Palabra clave: SHANSEP, arcillas blandas de Bogotá, resistencia al corte no drenada, Esfuerzo de preconsolidación, Triaxiales CU, OCR.

INTRODUCCIÓN.

La resistencia al corte no drenado es uno de los parámetros más importantes de los suelos. La construcción y diseño de cimentaciones, terraplenes, estructuras de contención, entre otras dependen fundamentalmente de esta propiedad; por ende, es necesario obtener unos estimativos que permitan realizar un

diseño de manera confiable. No obstante, lograr tal estimativo no es tan simple: por un lado, está la complejidad del comportamiento no drenado de las arcillas blandas de la Sabana de Bogotá que constituyen el sub suelo, por ser altamente deformables y tener baja resistencia al corte; de otra parte, la mayoría de metodologías que se realizan para encontrar la resistencia al corte, son empíricas e in-situ. Por tales razones, debe desarrollarse metodologías de laboratorio dirigidas a complementar los análisis empíricos, con el fin de obtener resultados certeros, reduciendo las fuentes de incertidumbre.

En el presente trabajo de grado se plantea la metodología SHANSEP, desarrollado En 1974, por Ladd y Foott, que permite predecir y obtener la resistencia no drenada al corte, teniendo en cuenta aspectos tan fundamentales como la estructura, contenido de agua, historia de esfuerzos (relación de sobre consolidación OCR y el estado de consolidación) y la trayectoria de esfuerzos durante la aplicación de la carga no drenada en el ensayo triaxial de los suelos cohesivos. El trabajo se desarrolla para estudiar el comportamiento de estos materiales arcillosos y su potencial de normalización en las arcillas blandas del Campus de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito

MARCO TEÓRICO

En 1974, Ladd y Foott plantearon una metodología para predecir y caracterizar la resistencia al corte no drenado de los suelos cohesivos. Esta metodología se conoce como SHANSEP (Stress History and Normalized Soil Engineering Properties) por medio del cual es posible obtener correlaciones a partir de un número representativo de ensayos. Estas correlaciones se usan para poder caracterizar de manera detallada el perfil de suelos arcillosos en toda la profundidad y predecir su comportamiento bajo diferentes niveles de esfuerzos verticales.

La metodología SHANSEP se basa en el concepto de “comportamiento normalizable de las arcillas” que se originó mediante la observación empírica de muchos resultados de laboratorios triaxiales (CU) de arcillas con la misma relación de sobreconsolidación, pero que se consolidaron a diferentes presiones de cámara y por lo tanto diferentes presiones de sobreconsolidación. De estos resultados se obtuvo que para las muestras de arcilla que tienen comportamiento normalizable, la resistencia al corte no drenado al dividirla con la presión de cámara (Su / σ'vc), dará como resultado valores constantes, es decir el comportamiento de la resistencia al corte no drenado muestra datos consistentes cuando se normaliza con la presión de confinamiento al que fue sometida la muestra, el resultado de esto es un numero adimensional reducido parecido para todas las muestras.

En la metodología SHANSEP, Ladd y Foott utilizaron la siguiente ecuación para poder calcular la resistencia no drenada al corte:

$$\frac{Su}{\sigma'v0} = S * OCR^m$$

Dónde:

- Su es la resistencia no drenada al corte.
- $\sigma'vo$ es el esfuerzo efectivo vertical,
- S es la relación normalmente consolidada $(Su/\sigma'vo)_{NC}$.
- m exponente que se obtiene experimentalmente.

METODOLOGÍA

El éxito de la metodología SHANSEP radica en la cuidadosa realización de ensayos triaxiales CU, en los cuales se debe controlar las condiciones de carga en las etapas de consolidación y de falla, de manera que representen un estado de esfuerzos normalmente consolidado y sobreconsolidado del suelo. Los esfuerzos que se apliquen durante los ensayos triaxiales deberán ser mayores al esfuerzo de preconsolidación con en fin de que estos se encuentren dentro de la rama virgen de la curva de compresibilidad.

Es importante aclarar que en la etapa de ejecución de los ensayos triaxiales CU normalmente consolidados, se determina si la arcillas es normalizable, de lo contrario la metodología no se puede aplicar. A continuación, se describe cada una de las etapas donde se desarrolla la metodología SHANSEP.

Selección de muestras

Las muestras deben ser inalteradas y tomadas a una profundad que represente el escenario más crítico de la resistencia al corte, para ello las muestras deben tener los mayores contenidos de humedad natural por lo cual las profundidades preferiblemente deben ser cercanas al nivel freático.

Para el presente estudio el mayor contenido de humedades se encuentra entre 4m y 10m de profundidad, y en la resistencia al corte empieza a reducir a partir aproximadamente a los 3 m. Por lo anterior y teniendo en cuenta que el nivel freático se encuentra a 3 m, las muestras que se utilizaron para la realización de la metodología SHANSEP se encuentran entre 4m y 7m.

PERFIL ESTRATIGRÁFICO		
Profundidad (m)	**P3**	**P4**
1	Capa Vegetal	Capa Vegetal
2	Acilla limosa habana Consistencia media Humedad:119 % Índice de plasticidad =40%	Acilla limosa habana Consistencia media Humedad:119 % Índice de plasticidad =40%
3		
4		
5		
6		
7	Acilla limosa habana Consistencia alta Humedad:119 % Índice de plasticidad =40%	
8		
9		Acilla limosa habana Consistencia alta Humedad:119 % Índice de plasticidad =40%
10		
11		
12		
13		
14		
15		

Determinación del esfuerzo de preconsolidación (σ'_P)

El objetivo principal en esta etapa de la metodología SHANSEP, es calcular el esfuerzo de Preconsolidación (σ'_p), el cual será el punto de partida de las siguientes etapas, por tal motivo es importante obtener unos resultados certeros de (σ'_p) mediante consolidaciones (para el presente estudio se realizaron 6 consolidaciones).

Triaxial CU normalmente consolidado (NC)

Como se mencionó anteriormente, en esta fase de la metodología SHANSEP, se verifica si el suelo en estudio presenta un comportamiento normalizable, mediante la relación de la resistencia al corte no drenado "Su" con respecto a la presión de cámara en la etapa de consolidación de los ensayos triaxiales "$\sigma'vc$" ($Su/\sigma'vc$). Para ello es necesario realizar el ensayo triaxial consolidado no drenado a 3 probetas, en donde en la primera etapa del triaxial (etapa de consolidación), cada muestra se consolida respectivamente a unas presiones de cámara ($\sigma'vc$) en múltiplos de 1.5, 2.5 y 4.0 veces el esfuerzo de preconsolidación (σ'_p), esto con el fin de asegurar que se consolide sobre la curva virgen de la curva de compresibilidad obtenida de los ensayos de consolidación

Una vez finalizada la etapa de consolidación, se continúa con la segunda etapa del ensayo triaxial CU, en donde la muestra se falla al aplicar el desviador ($\Delta\sigma d$). En esta fase, el esfuerzo desviador debe ser el mismo que se aplicó en la etapa de consolidación, con el fin de inducir un estado de esfuerzos normalmente consolidado (OCR=1) a la muestra. Es decir, si para la primera probeta se aplicó una presión de cámara $\sigma'vc = 1{,}5*\sigma'p$, entonces el esfuerzo desviador con el que se debe fallar la muestra es $(\Delta\sigma d+\sigma'vc) = 1{,}5*\sigma'p$, con lo cual la relación de sobre consolidación será $OCR = \sigma'vc/(\Delta\sigma d+\sigma'vc) = 1$. Durante la etapa de falla se grafica la deformación axial vs el esfuerzo normal, los puntos máximos de cada gráfica son la resistencia a la corte no drenada (Su).

Los resultados de la resistencia al corte no drenado (Su) se normalizan con la presión de cámara ($\sigma'vc$) para cada una de las muestras ensayada. La arcilla se define con un comportamiento normalizable, si las relaciones ($Su/\sigma'vc$) en las tres probetas, dan resultados parecidos o constante.

La relación ($Su/\sigma'vc$) se define como el parámetro **"S"** de la ecuación SHANSEP (Ecuación 1).

Triaxial CU sobre consolidado (SC)

En esta etapa las cargas que se aplican a las muestras, en los ensayos triaxiales, se acondicionan para establecer un escenario de esfuerzos sobreconsolidado con valores de OCR 2, 4, 6; para esto, en la primera etapa de los triaxiales (consolidación), la presión de confinamiento ($\sigma'vc$) a la que se somete la muestra para ser consolidada será mayor que el esfuerzo de preconsolidación (σ'_p), con el fin de asegurar que se consolide sobre la curva

virgen de la curva de compresibilidad, con un valor de ((n veces (σ'_p)) para las tres probetas. Una vez terminada la etapa de consolidación, se continúa con la segunda etapa de los traixiales (falla de muestra) la presión de cámara ($\Delta\sigma c$) se reduce respectivamente en cada ensayo a la mitad, cuatro y seis veces la presión de cámara en la etapa de consolidación, para poder lograr los OCR de 2, 4 y 6, así:

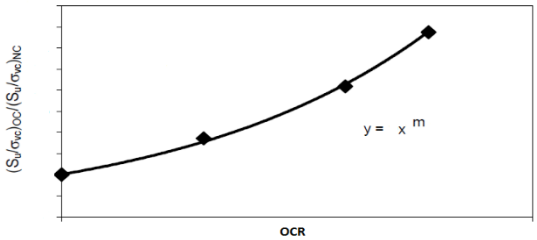
Ensayo 1: OCR = $\sigma'vc$ /(0,5*$\sigma'vc$) = 2

Ensayo 2: OCR = $\sigma'vc$ /(0,25*$\sigma'vc$) = 4

Ensayo 3: OCR = $\sigma'vc$ /(0,17*$\sigma'vc$) = 6

Para cada triaxial se obtiene la resistencia al corte no drenada y al igual que en los ensayos triaxiales CU normalmente consolidados, se normaliza con la presión de cámara. Estos resultados se grafican con el OCR establecido y poder determinar el parámetro **"m"** de la ecuación 1 SHANSEP.

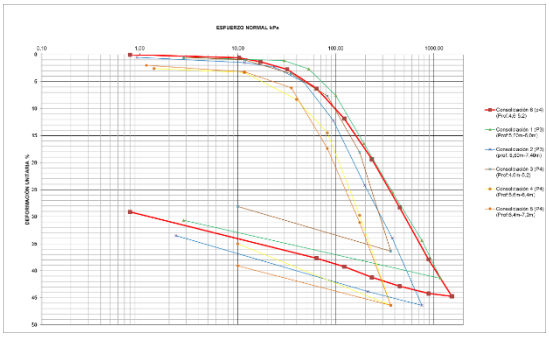
PARÁMETRO "M" DE LA ECUACIÓN SHANSEP



RESULTADOS

Después de la realización de 6 consolidaciones, El valor mínimo del esfuerzo de preconsolidación adoptado fue de **65 kPa**, lo cual quiere decir que cualquier valor de esfuerzo mayor a este, garantiza que se encuentra sobre la rama virgen de la curva de compresibilidad.

RESUMEN DE CONSOLIDACIONES



En la etapa de los triaxiales CU-NC las muestras se consolidaron a unas presiones de cámara ($\sigma'vc$) en múltiplos de 1.5, 2.5 y 4.0 veces el esfuerzo de preconsolidación (σ'_p). Las presiones de cámara se establecieron adoptando un **esfuerzo de preconsolidación de 98 kPa**, por lo tanto, la presión de cámara para cada ensayo es:

PRESIÓN DE CÁMARA ETAPA DE CONSOLIDACIÓN. TRIAXIAL CU

Ensayos triaxiales etapa de consolidación		Presión de Cámara etapa de consolidación
		$\sigma'vc$ kPa
Probeta 1	1,5 veces σ'_p	147
Probeta 2	2,5 veces σ'_p	245
Probeta 3	4,0 veces σ'_p	392

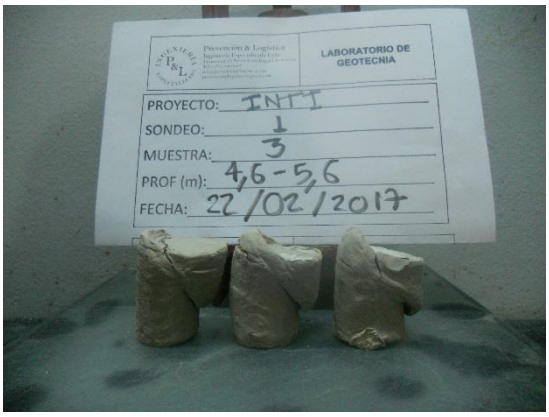
Una vez finalizada la etapa de consolidación, se continúa con la segunda etapa del ensayo triaxial CU, en donde se cierra la válvula de drenaje y se falla al

aplicar el desviador ($\Delta\sigma d$). Con el fin de obtener OCR =1 el esfuerzo desviador debe ser igual al a la presión de cámara, para simular un comportamiento del suelo normalmente consolidado.

ETAPA DE FALLA TRIAXIAL CU

Probeta triaxial	Presión de Cámara	Etapa de falla	OCR
	σ´vc (kPa)	(Δσd+σ´vc) (Kpa)	σ´vc /(σ´vc+Δσd)
1	147	147	1
2	245	245	1
3	392	392	1

PROBETAS FALLADAS



Los resultados de la resistencia al corte no drenado (Su) se normalizan con la presión de cámara (σ´vc) para cada una de las muestras ensayada:

NORMALIZACIÓN DE LA RESISTENCIA AL CORTE NO DRENADA CON LA PRESIÓN DE CÁMARA (SU/σ´vc)

Probeta	Presión de cámara	Su	Normalización Su/σ´vc
	σ´vc kg/cm²	kg/cm²	
1	1,5	0,65	0,43
2	2,5	1,02	0,41
3	4	1,57	0,39

Con los resultados de la anterior tabla, se puede definir el comportamiento de la arcilla como normalizable ya que en las tres probetas dan resultados parecidos o constantes (0.43, 0.41, 0,39) obteniendo como promedio 0,41.

La relación (Su/σ´vc) se define como el parámetro S de la ecuación SHANSEP Ecuación. **S=0,41**

Al comprobar el comportamiento normalizable de la arcilla, se puede continuar con la realización de los triaxiales sobreconsolidados, con el fin de calcular el parámetro **"m"** de la ecuación SHANSEP

Como el valor mínimo de esfuerzo de preconsolidación es de 65 Kpa (0,66kg/cm^2- 9 PSI), para esta etapa los puntos se consolidaron con un esfuerzo efectivo de 245 kPa (2.5 kg/cm^2-36 PSI), este esfuerzo también es el mismo utilizado en la etapa de los triaxiales normalmente consolidados con un esfuerzo de 2,5 veces σ'_p.

Una vez finalizado la consolidación, la presión de cámara de la probeta 1 se

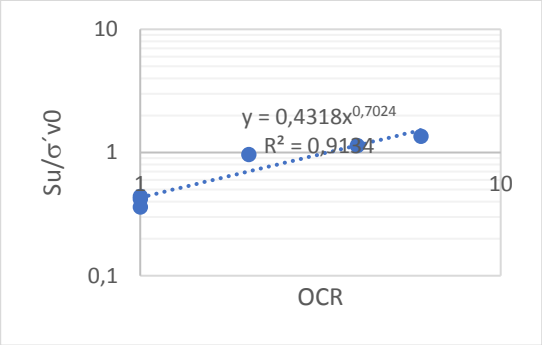
redujo hasta 1.4 kg/cm^2 y la contrapresión hasta 1 kg/cm^2, de tal forma que el esfuerzo efectivo para la falla fuera de 0.4 kg/cm^2 (39,23 kPa -5.8 PSI), para obtener un OCR redondeado a **6 (2,5 kg/cm^2/0,4 kg/cm^2)**. El segundo punto también se consolidó a 2.5 kg/cm2 y luego se redujo la presión de cámara a 1.3 kg/cm2 y la contrapresión a 0.66 kg/cm2, de tal manera que el esfuerzo efectivo de falla fue de **0.64 kg/cm2 (62,7kPa - 9.1 PSI)** y de esta manera obtener un OCR redondeado a **4 (2,5 kg/cm^2/0,64 kg/cm^2).** Por último, el tercer punto se consolidó a 2.5 kg/cm2 y se redujo la presión de cámara a 1.4 kg/cm2 y la contrapresión a 0.25 kg/cm2, de tal manera que el esfuerzo efectivo de falla fue de 1.2 kg/cm2 (117kPa -18 PSI) y de esta manera obtener un OCR redondeado a **2 (2,5 kg/cm^2/1,2 kg/cm^2)**.

NORMALIZACIÓN DE LAS ETAPAS NC Y SC

Triaxial CU	Normalización
	Su/σ´v0
(Su/σ´v0) Normalmente Consolidado	0,44
	0,42
	0,36
(Su/σ´v0) sobre consolidado	1,35
	1,14
	0,93

El parámetro **"m"** de la ecuación SHANSEP, se encuentra al establecer la relación de la normalización entre las etapas de los triaxiales normalmente consolidado (parámetro S) y sobreconsolidado, con respecto a la variación de la relación de sobre consolidación OCR. El resultado de graficar estos valores (ver tabla anterior), es una tendencia potencial, para la cual el exponente de la variable se define como el parámetro **"m"** de la ecuación 1 SHANSEP

NORMALIZACIÓN VS OCR



Parámetro **"m"** de la ecuación SHANSEP **0,702**

ECUACIÓN SHANSEP PARA LAS ARCILLAS DEL CAMPUS DE LA ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO

Con los resultados de esta investigación, la ecuación queda definida para los suelos arcillosos del campus de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito ubicada dentro de la Sabana de Bogotá de la siguiente manera:

$$\frac{Su}{\sigma´v0} = 0{,}41 * OCR^{0{,}702}$$

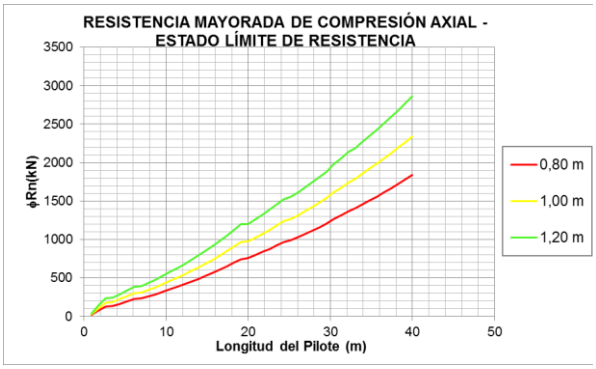
APLICACIÓN (PILOTES PREEXCAVADOS)

La metodología SHANSEP es perfectamente aplicable para el cálculo de cimentaciones profundas para la Sabana de Bogotá en los alrededores del Campus

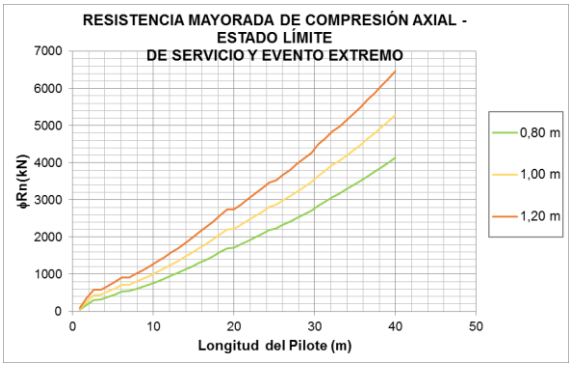
de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, ya que se puede obtener un perfil estratigráfico a cualquier profundidad.

La capacidad portante se calcula bajo la última normatividad para el diseño de puentes (Código Colombiano de Puentes CCP-14), se realizan los análisis de para cargas por resistencia última y de evento extremo. En formulación de la normativa CCP-14 para suelos fino es indispensable los resultados de resistencia al corte no drenada tanto el calculo de capacidad por fuste como por punta.

RESULTADOS DE RESISTENCIA MAYORADA DE COMPRESIÓN AXIAL PARA ESTADO LÍMITE DE RESISTENCIA



. RESULTADOS DE RESISTENCIA MAYORADA DE COMPRESIÓN AXIAL PARA ESTADO LÍMITE DE SERVICIO Y EVENTO EXTREMO



CONCLUSIONES

Con el presente trabajo de grado, se puede inferir los parámetros que establecen la ecuación de la metodología SHANSEP (Stress History and Normalized Engineering Properties), que sirve para encontrar la resistencia al corte no drenado, que constituyen el sub suelo del campus de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

La ecuación que permite encontrar la resistencia a la corte no drenada del suelo para la que constituyen el sub suelo del Campus de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito:

$$\frac{Su}{\sigma'v0} = 0{,}41 * OCR^{0{,}702}$$

Para el Termino “S”, la bibliografía típicamente indica valores entre 0.2 – 0.3, en esta investigación y en la inicial (Julio Moya) dieron valores mayores, variando entre 0,36 y 0,41. El término “m” generalmente es más cercano a 0.7, en esta investigación un valor de 0,702.

Para el desarrollo de la metodología SHANSEP, es necesario la realización de una serie de ensayos triaxiales de laboratorio, controlando cuidadosamente las trayectorias de esfuerzos en unos rangos de (OCR), establecidos, tanto en la etapa de consolidación como la etapa de fallo de muestra. Los rangos de esfuerzos deben representar la historia de esfuerzos del suelo insitu con el fin de replicar las condiciones de esfuerzos en campo.

La resistencia al corte no drenado de los suelos finos, es función de la estructura, contenido de agua, historia de cargas (estado de consolidación, OCR) y la trayectoria de esfuerzos durante la aplicación de carga no drenada. De aquí radica la importancia de la metodología SHANSEP, ya que se desarrolla mediante ensayos directos que permiten evaluar estos aspectos fundamentales para poder entender el comportamiento del suelo.

La metodología SHANSEP permite complementar los ensayos indirectos (SDMT, SCPTu, MASW, Down-Hole, Líneas de Refracción sísmica), para estimar los parámetros no drenados de los suelos. Si bien las metodologías indirectas permiten caracterizar de manera rápida y efectiva los suelos, además de ser las más usadas en los suelos en la Sabana de Bogotá, es necesario promover este tipo de estudios, para poder tener un punto de comparación mediante ensayos directos que permitan evaluar las características intrínsecas del suelo como los es la estructura, contenido de agua, historia de cargas y la trayectoria de esfuerzos.

Se pudo comprobar que las arcillas que constituyen el sub suelo del Campus de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito presentan un comportamiento normalizable por medio de la etapa de los ensayos triaxiales normalmente consolidados, lo cual sirve para promover futuras investigaciones relacionados con este tema.

Las arcillas de la sabana de Bogotá son de origen lacustre con valores de relaciones de sobreconsolidación (OCR) bajas a partir de aproximadamente entre los 5 metros y 10 metros El comportamiento de esfuerzo a partir de estas profundidades se encuentra bajo el rango normalmente consolidado.

Con los resultados de las consolidaciones se observa que el esfuerzo de preconsolidación en los estratos superiores presenta los mayores valores y va disminuyendo con la profundad, lo cual confirma lo que se ha venido justificando con el proceso geológico de consolidación en los primeros estratos arcillosos producto de la desecación de los primeros estratos arcillosos de la Sabana de Bogotá producido por un descenso del nivel freático, el comportamiento de esfuerzo de esta zona, se encuentra en el rango sobreconsolidado.

1. BIBLIOGRAFÍA.

A. Lobo- Guerrero Uscátegui. Geología e Hidrogeología de Santafé de Bogotá y su Sabana. VII Jornada Geotécnicas de la Ingeniería de Colombia. Sociedad Colombiana de Ingenieros-Sociedad Colombiana de Geotécnica, Bogotá octubre 30 de 1992.

C. Sagaseta Millán, Jorge Cañizal Berini, Almudena da Costa García, Jorge Castro Gonzáles. Apunte Mecánica de Suelos: Deformabilidad y Resistencia de los suelos. Grupo de Geotécnica, Universidad de Cantabria, 18 de octubre de 2010.

C.F Sarmiento Terán, Diego Armando Leon Aria. Caracterización geomecánica estática y dinámica a partir de exploración

directa, indirecta y ensayos de laboratorio en el sitio de experimentación geotécnica en la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito (SEGECI). Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Bogotá 23 de septiembre de 2016.

E.E Rodriguez. Curso de exploración y caracterización del subsuelo con técnicas avanzadas, Bogotá 4, 5 y 6 de mayo de 2017.

D.M Montoya Arenas, German Alfonso Reyes Torres. Geología de la Sabana de Bogotá. Instituto Colombiano de Geología y Minería Ingeominas. República de Colombia, Ministerio de Minas y Energía, Bogotá Marzo de 2005.

D. Montaña Sanabria. Características de Compresibilidad y Resistencia de Arcillas Típicas del depósito lacustre de Bogotá. Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Bogotá 2013.

INVIAS, Instituto Nacional de Vías, Normas de ensayos de materiales carreteras, 2007.

J.A Rodriguez. Optimización de Cimentaciones en suelos blandos de Bogotá. Departamento de Ingeniería Civil, Pontificia Universidad Javeriana. Jeoprobe Ltda, Bogotá 2009.Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga – Colombia. Julio de 1998.

J. Moya Barrios. El Subsuelo de Bogotá y los Problemas de Cimentación. VIII Seminario CPMSIF-PCSMFE,16 Cartagena Colombia, 21 de agosto de 1987.

J. Suarez Días. Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales. Instituto de Investigación sobre Erosión Deslizamiento.

James A. Bay, Loren R. Anderson, Todd M. Colocino, Aaron S. Budge. Report No UT-03.13: Evaluation of SHANSEP parameters for soft Bonneville Clays. Report No UT-03.13. Submitted By: Utah State University, Dept. Of Civil and Environmental Engineering. Septiembre 2005.

Ladd C.C and Foott. A new desing procedure for stability of soft clays Journal of the Geotechnical Engineering Division. ASCE, Vol. 100, No GT7.1974.

M.A. Jamal, T. Raihan, A. Jimjali, A.I Azmi, J. Azmi and J. Jamilah. Tesis: “Prediction and Determination of Undrained Shear Strength of Soft Clay at Bukit Raja”. University Pertanian Malaysia Press. 2 January 1992.

Murthy V.N.S. Geotechnical Engineering: Principles and Practices of Soil Mechanics and Foundation Engineering. Octubre 25, 2002 by CRC Press.

Norma Colombiana de Diseño de Puentes 2014 (CCP)

Normas de ensayos NTC, Normas Técnicas Colombianas.