

Influencia de la compactación en la conductividad hidráulica saturada de suelos lateríticos compactados.

Piñeyro, Verónica Alejandra ^a; Franchini, Andrea Belén ^a; Tkachuk, Matías Gabriel ^a; Demonari Fernando Emanuel ^b; Bogado, Gustavo O. ^c; Reinert, Hugo O. ^d Schevezov C.E.

^a Integrante del Proyecto, Becario de Grado, Estudiante de Ingeniería Civil, FI-UNaM, Oberá, Misiones, Argentina.

^b Becario de Laboratorio, Estudiante de Ingeniería Civil, FI-UNaM, Oberá, Misiones, Argentina

^c Co-director del Proyecto, Ingeniero Civil, Docente Departamento de Ingeniería Civil, FI-UNaM, Oberá, Misiones, Argentina.

^d Director del Proyecto, Ingeniero Civil, Docente Departamento de Ingeniería Civil, FI-UNaM, Oberá, Misiones, Argentina.

e-mails: veronica.alejandra.93@gmail.com, andreabelen30@gmail.com, matiasstkachuk@gmail.com,
fernandodemonari@gmail.com gustavobogado@fio.unam.edu.ar, reinert@fio.unam.edu.ar.

Resumen

Los suelos compactados son utilizados en diversas aplicaciones geotécnicas. Por lo general, el nivel de compactación mejora diferentes propiedades, entre ellas, la conductividad hidráulica. En este artículo se detallan mediciones de conductividad hidráulica saturada en suelos residuales compactados. Se describen los procedimientos de confección de los permeámetros y primeros resultados de mediciones de dicho parámetro. Los resultados obtenidos constituyen las primeras mediciones realizadas en la región y se confirmó la disminución de la conductividad hidráulica con el aumento de la energía de compactación.

Palabras Clave – Energía de compactación, Conductividad hidráulica, Humedad, Lateríticos, Permeabilidad, Régimen, Tiempo.

1. Introducción

La conductividad hidráulica de suelos arcillosos compactados es el aspecto fundamental que gobierna el flujo en los medios porosos, y depende de numerosas propiedades entre las que se encuentran la composición mineralógica, los límites de Atterberg, la distribución del tamaño de partículas y las condiciones de compactación (Benson et al., 1994; Benson et al. 1994). Estas últimas determinan la macro y microfábrica del suelo afectando significativamente el flujo de los fluidos a través de los mismos (Benson y Daniel, 1990, Shackelford, 1994). La compactación de suelos produce una mejora de las propiedades tanto hidráulicas como tensodeformacionales. La estructura de los suelos compactados dependerá principalmente de la humedad de compactación. Cuando se produce la compactación con humedades inferiores a la humedad óptima, se dice que se está compactando en la rama seca y en el caso de humedades mayores la rama húmeda. Según Alonso et al., (2013), los suelos compactados del lado seco del óptimo de compactación muestran una estructura abierta formada por agregados de partículas orientados aleatoriamente y tienden a tener una distribución de tamaño de poros bimodal, que se evidencia mediante la existencia de dos picos en estudios de porosimetrías. Los interporos (poros entre agregados) existentes son mayores que los

intraporos (poros formados dentro de los agregados). Generalmente, en el contenido de humedad óptimo, los agregados son menos visibles, observándose una estructura más densa y con interporos menos grandes.

Bogado et. al., (2017) a través de ensayos de porosimetría de intrusión sobre suelos residuales determinó que en la rama seca y húmeda se posee una microestructura caracterizada por una doble porosidad. Estos resultados resultan de amplia relevancia para determinar el nivel óptimo de compactación que se requiere para disminuir la conductividad hidráulica.

El objetivo de este trabajo es comparar la conductividad hidráulica de suelos compactados a diferentes energías de compactación, la Proctor estándar y el tipo III. Estos resultados son interesantes para el proyecto ya que se busca obtener una conductividad hidráulica, como lo especifica (USEPA, 1998), para su utilización en rellenos sanitarios

2. Materiales y métodos

2.1. Suelos utilizados:

Los suelos utilizados para el análisis se encuentran disponibles en el “Laboratorio de Materiales la Facultad de Ingeniería”, provenientes de empresas privadas o búsquedas de campo, de la ciudad de Oberá, Tabla 1. Estos suelos cuentan con los ensayos de caracterización (límites de Atterberg -IRAM 10501-2007-, Granulometría por tamizado vía húmeda -IRAM 10507-1986-, y Clasificación de Suelos -IRAM 10509-1982-), como así también de rutinas completas de ensayos Próctor normal, Próctor normal alternativa B (tipo III) y ensayo de compresión Triaxial, dado que los mismos son utilizados en el marco del proyecto de investigación “Estudio del Comportamiento Geomecánico de Suelos Residuales Lateríticos”.

De las rutinas de ensayos Próctor se obtienen los datos de densidad máxima a la humedad óptima desde donde se parte el análisis.

Tabla 1: suelos residuales utilizados.

Designación	Descripción	Procedencia	Clasificación SUCS	L.L	L.P	I.P	Pasa #200	Energía Proctor tipo	Humedad optima	Densidad optima
FI010	Suelo Laterítico	Parque Termal – Oberá, Misiones	ML	49,5	35,2	14	0,968	I	29,00%	1,48
								III	28,00%	1,51
FI011	Suelo Laterítico	Reserva Ecológica “El Chachi” – Oberá, Misiones	MH	57	44,6	12	0,967	I	32,50%	1,39
								III	31,50%	1,42

2.2. Preparación de la muestra:

Una vez fijados los parámetros de ensayos se procede a la preparación de muestras de suelo, donde para cada permeámetro se requiere aproximadamente 1600gr de suelo pasante Tamiz N° 4 (4,75mm). Para esto, el suelo es secado al aire a temperatura ambiente por 7 días, posteriormente desmenuzado y cribado. Fig 1. Luego, se toma una muestra de humedad de suelo para cada ensayo y se corrige al valor especificado. Las muestras se dejan reposar al menos 24 horas para lograr la uniformidad de la humedad.



Fig. 1. Muestra secada al aire.

2.3. Armado de la probeta y ensayo:

En cuanto al método de compactación utilizado, se toma como referencia la Norma (IRAM 10511-1972) realizando algunas modificaciones para mantener la energía de compactación, dado que el molde utilizado no es el indicado, así como tampoco sus dimensiones. Posteriormente se procede a la compactación del suelo dentro de cada permeámetro con su respectiva energía de compactación. Fig 2.



Fig. 2. Suelo compactado en probeta.

Una vez compactado el suelo se colocan en cada extremo de las probetas una capa de arena fina y seguidamente una capa de arena gruesa, para finalmente colocar una malla N° 10 para formar un filtro. Fig.3 (a), (b) y (c).



Fig. 3(a). Armado de filtro capa 1.



Fig. 3(b). Armado de filtro capa 2.



Fig. 3(c). Armado de filtro malla.

Posteriormente se tapan las probetas y se sellan con silicona líquida. Fig. 4.



Fig. 4. Sellado de probeta.

Finalmente, pasadas las 24 horas, se colocan las probetas en un banco de ensayo dispuesto en el sótano del patio de carga del “Edificio del departamento de Civil de la Facultad de Ingeniería”.

Cada permeámetro se conecta a una manguera transparente de 1,5m de altura de columna de agua aproximadamente, la cual se sujeta en la parte superior con abrazaderas metálicas y se vincula a una regla para medir el descenso del agua. Fig. 5.



Fig. 5. Banco de ensayo.

2.4. Determinación del Coeficiente de Permeabilidad

Las mediciones se realizan diariamente, registrando la fecha, hora y descenso del nivel de agua, la cual se recolecta por medio de botellas.

La conductividad del suelo se determina mediante la ecuación (1), utilizada en permeámetros de carga variable, donde el parámetro a es el diámetro de la manguera, h_1 la distancia desde el banco de ensayo hasta el nivel 0 de la regla, h_2 la altura hasta la salida de la probeta, t el tiempo transcurrido, A el área de la muestra de suelo y L su altura.

$$k = 2,303 * \frac{a * L}{A * t} * \log_{10} * \frac{h_1}{h_2} \quad (1)$$

Una vez que los valores de conductividad se mantienen constantes, se registra que el ensayo entró en régimen y los valores hallados reflejan la permeabilidad del suelo.

3. Resultados

En las figuras mostradas a continuación Fig. 6 (a) y(b), se exponen los gráficos de Permeabilidad en función del tiempo para probetas compactadas con energía de compactación TIPO I y TIPO III para cada muestra, en los mismos se puede apreciar que las probetas tanto de la muestra FI010 como FI011 tardan aproximadamente de 25 a 30 días en entrar en régimen, esto es, que las lecturas de permeabilidad vs tiempo se mantienen aproximadamente constantes. Además, para una misma muestra, el tiempo en entrar en régimen no varía significativamente con la energía de compactación, sin embargo, se puede observar las variaciones que se presentan entre los parámetros de permeabilidad según la energía aplicada en la compactación.

Por otro lado, para la muestra FI010 se observa un comportamiento similar en las dos probetas mientras que para la muestra FI011 se aprecia un comportamiento diferente entre las dos compactaciones. En la tabla 2, se detallan los valores promedios de la conductividad hidráulica donde se puede apreciar claramente la disminución del parámetro K con el aumento en la energía de compactación, en algunos casos un orden de magnitud.

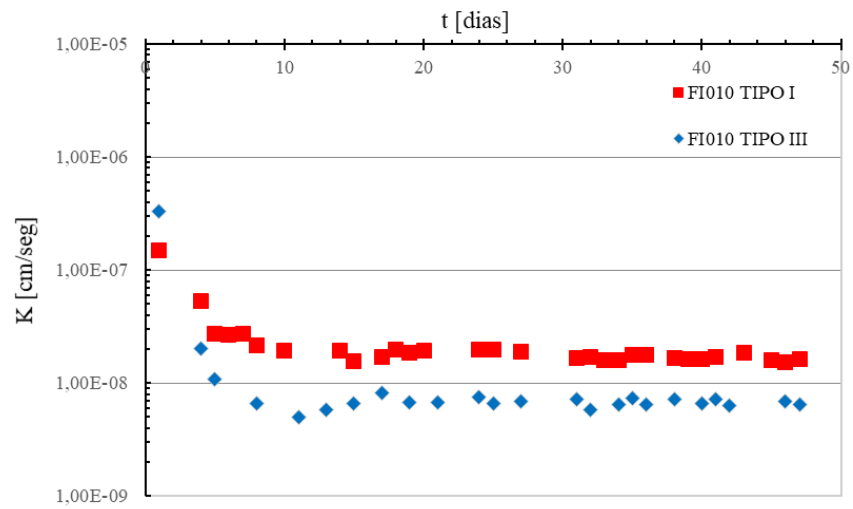


Fig. 6(a). Permeabilidad muestra FI010 energía de compactación tipo I (rojo), energía de compactación tipo III (azul).

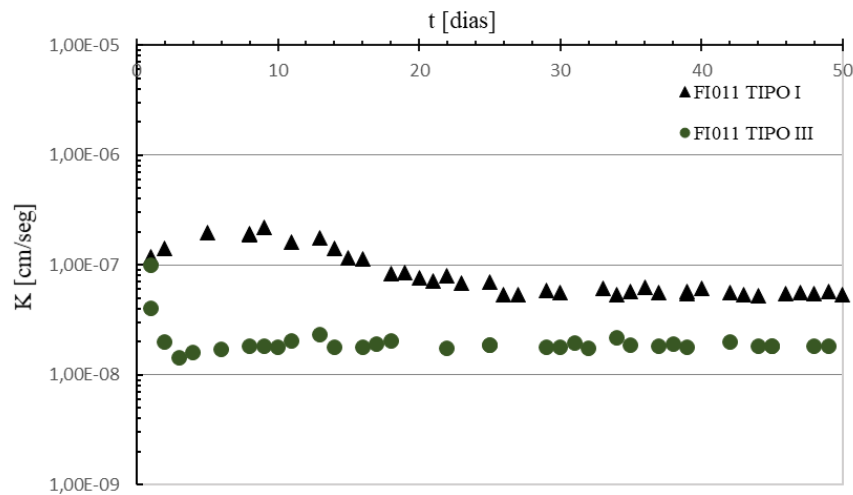


Fig. 6(b). Permeabilidad muestra FI011 energía de compactación tipo I (negro), energía de compactación tipo III (verde).

Tabla 2: Permeabilidades obtenidas.

Designación	Energía Próctor tipo	K [cm/seg]
FI010	I	$8,00 \times E^{-7}$
	III	$3,50 \times E^{-8}$
FI011	I	$5,00 \times E^{-7}$
	III	$8,00 \times E^{-7}$

4. Conclusiones

En el presente trabajo se muestran resultados de los valores de permeabilidad del suelo compactado una vez alcanzada la condición de régimen. En base a los datos obtenidos se puede tomar como primera aproximación que la permeabilidad del suelo disminuye con el aumento de la energía utilizada en la compactación. Además, se observa un comportamiento diferente entre las muestras en la etapa de regularización, esto se puede deber a la diferencia en la composición mineralógica de las mismas, sin embargo, se deben realizar más ensayos en las mismas muestras para confirmar o refutar dicha afirmación. En dicha etapa, los valores van disminuyendo hasta llegar a saturar todo el suelo y luego se estabiliza llegando a un valor asintótico.

Como resultado se obtiene que para ambas energías de compactación se llega valores de permeabilidad menores a la mínima establecida en las normas, por lo que se estima que la solución propuesta puede ser eficiente para su uso en barreras de rellenos sanitarios. Sin embargo, las muestras compactadas con mayor energía de compactación dan un mayor margen de seguridad. A pesar de ello, se debe tener en cuenta que estos ensayos fueron realizados con circulación de agua en las probetas y que los mismos deberán ser reproducidos en condiciones reales para obtener datos más certeros.

5. Agradecimientos

Este trabajo forma parte del proyecto de investigación 16/I157 “Comportamiento Hidromecánico De Suelos Residuales Compactados Para Su Empleo En Barreras De Rellenos Sanitarios”. Se agradece la colaboración en laboratorio de Demonari Fernando, Becario de laboratorio. Y a la Universidad Nacional de Misiones - Facultad de Ingeniería por el financiamiento de las Becas de Iniciación a la Investigación de la alumna de la Carrera de Ingeniería Civil, Franchini Andrea Belén y también al Consejo Interuniversitario Nacional por el financiamiento de las Becas de Investigación a los alumnos Piñeyro Verónica Alejandra y Tkachuk Matías de la misma institución y en el marco del mismo proyecto.

6. Referencias

- Alonso, E. Suelos compactados en la teoría y en la práctica. Revista Carreteras, 2004.
- Bogado, G. O., Reinert, H. O., Francisca, F. M. Geotechnical properties of residual soils from the North-east of Argentina. International Journal of Geotechnical Engineering, p.1-10, 2017.
- ASTM D 4318, 1984. "Standard test method for liquid limit, plastic limit and plasticity index of soils". Annual Book of ASTM Standards, Vol. 4, N° 8. pp. 579-589.
- ASTM D 698, 2000. "Standard test methods for laboratory compaction characteristics of soil using standard effort [12,400 ft-lbf/ ft³ (600 kN-m/m³)]". D 698, Annual Book of Standards, Vol. 04.08, ASTM Int., West Conshohocken, Pa.
- ASTM D 5856, 2002b. "Standard test method for measurement of hydraulic conductivity of porous material using a rigid-wall, compaction-mold permeameter.", Annual Book of Standards, Vol. 04.09, ASTM Int., West Conshohocken, Pa.
- Benson, C. y Daniel, D., 1990. Influence of clods on hydraulic conductivity of compacted clay. Journal of Geotechnical Engineering. Vol. 116, N° 8: 1231-1248.
- Benson, C., Zhai, H., Wang, W., 1994. Estimating hydraulic conductivity of compacted clay liners. Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 120, N° 2: 366-387.
- Benson, C. y Trast, J., 1995. Hydraulic conductivity of thirteen compacted clays. Clays and Clay Minerals. Vol. 43, N° 6, 669-681.
- Shackelford, C.D., 1994. Waste-soil interactions that alter hydraulic conductivity. ASTM STP 1142, Hydraulic Conductivity and Waste Contaminant Transport in Soil, D.E. Daniel and S.J. Trautwein, eds., 111-168.