

# PROPIEDADES RESILIENTES DE LOS SUELOS DEL EX-LAGO DE TEXCOCO

ALEXANDRA OSSA, CÉSAR LERMA Y MARIO FLORES

Dentro de la ingeniería de pavimentos, el esfuerzo ocasionado por el rodaje de vehículos es pequeño en comparación con la resistencia de los materiales empleados, sin embargo, este esfuerzo es aplicado un gran número de veces produciendo deformaciones en los materiales de tipo permanente y recuperable. Para el caso particular de los materiales térreos, durante los primeros ciclos de aplicación de carga se generan deformaciones plásticas o permanentes que disminuyen debido a una densificación del material, en adelante el comportamiento de dicho material se puede considerar elástico. El término módulo de resiliencia fue introducido por primera vez en 1955, este parámetro representa la rigidez (deformabilidad) de los materiales que conforman y sobre el cual se apoya una estructura de pavimento y ha sido utilizado para predecir el comportamiento de un pavimento expuesto a cargas cíclicas representativas del paso repetido de vehículos o aeronaves.

La rigidez de los materiales pétreos y de los suelos de subrasante en pavimentos es caracterizada por el módulo resiliente (MR) el cual se define como la relación entre el esfuerzo desviador cíclico ( $\sigma_d$ ) y la deformación recuperable ( $\epsilon_r$ ).

En la etapa experimental esta investigación evaluó el módulo resiliente, MR de 3 muestras de suelo de 7 cm de diámetro y 15 cm de altura provenientes del ex-Lago de Texcoco extraídas a una profundidad promedio de 1.5 metros. Dicho suelo se caracteriza por ser altamente deformable y tener baja resistencia al esfuerzo cortante. Debido a que los niveles de esfuerzos desviadores cíclicos definidos por la norma AASHTO T 307-99 para la determinación del módulo resiliente resultaba cercanos y en algunos casos alcanzaban a los esfuerzos en los cuales los suelos del sitio presentan la condición de falla, se diseñó una nueva secuencia de esfuerzos que permite evaluar el comportamiento resiliente de los suelos del ex-Lago de Texcoco de manera adecuada, la cual se presenta en la Tabla 1.

Con el fin de conocer los valores del módulo resiliente de las muestras de suelo, se realizaron pruebas triaxiales cíclicas de acuerdo a la norma AASHTO T- 307 en las cuales se aplicó una secuencia de esfuerzos desviadores cíclicos de tipo Haversiano tal como la que se describe en la Tabla 1. Para ello se utilizó el marco de carga y la cámara triaxial automatizada del Laboratorio de Vías Terrestres (ver Figura 1). A fin de estimar las propiedades resilientes del suelo, bajo condición *in situ* y bajo diferentes niveles de esfuerzo, se realizaron pruebas de carga controlada bajo condiciones no consolidadas-no drenadas (UU) a diferentes presiones de confinamiento  $\sigma_3$ . Posteriormente, las probetas de suelo se saturaron y consolidaron a un esfuerzo efectivo promedio de 40 kPa. Una vez que se disipó el exceso de presión de poro, se determinó el módulo resiliente de la probeta sin permitir el drenaje (condición CU). Este proceso se repitió para cada esfuerzo efectivo promedio indicado en la Figura 2. En dicha figura se observa la secuencia de esfuerzos efectivos promedio  $\sigma'$ , aplicados en la probeta, la cual se divide en tres etapas de consolidación correspondientes a las etapas en las que el suelo se encuentra en estado normalmente consolidado (puntos A, D y G). Cada etapa de consolidación tiene una

Secuencia	$\sigma^*$ kPa	$\sigma_{ciclico}$ kPa	$\sigma_{contacto}$ kPa	No. de Ciclos
0	41.4	5.10	0.51	500-1000
1	41.4	2.55	0.26	100
2	41.4	5.10	0.51	100
3	41.4	7.65	0.77	100
4	41.4	10.20	1.02	100
5	41.4	12.75	1.27	100
6	27.6	2.55	0.26	100
7	27.6	5.10	0.51	100
8	27.6	7.65	0.77	100
9	27.6	10.20	1.02	100
10	27.6	12.75	1.27	100
11	13.8	2.55	0.26	100
12	13.8	5.10	0.51	100
13	13.8	7.65	0.77	100
14	13.8	10.20	1.02	100
15	13.8	12.75	1.27	100

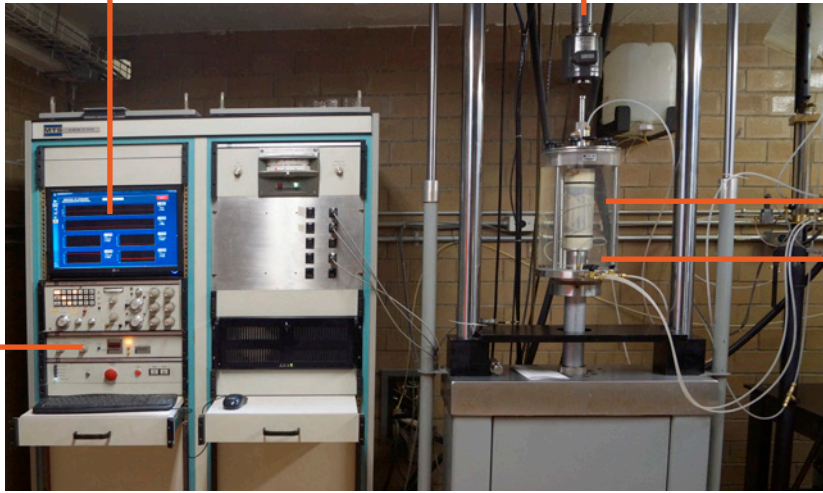
$\sigma^*$  = Presión de cámara

Tabla 1. Secuencia de prueba para arcillas del ex-Lago de Texcoco

Programa para adquisición de datos

Pistón hidráulico

Panel de control



Cámara triaxial

Celda de carga sumergible

Figura 1. Marco de carga y celda triaxial automatizada del Laboratorio de Vías Terrestres

etapa de descarga y de recarga equivalente a una relación de sobre consolidación (OCR) de 2 y 1.5.

En las Figuras 3 a 5, se presentan los resultados de las pruebas de módulo resiliente llevadas a cabo en las muestras 2.1, 2.2 y 2.3 para diferentes condiciones de esfuerzo desviador y bajo condiciones no consolidadas-no drenadas (UU) y consolidadas-no drenadas (CU). Dichos resultados indican que los valores del módulo resiliente de los suelos del ex-Lago de Texcoco a profundidades someras son muy bajos y varían entre 2 y 5 MPa. Así mismo, ante un incremento de esfuerzo efectivo dichos valores tienden a aumentar pero continúan siendo bajos. Dichas figuras permiten identificar además, que en el rango de esfuerzos desviadores cíclicos evaluados, no se presenta una variación significativa en los módulos de resiliencia. De igual forma, se observa en cada una de las etapas de prueba llevadas a cabo bajo condiciones consolidadas que los valores del módulo de resiliencia no presentan cambios significativos en cada secuencia de carga y descarga, lo cual obedece a que cuando el suelo pasa de un estado a otro (p.e. puntos A, B, C), no experimenta cambios volumétricos significativos.

En esta investigación se llevaron a cabo pruebas de módulo de resiliencia en tres muestras de suelo provenientes del ex-Lago de Texcoco, las cuales fueron sometidas a diferentes niveles de esfuerzo. Los resultados de estas pruebas indican que los suelos presentan valores del módulo resiliente en

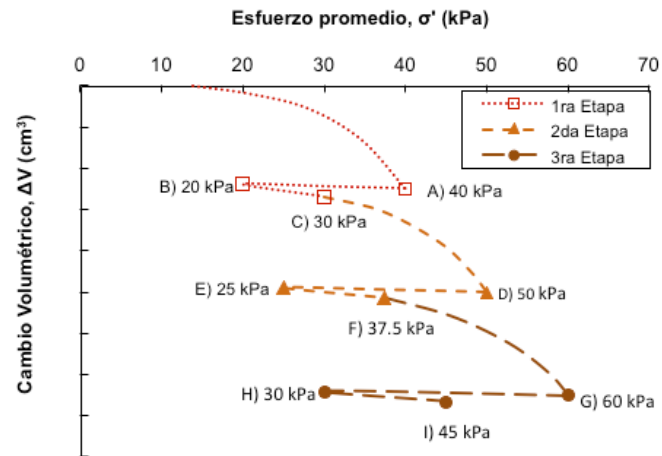
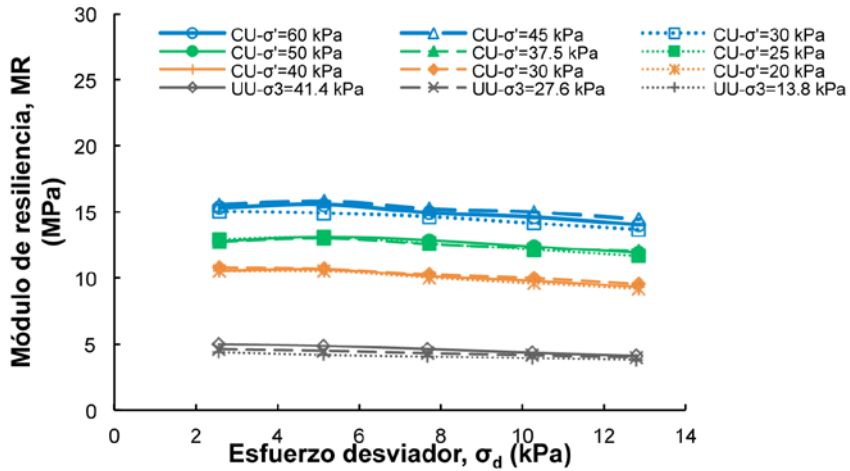


Figura 2. secuencia de esfuerzos efectivos promedio ( $\sigma'$ ) aplicados en el ensayo

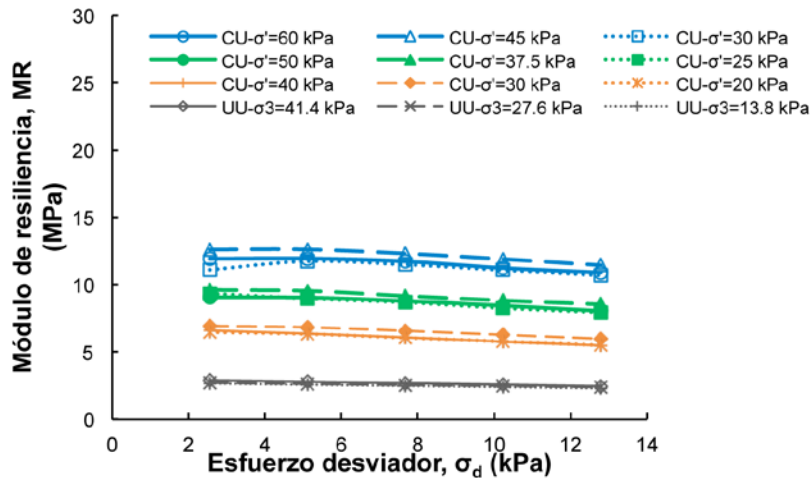
condiciones no consolidadas no drenadas bajos, que varían entre 2 a 5 MPa, los cuales incrementan conforme aumenta el esfuerzo efectivo del suelo debido a la disminución en la relación de vacíos que experimenta el material. No obstante, pese al cambio en la rigidez que sufre el material por efecto de la consolidación, su deformabilidad continua siendo alta en comparación con otro tipo de suelos, condición que deberá tomarse en cuenta en la proyección de vías aéreas o carreteras en el sitio de estudio.

Figura 3. Resultados de pruebas de módulo de resiliencia en muestra 2.1



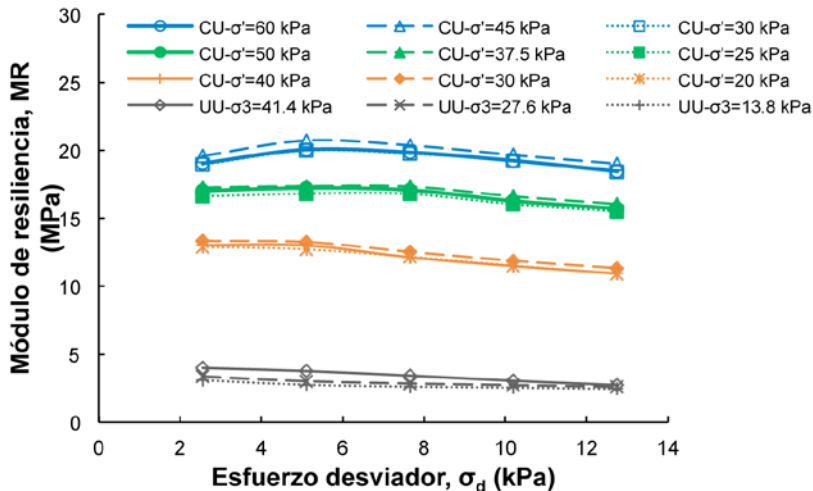
MH  
 LL = 261%  
 LP = 109.9%  
 IP = 151.7%  
 $G_s = 2.7\%$   
 $S_w = 95.8\%$   
 $w = 190.7\%$   
 $e_0 = 5.46$

Figura 4. Resultados de pruebas de módulo de resiliencia en muestra 2.2



MH  
 LL = 177.2%  
 LP = 79.9%  
 IP = 97.3%  
 $G_s = 3.1\%$   
 $S_w = 99.9\%$   
 $w = 239.7\%$   
 $e_0 = 7.38\%$

Figura 5. Resultados de pruebas de módulo de resiliencia en muestra 2.3



MH  
 LL = 115.5%  
 LP = 57.6%  
 IP = 57.9%  
 $G_s = 2.8\%$   
 $S_w = 94.8\%$   
 $w = 111.8\%$   
 $e_0 = 3.29\%$