

Propiedades Dinámicas de Arcillas Lacustres Sobreconsolidadas a Partir del Ensayo de Columna Resonante: Resultados Preliminares

Pamela Yoshianny Ávila Pedroza, IC¹, Jorge Arturo Pineda Jaimes, PhD² y José Andrés Cruz Wilches, MSc³

¹Universidad Santo Tomás Bogotá, D.C., Colombia, pamelaavila@usantotomas.edu.co

²Universidad Santo Tomás Bogotá, D.C., Colombia, jorgepineda@usantotomas.edu.co

³Universidad Santo Tomás Bogotá, D.C., Colombia, josecruz@usantotomas.edu.co

Resumen – El artículo presenta los resultados iniciales de la variación del módulo de corte (G) y del amortiguamiento (D) para dos muestras de arcillas lacustres sobreconsolidadas por desecación del occidente de la ciudad de Bogotá D.C., Colombia. Las propiedades dinámicas fueron establecidas a partir de la ejecución de ensayos de columna resonante, en condiciones de humedad constante, para relaciones de vacíos y contenidos de agua iniciales diferentes, con el fin de explorar el efecto de la desecación presente en la zona en la rigidez a pequeñas deformaciones y las propiedades dinámicas lineales y no lineales. Se encontró que la muestra que contiene menor contenido de agua, tiene un comportamiento más rígido, por tanto, el módulo de corte es mayor ante cualquier confinamiento.

Palabras Clave - Columna resonante, módulo de corte, amortiguamiento, pequeñas deformaciones.

I. INTRODUCCIÓN

En el Occidente de la Sabana de Bogotá, D.C., las vías se encuentran apoyadas sobre arcillas blandas de origen lacustre altamente expansivas, que por efecto de la pérdida de humedad en la subrasante, presentan daños estructurales y funcionales.



Fig. 1 Localización Sabana de Bogotá, Cundinamarca - Colombia [1].

El estudio de las propiedades dinámicas se desarrolló utilizando el ensayo de columna resonante (CR), la mayoría de los dispositivos convencionales de ensayos de suelos no son capaces de capturar adecuadamente el comportamiento a pequeñas deformaciones y por lo tanto, subestiman enormemente la rigidez del suelo [2], por lo cual la determinación de las propiedades, resulta relevante en las aplicaciones por factores económicos.

Digital Object Identifier: (to be inserted by LACCEI).

ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).

Las propiedades dinámicas deben ser analizadas dentro del rango elástico del suelo, luego las amplitudes de deformación de corte adecuados oscilan desde 0.001% a 0.1% [3], adicionalmente, el módulo de corte $G_{máx}$ es una propiedad dinámica relevante en el estudio del suelo a pequeñas deformaciones, siendo éste utilizado para predecir el comportamiento del suelo o la interacción suelo-estructura durante un terremoto, explosiones o la vibración transmitida por el tráfico [4].

Para este artículo se ejecutaron ensayos sobre muestras de arcilla extraídas a una profundidad de 7.50 metros, de un depósito lacustre sobreconsolidado por desecación, la muestra 1 (M1), fue analizada con contenido de agua natural, mientras la muestra 2 (M2), se colocó a temperatura ambiente durante cuatro horas, para generar una menor relación de vacíos al perder humedad. Con los datos obtenidos del ensayo se dedujeron ecuaciones de ajuste del módulo G con el nivel de confinamiento, en las cuales, se observa el efecto de los cambios de humedad en la rigidez.

II. DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL

Los ensayos (CR), se realizaron sobre una arcilla color gris claro con algunas oxidaciones. El contenido de agua natural para M1 fue de 60.68%, su gravedad específica (G_s) de 2.61, según AASHTO (*Association of State Highway and Transportation Officials* - por sus siglas en inglés) y SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos) el material corresponde a A-7-6 y CH respectivamente. El contenido de agua para M2 fue 55.52%.

III. PREPARACIÓN Y MONTAJE DEL ESPÉCIMEN

La muestra extraída de tubo Shelby entre 7.50 y 8.00 metros de profundidad, fue tallada obteniendo dos probetas con un diámetro de 38.1 mm y una altura de 76.6 mm en promedio “Fig. 2 (a)”. Luego se colocó la primera muestra sobre el pedestal rugoso de la columna resonante, para asegurar que el extremo quede fijo. En seguida, se puso el cabezal y las partes que conforman el equipo, se realizó la calibración del LVDT (Transductor Lineal, por sus siglas en inglés *Linear Variable Differential Transformer*) y del proxímetro, previo a iniciar el ensayo. Después se ubicó la cámara como se muestra en la “Fig. 2 (b)”.

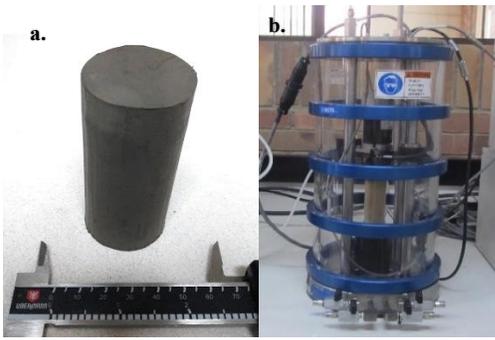


Fig. 2 (a) Muestra de Arcilla Tallada y (b) Montaje Columna Resonante

IV. PROCEDIMIENTO Y RESULTADOS

El ensayo inicia al someter la muestra a una excitación torsional cíclica en el extremo superior generada por un motor eléctrico, la muestra estará fija en el extremo inferior o pedestal y libre en el superior, es decir, modo fijo-libre. La resonancia de la muestra se produce en caso de que la frecuencia de excitación coincida con una de las frecuencias naturales del sistema, luego la frecuencia de resonancia dependerá del módulo de rigidez; es decir, se establece una relación unívoca entre la frecuencia de resonancia y el módulo de rigidez [5].

Las frecuencias de resonancia corresponden a los picos de las siguientes gráficas, se observa que a mayor torque aplicado, menor es la resonancia y mayor la deformación de corte (10 pfs equivalen a 0.23 N.m), los resultados de M1 y M2 presentan la misma tendencia.

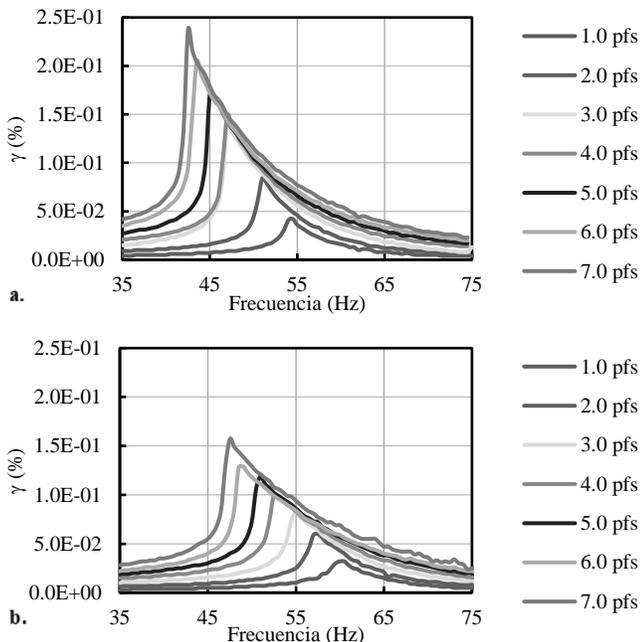


Fig. 3 Frecuencia contra deformación de corte a p de 400 kPa (a) M1 y (b) M2

En la gráfica “Fig. 4” se tiene la variación del Módulo de Corte ($G_{máx}$) con la presión de confinamiento (p), presión

aplicada por medio de aire dentro de la cámara. Se observa el crecimiento del módulo de corte a medida que se aumenta el confinamiento. El incremento en la presión de confinamiento resulta en un aumento del número de enlaces partícula-partícula que proporciona resistencia al espécimen ante la deformación [6], es decir, aumenta la rigidez de la muestra al estar confinada.

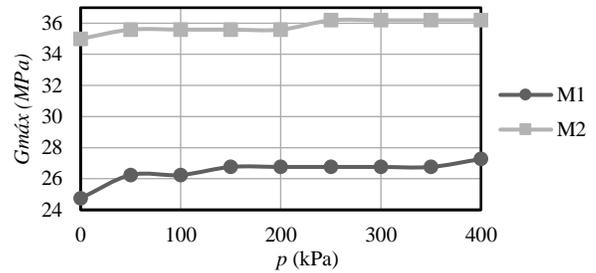


Fig. 4 Módulo de corte contra presión de confinamiento.

En la gráfica “Fig. 4” se tiene la variación del Módulo de Corte ($G_{máx}$) con la presión de confinamiento (p), presión aplicada por medio de aire dentro de la cámara. Se observa el crecimiento del módulo de corte a medida que se aumenta el confinamiento. El incremento en la presión de confinamiento resulta en un aumento del número de enlaces partícula-partícula que proporciona resistencia al espécimen ante la deformación [6], es decir, aumenta la rigidez de la muestra al estar confinada.

Es posible decir que los puntos donde permanece constante el G , el confinamiento no afecta directamente las muestras, sin embargo, un menor contenido de agua claramente evidencia el aumento en la rigidez (M2).

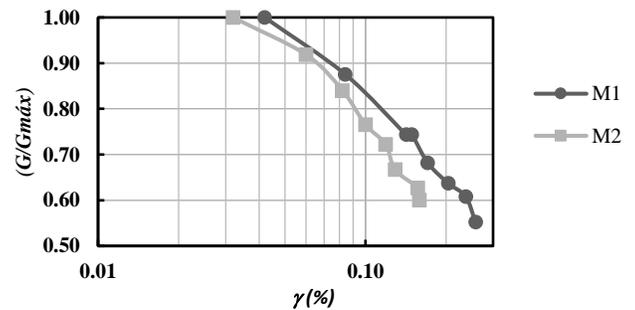


Fig. 5 Degradación del módulo de corte.

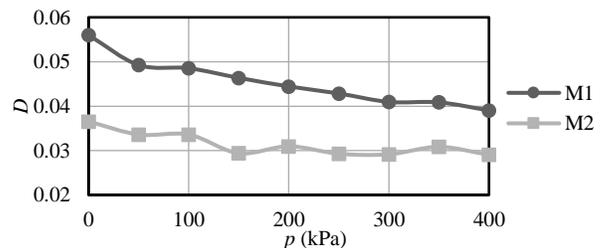


Fig. 6 Amortiguamiento D contra confinamiento p

En la “Fig. 5”, se aprecia la degradación del módulo de corte, lo que significa que al aumentar el torque

progresivamente, el material se hace menos rígido. Por otro lado, en la “Fig. 6” se observa el amortiguamiento (*D*, *Damping*) respecto al confinamiento, donde la muestra que posee menor humedad, también presenta una menor capacidad de disipación de energía.

Las velocidades de onda de corte (v_s) establecidas con el ensayo CR, oscilan de 123.64 m/s a 129.83 m/s, con confinamientos de 0 kPa a 400 kPa respectivamente. Tal como lo indicó Ref. [6], en un ensayo de refracción sísmica, las v_s son inferiores a 180 m/s en la zona y son menores en las zonas desecadas, ésta tendencia se debe a que la onda encuentra más resistencia para difundirse porque hay fisuras que comprometen la continuidad del medio y la onda de corte no se propaga en un medio continuo, según lo indica la norma NSR 10 (Norma Colombiana Sismo Resistente del 2010) corresponde a arcillas blandas (suelo E).

Adicionalmente se realizó una prueba con el penetrómetro de bolsillo en la muestra, teniendo como resultado 1 kg/cm², valor que puede ser asignado a un suelo firme-consistente según Ref. [8], este resultado es congruente con la descripción inicial de la muestra extraída.

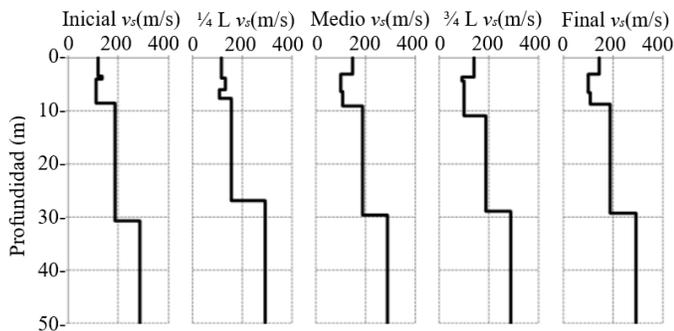


Fig. 7 Velocidad de onda de corte contra la profundidad.

CONCLUSIONES

En estos resultados se encontró, que los valores de confinamiento más altos no afectan significativamente el módulo *G* de las muestras, adicionalmente, un menor valor de contenido de agua en los materiales arcillosos evidentemente genera un aumento en la rigidez, como fue el caso de M2.

En la “Fig. 3”, se representan los valores de frecuencia de M1 y M2, y se encontró que la muestra más blanda alcanza valores de deformación de corte mayores, a la vez que valores de frecuencia menores para los diferentes torques.

En los resultados de refracción sísmica a bajas profundidades presentados en la “Fig. 7”, se encontraron valores de velocidad de onda de corte similares a los determinados empleando el ensayo de Columna Resonante, en la muestra de 7.50 metros de profundidad.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Universidad Santo Tomás, Colombia, por brindar los espacios académicos para lograr la ejecución de los ensayos. A su vez, a los ingenieros Jorge Arturo Pineda Jaimes y José Andrés Cruz Wilches, por su acompañamiento en éste trabajo.

REFERENCIAS

- [1] La historia con mapa, “Mapa departamentos de Colombia”. <http://www.lahistoriaconmapas.com/atlas/colombia-maps/mapa-departamentos-de-colombia.htm>
- [2] L. R. Hoyos, E. A. Suescún y A. J. Puppala, “Stiffness of intermediate unsaturated soil from simultaneous suction-controlled resonant column and bender element testing”, *Engineering Geology* 188, pp. 10, 2015.
- [3] J. Pineda, J. Colmenares, and L. Hoyos, “Effect of Fabric and Weathering Intensity on Dynamic Properties of Residual and Saprolitic Soils via Resonant Column Testing.” *Geotechnical Testing Journal*, vol. 37, No. 35, pp. 801, Septiembre 2014.
- [4] M. Asslan, “Factors Influencing Small-Strain Stiffness of Soils and its Determination”. Term Paper, Bauhaus-Universität, Weimar, Alemania, pp. 9, 2008.
- [5] R. Cabrera, “Efecto del cambio de grado de saturación en el módulo de corte y factor de amortiguamiento en suelos compactados parcialmente saturados mediante el equipo de columna resonante,” Trabajo Final de Máster en Ingeniería del Terreno e Ingeniería Sísmica, Cataluña, pp.24, 08 de Mayo de 2015.
- [6] J.K. Mitchel y K. Soga, “Fundamentals of Soil Behavior”, John Wiley and Sons, New York, N.Y., 1976. Citado por: T. T. Dutta y S. Saride, “Dynamic properties of compacted cohesive soil based on resonant column studies”, Conferencia Internacional en: Geo-Engineering and Climate Change Technologies for Sustainable Environmental Management. Allahabad, India, pp.5, Octubre 9 - 11 del 2015.
- [7] L. Rojas, S. Rivera, “Caracterización de suelos desecados al Occidente de la Sabana de Bogotá”, Trabajo de investigación para optar al título de ingeniero (a) civil, Universidad Santo Tomás. Departamento de Ingeniería Civil, Bogotá, D.C., pp. 130-133, 2014.
- [8] L. González de Vallejo, “Ingeniería geológica”, Editorial: Pearson, Prentice Hall, pp. 315, 2002.