

“Procedimiento de moldeo para suelos granulares complementario a la Norma AASTHO T – 307 para el ensayo de Módulo Resiliente de suelos viales”

Luciano G. Brizuela, Natalia M. Alderete, J. Julián Rivera

LEMaC, Centro de Investigaciones Viales, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional La Plata.

Av. 60 y calle 124 (1900), La Plata, Buenos Aires, Argentina. Tel/Fax: 054-0221-4890413 – E-mail:

lemac@frlp.utn.edu.ar – Web: www.frlp.utn.edu.ar/lemac

Introducción

La completa caracterización de los materiales componentes del pavimento es un requisito fundamental en el diseño de los mismos. En los últimos años se han desarrollado varios equipos y métodos con el objetivo de lograr un mayor acercamiento en laboratorio al comportamiento en campo de estos materiales. Esto marca una clara tendencia hacia la implementación de metodologías que permitan evaluar las características de manera dinámica, considerando el desempeño dentro de la estructura del pavimento y no sólo las características inherentes de cada material.

El ensayo de módulo resiliente, aplicable a suelos de subrasante y materiales de base/subbase no tratados (donde no se ha incorporado un ligante asfáltico o hidráulico), busca reproducir las condiciones de campo mediante la aplicación de cargas dinámicas que simulan el paso del tránsito y de una presión de confinamiento que representa el entorno dado por el paquete estructural. El valor obtenido constituye la razón entre la tensión cíclica axial aplicada y la deformación específica recuperable [1], denominado Módulo Resiliente (Mr).

La obtención del Mr en forma precisa resulta fundamental al momento de utilizar los modernos métodos de cálculo mecanicistas de pavimentos, ya que es uno de los principales factores que rigen el análisis.

Actualmente la norma AASHTO T307-99 (2003) regula el método de ensayo en forma precisa, salvo en lo que respecta al moldeo de los especímenes a ser ensayados sobre materiales de los que podríamos considerar habitualmente como granulares (Tipo 1 según la Norma), en donde sólo se dan unos lineamientos generales, no siendo así para los materiales finos, en donde las precisiones en tal sentido son mayores. Este aspecto hace que en la práctica se pueda registrar para estos materiales en particular una heterogeneidad de resultados, de acuerdo a diversas opciones que se sigan adelante para cumplir con estos lineamientos.

Concientes de esta falencia, desde el LEMaC, Centro de Investigaciones Viales de la Universidad Tecnológica Nacional de Argentina, se plantea un equipamiento y un método de moldeo con el propósito de que, siendo que constituyen en un principio un procedimiento interno del sistema de calidad del LEMaC, puedan ser aplicados por otros grupos de referencia a nivel regional, en busca de su discusión, y si cupiera adaptación, para incorporarlos en una ampliatoria a la normativa.

Algunos conceptos básicos

El avance de los métodos para evaluar la respuesta del pavimento frente a las diferentes sollicitaciones ha generado asimismo nuevos interrogantes. El diseño de espesores antes de la primera Guerra Mundial era básicamente empírico, basado en la clasificación de los suelos o la respuesta de la estructura del pavimento a la carga estática [2]. Más tarde, se comenzó a investigar sobre el efecto de la carga móvil del tránsito en el comportamiento de los materiales que constituían el pavimento. Esto conllevó a la consideración de la acción de una carga dinámica aplicada en la estructura del pavimento, a la introducción del concepto de resiliencia y a una nueva

manera de diseñar teniendo en cuenta sistemas multicapas donde las mismas interactúan entre sí.

El concepto de módulo resiliente se basa en que, bajo distintos estados de tensiones (combinaciones de tensor desviador y presión de confinamiento), el suelo alcanzará una deformación total con una componente elástica, recuperable o resiliente, y otra plástica, teniendo en cuenta el comportamiento no lineal del material. Esto permite establecer la presunción de que, siempre y cuando el tensor desviador no supere la tensión de corte, luego de un gran número de repeticiones la única componente de la deformación es elástica, como se observa en la Figura 1.

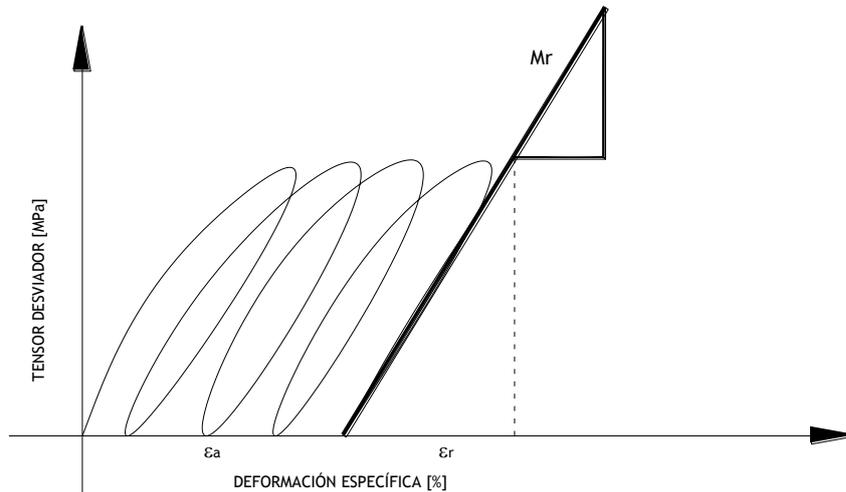


Figura 1. Definición de Módulo Resiliente

El valor del módulo representa esa relación entre tensiones y deformaciones de los materiales constituyentes del pavimento, simulando condiciones dentro un paquete estructural, y se calcula según la Ecuación 1 como el cociente entre la tensión cíclica y la deformación cíclica específica, siendo la primera igual al 90% de la tensión máxima aplicada en forma dinámica y la deformación resiliente la respuesta recuperable del material frente a las cargas.

$$M_r = \frac{\sigma_d}{\epsilon_r} \quad (1)$$

Para poder establecer el módulo obtenible ante distintos estados de sollicitación (σ_d) y confinamiento (σ_3) que podría registrar el suelo en estudio, el ensayo de módulo resiliente define distintas combinaciones de estos valores, 15 específicamente. Los resultados de este ensayo permiten la conformación de una superficie que los contenga, cuya función se conoce como la ecuación constitutiva del suelo. Actualmente los métodos de diseño de pavimentos mecanicistas o empírico-mecanicistas solicitan el ingreso de los parámetros de estas ecuaciones constitutivas en la definición de las características de los materiales.

Normativa para el ensayo de módulo resiliente

El ensayo para la determinación del módulo resiliente está basado en un programa de caracterización de materiales de la Federal Highway Administration (FHWA) denominado Long Term Pavement Performance (LTPP) que estuvo incluso también, en un principio, bajo la dirección de la Strategic Highway Research Program (SHRP). El programa LTPP comenzó en la década del '80, con el objetivo de evaluar el desempeño de los pavimentos mediante la obtención de la mayor cantidad de datos posibles, para lo cual se evaluaron cerca de 2.500 secciones de pavimentos dentro de

diferentes rutas en los EEUU, que fueron sometidas a cargas reales de tránsito y a un amplio rango de condiciones ambientales [3].

Entre los diversos documentos elaborados, producto de la información recopilada, se realizaron protocolos para la ejecución de los ensayos de laboratorio. Uno de ellos es el Protocolo P 46: "Método de ensayo de módulo resiliente de materiales granulares de base/subbase sin ligar y suelos de subrasante". Este protocolo incluye los lineamientos que luego se utilizaron de base en el desarrollo de la norma específica para este ensayo. Es así como en 1982 aparece la primera versión de un método para definir el ensayo de módulo resiliente: AASHTO T274, luego con reformas AASHTO T 294-92 y finalmente el ensayo actual T307-99: "Determinación del Módulo Resiliente de Materiales de Suelos y Agregados" [4].

Equipamiento de ensayo

El ensayo consiste en la aplicación de una serie de cargas cíclicas en una cámara triaxial a un espécimen de suelo, y en la medición de las deformaciones producidas por dichos esfuerzos.

La cámara de confinamiento está estipulada para proveer las condiciones de entorno del suelo mediante la presión de aire, que es el fluido de confinamiento utilizado durante el ensayo, según se observa en la Figura 2.

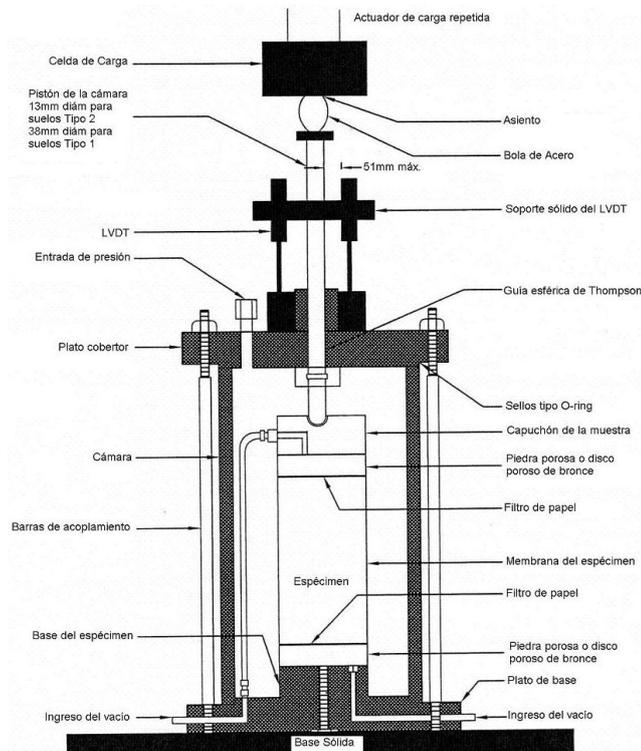


Figura 2. Típica cámara triaxial con LVDTs externos y celda de carga

El dispositivo de carga podrá ser capaz de aplicar ciclos repetidos de pulsos en forma de semiverseno de 0,1 seg de duración y de 0,90 a 3,0 seg de período de descanso, de acuerdo se observa en la Figura 3. La forma de la onda de carga semiverseno ha demostrado ser representativo en relación al efecto de la carga de la rueda móvil de un vehículo [2].

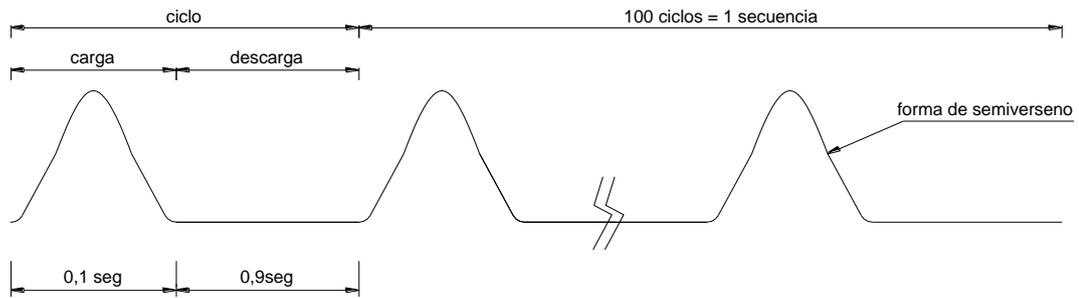


Figura 3. Aplicación de la carga

Para la medición de la carga se utiliza una celda de carga ubicada entre el actuador y el pistón de la cámara. La norma considera una relación aproximadamente lineal entre la capacidad de la celda y el diámetro del espécimen a ser ensayado.

La deformación se mide mediante dos LVDTs ubicados a los lados del pistón, fuera de la cámara triaxial y apoyados sobre superficies rígidas perpendiculares a los ejes de los LVDTs. Las especificaciones y exigencias de los LVDTs están en función de la sección transversal del espécimen. La norma actual especifica la ubicación externa de los mismos.

Métodos de compactación según la normativa

Según la norma el material puede clasificarse como:

- Material Tipo 1: incluye muestras de sub-base, base y subrasante (sin tratar) que tengan menos del 70 % pasante del tamiz N°10, menos del 20 % pasante del tamiz N°200 y un Índice de Plasticidad de 10 o inferior.
- Material Tipo 2: incluye muestras de sub-base, base y subrasante (sin tratar) que no cumplan con los requisitos mencionados para el material Tipo 1.

En los materiales Tipo 2, el proceso consiste en compactar una masa de suelo en cinco capas mediante la aplicación de una carga estática a doble pistón en un molde de diámetro 71 mm y longitud de 143 mm, empleando los espaciadores de la Figura 4, en la secuencia que se observa en la Figura 5. Una vez completado el moldeo se coloca una membrana cuidadosamente recubriendo la probeta y se procede al ensayo.

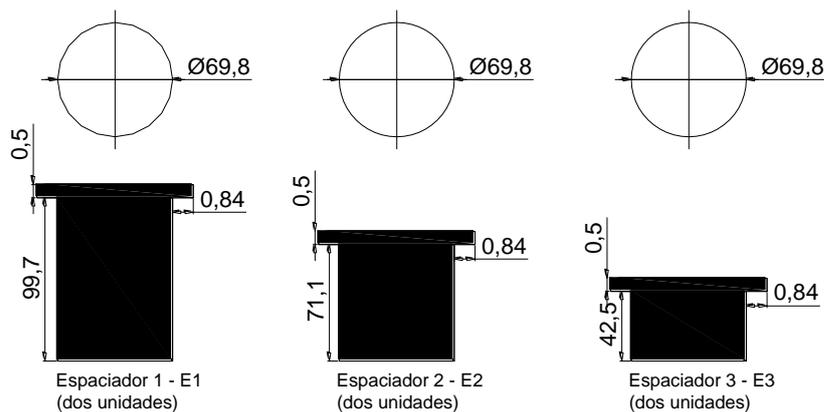


Figura 4. Espaciadores de compactación suelo Tipo 2

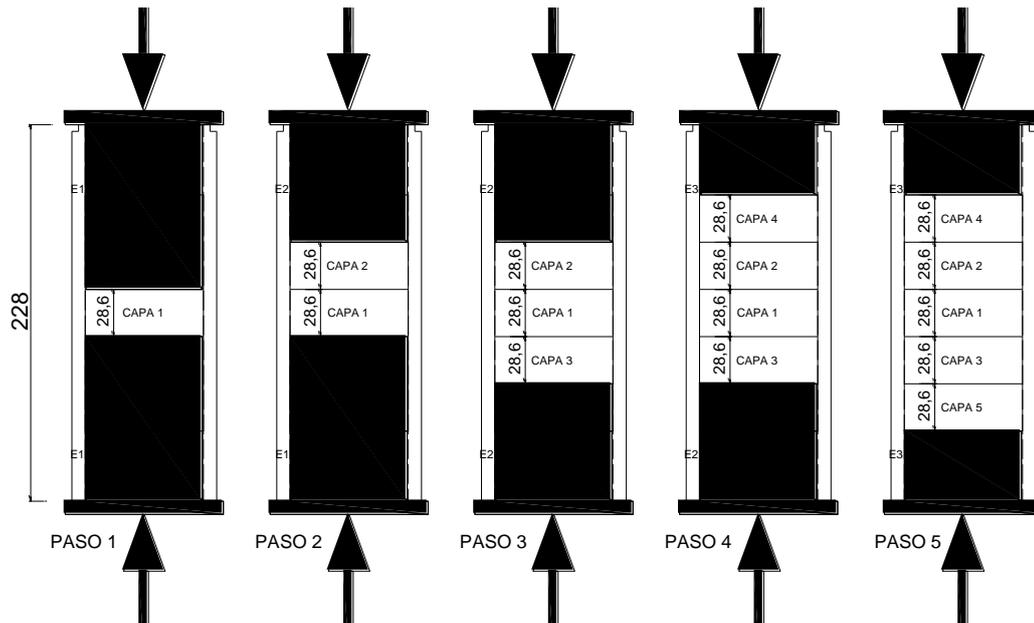


Figura 5. Secuencia de compactación suelos Tipo 2

De la forma que se realiza la compactación podría presentarse un gradiente de densidad entre las capas compactadas inicialmente y las capas finales, viéndose así los resultados del ensayo de M_r afectados. Por lo que, para lograr una densidad uniforme, el Apéndice E establece un método de moldeo en donde se evalúa la densidad de cada capa y se determina por prueba y error las masas a aplicar en cada una para lograr el mínimo gradiente.

Por su parte, la norma sólo estipula que la compactación de los suelos Tipo 1 sea en seis capas con fuerzas vibratorias generadas por un martillo de impacto sin acción de amasado. Según la recopilación de antecedentes, se ha podido constatar que en la práctica los diversos grupos de referencia que efectúan este ensayo han desarrollado varios métodos de compactación que difieren de una manera u otra con lo establecido en la norma, como ser compactación mediante un varillado de 25 golpes antes de la compactación con martillo vibratorio en solamente tres capas [4], o tipo "Proctor" en capas de 5 a 7 cm determinando la altura de caída y el peso del pisón para establecer la energía de compactación y evaluar la más adecuada [5].

Procedimiento de compactación de suelos Tipo 1 empleado en el LEMaC

La metodología empleada posee las siguientes características:

- Humectación de la muestra de suelo a ser compactada hasta la Humedad de campo en estudio o hasta la Humedad Óptima obtenida por el Ensayo Proctor correspondiente ante la carencia de la primera o en caso de materiales de aporte.
- Armado y envaselinado del molde partido de hierro de fundición (imagen inferior izquierda de la Figura 6) de diámetro de 152 mm y longitud de 304 mm sobre su base (según Figura 7 derecha).
- Colocación del sobremolde especial (imagen superior derecha de la Figura 6) encastrando en el molde (según Figura 7 izquierda).
- Compactación de la probeta mediante el empleo de un martillo vibratorio, sobre una placa adaptada a las dimensiones del molde (imagen inferior izquierda de la Figura 6) hasta la Densidad Seca en campo o la Densidad Seca Máxima determinada con el Ensayo Proctor, según corresponda.
- Dicho moldeo se realiza en seis capas de igual espesor aplicando el principio de subcompactación [6] con el objetivo de lograr una densidad uniforme. Este principio establece que, considerando que las capas iniciales recibirán mayor

compactación al compactarse las capas finales, a la primera capa se la deberá compactar al 95 % de la densidad buscada, ya que a medida que se realicen las siguientes capas se alcanzará el 100 %. Esto se aplica a las capas sucesivas, las cuales serán compactadas a un 96 %, 97 %, 98 %, 99 % y 100 % de la densidad buscada.

- Desmolde por apertura del molde. Esto es una diferencia respecto los suelos Tipo 2 en donde el desmolde se realiza deslizando la probeta por el interior del molde mediante un gato hidráulico, o algún sistema análogo, dado por las complicaciones en tal sentido que acarrear las dimensiones de las probetas en cuestión (imagen superior izquierda de la Figura 6).
- Colocación de la membrana de latex, habiendo sido enrollada en su extremo superior, haciéndola desenrollar a medida que se cubre la probeta.



Probeta



Sobremolde



Píson



Molde Base

Figura 6. Elementos para la compactación del suelo Tipo 1

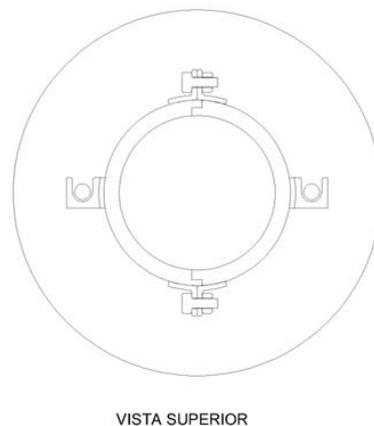
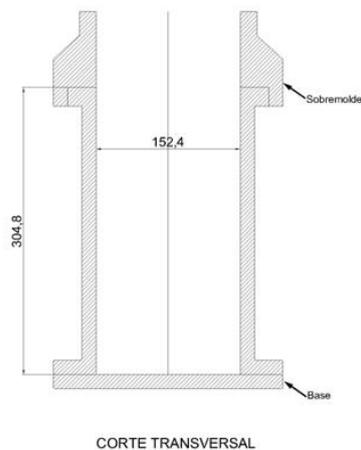


Figura 7. Molde de compactación suelo Tipo 1

Referencias

- [1] AASHTO T 307-99, "Determining the resilient modulus of soils and aggregate materials"; (2003).
- [2] Groeger, J. L., Rada, G. R., and Lopez, A., "AASHTO T307 – Background and Discussion," Resilient Modulus Testing for Pavement Components, ASTM STP 1437, G. N. Durham, W. A. Marr, and W. L. De Groff, Eds., ASTM International, West Conshohocken, PA, 2003.
- [3] Rada, G. R., Groeger, J. L., Schmalzer, P. N., and Lopez, A., "Resilient Modulus Testing of Unbound Materials: LTPP's Learning Experience," Resilient Modulus Testing for Pavement Components, ASTM STP 1437, G. N. Durham, W. A. Marr, and W. L. De Groff, Eds., ASTM International, West Conshohocken, PA, 2003.
- [4] Dr. Erol Tutumluer, Associate Professor of Civil Engineering, "Testing of Unbound Aggregates and Subgrade Soils at the University of Illinois", 1205 Newmark CE Lab., MC-250, University of Illinois at Urbana-Champaign, Urbana, IL 61801.
- [5] D. Kim, J. Ryeol Kim, Resilient behavior of compacted subgrade soils under the repeated triaxial test; Construction and Building Materials 21, 2007.
- [6] Guide for Mechanistic-Empirical Design of new and rehabilitated pavement structures, NCHRP, Chapter 2- Material Characterization, 2004.