

Técnicas caracterización de suelos tropicales para subrasantes de pavimentos en brasil y colombia.

Tropical soil characterization techniques for pavement subsidy in brazil and colombia.

Diana Marcela Orozco Santos¹, América Yuditza Rodríguez Fonseca², Juan Gabriel Bastidas Martínez³, Juan Carlos Ruge Cardenas⁴, Lina Patricia Murcia Caro⁵

¹dmorozco94@ucatolica.edu.co, Especialista en Ingeniería de Pavimentos, Universidad Católica de Colombia, Programa de Especialización en Ingeniería de Pavimentos, Bogotá, Colombia.

²ayrodriguez42@ucatolica.edu.co, Especialista en Ingeniería de Pavimentos, Universidad Católica de Colombia, Programa de Especialización en Ingeniería de Pavimentos, Bogotá, Colombia.

³jgbastidas@ucatolica.edu.co, Doctor en Geotecnia, Universidad Católica de Colombia, Programa de Especialización en Ingeniería de Pavimentos, Bogotá, Colombia.

⁴jruge@ucatolica.edu.co, Doctor en Geotecnia, Universidad Católica de Colombia, Programa de Ingeniería Civil, Bogotá, Colombia.

⁵lpmurcia@ucatolica.edu.co, Magister en Ingeniería, Universidad Católica de Colombia, Programa de Ingeniería Civil, Bogotá, Colombia.

Página
65

ESING

FECHA DE RECEPCIÓN:20/07/2020

FECHA DE ACEPTACIÓN:16/09/2020

RESUMEN

Considerando la presencia de suelos tropicales en Colombia, destacando principalmente las regiones de la Amazonía y Orinoquía, es imperativo realizar la evaluación de metodologías apropiadas para estudiar las características físicas y mecánicas de este tipo de suelos. Lo anterior, a fin de tener las bases para el diseño de estructuras de pavimentos para carreteras. En este sentido, Brasil ha avanzado de manera importante en el estudio de los suelos tropicales, desarrollando la metodología MCT (Metodología de Miniatura Compacta Tropical). Dado que los suelos tropicales son de origen sedimentario y cuentan con propiedades químicas y mineralógicas difíciles de determinar mediante las metodologías tradicionales de la mecánica de suelos. Este trabajo tiene como objetivo realizar la descripción de la MTC, asimismo de algunos ensayos de compactación y determinaciones de las propiedades físico-mecánicas. Lo anterior, con el fin de analizar la aplicabilidad de esta metodología para la exploración de subsuelos colombianos y en específico la caracterización de subrasantes para construcción de estructuras de pavimentos.

PALABRAS CLAVE

Clasificación de suelos, Compactación, Pavimentos.

ABSTRACT

Considering the presence of tropical soils in Colombia, mainly highlighting the Amazon and Orinoquia regions, it is imperative to carry out the evaluation of appropriate methodologies to study the physical and mechanical characteristics of this type of soil. The above, to have the basis for the design of road pavement structures. In this sense, Brazil has made significant progress in the study of tropical soils, developing the MCT (Tropical Compact Miniature Methodology). Since tropical soils are of sedimentary origin and have chemical and mineralogical properties difficult to determine using traditional methodologies of soil mechanics. The objective of this work is to describe the MTC, as well as some compaction tests and physical-mechanical properties determinations. The foregoing, to analyze the applicability of this methodology for the exploration of Colombian subsoils and specifically the characterization of subgrades for the construction of pavement structures.

KEY WORDS

Soil classification, Compaction, Pavements.

INTRODUCCIÓN

El diseño de estructuras de pavimentos flexibles abarca el estudio riguroso de las variables asociadas, tales como: el estudio de la subrasante, la caracterización físico-mecánica de los materiales

para la construcción de capas de pavimentos (granulares y asfálticos), las condiciones climáticas, el tránsito, entre otras. Una de las principales consideraciones del diseño de los pavimentos flexibles es la obtención de parámetros de la resistencia de la subrasante, los cuales son obtenidos por medio de ensayos de campo o laboratorio. Entre los principales ensayos para la caracterización de la subrasante de pavimentos se tiene: el Índice de soporte California, por sus siglas en inglés California Bearing Ratio CBR, el ensayo de placa, el ensayo del Penetrómetro Dinámico de Cono PDC, módulo resiliente, entre otros. La utilización de cada ensayo depende de diversas variables técnicas y económicas del proyecto. Sin embargo, es importante considerar que países como Colombia y Brasil cuentan con la presencia de suelos tropicales, los cuales presentan un comportamiento diferente al estudiado en la mecánica de suelos tradicional.

Para el caso de Brasil, el estudio de suelos de la subrasante para pavimentos es realizado según la metodología MCT (Miniatura Compacta Tropical), la cual clasifica los suelos de acuerdo con dos propiedades puntuales, mecánicas e hidráulicas [1]. Dicha clasificación es ejecutada mediante ensayos llevados a cabo en muestras de menores dimensiones respecto a las usadas por la Geotecnia tradicional. Los ensayos de laboratorio empleados en la MCT están dirigidos a dos tipos: Mini MCV (Valor de condición de humedad) y Mini CBR. (I) En los primeros se debe realizar el ensayo de compactación Mini MCV, el cual consiste en realizar la compactación de una muestra de suelo en un equipo miniatura. El objetivo del ensayo es determinar la máxima densidad del suelo en función del contenido de humedad y variación de energías de compactación. Posteriormente, es obtenida una curva denominada mini-MCV en una escala mono-log, la cual representa la variación de la altura de las muestras compactas con el número de golpes utilizados en la energía de compactación. A partir de la curva, se obtienen los coeficientes c' y $'e$, los cuales corresponden a las condiciones de humedad en el ensayo mini-MCV. Posteriormente se define la clasificación del suelo en estudio, como Suelos Lateríticos (denominados con la letra "L") o Suelos

No Lateríticos (denominados con la letra "N"). (II) Los segundos ensayos de capacidad de soporte determinan las características de los materiales aptos como bases y subbases de la estructura de pavimento. Aunque [2] recomiendan realizar también pruebas de contracción, infiltración y permeabilidad.

Respecto a Colombia, el análisis y caracterización de los suelos se realizan en función a las metodologías de AASTHO (American Association of State Highway and Transportation, por sus siglas en inglés) y del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos USCS (Unified Soil Classification System, por sus siglas en inglés). Dichas metodologías evalúan las propiedades físicas y mecánicas del material. Estas clasificaciones son obtenidas en base a los resultados de los ensayos de campo como PDC (Penetrómetro Dinámico de Cono) y de laboratorio como granulometría y cálculo de límites de Atterberg. Los ensayos de laboratorio son realizados a muestras tomadas en campo con un distanciamiento que va de acuerdo con el nivel de tránsito de la carretera. De forma general, los suelos colombianos son clasificados entonces según USCS en Gravas (G), Arenas (S), Limos o arcillas (ML o CL) y Suelos altamente orgánicos. Según la Clasificación AASTHO en Suelos Granulosos y Materiales Limosos y Arcillosos. En este sentido, es importante conocer las metodologías de caracterización física y mecánica del comportamiento de los suelos tropicales a ser utilizados como subrasantes de pavimentos.

El presente trabajo, tiene como objetivo analizar los ensayos de caracterización de la subrasante de pavimentos en Colombia (principalmente en la zona de la Amazonía y la Orinoquía) y en Brasil, con el fin de evaluar aspectos técnicos asociados al diseño y construcción de pavimentos flexibles. Lo anterior, considerando el desarrollo de Brasil en infraestructura vial, es necesario razonar la implementación de su Metodología en el análisis de los suelos de fundación en Colombia. En este sentido, conforme se mencionó anteriormente, la Metodología MCT contempla dos grupos de

ensayos, que se podrían evaluar como: ensayos de compactación (Mini Proctor, Mini MCV) y ensayos de capacidad de soporte (Mini CBR de campo).

GEOLOGÍA DE LOS SUELOS TROPICALES

Geología suelos tropicales Colombia

La formación geológica de los estratos de los suelos amazónicos y de Orinoquia, se originan a partir de la clasificación de la roca como un 80% de material de roca sedimentaria en el territorio nacional, y el 20% restante está comprendido entre rocas ígneas en la cordillera occidental y metamórficas ubicadas en la cordillera central, escudo de guyanés y la sierra

nevada de santa marta. Dichas zonas han recibido aportes de cenizas volcánicas por su ubicación en zonas de pendiente. Lo anterior conduce a la presencia de procesos de erosión y movimientos en masa, clasificados como suelos jóvenes. Sin embargo, los suelos de la Amazonía y Orinoquia tienen gran trascendencia geológica clasificándolos en suelos residuales y suelos transportados. Por otra parte, los suelos altisoles y oxisoles conforman la mayoría de la planicie de la selva amazónica de Brasil, Colombia y sus paisajes de lomerío y colinas. Este proceso se concebido debido a la meteorización de la roca que arroja un perfil del suelo residual meteorizado tropical y que se explica geológicamente según a la Información de la Tabla 1.

Tabla 1. Historia de la geología colombiana.

Periodo	Edad	Proceso	Consecuencias
Ordovícico	505 a 438 M. A	Movimiento tectónico que origino la metamorfosis de las sedimentitas	Basculamiento suave hacia el borde formando nuevos sedimentitos de grano fino
Triásico	245 a 208 M. A	Colisión del borde irregular contra la masa continental	Metamorfismo y sedimentación turbidítica y epicontinental. Fallas de cabalgamiento (guaica ramo).
Jurásico	199 A 145 M. A	Sedimentación calcárea, vulcanismos,	Formación de la cordillera andina.
Cretáceo	145 a 65.5 M. A	Movimiento de las placas por avance continuo del mar	Depósito de sedimentitas de origen marino.
Terciario	65.5 M. A	Regresión marina	Depósitos de capas cuarzosas detríticas, producidas por la erosión del escudo.
Mioceno inferior	23.3 M. A	Poca fluvialidad ingreso del mar caribe por la cuenca amazónica.	Depósitos cenagosos y sistemas lagunares de ambiente costero.
Plioceno	5.2 M. A	Formación de la cordillera oriental	Anulación del sistema fluvial de origen amazónico
Cuaternario	1.64 M. A	Formación de nuevo sistema fluvial andino.	Sedimentación continental fluvial, coluvio-aluvial, y diluvial este- oeste. Sedimentación eólica. Sedimentación fluvio-volcanica.

Fuente: Los autores a partir de [2]

Geología suelos tropicales Brasil

La teoría de la gran diversidad de suelos cubiertos de agua dulce parte del mioceno donde se dice que este cubrió algunas zonas de la geografía amazónica, pero a medida que esta se iba internando en el continente iba a su vez perdiendo profundidad hasta que luego dichos sedimentos la convirtieron en una región seca mientras que en la Amazonía occidental las inundaciones se prolongaron unos

200.000 a 400.000 años más.

Constituyéndose así en terrazas bajas formadas por sedimentos fluvionicos de naturaleza arcillosa, terrazas medias formando mayormente deposiciones de materiales arcillo limosos de origen aluvionico, orillares originadas por migraciones temporales de sedimentos, islas también de sedimentos de diferentes granulometrías, así como paisajes colinosos ligados generalmente a procesos

tectónicos por erosión hídrica que en los últimos años ha sido poca a causa de la gran cobertura vegetal.

Por tal razón los suelos de la región del amazonas debido a su formación de naturaleza evolutiva se ha clasificado taxonómicamente en entisoles de formación reciente, inceptisoles suelos libres de iluviacion o erosión extrema por tierras de pendientes y depresiones formando posiciones extremas del paisaje y superficies geo-mórficas jóvenes que limitan el desarrollo de los suelos y se clasifican como suelos con falta de madurez edafológica como los alfisoles, ultisoles, histosoles y espodosoles suelos de horizonte argílico de climas húmedos, que impiden la circulación de oxígeno del suelo y por ello son comúnmente usados en condiciones de fertilidad para fijación de cultivos en limpio y clasificados por su capacidad de mayor uso [1]

2. TÉCNICAS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA Y MINERALÓGICA PARA SUELOS TROPICALES

El desempeño físico-mecánico de los suelos está relacionado directamente con su composición química e historia geológica. En este sentido, la clasificación miniatura compactada tropical (MCT), conduce a la realización de ensayos para determinar la composición química y mineralógica, tales como: análisis químicos de ΔPH (delta de potencial de hidrógeno), difracción de rayos X, microscopia electrónica de Barrido (SEM).

El ensayo ΔPH determina la acidez o alcalinidad del material con presencia de materia orgánica para lo cual se determina el pH (potencial de hidrógeno) del suelo en H_2O y KCl . Si la diferencia si es mayor que 0 indica la presencia de oxihidroxidos de hierro (Fe) y aluminio (Al), caso contrario, si es menor a 0 indica contenido de arcillo minerales. El ensayo de Difracción de rayos x tiene como objetivo la medición del espaciamiento y la intensidad de los rayos X difractados, por medio del cual se

determina el material de grano fino identificación de materiales de grano fino. Finalmente, el ensayo de Microscopia electrónica de Barrido (SEM) permite una visualización tridimensional de la micro textura del suelo, por medio de rayo de electrones acelerado a través de campo magnético para adquirir energía cinética sobre la muestra y su disipación genera la imagen, además estudia la composición química de este, y evidencia la morfología de los materiales o elementos presentes [3].

3. ESPECIFICACIÓN PARA ENSAYOS DE LABORATORIO PARA SUBRASANTES DE PAVIMENTOS

Especificaciones para ensayos de laboratorio para subrasantes de pavimentos en Brasil

Considerando que Brasil cuenta con la implementación de la Metodología MCT, ésta se encuentra normalizada por el Departamento Nacional de Infraestructura de los Transportes (DNIT), antiguamente denominado de Departamento Nacional de Carreteras (Departamento Nacional de Estadad de Rodagem, DNER por sus siglas en portugués) bajo los siguientes ensayos: (I) Ensayo de suelos compactados con equipos miniatura DNIT ME-228 de 1994 [4]. (II) Ensayo Mini-CBR y expansión DNIT ME-254 de 1997 [5]. (III) Ensayo Mini – MCV DNIT ME-258 de 1994 [6]. (IV) Ensayo Pérdida de masa por inmersión DNIT ME-256 de 1994 [7]. En este sentido, la Metodología MCT emplea ensayos en muestras de material con diámetro de 50 mm y altura 50 mm. Dichas dimensiones son menores a las dimensiones de las muestras usadas habitualmente. En la Figura 1 se presenta el diagrama de flujo con los ensayos contemplados en la metodología. Con la elaboración de los ensayos enunciados, se logra la determinación del uso de los suelos como capas base de la estructura de pavimento, pero previo a este análisis se determina la clasificación del suelo tropical como Suelo Laterítico, que a su vez se clasifica en subgrupos como: LA - Arenas con

poca arcilla laterítica, LA' - Suelo arenoso arcilloso Laterítico y LG' - Suelo arcilloso laterítico y arcillas lateríticas arenosas; o como Suelo Saprolítico, subdividido en: NG' - Arcillas, arcillas limosas y arcillas arenosas no lateríticas, NS' - Limos caoliníticos y micáceos, limos arenosos y limos arcillosos no-lateríticas, NA' - Arenas limosas y arenas arcillosas no-lateríticas y NA- Arenas limosas con limos cuarzosos y limos arcillosos no lateríticos [8]. Para la determinación de la clasificación de suelos en cada grupo o subgrupo, es necesario hacer la interpretación de la Figura 2 ingresando con los coeficientes c' (Abscisas) y e' (Ordenadas), obtenidos del ensayo Mini MCV (Valor de la densidad máxima seca del material).

arcilla del suelo. Valores mayores a 1.5 denota arcillas y suelos arcillosos. Valores inferiores denotan la presencia de arenas (limosas y arcillosas) y arcillas (arenosas y limosas). Finalmente, valores inferiores a 1.0 denota arenas y silos no plásticos o poco cohesivos. El coeficiente e' es obtenido por medio de (1), donde: P_i corresponde a la pérdida por inmersión en agua, d' a la pendiente de la parte rectilínea de la rama seca de la curva de compactación, correspondiente a 12 golpes en la prueba Mini-MCV [2].

$$e' = \sqrt[3]{\frac{P_i}{100} + \frac{20}{d'}} \quad (1)$$

En la metodología no se realizan propiedades índices como granulometría, límites de Atterberg, índice de liquidez, índice de plasticidad. Sin embargo, se basa en ensayos de compactación, pérdida de masa por inmersión en agua, ensayo de contracción, permeabilidad, expansión, coeficiente de penetración del agua, cohesión, capacidad de soporte y familias de curvas de compactación (Proctor) Mini CBR, Mini MCV. En la Figura 3 se presenta esquemáticamente los ensayos requeridos para la clasificación de suelos según la metodología MTC.

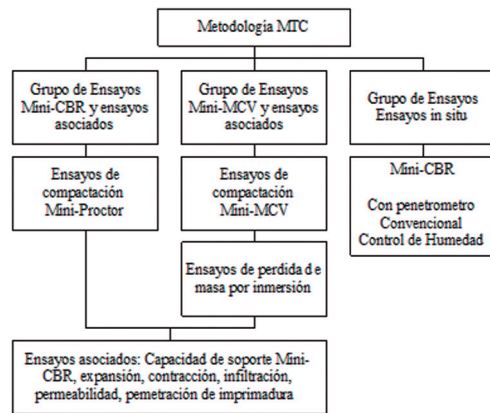


Figura 1. Organigrama de los grupos de prueba de la metodología MCT
Fuente: Los autores

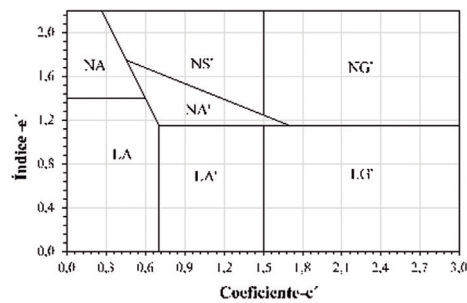


Figura 2. Clasificación de suelos lateríticos y Saprolíticos.
Fuente: Los Autores.

El coeficiente c' , es determinado por el coeficiente angular de la parte rectilínea de la curva de deformabilidad más próxima al valor de Mini-MCV de 10. Este coeficiente indica el contenido de

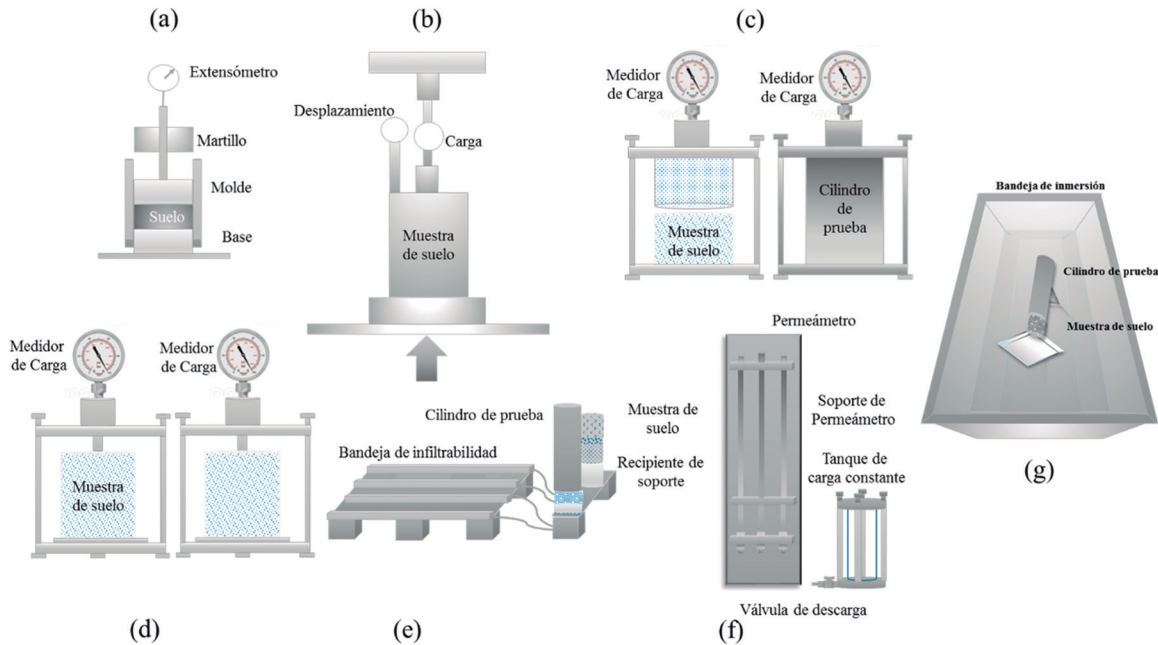


Figura 3. Ensayos de laboratorio metodología MCT: (a) Compactación; (b) CBR; (c) Expansión; (d) Contracción; (e) Infiltrabilidad; (f) Permeabilidad; (g) Prueba inmersión

Fuente: autores.

ENSAYO DE COMPACTACIÓN

Los ensayos de compactación hacen referencia al ensayo de suelos compactados con equipos miniatura mini-CBR y expansión. Estos ensayos se caracterizan por disponer de un martillo compactador de pie cuya área es igual a la del molde del cuerpo de prueba. Por medio del extensómetro del equipo se mide la altura de la muestra después de la aplicación de los golpes. Con respecto a las dimensiones de las muestras, las mismas se pueden clasificar en: Mini (M): diámetro del molde 50 mm, peso de la muestra 2270.45 g y altura de caída del martillo 305 mm y en Submini (S): diámetro del molde 26 mm, peso de la muestra 1000 g y altura de caída del martillo 200 mm. Los procedimientos realizados en estos ensayos son: (I) Mini-Proctor, donde se fija una energía de compactación según se requiera (normal, intermedia o modificada) para compactar varias muestras con diferentes contenidos de humedad cada una. En la literatura, la energía de compactación modificada obedece

a una energía específica para los suelos tropicales. (II) Mini-MCV, donde para cada humedad de compactación se aplica energía con un aumento de magnitud de manera gradual hasta que se logre que el aumento de su densidad sea significativo. En este último se consigue la curva de compactación mediante la cual se lograrán clasificar los suelos tropicales, en este ensayo se mantiene una masa húmeda constante de 200 g en Mini y de 30 g en Sub-mini. Como resultados se obtiene la humedad óptima y máxima densidad aparente en seco para la energía de compactación elegida

Ensayo de capacidad de soporte

El ensayo de Mini-CBR y expansión, es similar al ensayo CBR tradicional. Para tal fin, se usa un pistón de 16mm de diámetro para el caso de una muestra mini o de 8mm si es una muestra para Sub-mini. Las cargas empleadas pueden ser monótonica (penetración de 1.25mm/min) o dinámica (1 golpe del martillo compactador). Se puede realizar con o sin inmersión, en caso de requerir

inmersión esta deberá ser de 24 horas. Se puede o no usar sobrecarga y la expansión en este ensayo se calculará mediante el procedimiento tradicional. Siguiendo el procedimiento para el ensayo mini CBR se obtiene la expansión en porcentaje. Se mide directamente la variación de la longitud axial del cuerpo de prueba compactado con la ayuda de extensómetro, a medida que se deja en inmersión por un período mínimo de 24 horas. Los resultados permiten evitar la propagación y reflexión en la fase constructiva y de vida útil del pavimento de grietas en las diferentes capas. El resultado permite obtener la capacidad de soporte del suelo, viabilizando la elección de suelos como parte de rellenos, refuerzo y bases de manera especial cuando está sujeto al secado durante o después de la construcción.

Ensayo de infiltrabilidad

El ensayo consiste en determinar en un tubo horizontal la cantidad de agua que penetra en una muestra de suelo, a través de su base, en función de la raíz cuadrada del tiempo. Para ello, la base de la muestra se coloca sobre la placa porosa que delimita el área del contenedor lleno de agua y que se comunica con el tubo horizontal de medida del agua penetrada. El resultado permite evaluar y controlar la cantidad de agua que penetra en las capas en la fase constructiva y de vida útil del pavimento por acumulación de agua cerca la estructura.

Ensayo de permeabilidad

El ensayo consiste en determinar la cantidad de agua que se infiltra en una muestra de suelo a través del desplazamiento del menisco de agua en el tubo vertical graduado, en función del tiempo. Generalmente, se utiliza el cuerpo de prueba previamente sometido al ensayo de infiltración. El valor obtenido se presenta en un coeficiente de permeabilidad, expresado en cm/s. En el ensayo se realiza la medición de la cantidad de agua que penetra en una muestra, a través de su base. Para tal fin, la base del cuerpo de prueba se coloca sobre la placa porosa que delimita el área del contenedor lleno de agua y que se comunica con

el tubo horizontal de medida del agua penetrada. Como resultado se reporta la cantidad de agua que penetra en las capas del pavimento en estado saturado, tales como capas drenantes, filtrantes, impermeabilizantes, entre otras.

Ensayos de pérdida de masa por inmersión

El ensayo de pérdida de masa por inmersión de suelos consiste en la realización de una muestra de suelo, la cual es previamente compactada y extraído de su molde, de tal manera que quede saliente 10mm. Luego es sumergida en agua, en posición horizontal. Se recolecta la parte eventualmente desprendida y determina su masa seca. La pérdida de masa por inmersión se expresa en porcentaje relativamente a la masa seca de la parte primitivamente saliente del cuerpo de prueba. Los resultados obtenidos permiten la evaluación de la erosión de los suelos en presencia de nivel freático.

Especificaciones para ensayos de laboratorio para subrasantes de pavimentos en Colombia

Colombia, debido a su ubicación geográfica en la zona intertropical y ecuatorial está representada por el 80% de su territorio como suelos definidos por regímenes de humedad y temperatura que debido a su alta precipitación genera un proceso de lixiviación de los suelos que pasan a tener condiciones húmedas.

Los procesos como la erosión, la contaminación, la salinización, los escasos de materia orgánica entre otros son los impactos más relevantes que afectan en gran medida a las regiones como el Caribe, Andina y Orinoquia en Colombia y estos procesos empiezan a ser notorios en el bosque Amazónico y en parte del litoral Pacífico. Para ello es importante realizar una caracterización adecuada de los suelos de acuerdo con su vocación o utilización, determinados no solamente por el clima sino por la presencia de organismos o materia orgánica proveniente de la zona y que presentan efectos sobre la capa superficial de la tierra con repercusiones hacia la taxonomía de los minerales alterando sus

propiedades y manejo.

El ente regulador de la Infraestructura Vial en Colombia es el Instituto Nacional de Vías – INVIAS [10], el cual normaliza las Especificaciones Técnicas y Guías de Diseño para pavimentos en Colombia. A fecha de publicación del presente artículo, la versión vigente corresponde al año 2013. Para determinar las características a lo largo del suelo de la vía se requiere de una identificación previa teniendo en cuenta la categoría o importancia de ésta, y se hace por medio de exploración y muestreo en campo y por la realización de ensayos de laboratorio, con el fin de tomar decisiones importantes respecto al tratamiento que debe incluir soluciones tales como incorporación de materiales si se requiere mejoramiento o si mantiene el suelo natural de fundación.

En principio, se realiza un estudio preliminar con el fin de evaluar los esfuerzos generados por las cargas del tránsito donde se vea comprometida la consistencia de los estratos del suelo. Por tal razón, es importante definir la estratigrafía del suelo para detectar cambios volumétricos y nivel freático existente.

De acuerdo con el tránsito previsto, la estratigrafía de dichos sondeos se deberá realizar alternadamente en las secciones transversales de la vía, controlando el espaciamiento y profundidad de la exploración de 1.5 m de desde la cota de subrasante. Para vías con un tránsito entre 0.5 y 5 millones de ejes equivalentes 80KN en el carril de diseño, el espaciamiento de los sondeos será de 250 m. Si el nivel de tránsito es mayor a 5 millones de ejes equivalentes 80KN en el carril de diseño, el espaciamiento será de 200 m.

Respecto a la exploración preliminar de clasificación de suelos para obras de reconstrucción, pavimentación y selección de bancos de material para terraplenes de carreteras, se requieren los siguientes ensayos: En principio, se debe evaluar la distribución de tamaños de los agregados por medio del ensayo de granulometría. Así mismo, se debe realizar la determinación Límites de

consistencia de suelos, por medio de los ensayos de límite líquido y plástico que se encuentran regulados por las especificaciones INV-E 125 [11] y 126 [12] respectivamente. Adicionalmente se debe determinar el contenido de humedad de suelos según la especificación INV-E 122 [13]. A partir de los límites de consistencia es posible evaluar el potencial de expansión del suelo. Caso se requiera, es necesario la realización del ensayo de Potencial de Cambio Volumétrico utilizando el aparato de lambe. Dicho ensayo se encuentra regulado por la especificación INV-E 120 de 2013 [14]. Dichos ensayos (granulometría y límites de consistencia) permiten la clasificación de los suelos según el sistema de la AASTHO. Por otra parte, se debe realizar el Gravedad específica del suelo según la especificación del INVIAS 128-2013 [15]. Así como también ensayos que permitan encontrar el contenido de materia orgánica por ignición y el contenido de sales solubles de los suelos según las especificaciones INV-E 121 y 158-2013 respectivamente [16, 17].

Los ensayos relacionados con la determinación de las relaciones de humedad y peso unitario de los suelos, permiten determinar la humedad óptima y el máximo peso unitario para el proceso de compactación. Dichos ensayos se pueden realizar a la energía del proctor normal o modificado, conforme las especificaciones INV-E 141 y 142-2013 [18, 19], respectivamente. Posteriormente, se debe realizar ensayos que permitan la determinación de la resistencia de la subrasante. Uno de los ensayos más comunes en el mundo para determinar la subrasante, es el ensayo CBR. En Colombia, dicho ensayo se encuentra regulado por las especificaciones INV-E 148 y 169 del 2013 [20, 21], las cuales hacen referencia a la determinación en laboratorio o in situ, respectivamente. El ensayo del Penetrómetro dinámico de cono PDC, permite correlacionar la resistencia in situ de los suelos inalterados. Dicho ensayo se encuentra en la especificación INV-E 172 del 2013 [22]. Asimismo, y adicional a los ensayos debe definirse la exploración geotécnica por medio de tramos homogéneos que permitan asociar un módulo resiliente y una ecuación de confiabilidad para el

proyecto.

CONCLUSIONES

Considerando las metodologías aplicadas en Brasil y en Colombia para la caracterización de subrasantes para la construcción de las obras de infraestructura vial, son evidentes las diferencias que Colombia presenta frente al estudio de los suelos tropicales presentes en la región de la Amazonía y la Orinoquía en referencia a Brasil. A pesar de los avances en Brasil, referentes al estudio de sus suelos para la adecuada caracterización de las subrasantes, en Colombia es importante la realización de estudios que permitan conocer las correlaciones necesarias para la adecuada implementación de metodologías existentes (Metodología AASTHO, USCS, Método Surafricano, Método Australiano, entre otros) para la caracterización de subrasantes y posteriormente el diseño de pavimentos. Sin embargo, se debe considerar el inicio de estudios propios para el diseño de pavimentos basados en el tipo de suelos que se puedan encontrar en las diferentes regiones del país.

En cuanto a los avances en el desarrollo de las metodologías de caracterización de subrasantes en suelos tropicales, Brasil ha desarrollado la aplicación de la MCT en diferentes tipos de usos, no solo para vías terciarias sino también para vías urbanas. En Colombia, es necesario analizar con mayor detalle la influencia de la metodología MCT teniendo en cuenta la respuesta global de la estructura del pavimento. Asimismo, dicha caracterización debe ser específica para las condiciones particulares del área de construcción.

REFERENCIAS

- [1] D.F. Villibor, & J.S. Nogami. Pavimentação de Baixo Custo com Solos Lateríticos. São Paulo, Brasil: Editorial Arte & Ciencia, 1995, pp 1-146.
- [2] Rodríguez, M., Sanabria, Y. & Silva, J.L. “La geología, geomorfología, pedología y uso de la tierra en las municipalidades de Puerto López (Colombia) y Uberlândia (Brasil)”. Sociedade & Natureza, Vol. 22, no.2, pp. 329-345, Ago. 2010.
- [3] Valencia, Y., Echeverri, O., Cano, K., Patiño, J., Hidalgo, J. & Ojeda, S. “Estudio geotécnico de un suelo tropical para determinar su estado de meteorización y su efecto en las propiedades mecánicas”, Revista Facultad de Ciencias Universidad Nacional de Colombia. Vol. 3, no. 1, pp. 70-83, Jun. 2014.
- [4] DNIT Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes Solos compactação em equipamento miniatura, DNIT ME-228, 1994.
- [5] DNIT Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes Solos compactados com equipamento miniatura-mini CBR e expansão, DNIT ME-254, 1997.
- [6] DNIT Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes Solos compactados com equipamento miniatura-mini MCV, DNIT ME-258, 1994.
- [7] DNIT Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes Solos compactados com equipamento miniatura-determinação da perda, DNIT ME-256, 1994.
- [8] Malaver, N.M. & Tafur, R. “Lineamientos básicos para la clasificación de suelos tropicales en Colombia orientado a Pavimentos”. Trabajo de grado de especialización, Programa de especialización en Ingeniería de Pavimentos, Universidad Católica de Colombia, Bogotá, D.C., 2018.
- [9] D.F. Villibor, & J.S. Nogami. Pavimentação de Baixo Custo com Solos Lateríticos. São Paulo, Brasil: Editorial Arte & Ciencia, 1995, pp 1-146.

- [10]. Instituto Nacional de Vías. (2013). Especificaciones generales de construcción de carreteras. [En línea].
<https://www.invias.gov.co/index.php/informacion-institucional/139-documento-tecnicos>.
- [11] INVIAS Instituto Nacional de Vías Determinación del límite líquido de los suelos, INV E-125, 2013.
- [12] INVIAS Instituto Nacional de Vías Límite plástico e índice de plasticidad de los suelos, INV E-126, 2013.
- [13] INVIAS Instituto Nacional de Vías Determinación en laboratorio del contenido de agua (humedad) de muestras de suelo, roca y mezclas de suelo-agregado, INV E-122, 2013.
- [14] INVIAS Instituto Nacional de Vías Determinación del potencial de cambio volumétrico de un suelo empleando el aparato de lambe, INV E-120, 2013.
- [15] INVIAS Instituto Nacional de Vías Determinación de la gravedad específica de las partículas sólidas de los suelos y del llenante mineral, empleando un picnómetro con agua, INV E-128, 2013.
- [16] INVIAS Instituto Nacional de Vías Determinación del contenido orgánico de un suelo mediante el ensayo de pérdida por ignición, INV E-121, 2013.
- [17] INVIAS Instituto Nacional de Vías Determinación del contenido de sales solubles en los suelos, INV E-158, 2013.
- [18] INVIAS Instituto Nacional de Vías Relaciones de humedad-peso unitario seco en los suelos (ensayo normal de compactación), INV E-141, 2013.
- [19] INVIAS Instituto Nacional de Vías Relaciones de humedad-peso unitario seco en los suelos (ensayo modificado de compactación) INV E-142, 2013.
- [20] INVIAS Instituto Nacional de Vías CBR de suelos compactados en laboratorio y sobre muestra inalterada, INV E-148, 2013.
- [21] INVIAS Instituto Nacional de Vías Relación de soporte del suelo en el terreno (CBR in situ), INV E-169, 2013.
- [22] INVIAS Instituto Nacional de Vías Uso del penetrómetro dinámico de cono en aplicaciones de pavimentos a poca profundidad, INV E-172, 2013.