



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ingeniería



**“CATÁLOGO DE MÓDULOS DE RESILIENCIA PARA SUELOS FINOS
(FASE I. MATERIALES DE QUERÉTARO Y GUADALAJARA)”**

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de:

INGENIERO CIVIL

Presenta:

González Rufino José Luis

Dirigido por:

Dra. Natalia Pérez García

Centro Universitario, Querétaro, Qro., 2014

RESUMEN

El parámetro módulo de resiliencia (M_r) ha cobrado bastante importancia en el área de diseño de pavimentos y más en la actualidad en la que se están proponiendo los métodos de diseño empírico-mecanicistas. En este trabajo se llevó a cabo la determinación de este parámetro para 17 suelos, algunos clasificados como CH, CL, ML, MH, SM y SC. Los valores de módulo se determinaron para 6 condiciones de compactación (en el óptimo, 2% por debajo del óptimo y 2% por arriba del óptimo; tanto para la prueba Proctor modificada como para la estándar). De los resultados se observó que la forma que propone Brown (1996) para la presentación de los resultados de módulo de resiliencia puede ser más adecuada puesto que es un modelo tipo potencial.

Palabras Clave: Módulo de Resiliencia, características de compactación, diseño de pavimentos.

A Melina González

AGRADECIMIENTOS

A mis padres y hermano por su apoyo.

A la mejor investigadora del mundo mundial, la Dra. Natalia Pérez García.

Al Dr. Edgar Rivas Araiza por su ayuda.

A mis sinodales, el Dr. Omar Chávez Alegría, M. en C. Darío Hurtado Maldonado, Dr. José Jesús Alonso Mota y M. en C. José Carlos Sotero Mendoza Pérez.

Al Instituto Mexicano del Transporte, así como su personal; Alfonso Pérez Salazar, Miguel Ángel Cervantes de Montoya, Mario Pérez Chapoy, Daniel Lavariega y Paul Garnica Anguas.

ÍNDICE

RESUMEN	II
AGRADECIMIENTOS.....	IV
ÍNDICE	V
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
ÍNDICE DE TABLAS.....	X
NOMENCLATURA.....	XI
INTRODUCCIÓN.....	XII
DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN.....	XII
OBJETIVOS DEL TRABAJO.....	XIII
HIPÓTESIS DE TRABAJO	XIV
METODOLOGÍA	XIV
CAPÍTULO 1 ANTECEDENTES SOBRE EL PARÁMETRO MÓDULO DE RESILIENCIA.....	1
1.1 INTRODUCCIÓN	1
1.2 ¿QUÉ ES EL MÓDULO DE RESILIENCIA?	1
1.3 FACTORES QUE AFECTAN AL MÓDULO DE RESILIENCIA DE LOS SUELOS FINOS.....	2
1.4 EVALUACIÓN DEL MÓDULO DE RESILIENCIA	4
1.4.1 <i>Determinación del módulo de resiliencia a partir de correlaciones que involucran el CBR.....</i>	<i>4</i>
1.4.2 <i>Determinación del módulo de resiliencia a partir de correlaciones que involucran otras propiedades índice.....</i>	<i>6</i>
1.4.3 <i>Valores típicos de módulo de resiliencia de registros históricos</i>	<i>14</i>
CAPÍTULO 2 EQUIPO, MATERIALES Y PROCEDIMIENTOS DE PRUEBA.....	16
2.1 INTRODUCCIÓN	16
2.2 DESCRIPCIÓN DE LOS MATERIALES UTILIZADOS	16
2.3 PROCEDIMIENTOS DE PRUEBA.....	18
2.3.1 <i>Determinación de propiedades índice y clasificación de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).....</i>	<i>18</i>
2.3.2 <i>Determinación de las características de compactación y requisitos de compactación de los especímenes de prueba</i>	<i>19</i>
2.3.3 <i>Módulo de resiliencia.....</i>	<i>21</i>

2.3.4. Resistencia a la compresión no confinada.....	37
CAPÍTULO 3 PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	39
3.1. PROPIEDADES ÍNDICE DE MATERIALES ESTUDIADOS	39
3.2. CARACTERÍSTICAS DE COMPACTACIÓN DE MATERIALES ESTUDIADOS	40
3.3. MÓDULO DE RESILIENCIA.....	43
3.3.2. Repetividad de los resultados de módulo de resiliencia	44
3.3.3. Características de los especímenes ensayados	45
3.3.4. Comparativa de los resultados de módulo de resiliencia.....	48
3.3.5. Efecto de otras variables en el valor de módulo de resiliencia.....	56
3.3.6. Base de datos de M_r en forma gráfica.....	61
3.3.7. Base de datos en tablas.....	63
3.4. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN NO CONFINADA.....	70
3.5. EVALUACIÓN DE ALGUNAS CORRELACIONES MENCIONADAS EN LA LITERATURA	72
3.5.1. JONES Y WITCZAK	72
3.5.2. ELLIOT ET AL (1988).....	73
3.5.3. FARRAR Y TURNER (1991)	75
CAPÍTULO 4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	77
CAPÍTULO 5 REFERENCIAS.....	79
ANEXO A CURVAS DE COMPACTACIÓN	83
ANEXO B CARACTERÍSTICAS DE ESPECÍMENES	92
ANEXO C GRÁFICAS PROMEDIO DE LAS PRUEBAS DE MÓDULO DE RESILIENCIA	103
ANEXO D RESISTENCIA A COMPRESIÓN NO CONFINADA	189
ANEXO E CORRELACIÓN FARRAR Y TURNER	204

Índice de figuras

Figura 1.1 Definición de módulo de resiliencia	2
Figura 1.2 Relación entre el CBR, índice de grupo y clasificación AASHTO (adaptada de ODOT, 2008).....	6
Figura 1.3 Valores típicos de M_r para suelos clasificados con el sistema AASHTO	14
Figura 1.4 Valores típicos de M_r para suelos clasificados con el sistema SUCS ..	15
Figura 2.1 Muestreo, cuarteo y almacenaje de muestras.....	17
Figura 2.2 Compactación (a) Proctor estándar (pisón de 2.5 kg y 30.5 cm de altura de caída) y (b) Próctor modificada (pisón de 4.5 kg y 45.7 cm de altura de caída)	20
Figura 2.3 Curva de compactación de la arcilla del banco La Venta. Se muestran además los puntos bajo los cuales se prepararon los especímenes de módulo de resiliencia y compresión simple.....	21
Figura 2.4 Esquema de las dimensiones de molde y pisón de compactación	22
Figura 2.5 Molde de compactación para la elaboración de los especímenes cilíndricos	23
Figura 2.6 Homogenización del material	25
Figura 2.7 (a) Material para una capa; (b) Colocación del material en el molde ...	25
Figura 2.8 Compactación del espécimen de suelo.....	26
Figura 2.9 Enrase y extracción de la probeta compactada	26
Figura 2.10 Medición y pesaje de la probeta compactada	27
Figura 2.11 Envoltura del espécimen compactado.....	27
Figura 2.12 Equipo triaxial cíclico.....	29
Figura 2.13 Unidad de regulación de presión.....	30
Figura 2.14 Componentes de la unidad de aplicación de carga.....	32
Figura 2.15 Colocación de probeta en cámara triaxial	33
Figura 2.16 Colocación de membrana en el espécimen	34
Figura 2.17 Colocación del pistón y la cámara triaxial	34
Figura 2.18 Ensamble final de la probeta en el equipo triaxial cíclico	35

Figura 2.19 Carga tipo haversine	36
Figura 2.20 Patrón de carga típico en una secuencia de la prueba de módulo de resiliencia	37
Figura 2.21 Gráfica Carga axial vs tiempo proporcionada por el programa C.A.T.S	38
Figura 3.1 Localización de los suelos estudiados en la carta de plasticidad.....	40
Figura 3.2 Curvas de compactación Proctor estándar de los materiales estudiados	41
Figura 3.3 Curvas de compactación Proctor modificada de materiales estudiados	41
Figura 3.4 Curva típica de una prueba de módulo de resiliencia (Arcilla “La Venta”)	43
Figura 3.5 Curva típica de módulo de resiliencia para una arena “SM”.....	44
Figura 3.6 Resultados de módulo de resiliencia de tres muestras similares	45
Figura 3.7 Comparación de los valores de M_r para tres arcillas que tienen porcentaje de finos similares	48
Figura 3.8 Comparación entre arcillas de La Venta (87.0%), Santa Rosa (87.6%) y Arcilla IMT (86.0%).....	49
Figura 3.9 Comparación entre arcillas La Cañada (81.4%) y Pedro Escobedo (79.4%) con porcentaje de finos similares.....	50
Figura 3.10 Comparación entre arcillas Santa Rosa, La Cañada y arcilla roja de Jalisco	51
Figura 3.11 Comparación entre arcillas con límite líquido similar (La Venta, Pedro Escobedo y Arcilla IMT)	51
Figura 3.12 Comparación entre arcillas con índice de plasticidad similar (La Cañada y Arcilla roja de Jalisco)	52
Figura 3.13 Comparación entre arcillas con índice de plasticidad similar (La Venta, Pedro Escobedo y Laderas de San Pedro)	53
Figura 3.14 Módulos de resiliencia de materiales con clasificación “MH”	54
Figura 3.15 Módulos de resiliencia de materiales con clasificación “ML”	54
Figura 3.16 Comparación de limos de T. de Autobuses y Misha	55

Figura 3.17 Módulos de resiliencia de materiales con clasificación “SM”	56
Figura 3.18 Efecto del contenido de agua en el módulo resiliente del material “La cañada”	57
Figura 3.19 Efecto del contenido de agua en el módulo resiliente del material “Aeropuerto”	57
Figura 3.20 Efecto del contenido de agua en el módulo resiliente del material “Los Cues”	58
Figura 3.21 Efecto de la energía de compactación en el módulo resiliencia del material “La venta” (contenido de agua óptimo).....	59
Figura 3.22 Efecto de la energía de compactación en el módulo resiliente del material “La Venta” (contenido de agua 2% arriba).....	59
Figura 3.23 Efecto de la energía de compactación en el módulo resiliente del material “San José” (contenido de agua óptimo).....	60
Figura 3.24 Efecto de la energía de compactación en el módulo resiliente del material “San José” (contenido de agua 2% abajo).....	60
Figura 3.25 Rangos de variación módulo de resiliencia para diferentes tipos de suelos (contenido de agua óptimo)	62
Figura 3.26 Gráfica σ_d/σ_3 versus M_r para suelos tipo CH	67
Figura 3.27 Gráfica σ_d/σ_3 versus M_r para suelos tipo CL.....	67
Figura 3.28 Gráfica σ_d/σ_3 versus M_r para suelos tipo MH.....	68
Figura 3.29 Gráfica σ_d/σ_3 versus M_r para suelos tipo ML	68
Figura 3.30 Gráfica σ_d/σ_3 versus M_r para suelos tipo SM.....	69
Figura 3.31 Efecto del contenido de agua en la resistencia a compresión no confinada.....	70
Figura 3.32 Correlación módulo de resiliencia – resistencia a la compresión no confinada.....	72

Índice de tablas

Tabla 1.1 Correlaciones que involucran el CBR (Gopalakrishnan y Thompson, 2007)	5
Tabla 1.2 Modelos para estimar el valor de M_r	11
Tabla 2.1 Resumen de los suelos utilizados y el lugar de muestreo	17
Tabla 2.2 Propiedades índice y clasificación de los suelos estudiados.....	19
Tabla 2.3 Resumen de las condiciones utilizadas para cada suelo	28
Tabla 2.4 Secuencias de aplicación para determinar el módulo resiliente (Protocolo NCHRP 1-28A).....	36
Tabla 3.1 Propiedades índice de los materiales investigados	39
Tabla 3.2 Características de compactación de los materiales utilizados (Proctor estándar y modifica).....	42
Tabla 3.3 Características de los especímenes ensayados y sus características promedio	46
Tabla 3.4 Características de los especímenes ensayados y sus características promedio (continuación).....	47
Tabla 3.5 Tabla resumen de resistencia de a la compresión no confinada.....	71
Tabla 3.6 Resultados de correlación Jones y Witczak (condición óptima)	72
Tabla 3.7 Resultados de correlación Jones y Witczak (condición 2% abajo)	73
Tabla 3.8 Resultados de correlación Jones y Witczak (condición 2% arriba)	73
Tabla 3.9 Resultados de correlación Elliot (condición óptima)	74
Tabla 3.10 Resultados de correlación Elliot (2% abajo)	74
Tabla 3.11 Resultados de correlación Elliot (2% arriba).....	75
Tabla 3.12 Propiedades de los suelos analizados	75
Tabla 3.13 Comparación entre resultados y correlación Farrar y Turner (óptimo) 76	

Nomenclatura

ASTM	American society for testing materials.
M_R	Módulo de resiliencia, en MPA.
C_c	Coeficiente de curvatura.
C_p	Presión de confinamiento, en kPa.
C_u	Coeficiente de uniformidad.
CBR	California Bearing ratio.
CL	Arcilla de baja plasticidad.
CH	Arcilla de alta plasticidad.
G_s	Gravedad específica.
LL	Límite líquido, en %.
LP	Límite plástico, en %.
ML	Limo de baja plasticidad.
MH	Limo de alta plasticidad.
PI	Índice de plasticidad, en %.
R^2	Coeficiente de correlación.
S_r	Grado de saturación, en %.
SC	Arena arcillosa
SM	Arena limosa.
SUCS	Sistema unificado de clasificación de suelos.
w	Contenido de agua, en %.
w_{opt}	Contenido de agua óptimo, en %.
γ_m	Peso volumétrico de la muestra, en kN/m^3 .
γ_d	Peso volumétrico seco máximo, en kN/m^3 .
θ	Contenido de agua volumétrico, en %.
σ_d	Esfuerzo desviador cíclico, en kPa.
σ_1	Esfuerzo principal mayor, en kPa.
σ_3	Esfuerzo de confinamiento, en kPa.
$\sigma_{máx}$	Esfuerzo desviador máximo en kPa.

Introducción

Una de las fases del diseño del pavimento es la evaluación de las respuestas del pavimento ante las cargas del tránsito, es decir, determinar los esfuerzos y las deformaciones (en posiciones críticas) que se presentan en cada uno de los materiales que conforman la estructura del pavimento y que son consecuencia de las cargas aplicadas por el tránsito. Tales respuestas sirven como parámetros de entrada en las funciones de transferencia que relacionan los esfuerzos y deformaciones con el número de cargas que puede soportar el pavimento (para ese nivel de esfuerzos o deformaciones) antes de que se alcance una condición terminal (Theyse et al., 1996).

Para poder llevar a cabo tales cálculos se utilizan los programas multicapa o de elemento finito. Una de las principales variables de entrada de estos paquetes de cómputo es el módulo de resiliencia (M_r), por tal motivo es de suma importancia que éste se determine para cada uno de los materiales que conformarán la estructura del pavimento.

Descripción del problema y justificación

Uno de los problemas a los que se enfrenta el ingeniero que diseña pavimentos es la obtención de las propiedades de los materiales requeridos en el diseño. Esta problemática se acentúa actualmente puesto que la guía de diseño empírico-mecanicista requiere una gran cantidad de datos en comparación con los que se utilizaban en las metodologías anteriores.

Una de las formas de hacer frente a esta problemática es recurrir a propiedades que ya se han publicado en la literatura. Por ejemplo, cuando se requiere el valor de módulo, éste se puede obtener de diagramas o bases de datos generados principalmente para suelos de Estados Unidos, que es el país en donde se ha generado una gran cantidad de información de investigaciones tanto de laboratorio como de tramos de prueba carreteros a los que se ha dado seguimiento durante varios años.

Cabe señalar sin embargo, que al utilizar valores de propiedades propuestos en la literatura siempre se tendrá incertidumbre sobre el diseño final del pavimento. Además, si las propiedades (en especial el módulo de resiliencia) se subestiman, se verá reflejado como un incremento en el costo del proyecto.

Por lo anterior, es recomendable que los valores de módulo de resiliencia utilizados en los diseños de pavimentos nacionales utilicen las propiedades de suelos mexicanos. Sin embargo, no todos los laboratorios de materiales en México cuentan con los equipos para llevar a cabo las pruebas de módulo de resiliencia ya que son demasiado costosos.

Es por esto que a partir del año 2013 en el Instituto Mexicano del Transporte se están llevando a cabo pruebas de módulo de resiliencia para formar las bases de datos de valores de módulo de resiliencia tanto de suelos finos como de materiales granulares. Estos se pondrán a disposición de la comunidad ingenieril involucrada en el diseño de la infraestructura carretera.

Cabe señalar que la base de datos que se muestra en este documento sólo corresponde a 18 suelos, pero en el Instituto Mexicano se sigue trabajando con otros suelos.

Objetivos del trabajo

Objetivo general

Proponer un catálogo de valores de módulo de resiliencia para suelos finos compactados.

Objetivos específicos

1. Determinar las propiedades índice de los materiales en estudio.
2. Determinar las curvas de compactación de los suelos utilizados.
3. Determinar los módulos de resiliencia de los suelos de acuerdo con el protocolo NCHRP 1-28A.
4. Proponer el catálogo de valores de módulos de resiliencia.
5. Evaluar posibles correlaciones entre propiedades índice y valores de módulo de resiliencia.

Hipótesis de trabajo

Las hipótesis nula y alternativa son las siguientes:

- Hipótesis nula: Los suelos clasificados con el mismo símbolo presentan módulos de resiliencia similares.
- Hipótesis alternativa: Los suelos con clasificación similar presentan módulos de resiliencia diferentes.

Metodología

Para preparar la base de datos de módulo de resiliencia, la primera fase de la investigación fue llevar a cabo el muestreo de los suelos a utilizar. Cabe señalar que para el caso de esta investigación sólo se utilizaron 18 suelos.

Después del muestreo, se determinaron todas las propiedades índice y características de compactación. Esta parte del proceso de investigación fue importante porque estas propiedades se utilizaron al final para poder evaluar posibles correlaciones.

De forma subsecuente se llevó a cabo la preparación de los especímenes. Éstos se compactaron bajo diferentes condiciones:

- Especímenes preparados en el óptimo de compactación con respecto a la prueba proctor estándar,
- Especímenes preparados con un contenido de agua 2% inferior al contenido de agua óptimo, respecto a la prueba proctor estándar,
- Especímenes preparados con un contenido de agua 2% por arriba del contenido de agua óptimo, respecto a la prueba proctor estándar,
- Especímenes preparados en el óptimo de compactación con respecto a la prueba proctor modificada,
- Especímenes preparados con un contenido de agua 2% inferior al contenido de agua óptimo, respecto a la prueba proctor modificada,
- Especímenes preparados con un contenido de agua 2% por arriba del contenido de agua óptimo, respecto a la prueba proctor modificada.

Después de preparar los especímenes se llevó a cabo la prueba de módulo de resiliencia para finalmente conformar la base y realizar el análisis.

Capítulo 1

Antecedentes sobre el parámetro módulo de resiliencia

1.1 Introducción

Para llevar a cabo el diseño de toda obra de ingeniería civil se requiere primeramente conocer las sollicitaciones a la que dicha estructura estará sujeta de tal forma que las propiedades de diseño se determinen bajo las mismas condiciones.

En el caso de los pavimentos, éstos estarán sujetos a condiciones climáticas y a las cargas aplicadas por los vehículos que circularán sobre la superficie. En este caso, las propiedades deberán ser determinadas bajo condiciones de carga cíclica. En los siguientes incisos se describe la propiedad que describe el comportamiento de los materiales usados en las capas no estabilizadas de un pavimento (base, subbase y subrasante) y la forma de determinarlo.

1.2 ¿Qué es el módulo de resiliencia?

El diseño de pavimentos empírico-mecanicista hace uso de los análisis elásticos lineales para determinar la respuesta del pavimento ante las cargas del tránsito. Este tipo de análisis puede ser utilizado con suficiente confianza cuando se trata de pavimentos en donde la carpeta asfáltica es de espesor considerable, sin embargo, cuando ésta es delgada y la respuesta del pavimento ante cargas está dominada por las propiedades resilientes de los materiales granulares y los suelos de las capas inferiores, se deberá de tomar en cuenta el comportamiento no lineal de dichos materiales (Brown, 1996).

En vista de las diferencias entre el comportamiento real de pavimentos y el idealizado, en los años cincuenta se introdujo el parámetro módulo de resiliencia (M_r) (Hveem, 1955; Seed et al., 1962, citados por Brown, 1966), el cual se define como la magnitud del esfuerzo desviador repetido en compresión triaxial dividido por la deformación axial recuperable y se expresa como sigue:

$$Mr = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{\varepsilon_{axial}} = \frac{\sigma_d}{\varepsilon_{axial}} \quad 1.1$$

En la Figura 1.1 se muestra de forma esquemática la definición de módulo de resiliencia, es decir, durante los ensayos de carga repetida se observa que después de un cierto número de ciclos de carga, el módulo llega a ser aproximadamente constante y el comportamiento del suelo puede asumirse como elástico. Al módulo que permanece constante se le llama módulo de resiliencia (Figura 1.1).

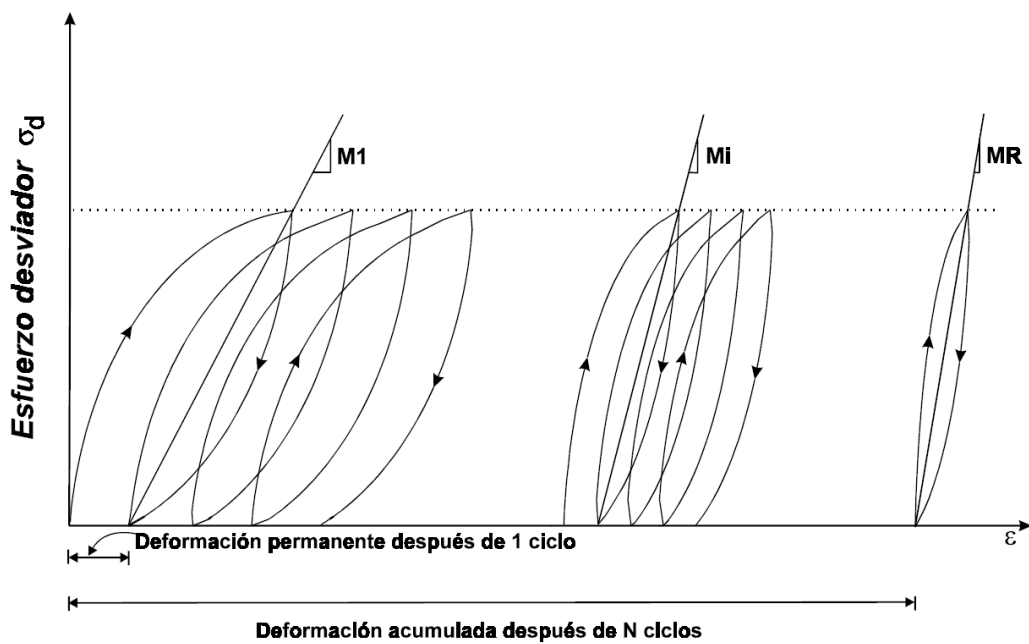


Figura 1.1 Definición de módulo de resiliencia

1.3 Factores que afectan al módulo de resiliencia de los suelos finos

Para determinar el efecto que tienen algunos factores en el módulo de resiliencia se han llevado a cabo varios estudios. A continuación se resumen algunos de los factores reportados en la literatura.

Condiciones físicas del suelo

El módulo de resiliencia de los suelos de subrasante se reduce con el incremento en contenido de agua o grado de saturación (Barksdale 1972; Fredlund 1977; Drumm et al. 1997; Huang, 2001; Butalia 2003, y Heydenger 2003, citados por Titi et al. 2006).

Drumm et al. (2006) (citado por Titi et al. 2006) estudiaron la variación del módulo de resiliencia con un incremento en el contenido de agua posterior a la compactación. De su estudio se encontró que el módulo se redujo cuando se incrementó el grado de saturación.

Por otro lado, el peso volumétrico también es una de las variables que afecta el M_r y ha sido estudiado por diferentes investigadores (Smith y Nair 1973, Chou 1976, Allen 1996, Drumm 1997 citados por Titi et al. 2006). Los resultados indican que un incremento en densidad incrementa el módulo de resiliencia, sin embargo, el efecto es menor que el del contenido de agua (Rada y Witczak 1981 citado por Titi et al. 2006).

Condiciones de esfuerzo

El M_r es una propiedad que depende del estado de esfuerzos. Un incremento en el esfuerzo desviador resulta en un decremento en módulo de resiliencia de suelos cohesivos y un incremento en el confinamiento lo aumenta.

Rada y Witczak (1981) encontraron que la duración del esfuerzo, la frecuencia, y el número de repeticiones para alcanzar la deformación resiliente de equilibrio tienen muy poco efecto en el módulo de resiliencia. Con respecto al último factor, Pezo et al (1992) y Nazarian y Filiberti (1993) reportaron que el condicionamiento del espécimen afecta el módulo de resiliencia e indicaron que la

historia de esfuerzos juega un papel clave en la evaluación del módulo (Titi et al. 2006).

Otros factores

Otros factores que tienen influencia en el módulo son: Tipo de suelo, cantidad de material fino y límites de consistencia, método de preparación de la muestra, tamaño de la muestra, granulometría, ciclos de congelamiento y deshielo, etc. Por ejemplo, Thompson y Robnett (1979) indicaron que suelos con un índice plástico bajo, bajo límite líquido, bajo valor de peso específico relativo de sólidos y alto contenido de materia orgánica proporcionan como resultado módulos de resiliencia bajos.

Seed et al. (1962) reportó que la compactación estática da como resultado módulos de resiliencia mayores a los obtenidos cuando se compacta por medio de amasado.

1.4 Evaluación del módulo de resiliencia

El módulo de resiliencia puede ser determinado de tres formas (Malla, R.B y Joshi, S., 2007):

1. Con pruebas de laboratorio de carga repetida
2. De correlaciones con propiedades índice, y
3. Retro calculando el valor de pruebas no destructivas

En este inciso sólo se resume el segundo; el primer caso se presenta en el capítulo de procedimientos de prueba y el último no se documenta por no ser el alcance del trabajo.

1.4.1 Determinación del módulo de resiliencia a partir de correlaciones que involucran el CBR

El M_r es una propiedad que en los últimos años ha sido ampliamente estudiada. Su determinación como fue inicialmente propuesto fue a partir de una

prueba de carga cíclica de laboratorio, sin embargo, en la literatura se menciona que determinarlo de esta forma requiere de equipos costosos y personal especializado. Por tal motivo, han sido varias las investigaciones en las que se han propuesto correlaciones para estimar este parámetro. En la Tabla 1.1 se resumen algunas de las correlaciones que involucran el CBR.

Tabla 1.1 Correlaciones que involucran el CBR (Gopalakrishnan y Thompson, 2007)

Relación	Referencia
$M_r(ksi) = 1.42CBR$ Para suelos con CBR menores a 10 (1.2)	Heukelon y Klomp (1962)
$M_r(psi) = 5409CBR^{0.71}$ (1.3)	Cuerpo de Ingenieros de Estados Unidos
$M_r(psi) = 3000CBR^{0.65}$ (1.4)	South African Council on Scientific and Industrial Research (CSIR)
$CBR = 0.62s_u(psi)$ (1.5)	Black (1961) y Duncan y Buchignani (1976)
$M_r = 100 - 500s_u$ (1.6)	
$M_r = 500 - 1500s_u$ (1.7)	
$M_r(psi) = 160 \text{ a } 2420CBR$ (1.8)	
PI > 30 PI < 30 Donde s_u = resistencia al corte no drenada y PI = índice plástico	
$M_r(psi) = 2555CBR^{0.64}$ (1.9)	Powell et al. (1984) y NCHRP (2004) Transport and Road Research Laboratory (TRRL) y M-E Pavement Design Guide-Level 2 (USA)
$M_r(psi) = 3116CBR^{0.67797}$ (1.10)	Webb y Campbell (1986) Departamento de Transporte de Georgia
$M_r(psi) = 10^{(0.85\log(CBR)+2.97)}$ (1.11)	Newcomb y Birgisson (1999) Departamento de Transporte de Alabama
$\log M_r(ksi) = 1.0016 + 0.043(CBR) - 1.9557\left(\frac{\log \sigma_d}{CBR}\right) - 0.1705\log \sigma_d$ (1.12)	Lofti (1984) y Lofti et al (1988)

El Departamento de Transporte de Ohio utiliza otra correlación para obtener el módulo de resiliencia en función del CBR, sin embargo, el valor de CBR lo

obtienen mediante un nomograma que relaciona este parámetro con el índice de grupo (Figura 1.2).

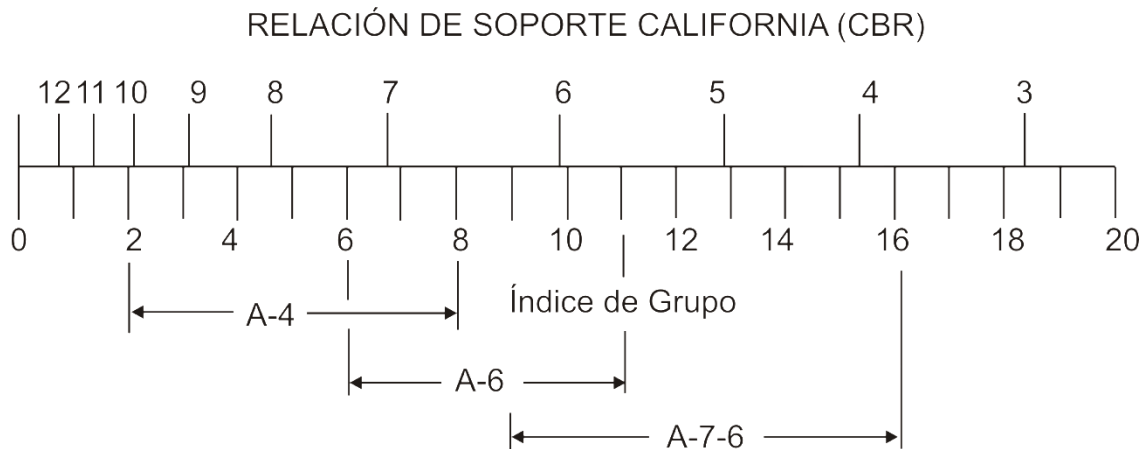


Figura 1.2 Relación entre el CBR, índice de grupo y clasificación AASHTO (adaptada de ODOT, 2008)

Una vez que se tiene el CBR, entonces el M_r se obtiene con la siguiente expresión:

$$M_r (ksi) = 1.2 \times CBR \quad (1.13)$$

1.4.2 Determinación del módulo de resiliencia a partir de correlaciones que involucran otras propiedades índice

Jones y Witczak (1977) desarrollaron dos correlaciones para suelos tipo A-7-6 (suelos de subrasante). Éstas se obtuvieron a partir de datos de pruebas triaxiales en carga repetida; aunque los esfuerzos desviadores (σ_d) utilizados fueron 6, 12 y 18 psi y los de confinamiento (σ_3) fueron 2, 4, 6, 8 y 12 psi, la correlación sólo se desarrolló para $\sigma_d = 6$ psi y $\sigma_3 = 2$ psi. Las expresiones 1.14 y 1.15 se obtuvieron para muestras remoldeadas (se utilizaron 10 muestras) e inalteradas (se utilizaron 97 muestras de campo), respectivamente.

$$\log M_r (ksi) = -0.1328w + 0.0134S + 2.319 \quad (1.14)$$

$$R^2 = 0.94$$

$$\log M_r (ksi) = -0.1111w + 0.0217S + 1.179 \quad (1.15)$$

$$R^2 = 0.45$$

Donde:

w = Contenido de agua;

S = Grado de saturación.

Por su parte Rahim (2005) también llevó a cabo un estudio sobre el módulo de resiliencia para determinar un modelo para estimar el módulo de resiliencia. En su estudio se extrajeron muestras (con tubo Shelby) de 5 secciones de pavimento. Los intervalos de muestreo de cada sección fueron de 61 m y la profundidad fue de 1.5 m.

Las pruebas de módulo de resiliencia se llevaron a cabo con el método AASHTO TP46 (1993). Después de obtener los resultados de M_r , de cada gráfica se obtuvo el valor para un esfuerzo desviador de 37 kPa y esfuerzo de confinamiento de 14 kPa. Este estado de esfuerzos se determinó de un análisis multicapa. Con estos datos se llevó a cabo un análisis y se determinó que el mejor modelo para predecir el M_r para suelos finos se expresa de la siguiente forma:

$$M_r = 17.29 \left[\left(\frac{LL}{w_c + 1} \times \gamma_{dr} \right)^{2.18} + \left(\frac{\#200}{100} \right)^{-0.609} \right] \quad (1.16)$$

$$R^2 = 0.70$$

Y para suelos arenosos:

$$M_r = 324.14 \left[\left(\frac{\gamma_d}{w_c + 1} \right)^{0.8998} \left(\frac{\#200}{\log c_u} \right)^{-0.4652} \right] \quad (1.17)$$

$$R^2 = 0.75$$

En donde:

LL = Límite líquido (%)

w_c = Contenido de agua (%)

#200 = Material que pasa la malla No. 200 (%)

γ_{dr} = Densidad seca/densidad seca máxima

γ_d = Densidad seca (kN/m^3)

c_u = Coeficiente de uniformidad

R^2 = Coeficiente de determinación

Elliot et al (1988) (citado por Mokwa y Akin, 2009), investigó el efecto de la compactación, humedad, congelamiento-deshielo y combinación de esfuerzos desviadores y confinamiento, en el módulo de resiliencia de 15 suelos de subrasante de Arkansas. Los suelos se clasificaron como A-4, A-6, A-7 y un suelo A-2. La pruebas triaxiales de carga repetida se llevaron a cabo con $\sigma_3 = 0, 3$ y 6 psi, mientras que el σ_d varió entre $1, 2, 4, 8$ y 10 psi. Estos autores propusieron dos expresiones de módulo resiliencia que se expresaron como:

Para $\sigma_d = 4$ psi

$$M_r (ksi) = 11.21 + 0.17(\% \text{clay}) + 0.20(PI) - 0.73w_{opt} \quad (1.18)$$

$$R^2 = 0.80$$

Pasa $\sigma_d = 8$ psi

$$M_r (ksi) = 9.81 + 0.13(\% \text{clay}) + 0.16(PI) - 0.60w_{opt} \quad (1.19)$$

$$R^2 = 0.77$$

Farrar y Turner (1991) (citado por Mokwa y Akin, 2009), desarrollaron dos correlaciones para suelos arcillosos (A-6 y A-7-6) y limosos (A-4) de Wyoming. Sus pruebas de módulo de resiliencia las llevaron a cabo de acuerdo con la norma AASHTO T274; los esfuerzos de confinamiento fueron $0, 3$ y 6 psi, mientras que los

esfuerzos desviadores fueron 4, 8 y 10 psi. Los especímenes se compactaron por medio de amasado bajo las siguientes condiciones: con una densidad correspondiente a 1% abajo del óptimo; con la densidad correspondiente a 2% por arriba del contenido de agua óptimo y especímenes con humedad y densidad para el valor R correspondiente a una presión de exudación de 300 psi. Los especímenes fueron de 4 in de diámetro y 8 in de longitud y se compactaron en cuatro capas.

Estos investigadores desarrollaron dos correlaciones, pero en este documento solo se presenta la siguiente:

$$M_r(ksi) = 30.280 - 0.359S - 0.325\sigma_d + 0.237\sigma_c + 0.086(PI) + 0.107(p\#200) \quad (1.20)$$

Donde:

S = Grado de saturación

PI = Índice de plasticidad

p#200 = Porcentaje de material que pasa la malla No. 200

σ_d = Esfuerzo desviador

σ_c = Esfuerzo de confinamiento

Seed (1962) (citado por Ping y Ling, 2007) evaluó la influencia del contenido de agua en el módulo de resiliencia de muestras inalteradas. Basado en sus resultados propuso las dos siguientes expresiones para determinar el M_r :

$$M_r = 27.06 - 0.006^\theta \quad \text{para } \gamma_d > 100 \text{ pcf} \quad (1.21)$$

$$M_r = 18.18 - 0.004^\theta \quad \text{para } \gamma_d < 100 \text{ pcf} \quad (1.22)$$

En donde:

M_r = Módulo de resiliencia, ksi

θ = Contenido de agua volumétrico, %

γ_d = Peso volumétrico seco, pcf

Por otro lado, en 1985 Carmichael y Stuart obtuvieron más de 3300 datos de prueba de módulo de resiliencia de 250 diferentes tipos de suelos con lo cual se planteó el siguiente modelo para suelos finos:

$$M_r = 37.431 - 0.4566(PI) - 0.6179(w_c) - 0.1424(P_{200}) + 0.179(\sigma_3) - 0.3248(\sigma_d) + 36.722(CH) + 17.097(MH) \quad (1.23)$$

Donde:

PI = Índice de plasticidad, %

P_{200} = Porcentaje de material que pasa la malla No. 200, %

σ_3 = Presión de confinamiento, psi

σ_d = Esfuerzo desviador, psi

CH = 1 para suelos CH y 0 en otro caso (para MH, ML o CL)

w_c = Contenido de agua, %

De acuerdo a las investigaciones de Thompson y LaGrow (1992) (citado por Ping y Ling, 2007), el módulo de resiliencia en la condición óptima se puede determinar como:

$$M_{r(opt)} = 4.46 + 0.098(\%clay) + 0.119(PI) \quad (1.24)$$

Donde:

$M_{r(opt)}$ = Módulo de resiliencia a contenido de agua óptimo y 95% de la prueba AASHTO T99, ksi.

%clay = Porcentaje de partículas menores a 0.002 mm

PI = Índice de plasticidad

Ping y Zhang (2004) (citados por Ping y Ling, 2007) propusieron un modelo para suelos de subrasante granulares comúnmente usado en Florida, Estados Unidos. Los suelos utilizados en el desarrollo del modelo contenían porcentajes de

finos variando entre 8 a 24% (suelos A-3 y A-2-4); la compactación de las muestras de suelo se llevó a cabo con la prueba AASHTO T-180. Para evaluar el modelo solo se utilizaron los valores de módulo obtenidos con un esfuerzo de confinamiento de 2 psi y 6.7 psi de esfuerzo desviador. El modelo lo expresaron como:

$$\ln M_r = 2.01 - 0.041w + 0.0108\rho + 0.0243C_u - 0.119C_c \quad (1.25)$$

$$R^2 = 54.2\%$$

Donde:

M_r = Módulo de resiliencia para $\sigma_3 = 2$ psi, ksi

w = Contenido de agua gravimétrico, %

ρ = Peso volumétrico seco máximo, pcf

α = Porcentaje de arcilla, %

C_c = Coeficiente de curvatura

C_u = Coeficiente de uniformidad

Ping y Ling (2007) incrementaron la base de datos de módulo de resiliencia de suelos de Florida y determinaron otros tres modelos para estimar el M_r (Tabla 1.2).

Tabla 1.2 Modelos para estimar el valor de M_r

Tipo de suelo	Modelo de regresión múltiple
A-3	$\ln M_r = 9.5 - 0.161C_c - 0.0123w + 71.4k$ (1.26)
A-2-4	$\ln M_r = 9.87 - 0.0593C_c + 0.0118C_u - 0.0414w + 0.0337clay$ (1.27)
A-3 y A-2-4	$\ln M_r = 9.76 - 0.0602C_c + 0.121C_u - 0.0297w + 0.0303clay + 6.7k$ (1.28)

M_r = Módulo de resiliencia para presión de confinamiento de 2 psi, psi; C_c = Coeficiente de curvatura; C_u = Coeficiente de uniformidad; w = Contenido de agua gravimétrico (0-100); Clay = Porcentaje de arcilla (0-100)

k = Coeficiente de permeabilidad en cm/seg.

Yau y Von Quintus (2002) trataron de establecer un modelo para diferentes tipos de materiales, sin embargo, en este caso se utilizó el modelo constitutivo indicado por la guía AASHTO 2002 (ecuación 1.29) y lo que se correlacionó con propiedades índice fueron los valores de las constantes k_1 , k_2 y k_3 de acuerdo a las ecuaciones que se muestran a continuación:

$$M_r = k_1 P_a \left(\frac{\theta}{P_a} \right)^{k_2} \left[\left(\frac{\tau_{oct}}{P_a} \right) + 1 \right]^{k_3} \quad (1.29)$$

Para suelos arenosos:

$$k_1 = 3.2868 - 0.0412P_{3/8} + 0.0267P_4 + 0.0137(\% \text{ clay}) + 0.0083LL - 0.0379w_{opt} - 0.0004\gamma_s \quad (1.30)$$

$$k_2 = 0.5670 + 0.0045P_{3/8} - 2.98 \times 10^{-5} P_4 - 0.0043(\% \text{ silt}) - 0.0102(\% \text{ clay}) - 0.0041LL \\ 0.00014w_{opt} - 3.41 \times 10^{-5} \gamma_s - 0.4582 \left(\frac{\gamma_s}{\gamma_{opt}} \right) + 0.1779 \left(\frac{w_c}{w_{opt}} \right) \quad (1.31)$$

$$k_3 = -3.5677 + 0.1142P_{3/8} - 0.0839P_4 - 0.1249P_{200} + 0.1030(\% \text{ silt}) + 0.1191(\% \text{ clay}) \\ 0.0069LL - 0.0103w_{opt} - 0.0017\gamma_s + 4.3177 \left(\frac{\gamma_s}{\gamma_{opt}} \right) - 1.1095 \left(\frac{w_c}{w_{opt}} \right) \quad (1.32)$$

Para suelos limosos:

$$k_1 = 1.0480 + 0.0177(\% \text{ clay}) + 0.0279PI - 0.037w_c \quad (1.33)$$

$$k_2 = 0.5097 - 0.0286PI \quad (1.34)$$

$$k_3 = -0.2218 + 0.0047(\%silt) + 0.0849PI - 0.1399w_c \quad (1.35)$$

Para suelos arcillosos:

$$k_1 = 1.3577 + 0.0106(\%clay) - 0.0437w_c \quad (1.36)$$

$$k_2 = 0.5193 - 0.0073P_4 + 0.0095P_{40} - 0.0027P_{200} - 0.003LL - 0.0049w_{opt} \quad (1.37)$$

$$k_3 = 1.4258 - 0.0288P_4 + 0.0303P_{40} - 0.0521P_{200} + 0.0251(\%silt) + 0.0535LL - 0.0672w_{opt} - 0.0026\gamma_{opt} + 0.0025\gamma_s - 0.6055\left(\frac{w_c}{w_{opt}}\right) \quad (1.38)$$

Donde:

M_r = Módulo de resiliencia, MPa

$P_{3/8}$ = Porcentaje de material que pasa la malla de 3/8 in (9.5 mm)

P_4 = Porcentaje de material que pasa la malla No. 4

P_{40} = Porcentaje de material que pasa la malla No. 40

P_{200} = Porcentaje de material que pasa la malla No. 200

w_c = Contenido de agua del espécimen, %

w_{opt} = Contenido de agua óptimo del suelo, %

γ_s = Peso volumétrico seco de la muestra, kg/m^3

γ_{opt} = Peso volumétrico seco máximo, kg/m^3

LL = Límite líquido

PI = Índice de plasticidad

%Silt = Porcentaje de limo en el material

%clay = Porcentaje de arcilla en el material

1.4.3 Valores típicos de módulo de resiliencia de registros históricos

En la literatura también se presentan registros de valores típicos de módulo de resiliencia. Un ejemplo es el indicado en la Figura 1.3 que muestra una distribución típica del valor de M_r de los suelos basada en clasificación AASHTO; la Figura 1.4 muestra los mismos datos pero clasificando los suelos con el sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS). Estas gráficas fueron reportadas por Mokwa y Akin (2009) con los datos publicados en la Tabla 2.2.51, capítulo 2 de la guía MEPDG (NCHRP 1-37A, 2004).

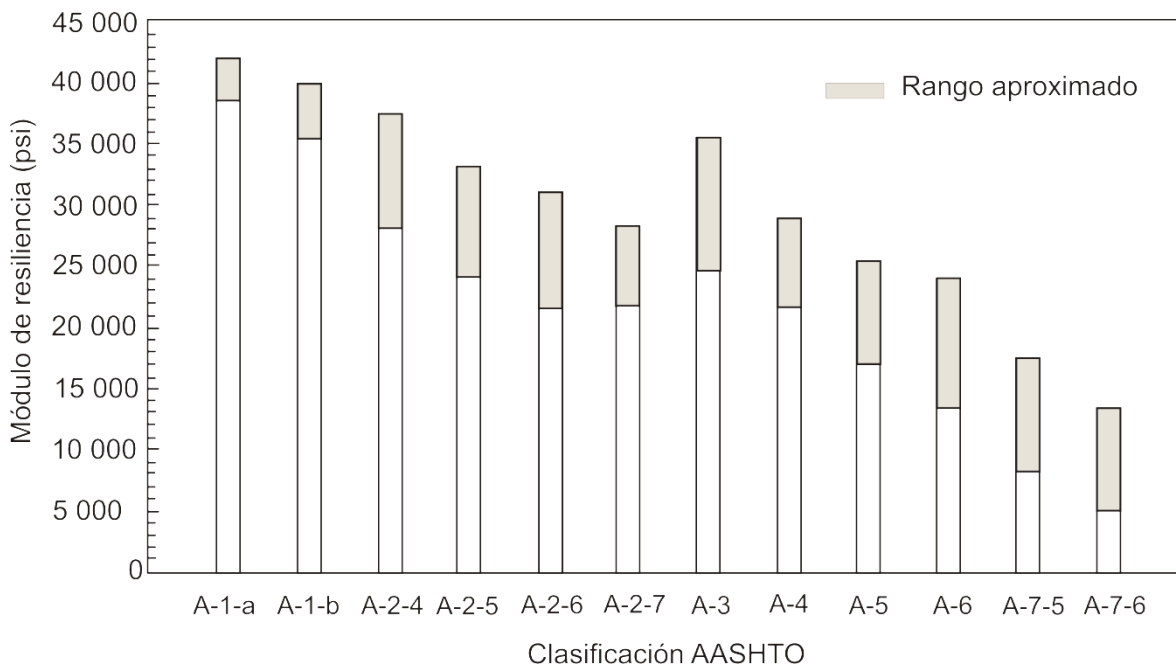


Figura 1.3 Valores típicos de M_r para suelos clasificados con el sistema AASHTO

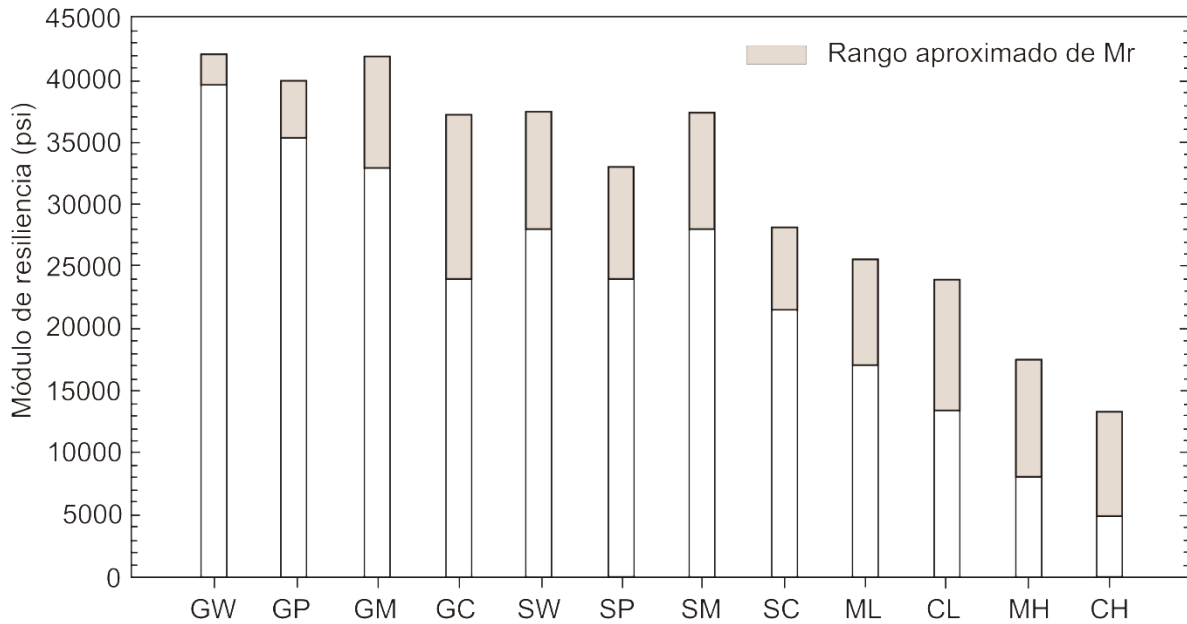


Figura 1.4 Valores típicos de M_r para suelos clasificados con el sistema SCS

De lo anterior se observa que existen una gran cantidad de modelos para determinar el módulo de resiliencia, sin embargo, es importante reconocer que algunos no fueron adecuadamente documentados, lo cual puede conducir a realizar extrapolaciones fuera del rango de calibración, esto también puede reducir la confiabilidad de cualquier predicción. Por otro lado, algunos otros modelos son complejos y no son apropiados para uso rutinario en el diseño de pavimentos (Rahim, 2005). En consecuencia, es deseable que cada país determine sus modelos propios y que sean adecuados tanto para los suelos que se utilizan en el país como para las condiciones de carga que rigen en el mismo.

Capítulo 2

Equipo, materiales y procedimientos de prueba

2.1 Introducción

En este capítulo se describen los materiales y procedimientos de prueba empleados para la evaluación de los módulos de resiliencia y resistencia a compresión simple de los materiales estudiados, así como sus características de compactación y propiedades índice. Cabe recalcar que todas las pruebas mencionadas en los procedimientos de prueba se realizaron al menos 4 veces con el fin de obtener resultados confiables.

2.2 Descripción de los materiales utilizados

Los materiales utilizados en esta investigación se muestrearon en diferentes zonas del Estado de Querétaro y dos de las arcillas fueron muestreadas en el estado de Jalisco (Tabla 2.1).

Cabe señalar que la gran mayoría de los suelos estudiados en esta investigación son de tipo arcilla de alta compresibilidad; este es uno de los materiales que causan un sinnúmero de problemas en el área de ingeniería civil, sin embargo, es importante reconocer que también puede llegar a ser un material de construcción con propiedades mecánicas adecuadas cuando se les agrega productos estabilizantes. Es por ello, que en este caso, el módulo de resiliencia de algunas de las arcillas se determinó en estado natural.

Por otro lado, al llevar a cabo los muestreos se advirtió que no se tenían suelos con otras clasificaciones, por lo tanto, para poder generar diferentes suelos, se combinó un suelo tipo CH con una arena de mina en diferentes proporciones; (73.6% arena y 26.4 % de arcilla) y (70.8% arena y 29.2 % de arcilla)

Tabla 2.1 Resumen de los suelos utilizados y el lugar de muestreo

Suelo No.	Tipo de suelo	Lugar de muestreo
1	CH	La Venta, Pedro Escobedo, Querétaro.
2	CH	Santa Rosa Jáuregui, Querétaro.
3	CH-MH	La Cañada, Querétaro.
4	CH	Pedro Escobedo, Querétaro.
5	CH	Jalisco (arcilla negra), km 175 + 600, Lado Der. de la Carr. Irapuato – Guadalajara.
6	CH-MH	Jalisco (arcilla roja), km 39 + 600 Lado Izq. de la autopista Zapotlanejo – Guanajuato.
7	CH	Laderas San Pedro, Querétaro.
8	CH-CL	Mezcla 1, 70.8% arcila; 29.2 % de arena
9	CH	Arcilla, Instituto Mexicano del transporte.
10	MH	Aeropuerto de Querétaro.
11	MH	La Galera, Querétaro.
12	ML	T. Autobuses, Querétaro.
13	ML	Misha, Sanfandila, Pedro Escobedo.
14	ML	Comercial Mexicana Blvd. La Nación, Querétaro.
15	SM	San José, Tequisquiapan, Querétaro.
16	SM	Los Cues, Querétaro.
17	SC	Mezcla 2, 73.6% arena; 26.4% de arcilla
18	CL	Pueblo Nuevo, Villa Corregidora, Querétaro.

Posterior al muestreo se procedió a disgregar y a cribar el material por la malla No. 4, se secó al aire libre, se cuarteó y se almacenó en costales. En seguida se determinaron los contenidos de agua inicial para posteriormente utilizarlos durante el cálculo de agua a agregar para alcanzar el contenido de agua óptimo o algún otro valor especificado.



Figura 2.1 Muestreo, cuarteo y almacenaje de muestras

2.3 Procedimientos de prueba

Los suelos estudiados fueron sujetos a ensayos de laboratorio para determinar sus propiedades índice, sus características de compactación, módulo de resiliencia y la resistencia a compresión simple. A continuación se describen los procedimientos utilizados.

2.3.1 Determinación de propiedades índice y clasificación de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)

Las pruebas de propiedades índice se llevaron a cabo de acuerdo a los siguientes procedimientos:

- Contenido de agua, ASTM D 2216-10.
- Cantidad de suelo más fino que la malla No.200, ASTM D 1140-00.
- Límites de consistencia, ASTM D 4318-10.
- Peso específico relativo de sólidos, ASTM D 854-10.

Una vez obtenidas las propiedades índice, se procedió a determinar la clasificación de suelo conforme al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS). En la Tabla 2.2 se observan las propiedades índice y clasificaciones de los suelos estudiados.

Tabla 2.2 Propiedades índice y clasificación de los suelos estudiados

Banco de Materiales	Propiedades Índice					
	Clasificación SUCS	Límites de Consistencia			Pasa la Malla No.200	G _s
		Límite Líquido (%)	Límite Plástico (%)	Índice Plástico		
La Venta	CH	69	23	46	87.0	2.56
Santa Rosa	CH	56	19.5	36.5	87.6	2.56
La Cañada	CH-MH	55	30	25	81.4	2.59
Pedro Escobedo	CH	70	28	42	79.4	2.65
Jalisco (Arcilla Negra)	CH	94	32	62	95.6	2.74
Jalisco (Arcilla Roja)	CH-MH	54	30	24	95.5	2.72
San Pedro	CH	81	36	45	95.1	2.67
Mezcla 1	CH-CL	49.5	21.5	28	70.8	2.61
Arcilla IMT	CH	66	25	41	86.0	2.61
Aeropuerto	MH	54	34	20	94.4	2.64
La Galera	MH	59	33	26	89.6	2.68
T. Autobuses	ML	46.5	36	10.5	92.4	2.66
Misha	ML	44	33	11	87.0	2.56
Comercial	ML	NP	NP	NP	57.2	2.38
San José	SM	NP	NP	NP	13.3	2.43
Los Cues	SM	NP	NP	NP	37.0	2.52
Mezcla 2	SC	30.5	17.5	13	26.4	2.71
Pueblo Nuevo	CL	37	17	20	61.1	2.62

2.3.2 Determinación de las características de compactación y requisitos de compactación de los especímenes de prueba

La compactación de los suelos es el proceso por el cual se mejoran artificialmente las propiedades mecánicas. La importancia de la compactación de los suelos estriba en el aumento de resistencia y disminución de capacidad de deformación que se obtiene al sujetar el suelo a técnicas convenientes que aumenten su peso específico seco, disminuyendo sus vacíos (Juárez y Rico, 1993).

La finalidad de la prueba de compactación es disponer de pruebas de laboratorio que asemejen teóricamente las condiciones en campo, y también para poder controlar dichas condiciones. La compactación de suelos puede efectuarse de varias maneras, por amasado, vibración, presión o impacto.

Para poder elaborar los especímenes para la prueba de módulo de resiliencia a los contenidos de agua y pesos volumétricos requeridos, primeramente se obtuvieron las curvas de compactación Proctor estándar y modificada de los materiales de acuerdo con la normativa ASTM D 698-07 “Método A” (energía de $600 \text{ kN}\cdot\text{m}/\text{m}^3$) (Figura 2.2a) y ASTM D1557-12 “Método B” (Figura 2.2b) (energía de $2,700 \text{ kN}\cdot\text{m}/\text{m}^3$) respectivamente.

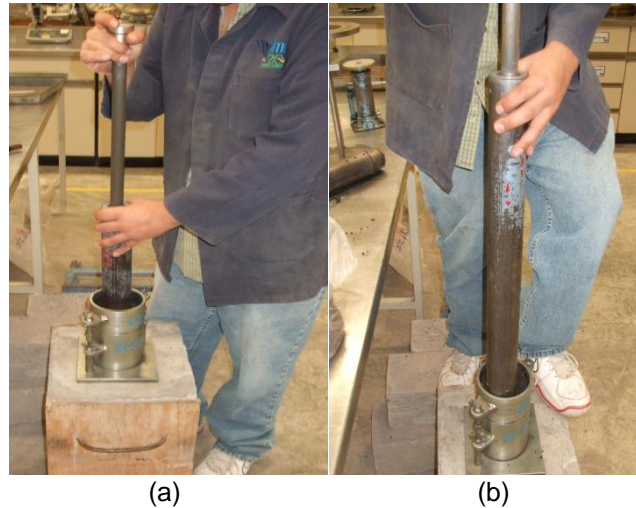


Figura 2.2 Compactación (a) Proctor estándar (pisón de 2.5 kg y 30.5 cm de altura de caída) y (b) Proctor modificada (pisón de 4.5 kg y 45.7 cm de altura de caída)

En la Figura 2.3 se muestran las curvas de compactación típicas de uno de los suelos estudiados; su peso volumétrico seco máximo y el contenido de agua óptimo en ambas curvas de compactación también se indican. Así mismo, en esta misma figura se señalan con marcadores en azul las características controladas en los especímenes de prueba (en el óptimo, 2% arriba del óptimo y 2% abajo del óptimo) con respecto a la prueba Proctor estándar y modificada.

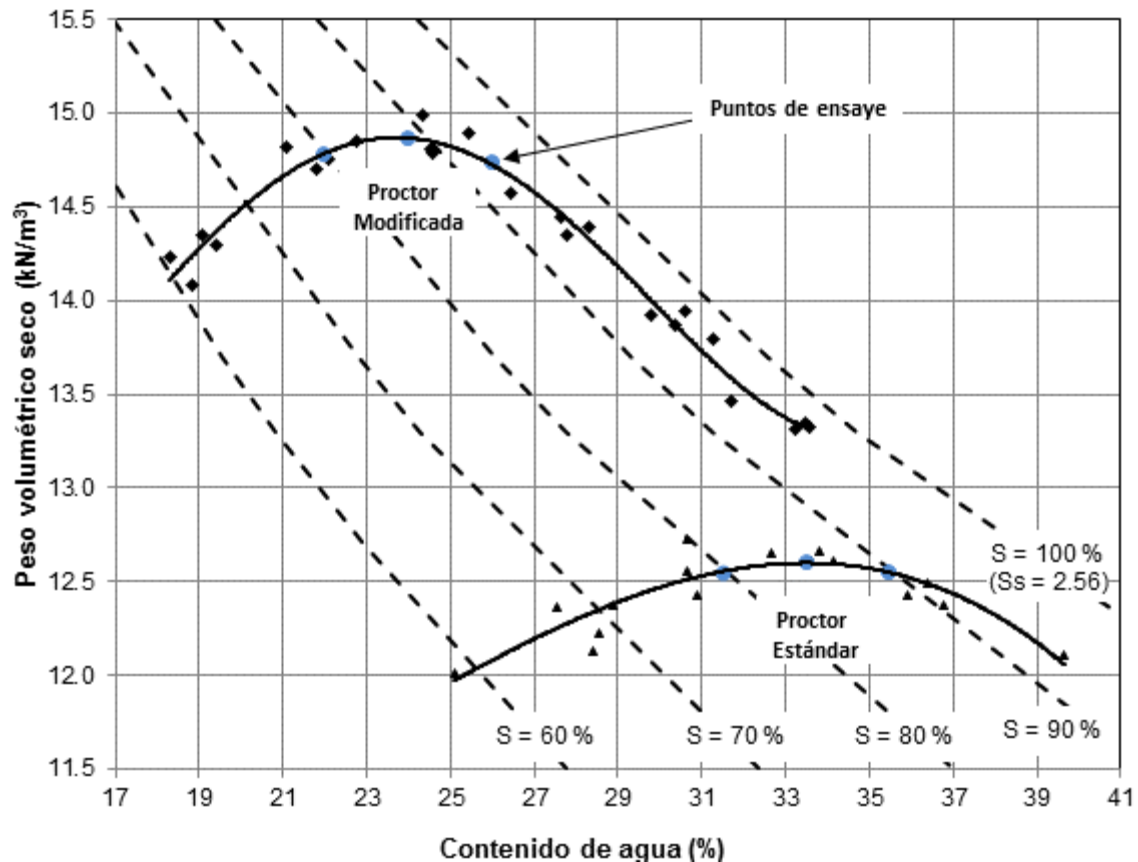


Figura 2.3 Curva de compactación de la arcilla del banco La Venta. Se muestran además los puntos bajo los cuales se prepararon los especímenes de módulo de resiliencia y compresión simple

Las condiciones a las que se compactaron los especímenes de prueba fueron las mismas para todos los suelos excepto para los bancos de Jalisco y la arcilla IMT que sólo se ensayaron en la condición óptima con respecto a la prueba Proctor estándar.

2.3.3 Módulo de resiliencia

La propiedad básica para la caracterización de los materiales en los métodos de diseño empírico-mecanicistas es el módulo de resiliencia. Se han publicado varios documentos que norman los ensayos de módulo de resiliencia, entre ellos está la "AASHTO T 307" y la norma NCHRP 1-28A. En esta investigación se empleó el protocolo NCHRP 1-28A, por ser uno de los protocolos más actualizados.

A continuación se describe la preparación y compactación de los especímenes de prueba, así como el equipo y proceso para llevar a cabo el ensaye de módulo de resiliencia.

Preparación de los especímenes

El orden del proceso de compactación se describe a continuación:

- Se determinan las dimensiones del molde de compactación, así como el peso del pisón y su altura de caída (Figura 2.4 y 2.5).

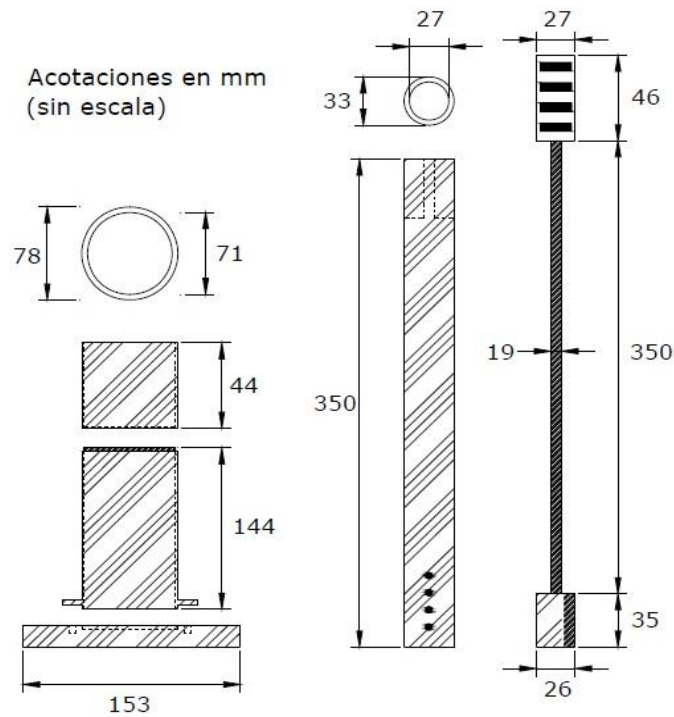


Figura 2.4 Esquema de las dimensiones de molde y pisón de compactación

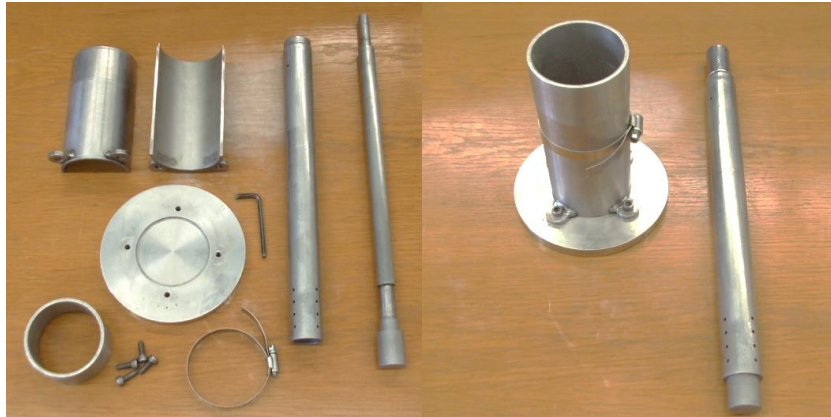


Figura 2.5 Molde de compactación para la elaboración de los especímenes cilíndricos

- A partir de las dimensiones obtenidas, se calcula el volumen de la muestra compactada, tomando en cuenta el contenido de agua y peso volumétrico deseado. Se deja como altura adicional 5 mm, para que al final de la compactación se tenga una cantidad de material que sobresale del molde, este material se retira hasta obtener una superficie uniforme.

Nota: De acuerdo con la norma NCHRP 1-28A, la muestras de suelo tipo 1 (suelos finos), se compactan en 8 capas.

- Se determina la cantidad de suelo húmedo que debe compactarse para alcanzar el peso volumétrico deseado.
- Se determina la cantidad de suelo que será compactado por capa.

$$W_{capa} = \frac{\text{Peso total del espécimen}}{\text{número de capas}} \quad (2.1)$$

- Se determina el número de golpes “N” aproximado para producir la energía de compactación “ E_c ” 600 kN·m/m³ ó 2,700 kN·m/m³, con la siguiente expresión:

$$N = \frac{VE_c}{nWh} \quad (2.2)$$

Donde:

N = Número de golpes del pisón que satisface la energía deseada.

E_c = Energía de compactación.

n = Número de capas.

W = Masa del pisón.

h = Altura de caída del pisón.

V = Volumen total del molde de compactación o volumen de la muestra compactada.

Ya que se obtuvieron los cálculos de número de golpes y contenido de material por capa, se procede a preparar los especímenes siguiendo el orden a continuación.

- Se dosifican bolsas de 1 300 g de material.
- Se agrega el agua necesaria con el fin de obtener el contenido de agua deseado en la muestra. En esta investigación los contenidos en los que se prepararon las muestras son los siguientes:
 - Contenido de agua óptimo con respecto a la prueba Proctor estándar y modificada.
 - Contenido de agua 2% abajo con respecto a la prueba Proctor estándar y modificada.
 - Contenido de agua 2% arriba con respecto a la prueba Proctor estándar y modificada.
- Se homogeniza la mezcla suelo-agua hasta tener un material uniforme en color (Figura 2.6).
- Se guarda el material en una bolsa de plástico y se deja reposar alrededor de 16 horas con el propósito de asegurar que el agua se distribuya de forma uniforme en todas las partículas de suelo.



Figura 2.6 Homogenización del material

Después del tiempo de curado se procede a la compactación del material de acuerdo con los siguientes pasos:

- Se ensambla el molde de compactación y se coloca sobre una base rígida (Figura 2.7b).
- Se pesa la cantidad de material requerido por capa (Figura 2.7a).



(a)

(b)

Figura 2.7 (a) Material para una capa; (b) Colocación del material en el molde

- Se compacta la primera capa con el número de golpes ya calculado. Durante el proceso de compactación debe cuidarse que el pisón se mantenga recto y que la velocidad de aplicación de los impactos sea constante.

- Después de aplicar todos los golpes en la primera capa, se escarifica y se sigue compactando la segunda capa. Este procedimiento se repite para todas las 6 capas restantes (Figura 2.8).



Figura 2.8 Compactación del espécimen de suelo

- Al terminar de compactar las ocho capas, se procede a enrasar la parte superior de la probeta y después se extrae del molde (Figura 2.9).



Figura 2.9 Enrase y extracción de la probeta compactada

- Se registra el peso del espécimen y las dimensiones con el fin de obtener el volumen de la probeta compactada (Figura 2.10).

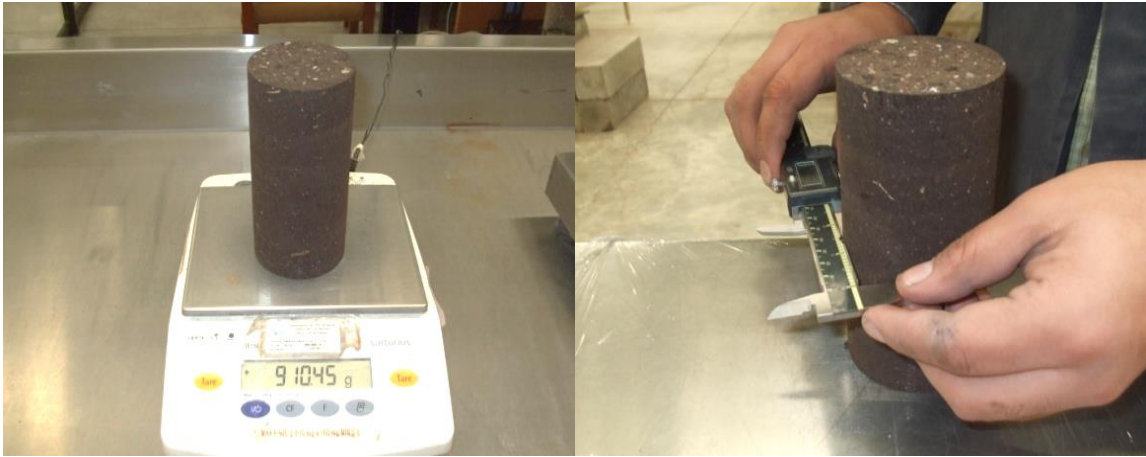


Figura 2.10 Medición y pesaje de la probeta compactada

- Por último, la probeta se envuelve en plástico adherible y se coloca en una bolsa de plástico (Figura 2.11); se almacena en el cuarto de temperatura controlada con el fin de preservar en lo posible las condiciones de compactación mientras se realiza la prueba.



Figura 2.11 Envoltura del espécimen compactado

- Con el material sobrante de la compactación se determina el contenido de agua de la probeta. Con éste y el volumen del espécimen, se calcula el peso volumétrico seco y se verifica que cumpla las condiciones requeridas, de no ser así, el espécimen se descarta y se prepara otro espécimen en caso de ser necesario.

Cabe mencionar que el procedimiento antes descrito se repite para todas las muestras. Sin embargo el número de golpes aplicado por capa fue diferente para cada suelo estudiado. En la Tabla 2.3 se resumen el número de golpes aplicado para cada condición de compactación y para cada suelo.

Tabla 2.3 Resumen de las condiciones utilizadas para cada suelo

Suelo No.	Proctor estándar			Proctor Modificada		
	2% abajo	Óptimo	2% arriba	2% abajo	Óptimo	2% arriba
1	13	13	13	70	70	70
2	15	15	14	58	82	76
3	16	16	16	66	68	68
4	13	13	15	68	64	68
5	-	N.P.	-	-	-	-
6	-	N.P.	-	-	-	-
7	15	16	16	42	48	42
8	12	12	13	48	12	38
9	-	N.P.	-	-	-	-
10	17	16	17	17	16	17
11	15	16	16	70	76	70
12	12	13	12	62	62	70
13	12	11	10	58	58	62
14	8	8	-	10	10	-
15	16	16	-	56	56	-
16	16	16	11	58	58	58
17	5	5	-	38	5	-
18	13	13	12	48	40	58

Descripción del equipo de prueba de módulo de resiliencia

El equipo que se usó para determinar los módulos de resiliencia de los materiales fue un sistema de carga triaxial. Este equipo fue desarrollado por Geotechnical Consulting & Testing Systems (GCTS). Además de otras funciones el equipo fue diseñado para aplicar carga repetida o cíclica a una muestra de suelo, simulando de esta manera el estado de esfuerzos producido en una capa de material del pavimento por los vehículos que transitan sobre la estructura.

El equipo triaxial cíclico (Figura 2.12) está integrado por 3 componentes:

- Unidad de regulación de presión.
- Unidad de aplicación de carga.
- Unidad de registro de información.



Figura 2.12 Equipo triaxial cíclico

Unidad de regulación de presión

La unidad de regulación de presión se compone de reguladores de presión para el control manual de presiones, medidor de presión con 1kPa de precisión, válvula seleccionadora y bomba de vacío tipo venturi. Esta unidad regula el aire comprimido y aplica las presiones necesarias para la ejecución de los ensayos triaxiales (Fig. 2.13).



Figura 2.13 Unidad de regulación de presión

Unidad de registro de información

La magnitud de carga, deformación, presión de confinamiento y otro tipo de información de los ensayos, es obtenida de los sensores y transferida a la unidad de información. La unidad está integrada a una computadora personal cuyo programa permite al usuario ejecutar varias pruebas, también le permite generar y visualizar reportes y resultados obtenidos de las unidades anteriores.

Unidad de aplicación de carga

La unidad de aplicación de carga consta de un marco de carga (capacidad de 1.3 ton), sensores y una cámara triaxial.

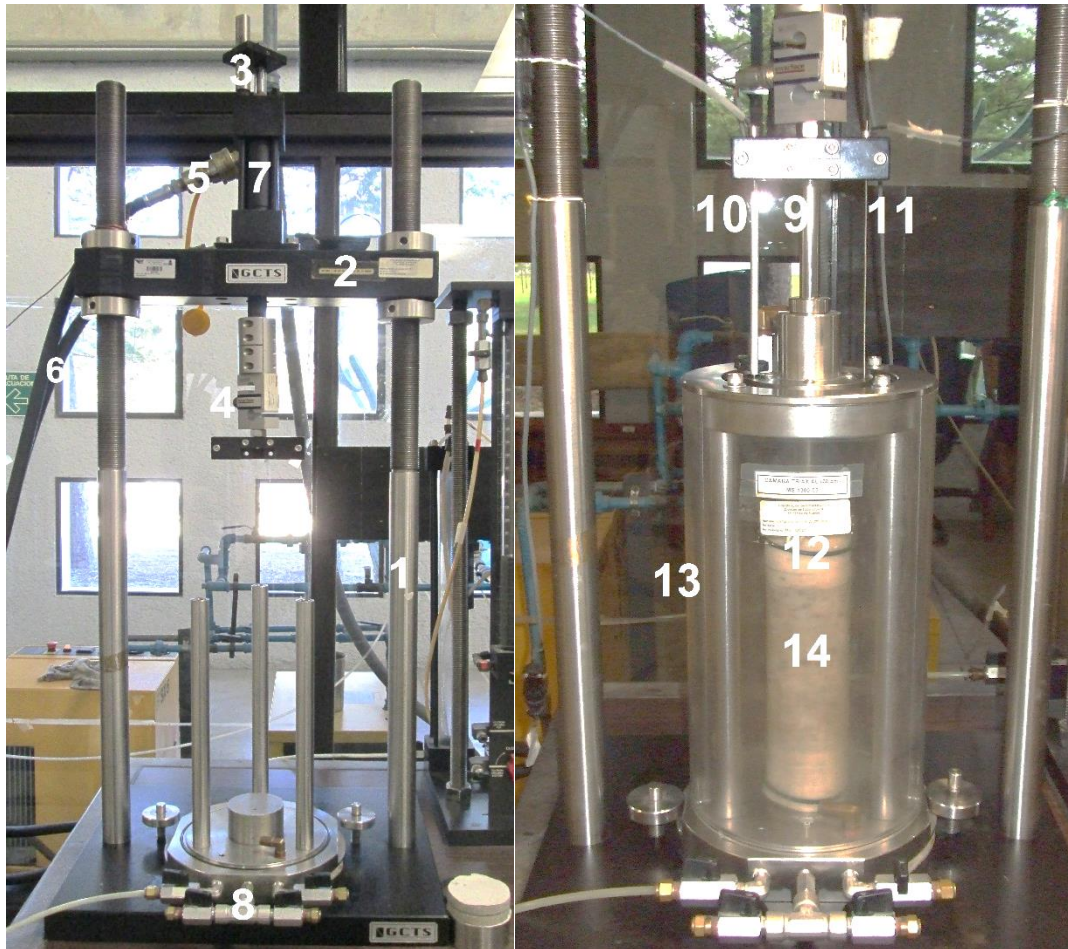
El marco de carga está formado por dos columnas con rosca para el ajuste del cabezal superior. Espacio libre vertical máximo de 940 mm y espacio libre horizontal de 330 mm. Incluye un pistón hidráulico ubicado en la viga de reacción con capacidad de 1.3 ton y 50 mm de carrera. También incluye una servoválvula de

19 LPM para el control digital de la carga o la deformación y con frecuencia de hasta 10 Hertz.

La cámara triaxial está fabricada de acero inoxidable, aluminio anodizado y pared de acrílico transparente, la cual soporta una presión confinante máxima de 1 000 kPa. Las paredes de la cámara son de media pulgada (1/2"). Las dimensiones de la cámara permiten ensayar especímenes en un rango de 35 mm hasta 90 mm de diámetro.

Las deformaciones y cargas axiales, así como la presión de confinamiento se miden por medio de los siguientes sensores:

- Celda de carga con una capacidad de 450 kg aproximadamente.
- Sensor de deformación (LVDT) con rango de ± 25 mm.
- Sensores de deformación (LVDT) con rango de ± 1.27 mm.
- Transductores diferenciales de presión con capacidad máxima de 1000 kPa.



- | | |
|-------------------------------------|---------------------|
| 1. Marco de carga | 8. Línea de drenaje |
| 2. Viga de Reacción | 9. Pistón |
| 3. LVDT 3 | 10. LVDT 1 |
| 4. Celda de carga | 11. LVDT 2 |
| 5. Línea de alimentación hidráulica | 12. Cabezal |
| 6. Línea de retorno hidráulico | 13. Cámara triaxial |
| 7. Actuador de Repetición | 14. Muestra |

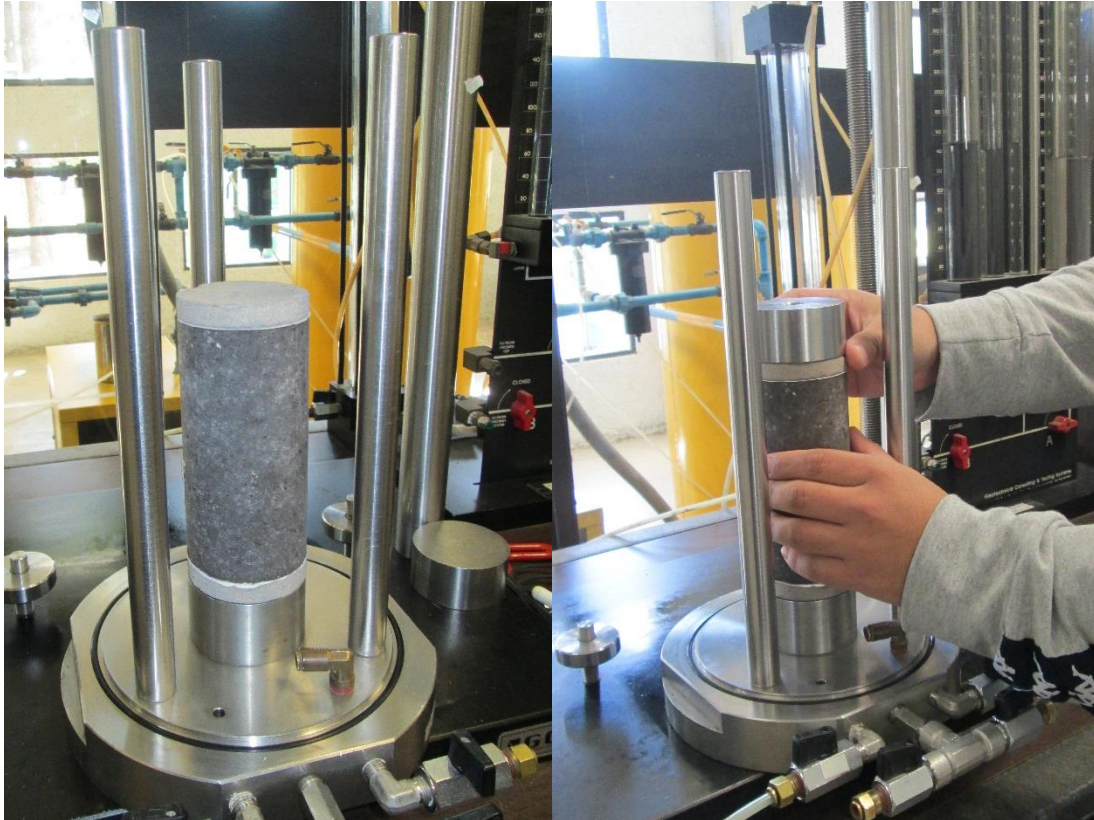
Figura 2.14 Componentes de la unidad de aplicación de carga

Colocación del espécimen en el equipo triaxial

El ensaye se lleva a cabo como se describe a continuación:

- Se coloca una piedra porosa y un papel filtro en el cabezal inferior.
- Sobre éstos se coloca el espécimen y en la superficie de la muestra se coloca otro papel filtro y otra piedra porosa (Figura 2.15a).

- Se coloca el cabezal superior al cual se atornilla el pistón de carga (Figura 2.15b).

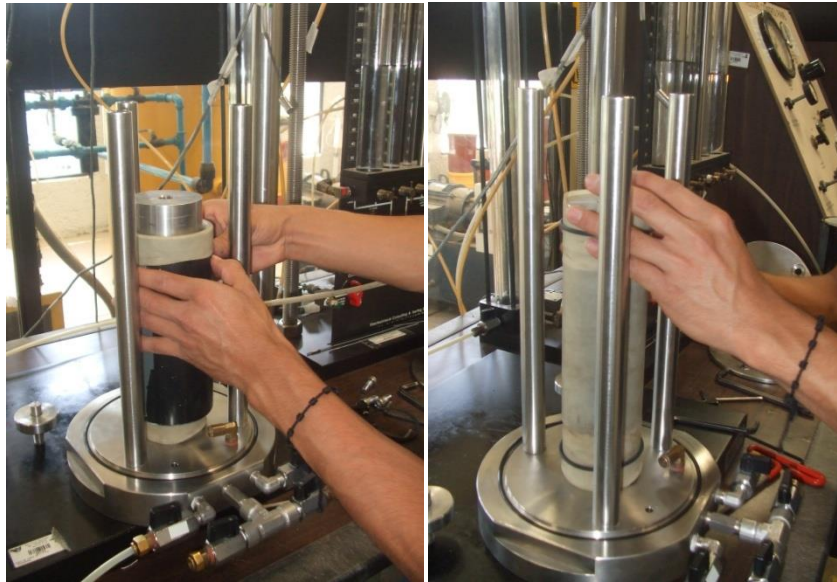


(a)

(b)

Figura 2.15 Colocación de probeta en cámara triaxial

- Posteriormente, se coloca una membrana de látex en la probeta para evitar que el espécimen pierda agua durante la prueba (Fig. 2.16 a).
- Se colocan “o’rings” para sellar la membrana a la probeta (Fig. 2.16 b).



(a)

(b)

Figura 2.16 Colocación de membrana en el espécimen

- Se atornilla la pieza en la que se encuentra el pistón de carga a los postes de la cámara, verificando que la probeta no reciba carga durante este proceso (Figura 2.17a).
- Inmediatamente, se coloca la cámara triaxial (cubierta de acrílico) y se sella con la tapa superior (Figura 2.17b).



(a)

(b)

Figura 2.17 Colocación del pistón y la cámara triaxial

- En seguida se colocan los sensores para registrar la deformación de la probeta (LVDTs). En la Figura 2.18 se observa el ensamble final de la probeta en el equipo triaxial cíclico.



Figura 2.18 Ensamble final de la probeta en el equipo triaxial cíclico

Desarrollo de la prueba

El protocolo NCHRP 1–28A especifica que se debe aplicar a la probeta un condicionamiento inicial que consiste en 1000 repeticiones de una carga con un esfuerzo axial máximo de 53.8 kPa y un esfuerzo cíclico correspondiente de 48.3 kPa usando una onda tipo haversine (Figura 2.19).

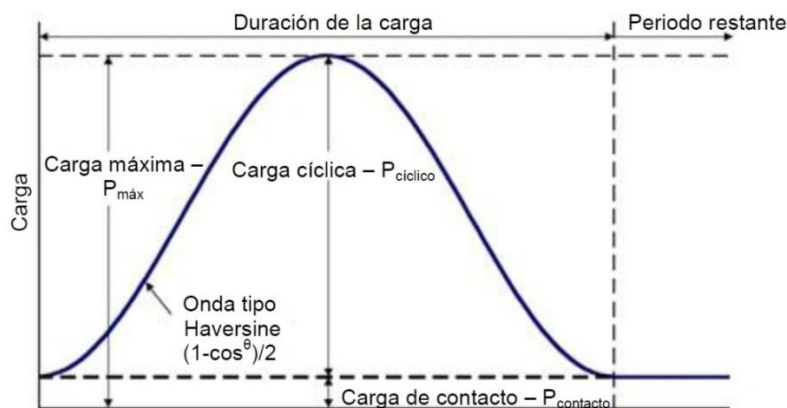


Figura 2.19 Carga tipo haversine

Para materiales de subrasante (materiales Tipo 1), el protocolo NCHRP 1-28A especifica que el espécimen debe ser sometido a 16 secuencias con diferente estado de esfuerzos. En cada secuencia se aplican 100 repeticiones de carga, usando una señal tipo haversine. La carga se aplica al espécimen durante 0.2 de segundo seguido por un periodo de descarga de 0.8 de segundo. En la Tabla 2.4 se muestra las secuencias de aplicación para determinar el módulo resiliente.

Tabla 2.4 Secuencias de aplicación para determinar el módulo resiliente (Protocolo NCHRP 1-28A)

Secuencia	Presión de confinamiento (kPa)	Presión de contacto (kPa)	Esfuerzo axial cíclico (kPa)	Esfuerzo axial máximo (kPa)	No. de repeticiones.
0	27.6	5.5	48.3	53.8	1000
1	55.2	11	27.6	38.6	100
2	41.4	8.3	27.6	35.9	100
3	27.6	5.5	27.6	33.1	100
4	13.8	2.8	27.6	30.4	100
5	55.2	11	48.3	59.3	100
6	41.4	8.3	48.3	56.6	100
7	27.6	5.5	48.3	53.8	100
8	13.8	2.8	48.3	51.1	100
9	55.2	11	69.0	80	100
10	41.4	8.3	69.0	77.3	100
11	27.6	5.5	69.0	74.5	100
12	13.8	2.8	69.0	71.8	100
13	55.2	11	96.6	107.6	100
14	41.4	8.3	96.6	104.9	100
15	27.6	5.5	96.6	102.1	100
16	13.8	2.8	96.6	99.4	100

En la Figura 2.20 se observa una ventana del programa CATS en la que indica la forma en la que se aplica la carga durante una secuencia.

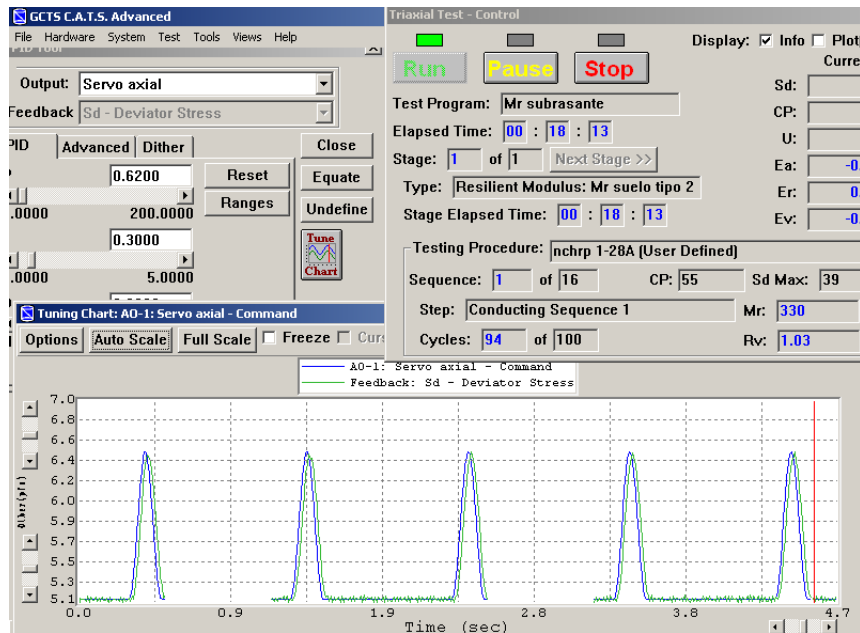


Figura 2.20 Patrón de carga típico en una secuencia de la prueba de módulo de resiliencia

2.3.4. Resistencia a la compresión no confinada

Durante la determinación del módulo de resiliencia, el estado de esfuerzos aplicado al espécimen está muy por debajo del esfuerzo de falla, por tanto, se decidió que después de la prueba de módulo, los especímenes se ensayarían en compresión no confinada.

La resistencia a la compresión no confinada de cada espécimen se determinó conforme a la norma ASTM D 2166–06. Ésta indica que la aplicación de la carga debe ser con una velocidad de $\frac{1}{2}$ a 2%/min, hasta alcanzar la falla.

Entonces, después de la prueba de módulo de resiliencia, se redujo el confinamiento a cero y se cargó el espécimen con una velocidad de 1.2%/min. Durante la aplicación de la carga el programa C.A.T.S. muestra una gráfica en tiempo real de la carga axial contra el tiempo; cuando se presenta la falla en el espécimen se finaliza la prueba y se desmota la probeta (Figura 2.21).

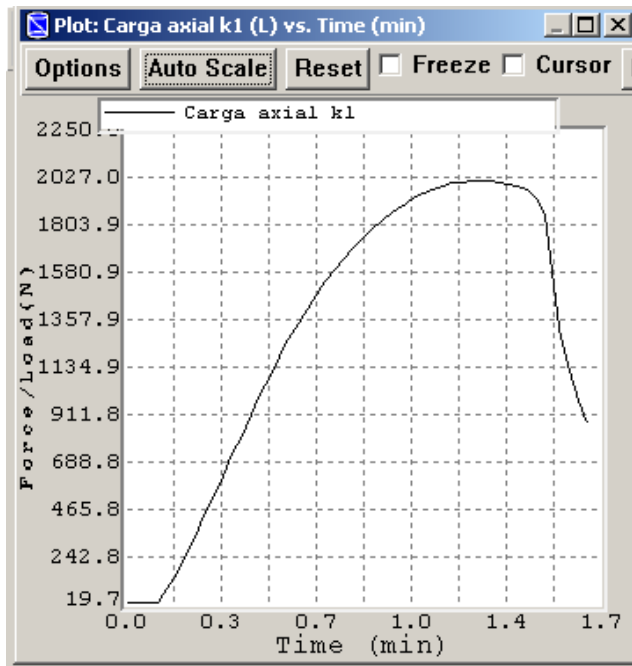


Figura 2.21 Gráfica Carga axial vs tiempo proporcionada por el programa C.A.T.S

Al finalizar el ensaye de compresión simple la muestra se retira del equipo triaxial y se disgrega para determinar el contenido de agua de prueba, el cual posteriormente es comparado con el requerido. Si el contenido de agua obtenido está dentro del rango permitido ($w \pm 0.5\%$), la prueba se toma como buena.

Capítulo 3

Presentación y Análisis de Resultados

En este capítulo se discuten los resultados de los módulos de resiliencia obtenidos en esta investigación, así como las posibles correlaciones de este parámetro con propiedades índice. De igual manera, se muestran y discuten los resultados de la resistencia en compresión simple obtenida en muestras que primero fueron ensayadas en módulo de resiliencia.

3.1. Propiedades índice de materiales estudiados

Los resultados de las propiedades índice de los suelos se resumen en la Tabla 3.1. En la Figura 3.1 se indica su localización en la carta de plasticidad.

Tabla 3.1 Propiedades índice de los materiales investigados

Banco de Material	Propiedades Índice					
	Clasificación SUCS	Límites de Consistencia			Pasa la Malla No.200 (%)	Gs
		Límite Líquido (%)	Límite Plástico (%)	Índice Plástico (%)		
La Venta	CH	69	23	46	87	2.56
Santa Rosa	CH	56	19.5	36.5	87.6	2.56
La Cañada	CH-MH	55	30	25	81.4	2.59
Pedro Escobedo	CH	70	28	42	79.4	2.65
Arcilla negra de Jalisco	CH	94	32	62	95.6	2.74
Arcilla roja de Jalisco	CH-MH	54	30	24	95.5	2.72
Laderas San Pedro	CH	81	36	45	95.1	2.67
Arcila IMT	CH	66	25	41	86.0	2.61
Pueblo Nuevo	CL	37	17	20	61.1	2.62
Aeropuerto	MH	54	34	20	94.4	2.64
La Galera	MH	59	33	26	89.6	2.68
T. Autobuses	ML	46.5	36	10.5	92.4	2.66
Misha	ML	44	33	11	87	2.74
Comercial	ML	NP	NP	NP	57.2	2.38
San José	SM	NP	NP	NP	13.3	2.43
Los Cues	SM	NP	NP	NP	37	2.52
Mezcla 1, 70.8% arena; 29.2 % de arcilla.	CH-CL	49.5	21.5	28	70.8	2.61
Mezcla 2, 73.6% arena; 26.4% de arcillas.	SC	30.5	17.5	13	26.4	2.71

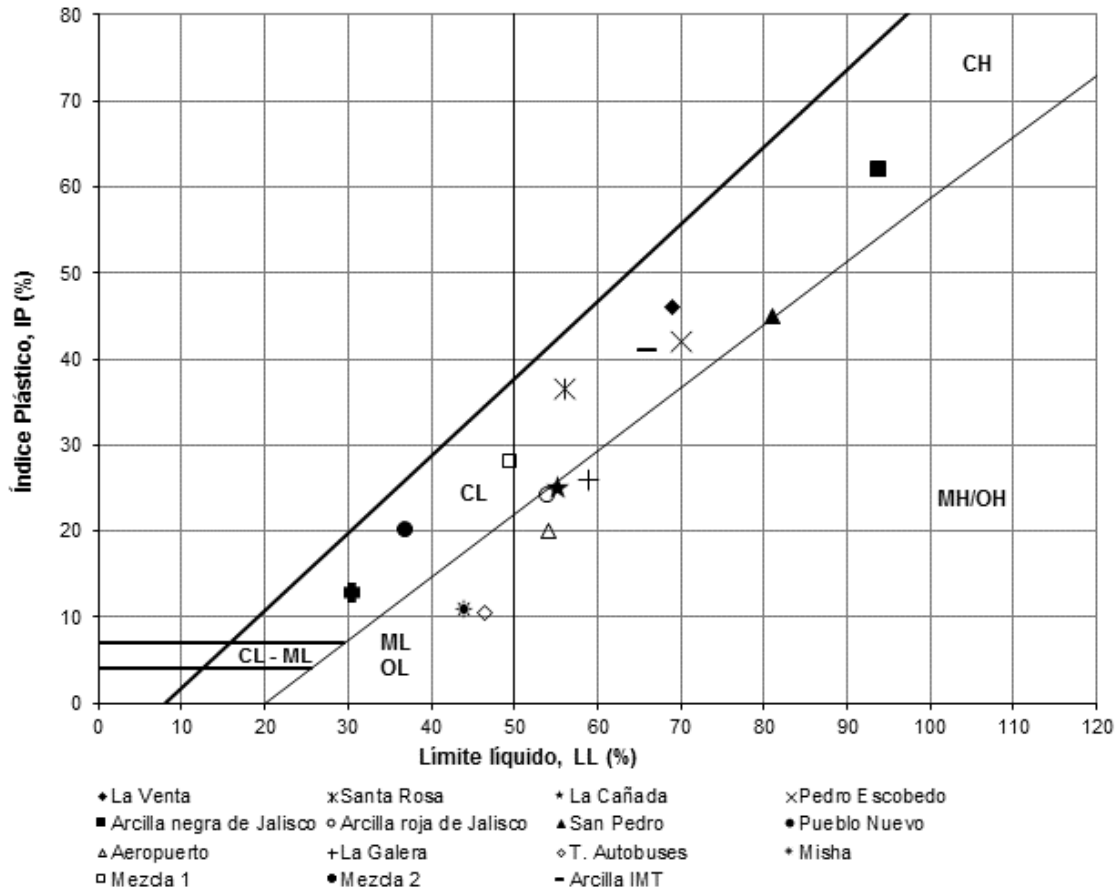


Figura 3.1 Localización de los suelos estudiados en la carta de plasticidad

De los datos anteriores se puede observar que se tienen varios suelos que corresponden a la misma clasificación, sin embargo, a pesar de esto, varios de ellos presentan diferentes límites de consistencia y distintos porcentajes de cantidad de finos lo que finalmente proporcionará propiedades mecánicas como se presentará en incisos subsecuentes.

3.2. Características de compactación de materiales estudiados

Después de obtener las propiedades índice se procedió a evaluar las características de compactación, éstas se obtuvieron conforme a la normativa mencionada anteriormente. La Figura 3.2 muestra las curvas de compactación Proctor estándar de los suelos estudiados; la Figura 3.3 ilustra las curvas Proctor modificada. Las curvas de compactación individuales se encuentran en el Anexo A de esta investigación.

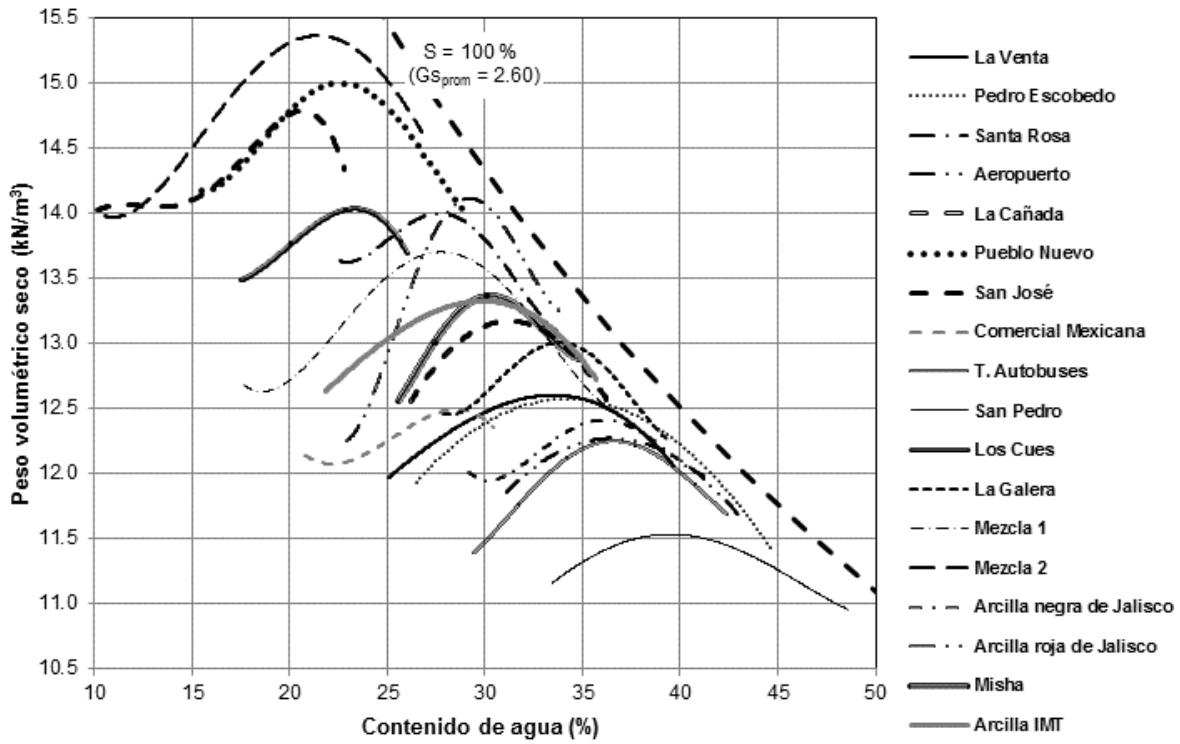


Figura 3.2 Curvas de compactación Proctor estándar de los materiales estudiados

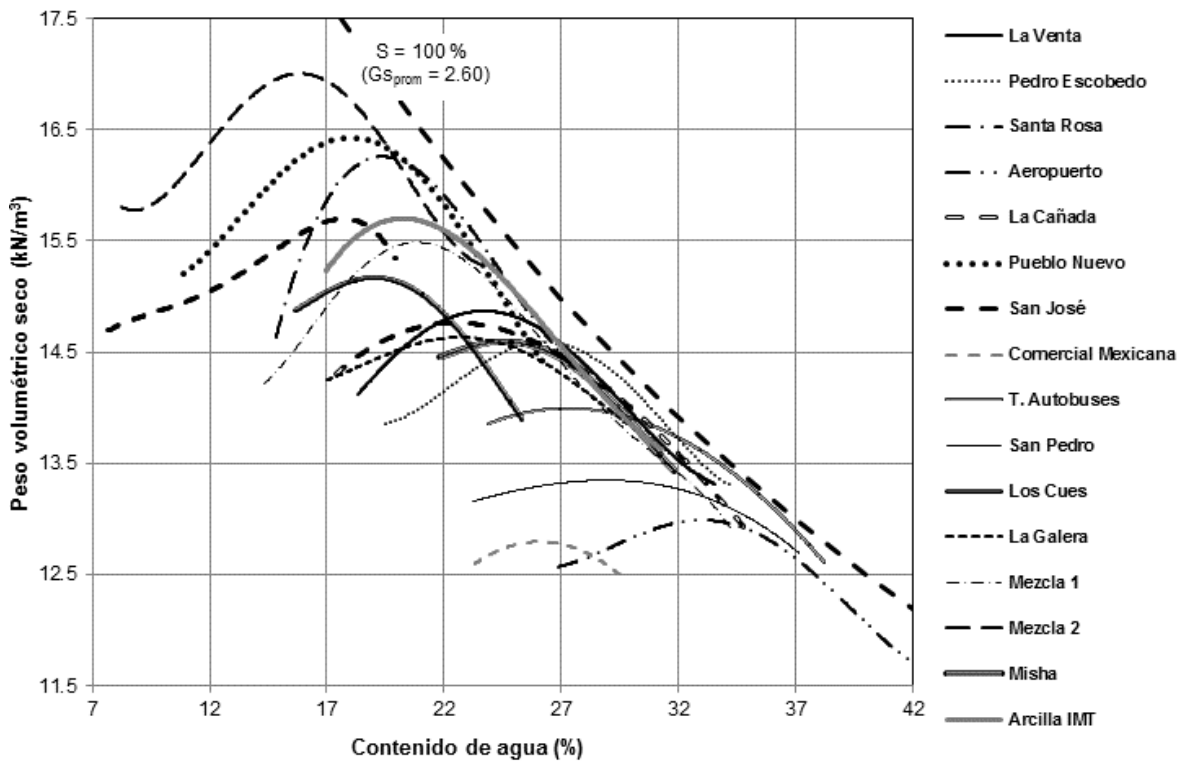


Figura 3.3 Curvas de compactación Proctor modificada de materiales estudiados

Para graficar la línea de saturación de las dos figuras anteriores se tomó en cuenta un valor de G_s promedio de todos los suelos.

En la Tablas 3.2 se muestran los contenidos de agua óptimos y los pesos volumétricos secos máximos obtenidos en cada una de las curvas de compactación.

Tabla 3.2 Características de compactación de los materiales utilizados (Proctor estándar y modifica).

Banco de Material	Proctor estándar		Proctor modificada	
	w (%)	γ_d (kN/m ³)	w (%)	γ_d (kN/m ³)
La Venta	33.5	12.6	24.0	14.86
Santa Rosa	27.6	13.97	19.4	16.26
La Cañada	31.25	13.17	22.5	14.76
Pedro Escobedo	34.2	12.57	26.3	14.58
Jalisco (Negra)	36.1	12.44	---	---
Jalisco (Roja)	29.25	14.11	---	---
Laderas San Pedro	39.5	11.53	29.0	13.4
Arcilla IMT	30.0	13.32	---	---
Pueblo Nuevo	22.5	15.0	18.0	16.44
Aeropuerto	36.5	12.26	33.0	12.97
La Galera	33.8	13.0	22.7	14.62
T. Autobuses	36.6	12.24	27.3	13.98
Misha	32	12.96	24.6	14.59
Comercial	28.6	12.57	26.4	12.82
San José	20.7	14.78	17.7	15.7
Los Cues	23.4	13.91	19.0	15.17
Mezcla 1, 70.8% arena; 29.2 % de finos.	28	13.7	28.0	13.7
Mezcla 2, 73.6% arena; 26.4% de finos.	21	15.35	21.0	15.35

3.3. Módulo de resiliencia

3.3.1. Curvas típicas de una prueba de módulo de resiliencia

Como se mencionó en incisos anteriores, la prueba de módulo da como resultado no sólo un valor sino una serie de curvas que corresponden a valores de M_r para las diferentes condiciones de esfuerzos. La Figura 3.4 muestra una gráfica típica resultado de una prueba de módulo de resiliencia de una arcilla. En ésta se observa cómo a medida que el esfuerzo desviador se incrementa el módulo de resiliencia disminuye, además es importante notar el efecto que tiene el confinamiento, es decir, a medida que el confinamiento de la muestra se incrementa también el módulo de resiliencia presenta esta misma tendencia.

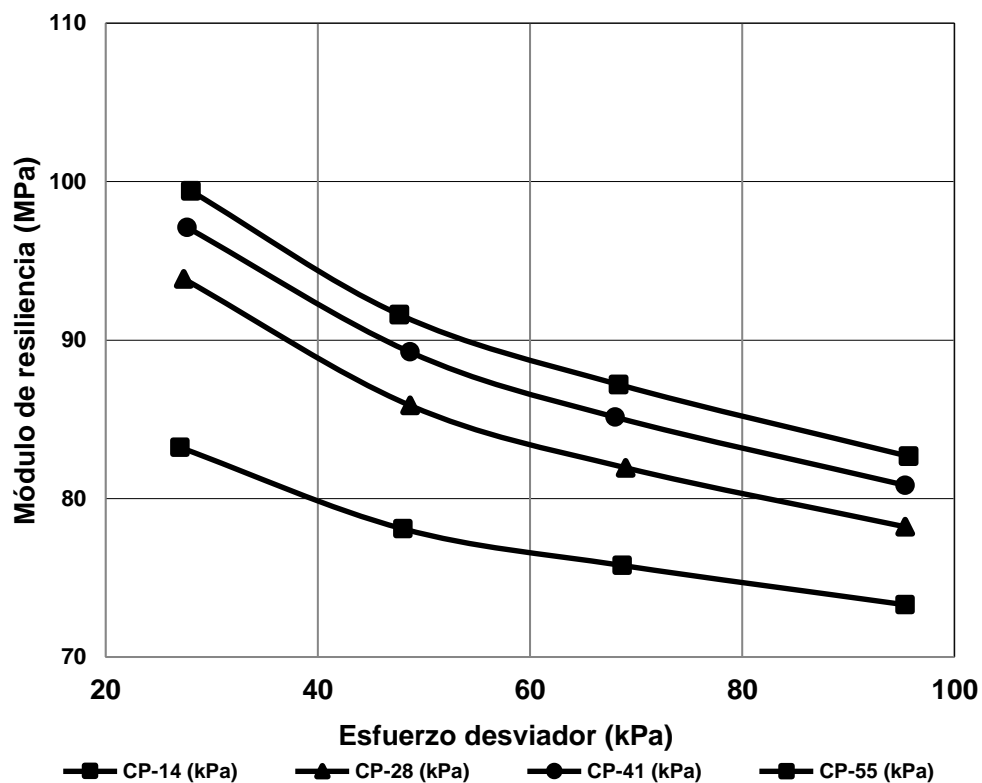


Figura 3.4 Curva típica de una prueba de módulo de resiliencia (Arcilla “La Venta”)

La Figura 3.5 muestra un resultado de módulo de resiliencia típico para una arena limosa (SM). Se puede observar que en este caso el M_r se ve más afectado por la presión de confinamiento que por el esfuerzo desviador.

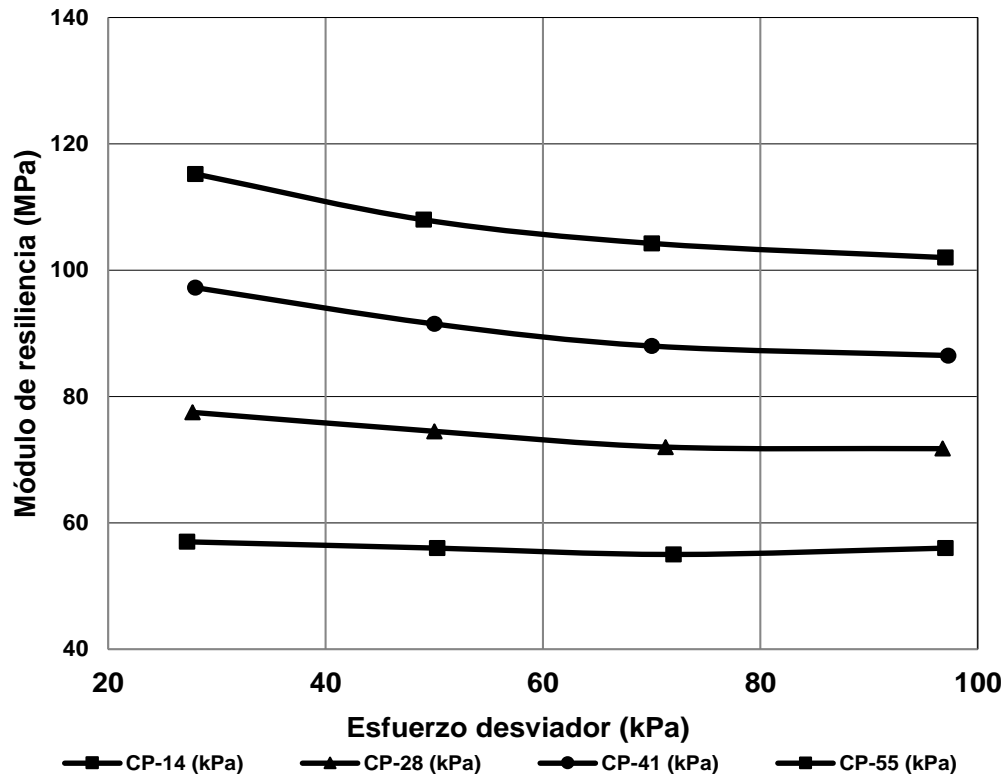


Figura 3.5 Curva típica de módulo de resiliencia para una arena "SM"

3.3.2. Repetividad de los resultados de módulo de resiliencia

En cualquier proyecto de investigación es importante que los resultados que se obtienen sean confiables. Para lograr este objetivo, los resultados de módulo de resiliencia que se reportan en este trabajo son resultado de tres o cuatro réplicas. Cabe señalar que en algunos casos las cuatro réplicas dieron como resultado gráficas de módulo de resiliencia similares (Figura 3.6) y en otros casos, alguna de las réplicas proporcionó resultados diferentes, en este caso, los resultados de las muestras se descartaron.

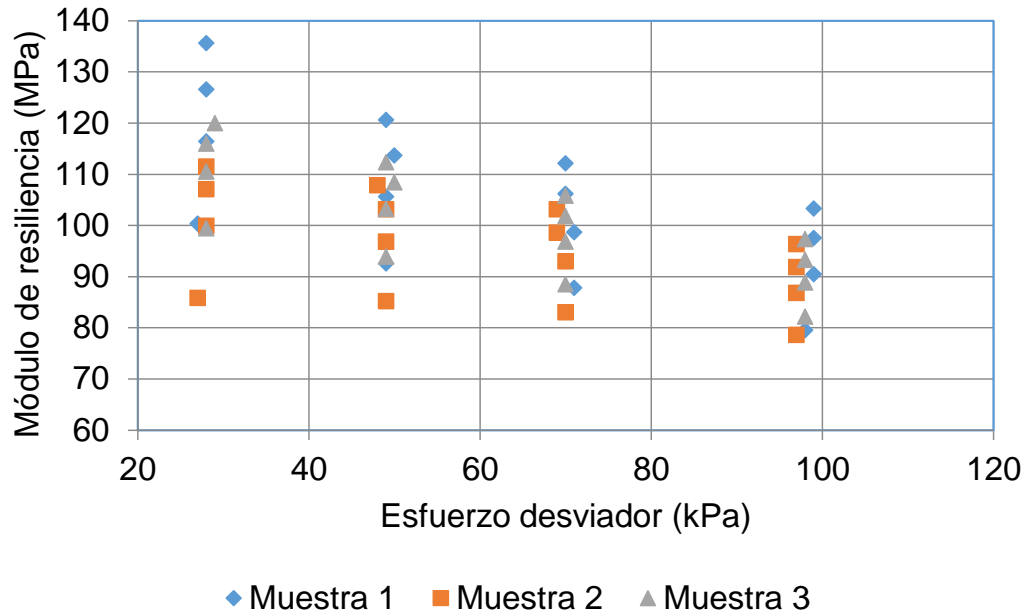


Figura 3.6 Resultados de módulo de resiliencia de tres muestras similares

3.3.3. Características de los especímenes ensayados

En el capítulo 2 se mencionó que todos los suelos se ensayaron en seis condiciones que fueron las siguientes:

- En el óptimo de la Proctor estándar y modificada.
- 2% por debajo del óptimo con respecto a la Proctor estándar y modificada.
- 2% arriba del óptimo con respecto a la Proctor estándar y modificada.

En la Tablas 3.3 se muestran las características de las probetas ensayadas para el contenido de agua óptimo y peso volumétrico seco máximo de la prueba Proctor estándar. Los valores promedio de contenido de agua, grado de saturación, contenido de agua volumétrico y pesos volumétricos secos fueron los utilizados para el análisis de resultados.

Tabla 3.3 Características de los especímenes ensayados y sus características promedio

Banco de Material	Clasif.	Muestra No.	w (%)	γ_m (kN/m ³)	γ_d (kN/m ³)	Sr (%)	θ (%)	w (%) Prom	γ_d (kN/m ³) Prom	Sr (%) Prom	θ (%) Prom
La Venta	CH	6	33.20	16.67	12.51	84.39	42.34	33.26	12.49	84.19	42.33
		7	33.28	16.62	12.47	84	42.3				
		19	33.3	16.63	12.48	84.18	42.36				
Santa Rosa	CH	198	27.10	17.84	14.04	87.95	38.79	27.23	13.99	87.68	38.84
		199	27.11	17.79	14.00	87.39	38.69				
		200	27.26	17.83	14.01	88.07	38.94				
		201	27.44	17.73	13.92	87.29	38.92				
La Cañada	CH-MH	249	30.87	17.12	13.08	84.8	41.15	31.27	13.07	85.82	41.67
		250	31.55	17.15	13.04	86.16	41.94				
		252	31.40	17.21	13.10	86.5	41.91				
Pedro Escobedo	CH	344	33.72	16.97	12.69	85.20	43.62	33.71	12.70	85.32	43.65
		345	33.72	16.92	12.65	84.71	43.49				
		350	33.70	17.06	12.76	86.06	43.83				
Arcilla Negra Jalisco	CH	41	35.90	16.83	12.38	84.03	45.32	35.93	12.49	85.53	45.77
		42	36.20	17.09	12.55	86.86	46.31				
		44	35.70	17.03	12.55	85.69	45.68				
Arcilla Roja Jalisco	CH-MH	357-1	28.66	18.38	14.28	89.80	41.73	28.95	14.22	89.88	41.97
		358-1	29.22	18.39	14.23	90.84	42.39				
		360-1	28.98	18.25	14.15	89.00	41.80				
Laderas San Pedro	CH	474	39.05	15.99	11.50	81.57	45.77	39.02	11.57	82.36	46.00
		475	39.05	16.04	11.54	82.08	45.93				
		476	38.69	16.11	11.61	82.26	45.79				
		477	39.28	16.18	11.61	83.54	46.50				
Arcilla IMT	CH	197-1	30.11	17.64	13.56	88.47	41.62	30.08	13.51	87.72	41.43
		198-1	30.05	17.62	13.55	88.12	41.62				
		199-1	30.20	17.47	13.42	86.79	41.30				
		200-1	29.96	17.57	13.52	87.49	41.19				
Pueblo Nuevo	CL	446	22.05	18.32	15.01	81.16	33.76	22.05	14.94	80.22	33.59
		447	22.09	18.11	14.84	79.02	33.41				
		448	22.06	18.28	14.98	80.73	33.69				
		449	22.00	18.22	14.93	79.95	33.50				
Aeropuerto	MH	413	36.52	16.60	12.16	82.63	45.25	36.31	12.19	82.59	44.91
		416	36.18	16.59	12.18	82.15	44.29				
		419	36.23	16.67	12.24	82.98	45.20				

Tabla 3.4 Características de los especímenes ensayados y sus características promedio (continuación)

Banco de Material	Clasif.	Muestra No.	w (%)	γ_m (kN/m ³)	γ_d (kN/m ³)	Sr (%)	θ (%)	w (%) prom	γ_d (kN/m ³) prom	Sr (%) prom	θ (%) prom
La Galera	MH	135	33.37	17.25	12.93	86.59	44.00	33.41	12.92	86.56	44.01
		137	33.48	17.30	12.96	87.24	44.23				
		144	33.31	17.19	12.90	85.94	43.79				
		145	33.47	17.22	12.90	86.45	44.03				
T. Autobuses	ML	238	36.15	16.66	12.23	84.87	45.08	36.57	12.21	85.49	45.50
		243	36.83	16.67	12.18	85.77	45.72				
		244	36.73	16.69	12.20	85.83	45.69				
Misha	ML	297	31.52	17.14	13.04	81.31	41.88	31.65	13.03	81.62	42.05
		298	31.52	17.19	13.07	81.70	41.98				
		299	31.93	17.14	12.99	81.84	42.28				
Comercial Mexicana	ML	393	28.28	16.28	12.69	80.14	36.58	28.41	12.69	80.45	36.73
		396	28.18	16.25	12.68	79.66	36.41				
		397	28.76	16.34	12.69	81.55	37.21				
San José	SM	85	20.35	17.92	14.89	82.33	30.89	20.34	14.74	80.09	30.56
		88	20.32	17.83	14.82	81.08	30.69				
		89	20.26	17.61	14.64	78.39	30.24				
		92	20.43	17.59	14.61	78.54	30.42				
Los Cues	SM	323	23.61	17.27	13.97	77.36	33.64	23.77	13.98	77.57	33.64
		324	23.52	17.22	13.94	76.63	33.43				
		325	23.74	17.38	14.04	78.69	33.99				
		326	24.18	17.34	13.96	77.59	33.49				
Mezcla 1	CH-CL	507	27.84	17.42	13.63	82.68	38.68	27.81	13.63	82.54	38.62
		508	27.98	17.37	13.57	82.39	38.71				
		510	27.64	17.48	13.70	82.98	38.59				
		515	27.76	17.37	13.60	82.09	38.49				
Mezcla 2	SC	537	20.68	18.66	15.46	76.76	32.60	20.77	15.39	76.26	32.59
		538	20.88	18.61	15.39	76.66	32.76				
		540	20.75	18.50	15.32	75.35	32.40				

Las tablas resumen de pesos volumétricos y contenidos de agua para las otras condiciones se muestran en el Anexo B.

3.3.4. Comparativa de los resultados de módulo de resiliencia

En este inciso se presentan algunas comparaciones de las curvas de módulo de resiliencia tomando en cuenta similitudes en clasificación o en propiedades índice de los materiales estudiados con el objetivo de determinar las propiedades adecuadas para las correlaciones que se desarrollarán.

Arcilla CH

La Figura 3.7 muestra las gráficas de módulo de resiliencia de tres tipos de arcilla (CH) que tienen aproximadamente el mismo contenido de finos (Laderas de San Pedro: 95.1%, Arcilla roja de Jalisco: 95.5%, Arcilla negra de Jalisco: 95.6%). Como se observa, aun cuando los suelos tienen la misma clasificación y porcentajes de arena similares, los valores de módulo de resiliencia pueden no ser análogos como en este caso.

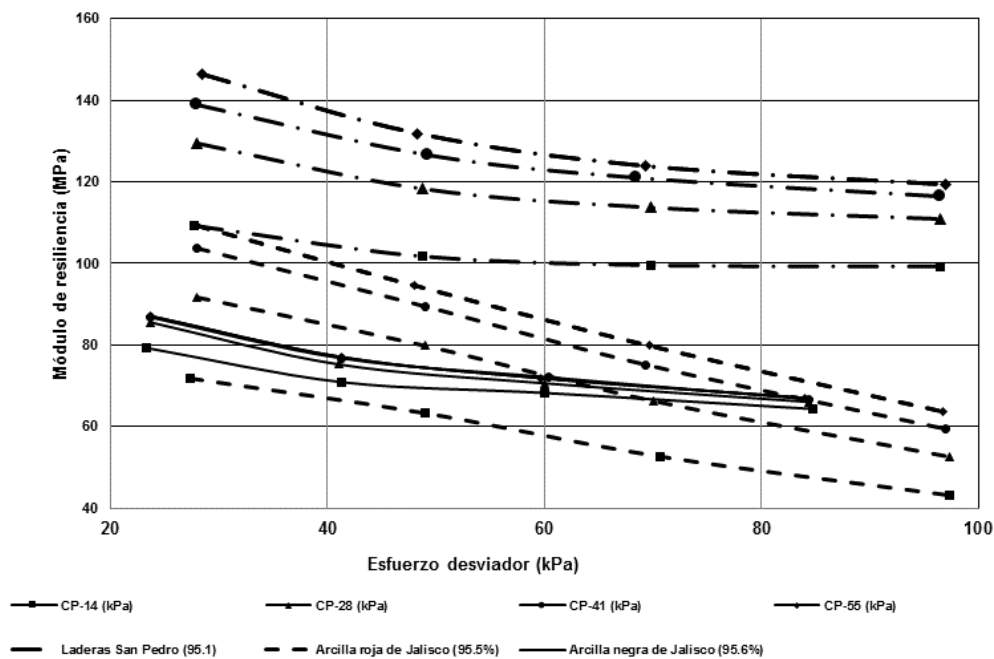


Figura 3.7 Comparación de los valores de M_r para tres arcillas que tienen porcentaje de finos similares

En la Figura 3.8 se comparan las arcillas de La Venta (finos: 87.0%), Santa Rosa (finos: 87.6%) y Arcilla IMT (finos: 86.0%), éstas también contienen cantidades similares de finos, pero la cantidad es inferior a lo que tenían las tres arcillas anteriores.

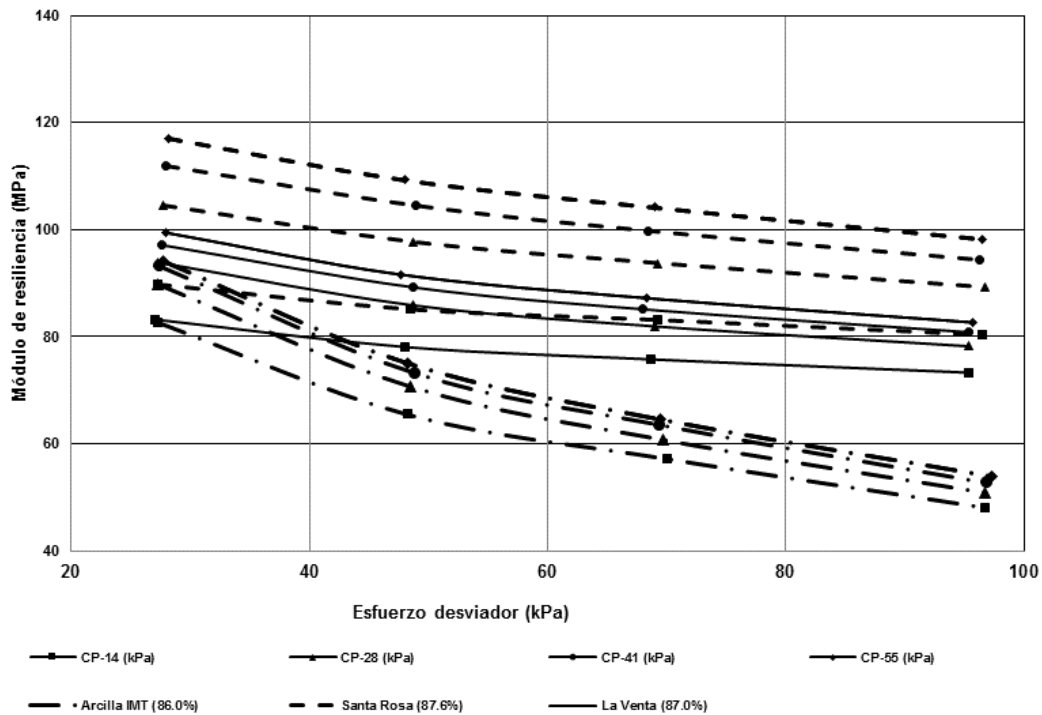


Figura 3.8 Comparación entre arcillas de La Venta (87.0%), Santa Rosa (87.6%) y Arcilla IMT (86.0%)

Como se puede observar existe un comportamiento similar entre las arcillas de La Venta y Santa Rosa, mientras que la arcilla IMT presenta valores de módulo de resiliencia menores.

En la Figura 3.9 se tiene la comparación entre las arcillas de La Cañada y Pedro Escobedo que contienen una cantidad de finos similar de 81.4% y 79.4% respectivamente, además sus límites líquidos son similares. En esta figura sí se observan curvas muy semejantes de módulos de resiliencia para los diferentes niveles de confinamiento.

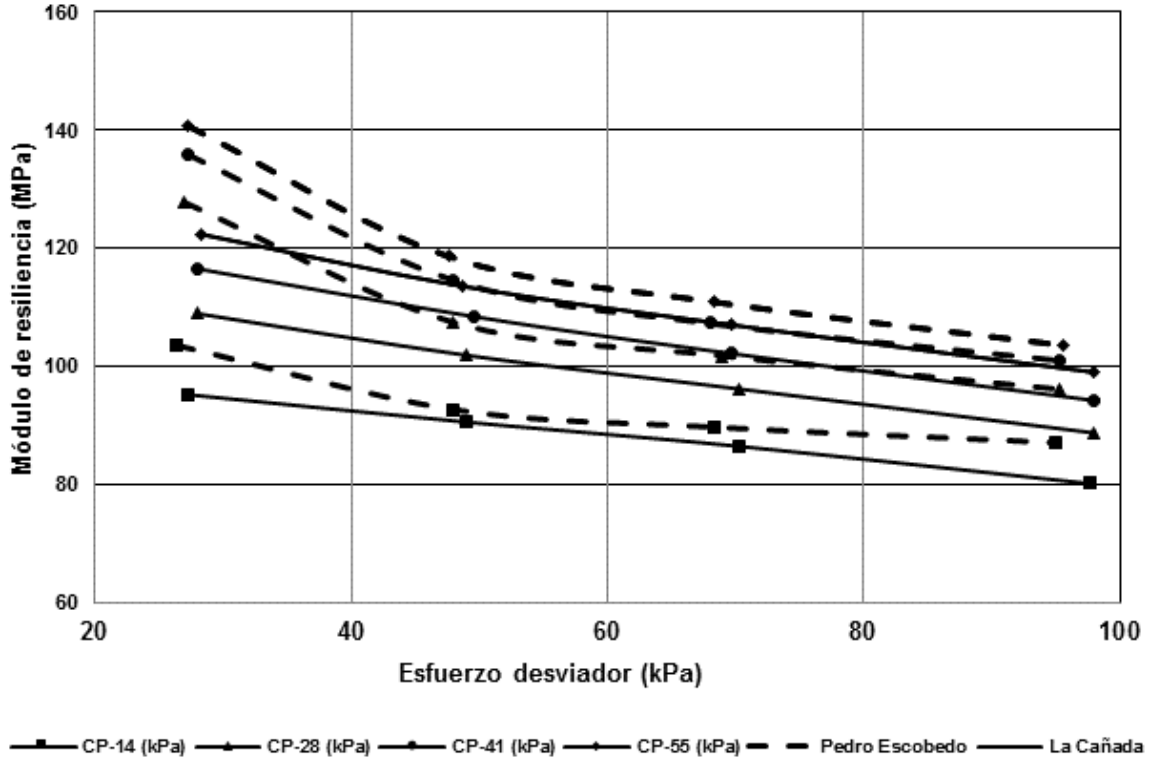


Figura 3.9 Comparación entre arcillas La Cañada (81.4%) y Pedro Escobedo (79.4%) con porcentaje de finos similares

Cabe señalar que para el esfuerzo desviador más bajo es donde se presentan mayores diferencias en módulo de resiliencia, esto quizá se debe a que el equipo no tiene la precisión adecuada para rangos de deformación tan pequeñas.

En la Figura 3.10 se muestran los valores de módulos de resiliencia de materiales con límite líquido similares; Santa Rosa (LL = 56%), La Cañada (LL = 55%) y Arcilla roja de Jalisco (LL = 54%). Nuevamente se observa un comportamiento similar entre la arcilla La Cañada y Santa Rosa.

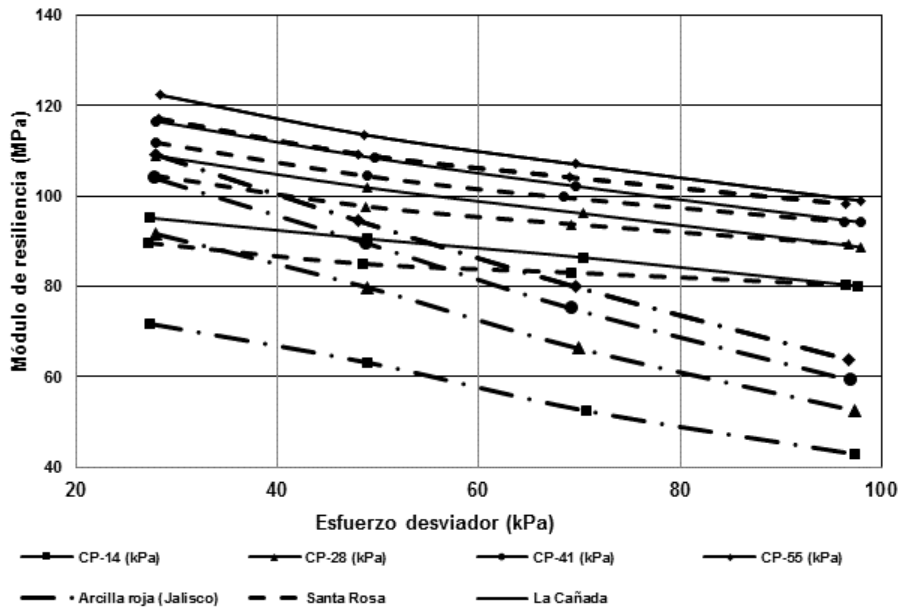


Figura 3.10 Comparación entre arcillas Santa Rosa, La Cañada y arcilla roja de Jalisco

En la Figura 3.11 se comparan los módulos de materiales con límite líquido similares: La Venta (LL = 69%), Pedro Escobedo (LL = 70%), Arcilla IMT (LL= 66%). Los valores de módulo tienen un comportamiento diferente en los tres materiales presentados aun cuando los suelos mencionados se muestrearon en áreas cercanas entre ellas.

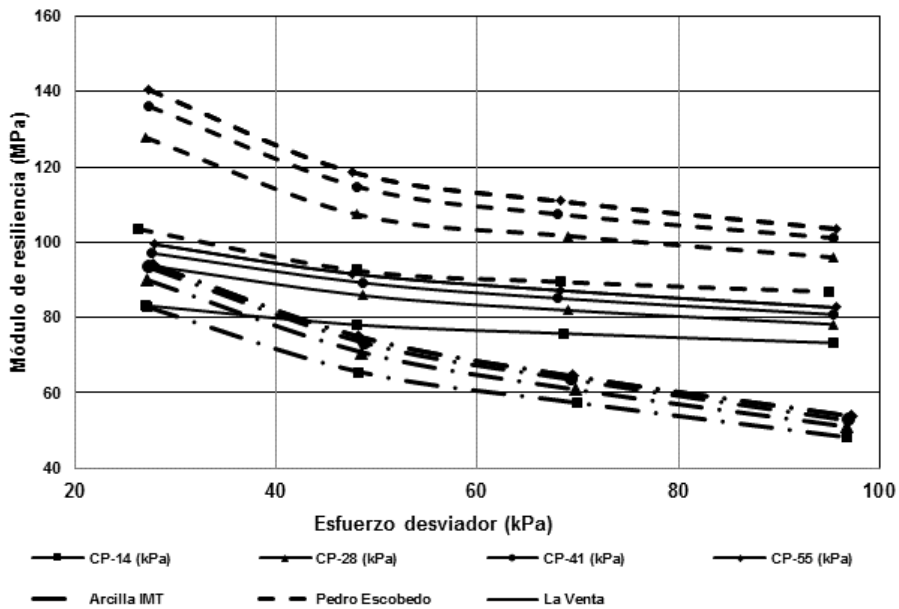


Figura 3.11 Comparación entre arcillas con límite líquido similar (La Venta, Pedro Escobedo y Arcilla IMT)

La Figura 3.12 muestra los valores de módulo de resiliencia de materiales con índice de plasticidad similar: La Cañada (IP = 25%) y arcilla roja de Jalisco (IP = 24%). En este caso también se tienen diferencias significativas.

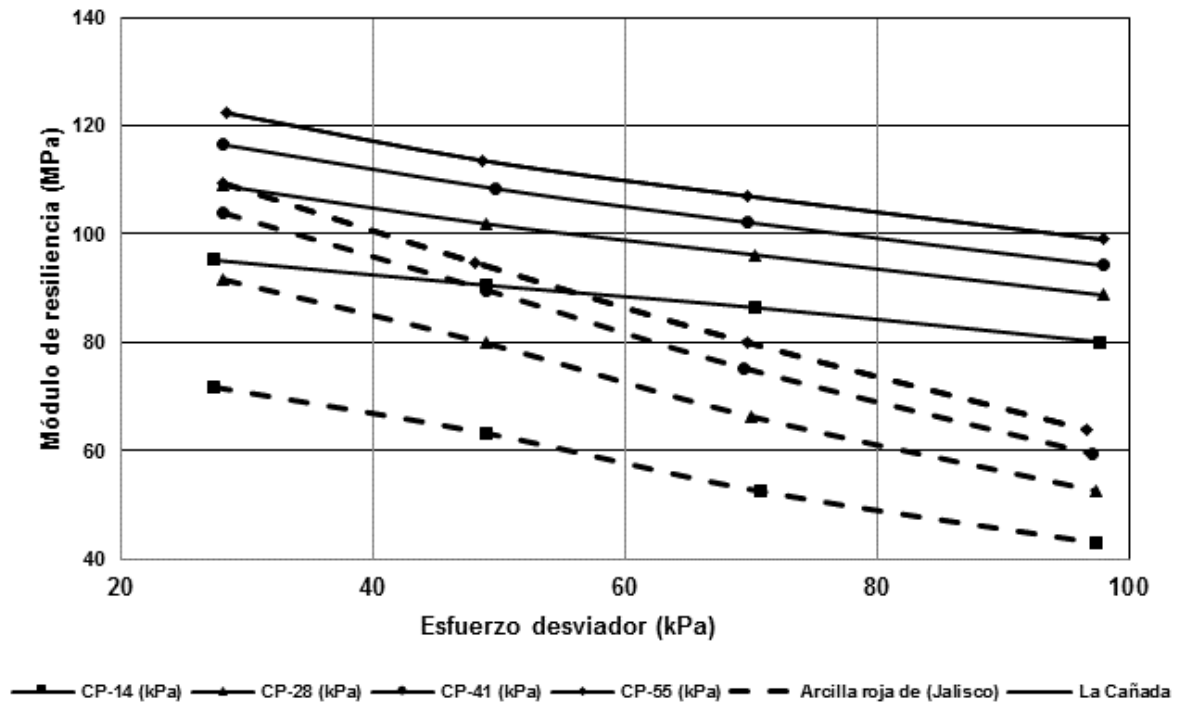


Figura 3.12 Comparación entre arcillas con índice de plasticidad similar (La Cañada y Arcilla roja de Jalisco)

La Figura 3.13 señala los valores de módulo de resiliencia para suelos con índice de plasticidad similar: Laderas San Pedro (IP = 45%), Pedro Escobedo (IP = 42%) y La venta (IP = 46%). En las figuras se puede observar un comportamiento diferente como ya se había observado en la Figura 3.11.

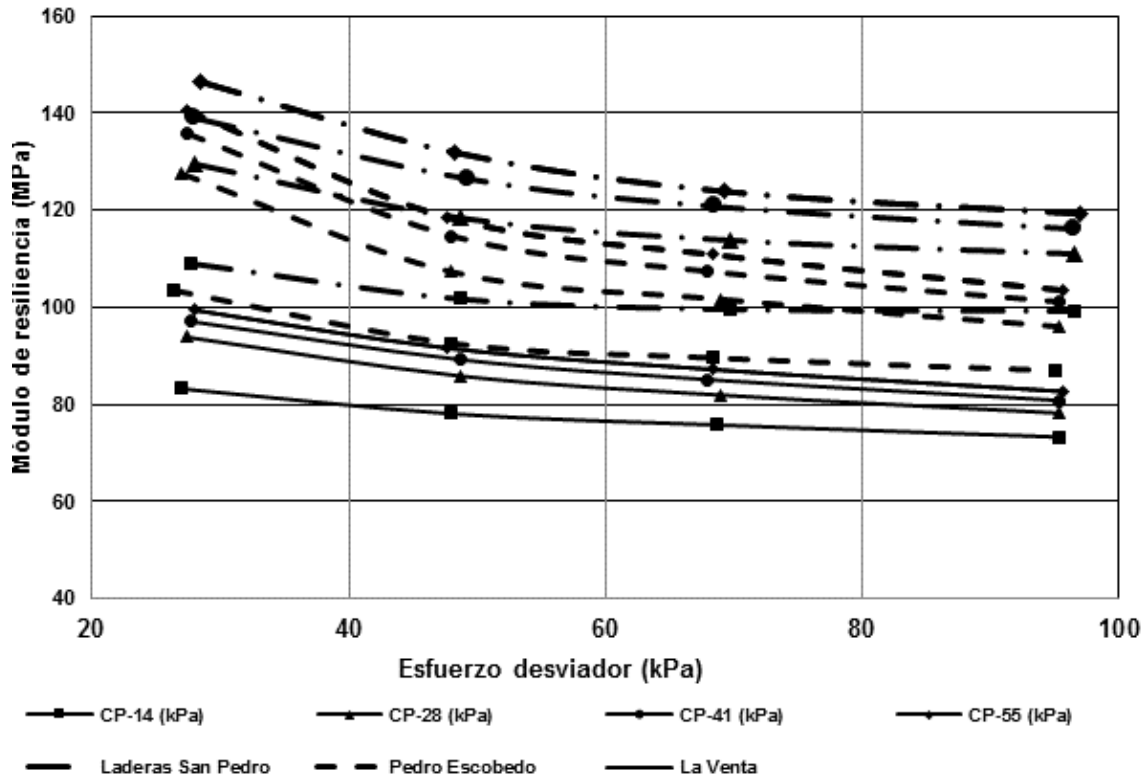


Figura 3.13 Comparación entre arcillas con índice de plasticidad similar (La Venta, Pedro Escobedo y Laderas de San Pedro)

De acuerdo con los resultados anteriores, pareciera que no existe una regla de comportamiento del módulo de resiliencia de suelos similares, es decir, dos suelo CH no necesariamente tienen los mismos M_r . Lo que si se observa de las gráficas anteriores es que suelos que tienen cantidad de finos similares y valores de límite líquido o índice de plasticidad similares, pueden proporcionar valores de M_r parecidos.

Limo de alta compresibilidad, MH

De forma similar al caso de la arcilla, en esta sección se presenta la gráfica para los dos limos de alta compresibilidad. En este caso también se observa un comportamiento diferente para dos suelos con la misma clasificación (Figura 3.14).

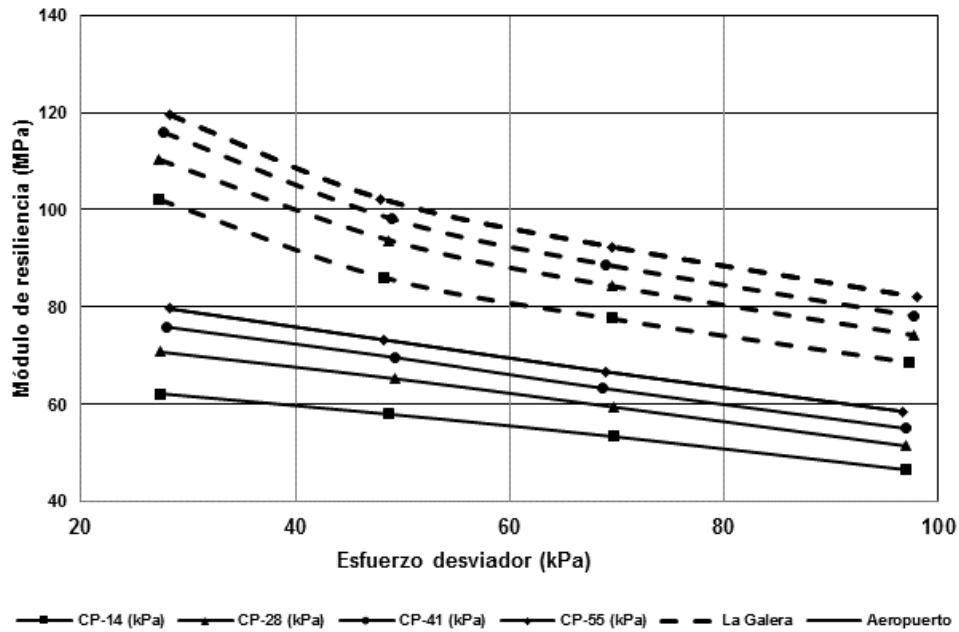


Figura 3.14 Módulos de resiliencia de materiales con clasificación “MH”

Limo de baja compresibilidad, ML

En los tres suelos ML se observó lo ya indicado anteriormente, es decir, a pesar de ser clasificados con el mismo símbolo SUCS, el comportamiento mecánico es diferente (Figura 3.15 y 3.16). Lo que sí se observa es la poca influencia del esfuerzo desviador en el módulo de resiliencia.

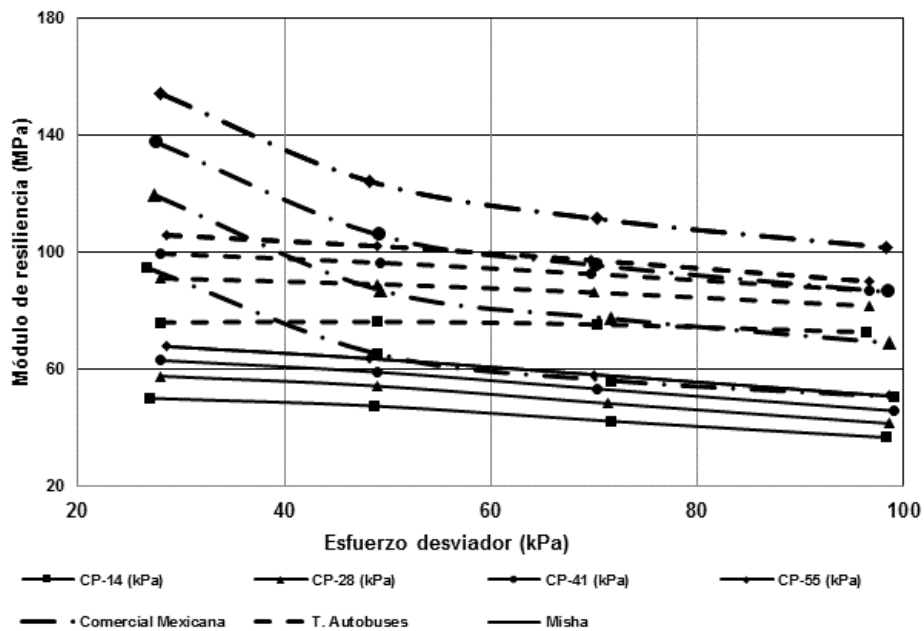


Figura 3.15 Módulos de resiliencia de materiales con clasificación “ML”

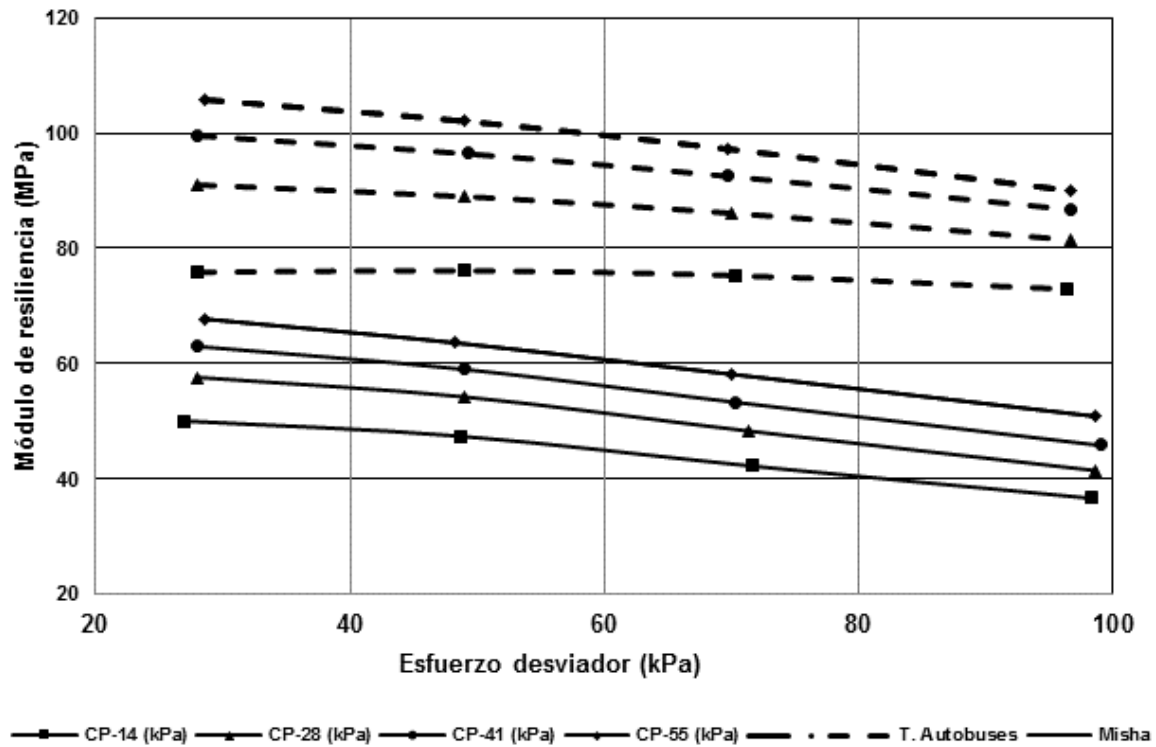


Figura 3.16 Comparación de limos de T. de Autobuses y Misha

Arena limosa, SM

La Figura 3.17 muestra los valores de módulo de resiliencia de los materiales clasificados como “SM” (San José y Los Cues). Se puede observar una dispersión mínima de los valores, además de un comportamiento similar entre los materiales ensayados. Aun cuando estos resultados son similares, no se puede declarar que los suelos SM sí tienen los mismos módulos de resiliencia ya que sólo son dos suelos. Se requiere estudiar un mayor número de este tipo de materiales para poder realmente encontrar una regla de comportamiento.

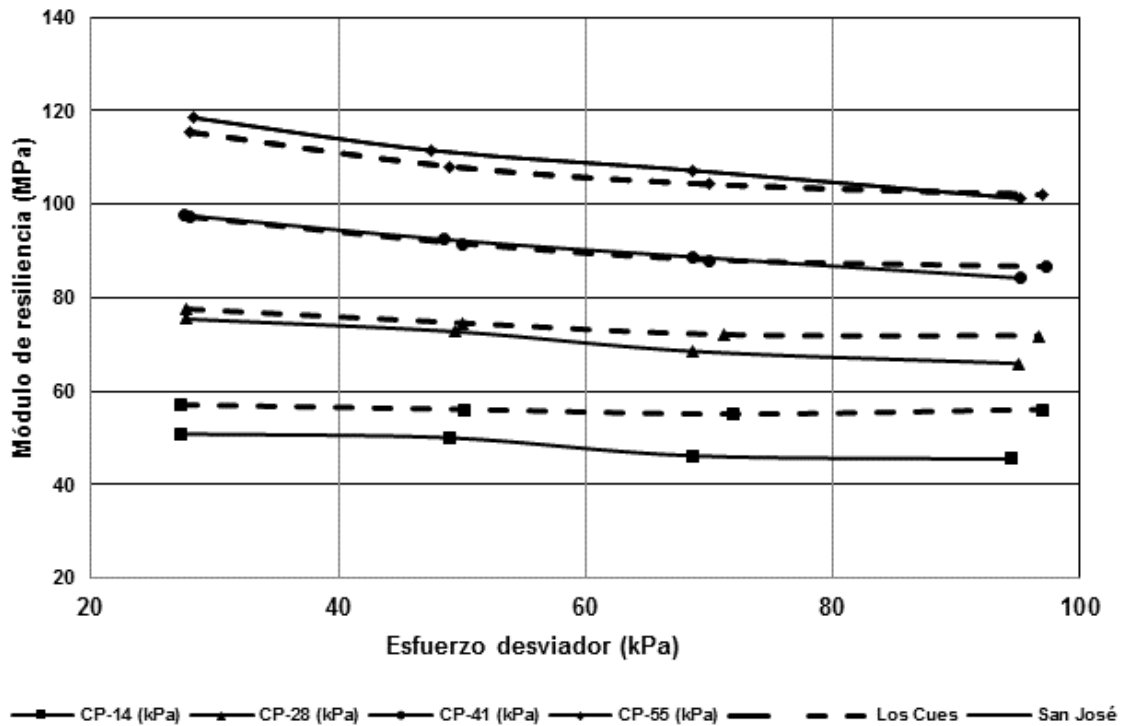


Figura 3.17 Módulos de resiliencia de materiales con clasificación "SM"

Para este tipo de materiales se puede apreciar la dependencia que presenta el módulo de resiliencia del esfuerzo de confinamiento aplicado, y lo poco que afecta el esfuerzo desviador.

3.3.5. Efecto de otras variables en el valor de módulo de resiliencia

Contenido de agua

Para la arcilla (CH) el contenido de agua resulta un factor fundamental en su comportamiento. En la Figura 3.18 se observan los valores de módulo de resiliencia de la arcilla La Cañada a diferentes contenidos de agua (óptimo, 2% arriba del óptimo y 2% abajo del óptimo). Como era de esperarse, los valores de módulo más altos se obtienen a contenido de agua más bajo y los menores módulos que obtienen para muestras compactadas con contenidos de agua que están por arriba del óptimo de compactación. Este comportamiento no es exclusivo de las arcillas ya que también se observó el mismo efecto en el limo de alta compresibilidad

(Figura 3.19), no así en una arena limosa en donde los valores de módulo de resiliencia parecen ser independientes del contenido de agua (Figura 3.20).

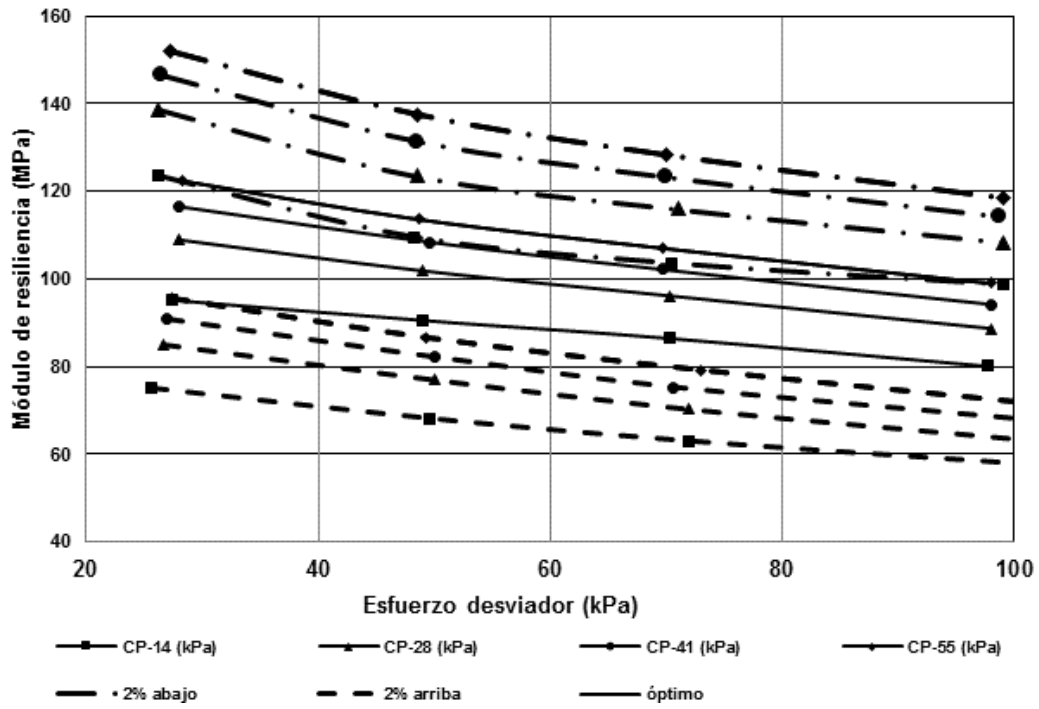


Figura 3.18 Efecto del contenido de agua en el módulo resiliente del material "La cañada"

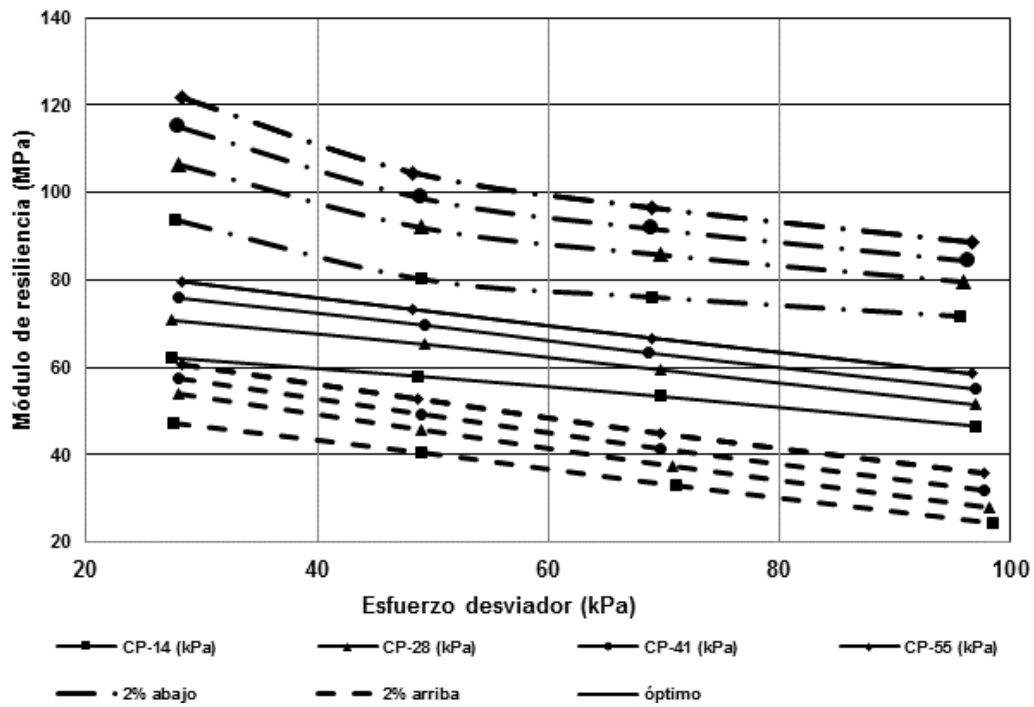


Figura 3.19 Efecto del contenido de agua en el módulo resiliente del material "Aeropuerto"

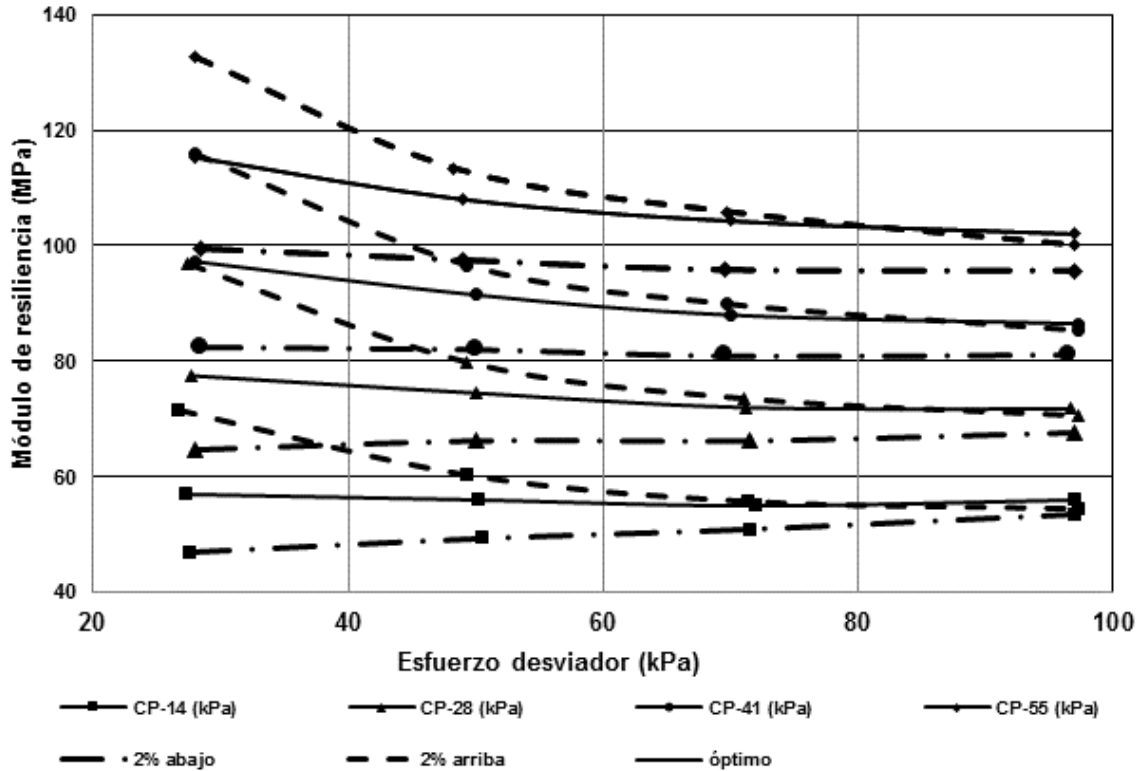


Figura 3.20 Efecto del contenido de agua en el módulo resiliente del material “Los Cues”

Energía de compactación

La energía de compactación es otra de las variables ampliamente estudiadas cuando se trata de observar su efecto en el módulo de resiliencia. En este caso, el módulo de resiliencia también se obtuvo para energía Proctor modificada, por lo tanto, al elaborar las gráficas se observó que la energía impacta de forma importante en los valores de módulo de resiliencia de suelos finos ya sea con especímenes compactados con contenido de agua óptimo o con contenidos de agua por encima del óptimo (Figuras 3.21 y 3.22). Sin embargo, es interesante notar que para suelos tipo SM la energía parece no tener efecto importante en el módulo de resiliencia (Figura 3.23 y 3.24).

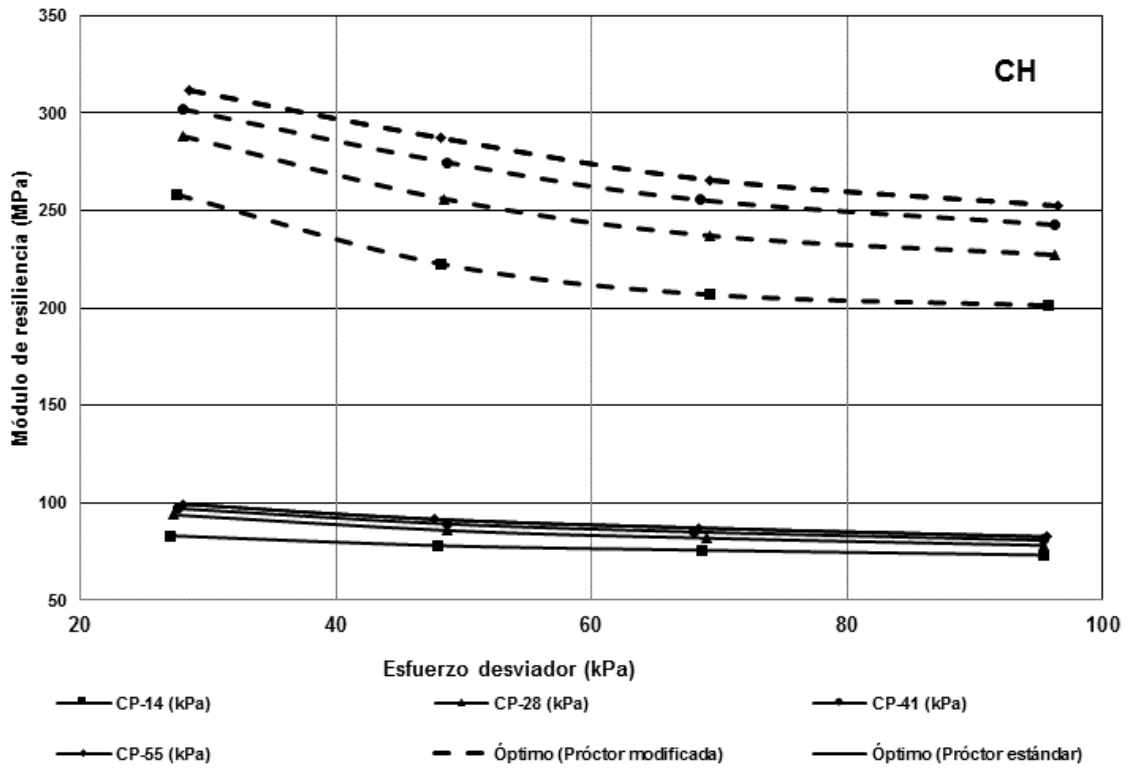


Figura 3.21 Efecto de la energía de compactación en el módulo resiliencia del material “La venta” (contenido de agua óptimo)

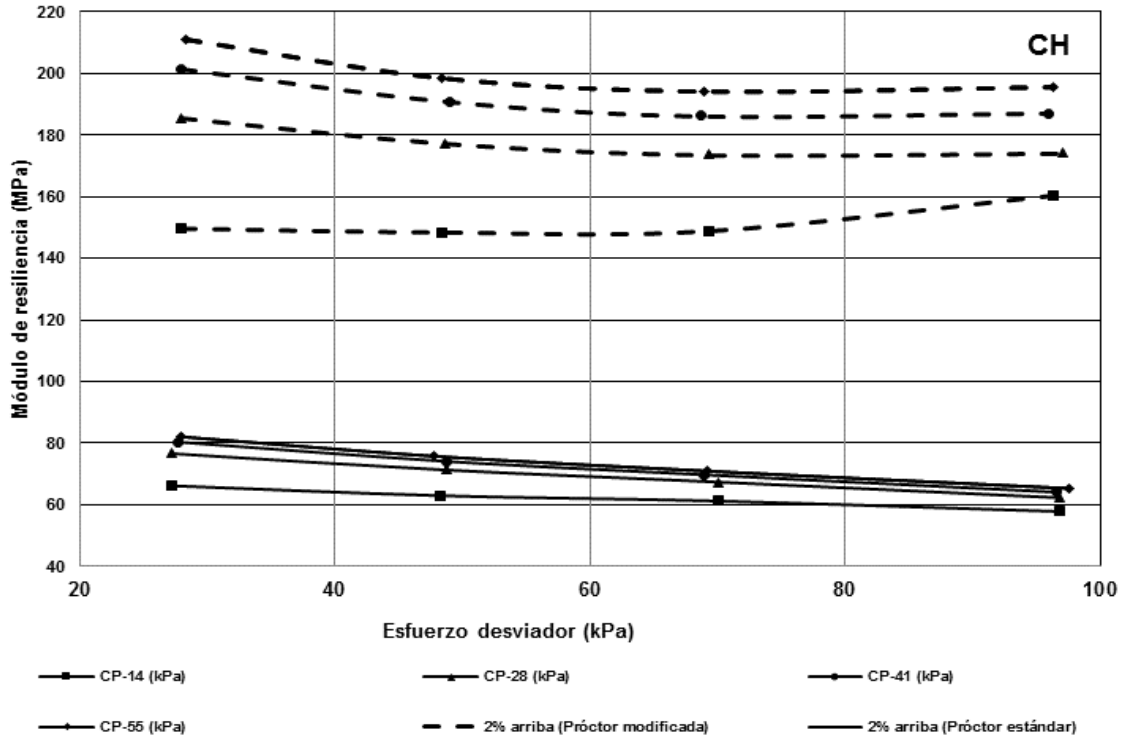


Figura 3.22 Efecto de la energía de compactación en el módulo resiliente del material “La Venta” (contenido de agua 2% arriba)

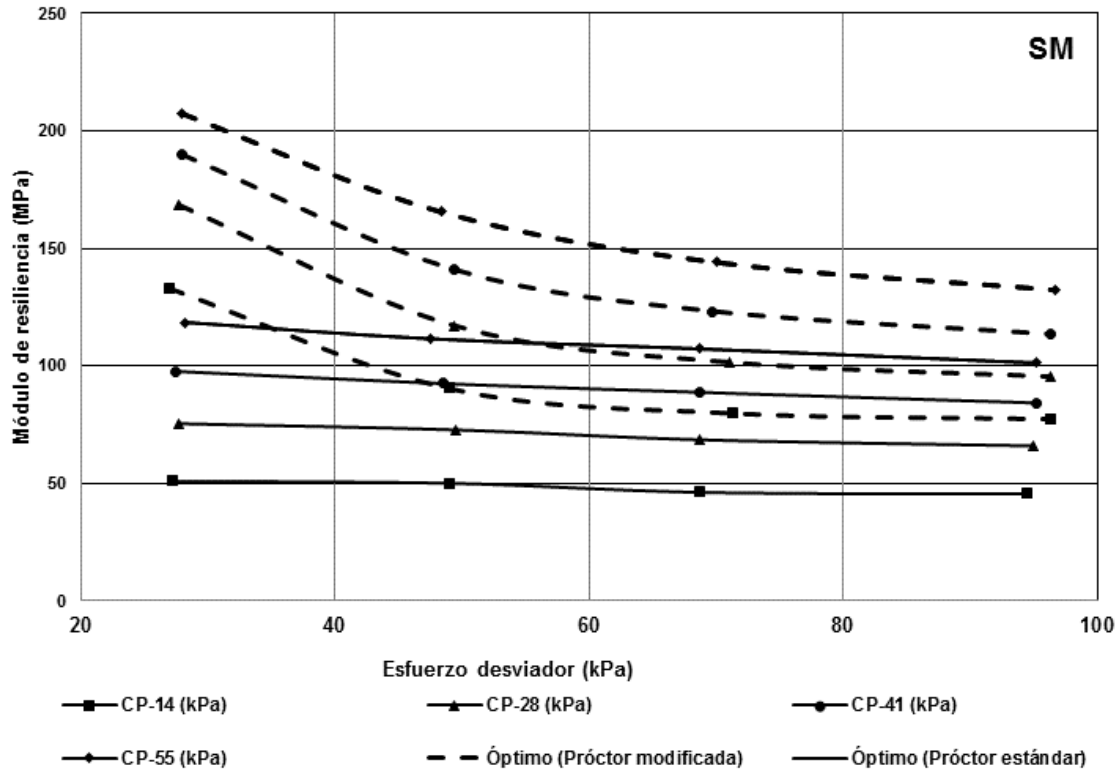


Figura 3.23 Efecto de la energía de compactación en el módulo resiliente del material "San José" (contenido de agua óptimo)

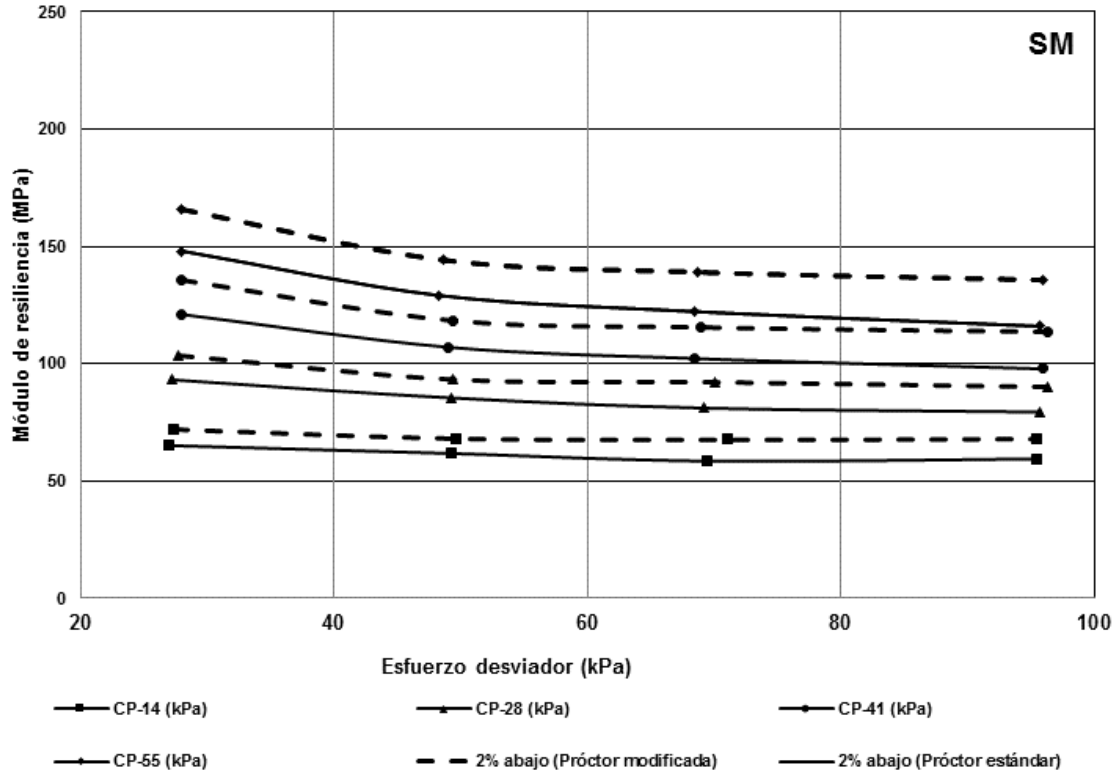


Figura 3.24 Efecto de la energía de compactación en el módulo resiliente del material "San José" (contenido de agua 2% abajo)

Para el material de San José los pesos volumétricos son 14.78 kN/m³ (óptimo) y 14.60 kN/m³ (2% abajo). Como se puede observar no existe una diferencia significativa entre los valores de módulo de resiliencia entre los dos contenidos de agua.

3.3.6. Base de datos de M_r en forma gráfica

Las bases de datos de módulo de resiliencia pueden tener diferentes presentaciones, sin embargo, éstas deben ser mostradas de tal forma que sean entendibles. La Figura 3.25 muestra un diagrama en el que colocaron los tipos de suelo y sus variaciones de módulo de resiliencia (para el caso de especímenes compactados en el óptimo de la Proctor estándar). Puede observarse que para los diferentes tipos de suelos se tiene un amplio rango de módulos de resiliencia dependiendo del esfuerzo de confinamiento y del esfuerzo desviador, excepto el caso del suelo SM en donde el M_r depende más del confinamiento que del esfuerzo desviador.

Este tipo de presentación puede no ser la más adecuada. En los siguientes incisos se proponen otros formatos.

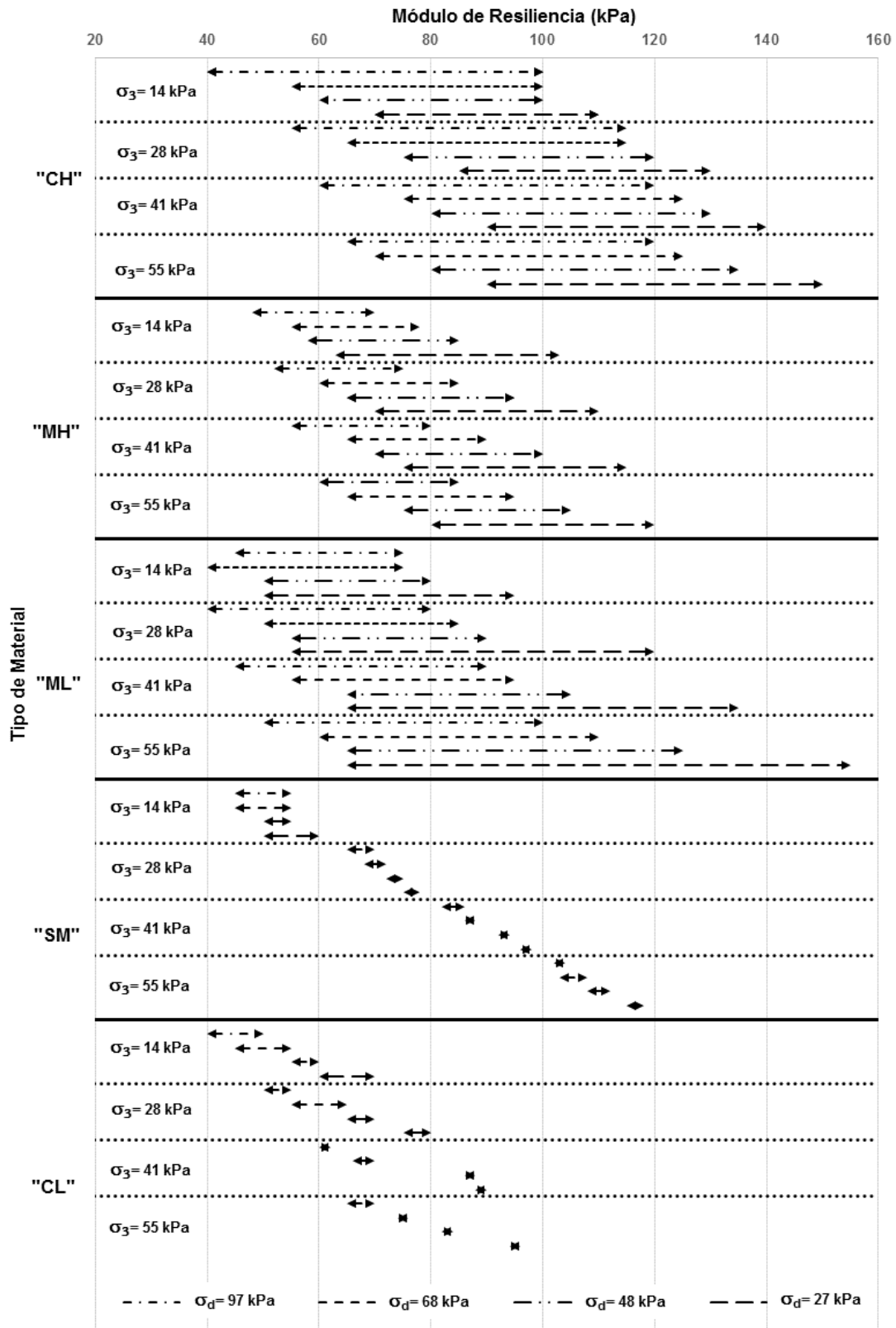


Figura 3.25 Rangos de variación módulo de resiliencia para diferentes tipos de suelos (contenido de agua óptimo)

3.3.7. Base de datos en tablas

En las Tablas 3.4, 3.5, 3.6, 3.7, 3.8, y 3.9, se resumen todos los datos de módulos de resiliencia obtenidos en las 6 condiciones estudiadas y para todos los suelos.

Tabla 3.4. Módulos de resiliencia en la condición óptima de la Proctor estándar

Banco	MÓDULOS DE RESILIENCIA (Mpa)															
	$\sigma_3 = 14$ kPa				28 kPa				41 kPa				55 kPa			
	$\sigma_d = 27$ kPa	48	68	95	27	48	68	95	27	48	68	95	27	48	68	95
La Venta	83	78	76	73	94	86	82	78	97	89	85	81	99	92	87	83
Santa Rosa	90	85	83	80	105	98	94	89	112	105	100	94	117	109	104	98
La Cañada	95	91	86	80	109	102	96	89	117	108	102	94	122	114	107	99
Pedro Escobedo	104	93	90	87	128	107	102	96	136	115	107	101	141	119	111	104
Jalisco (Negra)	79	71	68	64	86	75	71	66	87	77	72	67	87	77	72	67
Jalisco (Roja)	72	63	53	43	92	80	66	53	104	89	75	59	109	95	80	64
Laderas San Pedro	109	102	100	99	129	118	114	111	139	127	121	116	146	132	124	119
Arcilla IMT	83	66	57	48	90	71	61	51	93	73	63	53	94	75	65	54
Mezcla 1	104	101	100	101	122	118	115	113	135	128	123	120	143	134	128	124
Aeropuerto	62	58	53	47	71	65	59	51	76	70	63	55	80	73	67	59
La Galera	102	86	78	69	110	94	84	74	116	98	89	78	120	102	92	82
T. Autobuses	76	76	75	73	91	89	86	81	100	96	93	87	106	102	97	90
Misha	50	47	42	37	58	54	48	41	63	59	53	46	68	64	58	51
Comercial	95	65	56	50	119	87	77	69	137	106	95	86	154	124	111	102
San José	51	50	46	46	75	73	69	66	98	92	89	84	119	112	107	101
Los Cues	57	56	55	56	78	75	72	72	97	92	88	87	115	108	104	102
Mezcla 2	63	55	47	40	76	66	58	50	87	76	67	60	96	84	75	68
Pueblo Nuevo	69	61	55	48	81	71	64	55	89	78	69	59	96	84	75	65

Tabla 3.5. Módulos de resiliencia en la condición 2 % por debajo del óptimo de la Proctor estándar

Banco	MÓDULOS DE RESILIENCIA (Mpa)															
	$\sigma_3 = 14 \text{ kPa}$				28 kPa				41 kPa				55 kPa			
	$\sigma_d = 27 \text{ kPa}$	48	68	95	27	48	68	95	27	48	68	95	27	48	68	95
La Venta	90	89	89	88	102	99	97	95	108	104	102	99	112	108	105	102
Santa Rosa	86	82	82	84	107	100	100	100	123	114	112	111	135	125	122	119
La Cañada	123	110	104	99	139	123	116	108	146	131	123	114	152	138	128	118
Pedro Escobedo	104	98	96	94	118	110	106	103	126	116	112	107	130	121	116	111
Laderas San Pedro	107	104	103	105	124	118	117	117	133	127	125	123	137	132	129	128
Mezcla 1	165	150	143	138	178	161	154	147	184	167	160	153	187	171	164	156
La Galera	142	107	98	92	163	128	115	105	178	139	125	114	186	149	133	121
Aeropuerto	94	80	76	72	106	92	86	80	115	99	92	84	122	105	96	89
T. Autobuses	141	122	114	107	152	133	123	114	158	138	129	119	162	142	132	123
Misha	85	80	74	67	95	89	83	74	102	95	88	79	108	100	93	84
Comercial	54	53	49	43	75	71	69	65	95	88	85	81	114	104	100	95
San José	65	62	59	59	93	85	81	79	121	107	102	98	148	129	122	116
Los Cues	47	49	51	54	65	66	66	68	82	82	81	81	100	98	96	96
Mezcla 2	97	80	71	63	115	95	84	75	127	105	94	84	139	116	103	93
Pueblo Nuevo	137	103	92	83	159	122	107	95	168	133	117	102	176	141	123	108

Tabla 3.6. Módulos de resiliencia en la condición 2 % por arriba del óptimo de la Proctor estándar

Banco	MÓDULOS DE RESILIENCIA															
	$\sigma_3 = 14 \text{ kPa}$				28 kPa				41 kPa				55 kPa			
	$\sigma_d = 27 \text{ kPa}$	48	68	95	27	48	68	95	27	48	68	95	27	48	68	95
La Venta	66	63	61	58	77	71	67	62	80	74	70	64	82	76	71	65
Santa Rosa	90	82	77	71	98	89	83	76	103	93	86	79	107	97	90	82
La Cañada	95	90	84	77	105	98	92	83	110	103	96	87	114	107	100	91
Pedro Escobedo	151	112	97	86	159	120	103	90	162	123	105	92	164	127	107	93
Laderas San Pedro	153	119	106	100	170	132	117	110	178	139	124	115	183	145	128	118
Mezcla 1	71	65	63	61	88	79	75	71	97	86	82	76	103	92	86	80
La Galera	59	51	45	40	68	59	52	45	75	64	57	49	81	69	62	53
Aeropuerto	94	80	76	72	106	92	86	80	115	99	92	84	122	105	96	89
T. Autobuses	95	90	84	77	105	98	92	83	110	103	96	87	114	107	100	91
Misha	68	45	36	29	74	52	42	34	80	57	47	38	86	62	52	43
Los Cues	72	60	56	55	97	80	74	71	116	97	90	85	133	113	106	100
Pueblo Nuevo	37	28	22	14	43	34	27	22	49	39	32	25	55	45	37	30

Tabla 3.7. Módulos de resiliencia en la condición óptima de la Proctor modificada

Banco	MÓDULOS DE RESILIENCIA (Mpa)															
	$\sigma_3 = 14$ kPa				28 kPa				41 kPa				55 kPa			
	$\sigma_d = 27$ kPa	48	68	95	27	48	68	95	27	48	68	95	27	48	68	95
La Venta	258	222	207	201	288	256	237	227	302	274	255	243	311	287	265	252
Santa Rosa	275	257	252	255	323	304	294	292	349	330	321	315	363	350	337	331
La Cañada	262	255	255	257	310	296	291	289	335	322	315	311	354	340	331	326
Pedro Escobedo	277	251	235	238	317	290	272	270	345	314	295	290	366	331	312	302
Mezcla 1	185	171	173	183	233	217	214	221	268	248	247	250	294	274	270	273
San José	133	91	80	78	169	117	101	95	190	141	123	113	208	166	144	132
Los Cues	99	86	82	80	128	111	102	97	152	129	118	112	173	147	134	126
Comercial	69	59	54	52	94	79	74	70	117	96	90	86	137	113	105	100
T. Autobuses	251	241	239	246	293	278	274	276	316	299	298	293	330	316	310	304
Misha	211	197	198	202	250	233	232	234	273	256	254	255	287	273	271	271
Aeropuerto	150	128	122	118	175	150	142	134	189	161	152	144	200	172	160	151
La Galera	115	113	117	126	165	153	154	161	201	187	185	191	229	215	216	219
Mezcla 2	203	170	155	148	233	198	181	170	248	216	198	185	259	229	210	197
Pueblo Nuevo	263	233	218	214	304	274	257	248	324	297	280	267	336	310	293	280

Tabla 3.8. Módulos de resiliencia en la condición 2 % por debajo del óptimo de la Proctor modificada

Banco	MÓDULOS DE RESILIENCIA (Mpa)															
	$\sigma_3 = 14$ kPa				28 kPa				41 kPa				55 kPa			
	$\sigma_d = 27$ kPa	48	68	95	27	48	68	95	27	48	68	95	27	48	68	95
La Venta	159	157	161	168	194	190	194	200	222	217	219	222	248	240	239	240
Santa Rosa	265	255	255	260	303	290	286	289	321	308	303	305	335	321	314	315
La Cañada	272	249	237	235	302	284	271	266	321	306	294	287	335	322	311	300
Pedro Escobedo	249	240	237	240	288	281	274	274	308	301	295	293	320	314	308	306
Mezcla 1	324	294	292	298	372	344	337	337	396	374	363	361	411	397	381	375
San José	72	68	68	68	104	93	92	90	136	119	116	114	166	144	139	136
Los Cues	100	89	88	88	128	117	112	110	152	136	131	127	172	154	147	142
Comercial	56	55	54	54	77	74	73	72	97	92	90	88	117	110	106	103
T. Autobuses	231	217	215	218	268	253	249	249	289	276	270	268	307	292	286	283
Misha	353	320	301	297	393	360	339	330	413	384	364	353	428	402	383	365
Aeropuerto	95	93	95	97	123	119	118	118	143	136	133	131	155	148	143	140
La Galera	226	216	220	224	280	265	262	263	308	300	284	283	328	319	314	296
Mezcla 2	226	197	187	187	275	245	231	226	303	275	259	250	325	297	278	267
Pueblo Nuevo	165	166	169	174	213	215	215	214	241	247	240	238	266	270	258	255

Tabla 3.9. Módulos de resiliencia en la condición 2 % por arriba del óptimo de la Proctor modificada

Banco	MÓDULOS DE RESILIENCIA (Mpa)															
	$\sigma_3 = 14$ kPa				28 kPa				41 kPa				55 kPa			
	$\sigma_d = 27$ kPa	48	68	95	27	48	68	95	27	48	68	95	27	48	68	95
La Venta	150	148	149	160	186	177	174	174	201	191	186	187	211	198	194	196
Santa Rosa	173	173	174	178	204	202	202	204	223	220	219	220	237	234	232	232
La Cañada	241	239	235	237	282	274	267	267	302	291	284	282	314	304	293	290
Pedro Escobedo	196	167	158	157	231	197	186	182	251	218	206	200	263	233	219	211
Mezcla 1	148	147	154	162	201	198	200	205	242	233	232	231	267	254	249	244
Los Cues	90	75	68	67	119	99	90	86	144	119	108	102	166	139	125	118
Misha	267	236	223	219	303	271	255	247	325	292	275	264	338	307	287	272
T. Autobuses	240	216	210	212	283	255	245	244	306	276	265	263	321	291	279	276
La Galera	262	233	222	219	303	277	261	254	323	302	285	274	339	323	301	289
Aeropuerto	116	97	90	85	132	111	102	95	142	119	109	101	149	126	115	107
Mezcla 2	75	63	60	56	96	82	75	71	113	97	90	85	132	113	104	98
Pueblo Nuevo	148	127	120	115	179	156	145	136	197	174	161	150	211	189	173	160

Como se ha observado y explicado en párrafos anteriores, existen varios valores de módulo de resiliencia para un espécimen de suelo; la forma típica de graficarlos (esfuerzo desviador contra módulo de resiliencia) parece no ser tan conveniente puesto que esto dificulta su uso en el diseño de pavimentos. Brown (1996) en su artículo “Soil Mechanics in pavement Engineering” muestra que si se grafica en el eje de las abscisas la relación σ_d/σ_3 , entonces se puede obtener una relación única tipo potencial. En este documento se realizaron estas gráficas y se observó que esta puede ser una mejor forma de presentar los datos (Ver Figuras 3.26-3.30).

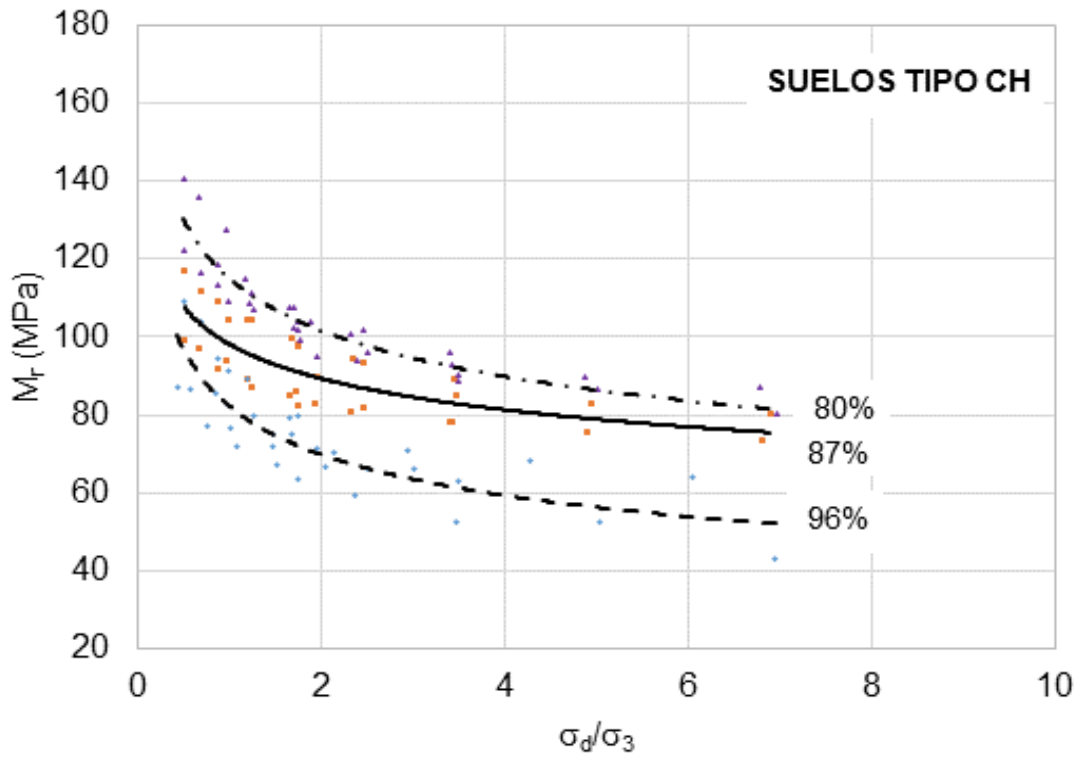


Figura 3.26 Gráfica σ_d/σ_3 versus M_r para suelos tipo CH

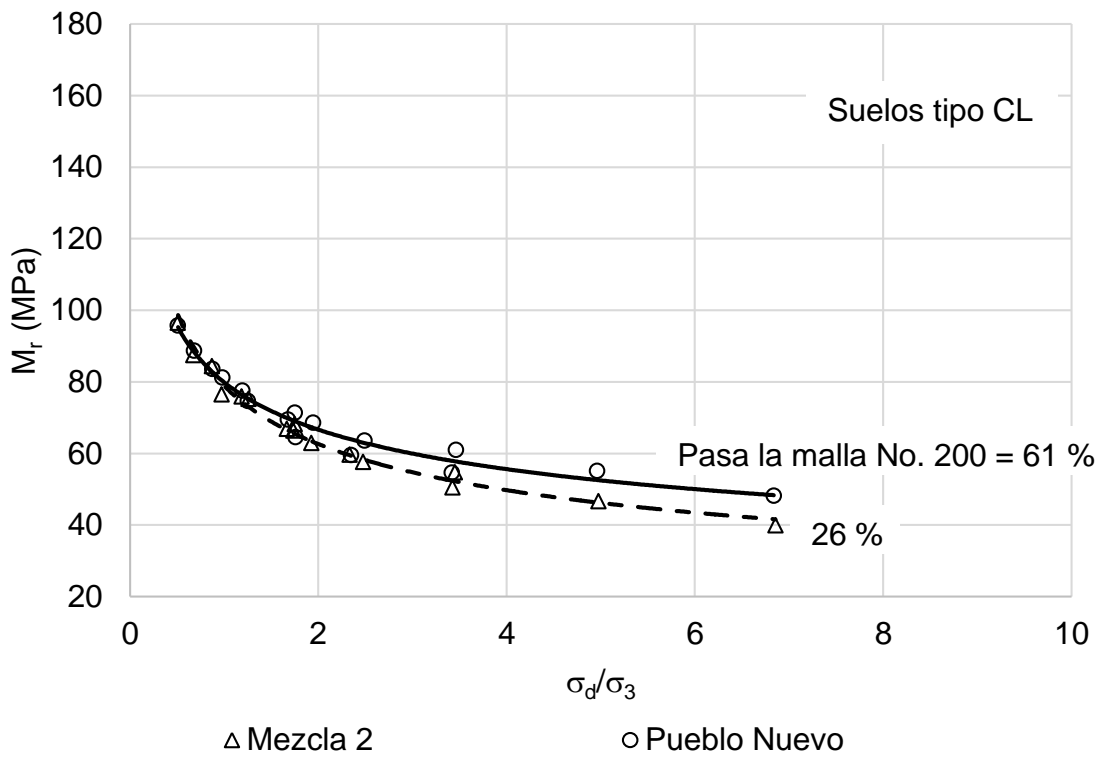


Figura 3.27 Gráfica σ_d/σ_3 versus M_r para suelos tipo CL

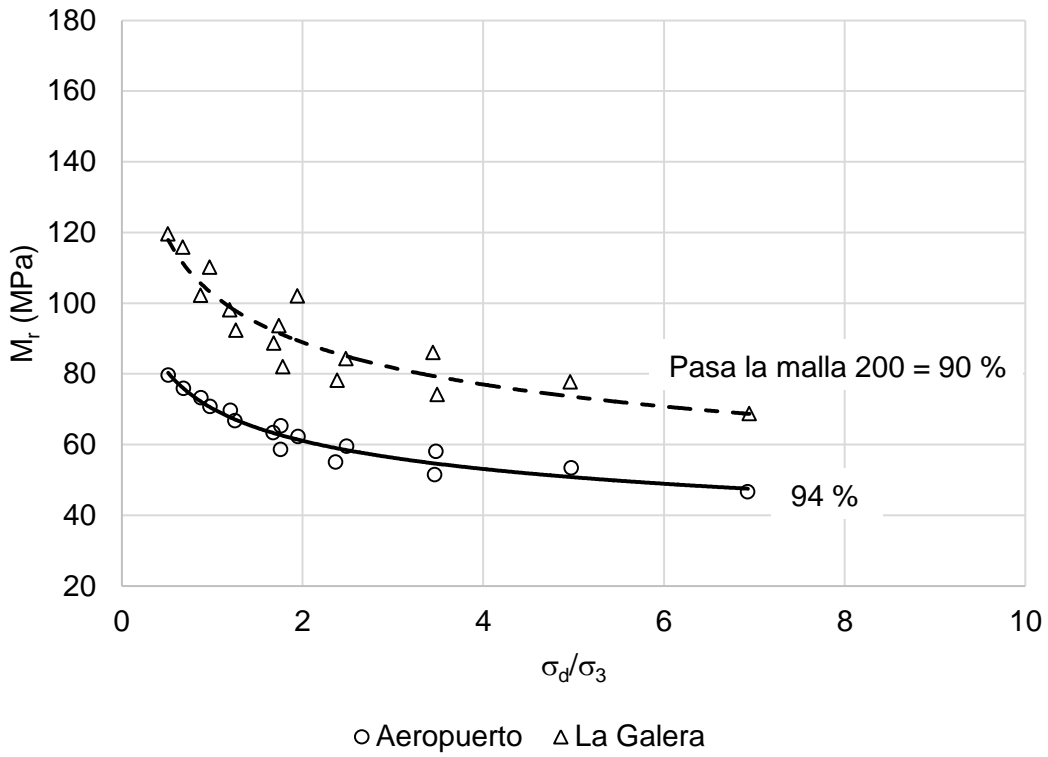


Figura 3.28 Gráfica σ_d/σ_3 versus M_r para suelos tipo MH

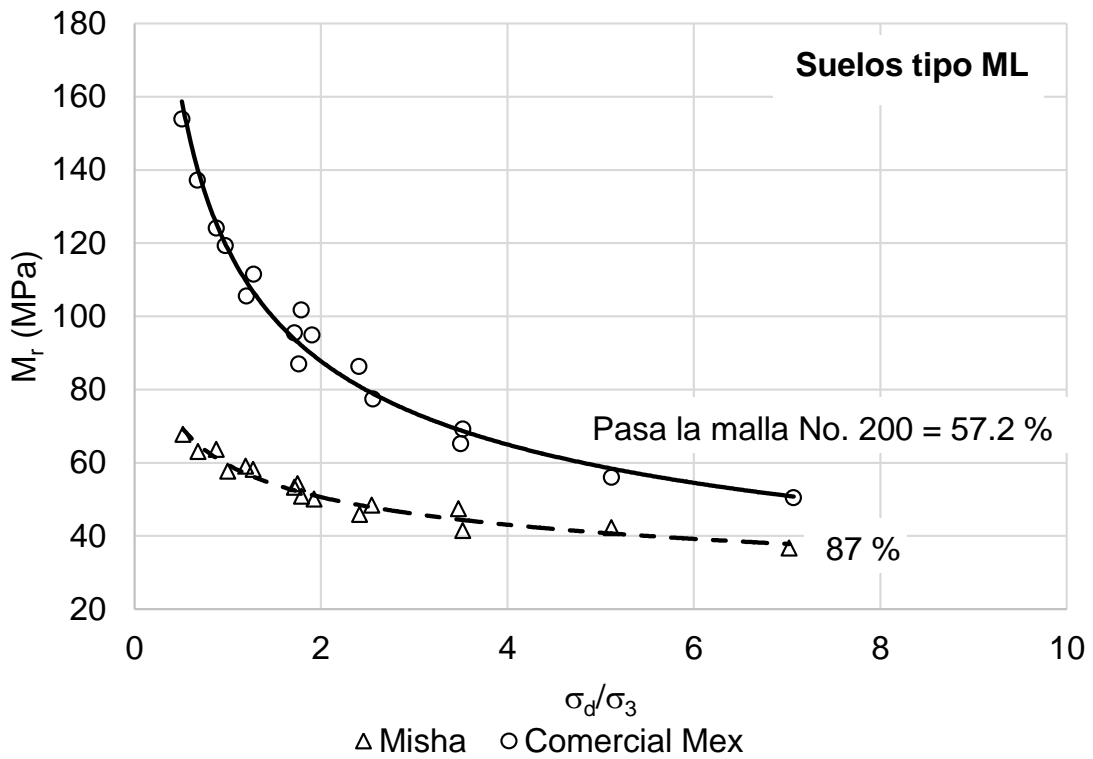
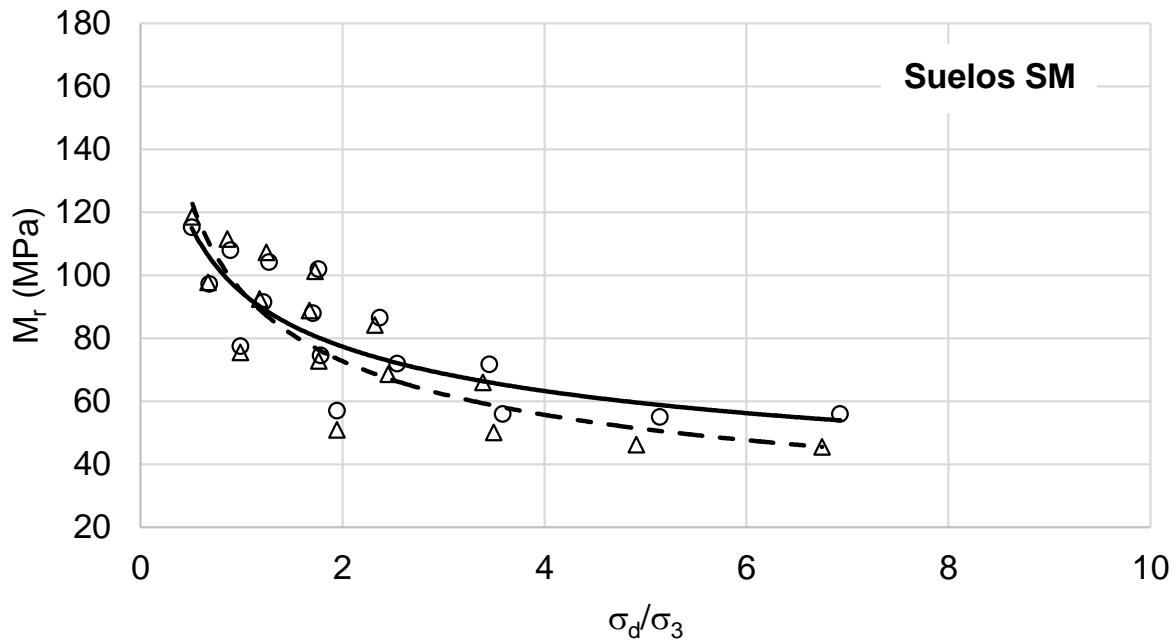


Figura 3.29 Gráfica σ_d/σ_3 versus M_r para suelos tipo ML



Δ San José (Pasa la mala 200 = 13.3 %)

 \circ Los Cues (Pasa la malla No. 200 = 37 %)

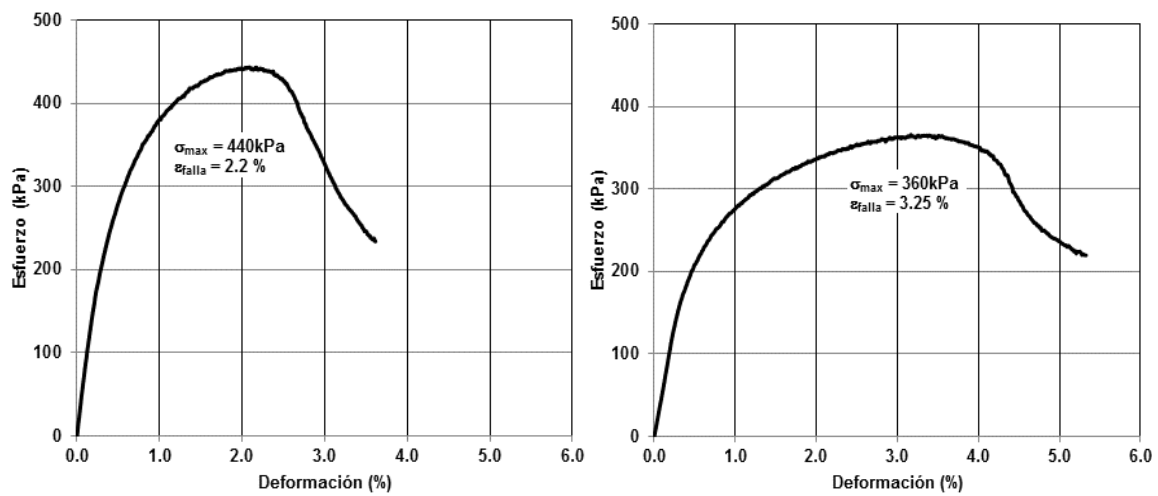
 Figura 3.30 Gráfica σ_d/σ_3 versus M_r para suelos tipo SM

De las gráficas anteriores se observa además (gráfica de suelos CH) que si el usuario conoce el estado de esfuerzos al que estará sometido el suelo además de la cantidad de finos, se puede determinar el módulo de resiliencia. En estas mismas gráficas se observa que a medida que el contenido de finos (material que pasa la malla No. 200) se incrementa (excepto para los suelos CL y SM), el módulo de resiliencia tiende a disminuir. En el caso del suelo SM, la cantidad de suelo que pasa la malla No. 200 parece ya no ser tan importante en los valores de M_r que se obtienen puesto que los datos se superponen (Figura 3.30).

Cabe hacer notar que las gráficas anteriores corresponden a los especímenes que se compactaron en la condición óptima con respecto a la prueba Proctor estándar.

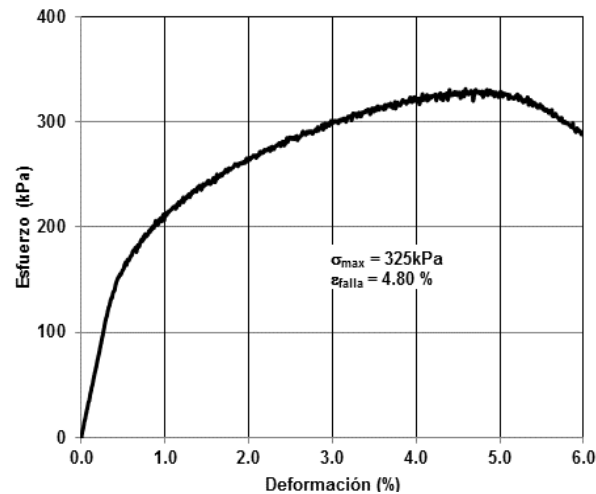
3.4. Resistencia a la compresión no confinada

Como se mencionó en el capítulo de procedimientos de prueba, todas las probetas ensayadas en módulo de resiliencia se probaron posteriormente en compresión no confinada. En la Figura 3.30 se muestra un ejemplo de pruebas de resistencia en donde se observa el cambio en resistencia por el cambio en contenido de agua, es decir, a mayor contenido de agua, la resistencia se reduce y la deformación se incrementa.



(a) 2% abajo del óptimo

(b) Contenido óptimo de agua



(c) 2% arriba del óptimo

Figura 3.31 Efecto del contenido de agua en la resistencia a compresión no confinada

En la Tabla 3.5 se presentan las características de compactación de las probetas sometidas a compresión simple, así como la resistencia máxima y su deformación axial unitaria en la falla.

Los resultados de los especímenes ensayados a compresión simple se presentan en el anexo D de la presente investigación.

Tabla 3.5 Tabla resumen de resistencia de a la compresión no confinada

Banco	Características de las probetas		Falla (prom)	
	w prom (%)	γ_d prom(kN/m ³)	σ máx (Kpa)	ε (%)
La Venta	33.26	12.49	289	2.0
Santa Rosa	27.23	13.99	324	3.5
La Cañada	31.27	13.07	377	3.4
Pedro Escobedo	33.71	12.70	363	1.5
Pueblo Nuevo	22.05	14.94	278	4.0
San José	20.34	14.74	92	0.7
Los Cues	23.77	13.98	190	1.2
Terminal Autobuses	36.57	12.21	378	2.9
La Galera	33.41	12.92	270	4.7
Misha	31.65	13.03	257	3.5
Aeropuerto	36.31	12.19	232	2.6
Comercial Mexicana	28.41	12.69	163	1.4
Jalisco (Negra)	16.98	12.49	310	4.7
Laderas San Pedro	39.02	11.57	480	1.6
Mezcla 1	27.81	13.63	353	2.0
Mezcla 2	20.77	15.39	133	2.1
Arcilla IMT	30.08	13.51	276	5.0
Jalisco (Roja)	28.95	14.22	215	5.8

Con las resistencias máximas y los datos de módulo de resiliencia (para $\sigma_3 = 14$ kPa y $\sigma_d = 97$ kPa), se realizó una gráfica (Figura 3.32), de la cual se puede observar que a mayor resistencia a compresión no confinada mayor es el módulo de resiliencia. Esta correlación puede mejorarse para un mayor número de suelos estudiados. De igual manera, la Figura 3.32 corresponde a los especímenes preparados con condición óptima con respecto a la prueba Proctor estándar.

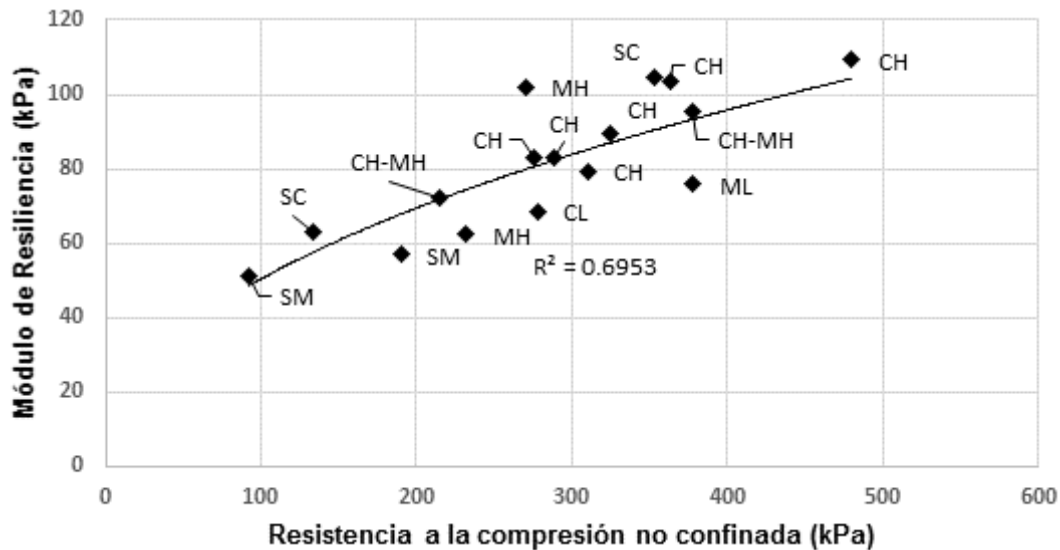


Figura 3.32 Correlación módulo de resiliencia – resistencia a la compresión no confinada

3.5. Evaluación de algunas correlaciones mencionadas en la literatura

Se evaluaron las diferentes correlaciones mencionadas en el capítulo 1 y se compararon con los resultados obtenidos en esta investigación.

3.5.1. Jones y Witczak

Una correlación utilizada para obtener los módulos de resiliencia a partir de propiedades índice fue desarrollada por Jones y Witczak (1977). Las condiciones utilizadas son las similares a la recomendada en la literatura, $\sigma_d = 3.92$ psi y $\sigma_3 = 2.03$ psi. Los resultados para la proctor estándar y sus diferentes condiciones de humedad se presentan en las Tablas 3.6, 3.7 y 3.8

Tabla 3.6 Resultados de correlación Jones y Witczak (condición óptima)

Banco de Material	w (%)	Sr (%)	Correlación Jones y Witczak (ksi)	Mr real (ksi)
La Venta	33.26	84.19	14.46	11.32
Santa Rosa	27.23	87.68	14.72	12.33
La Cañada	31.27	85.82	14.55	13.13
Pedro Escobedo	33.71	85.32	14.46	13.44
Jalisco (Roja)	28.95	89.88	14.67	9.16
Arcilla IMT	30.08	87.72	14.61	9.57

Tabla 3.7 Resultados de correlación Jones y Witczak (condición 2% abajo)

Banco de Material	w (%)	Sr (%)	Correlación Jones y Witczak (ksi)	Mr real (ksi)
La Venta	31.19	79.34	14.51	13.07
Santa Rosa	25.5	81.02	14.73	12.44
La Cañada	28.89	79.58	14.59	17.90
Pedro Escobedo	31.94	78.67	14.47	15.02

Tabla 3.8 Resultados de correlación Jones y Witczak (condición 2% arriba)

Banco de Material	w (%)	Sr (%)	Correlación Jones y Witczak (ksi)	Mr real (ksi)
La Venta	35.38	90.12	14.43	9.59
Santa Rosa	29.2	90.73	14.66	13.08
La Cañada	32.85	89.4	14.52	13.82
Pedro Escobedo	35.71	86.82	14.39	21.86

De las tablas anteriores se observar que existe cierta similitud entre los resultados de la correlación y los módulos reales, sin embargo esto no se observa para todos los suelos evaluados, también se puede observar que a menor contenido de agua las correlaciones se asemejan a los resultados reales.

3.5.2. Elliot et al (1988)

Para la correlación desarrollada por Elliot et al (1988) (citado por Mokwa y Akin, 2009) se consideró un $\sigma_d = 3.92$ psi y $\sigma_3 = 2.03$ psi. En las Tablas 3.9, 3.10 y 3.11 se resumen los resultados en sus diferentes contenidos de agua (proctor estándar).

Tabla 3.9 Resultados de correlación Elliot (condición óptima)

Banco de Material	Límite Líquido	Límite Plástico	Índice Plástico	Pasa la Malla No.200	w (%)	Correlación Elliot (ksi)	Mr reales (ksi)
La Venta	69	23	46	87	33.26	10.92	12.06
Santa Rosa	56	19.5	36.5	87.6	27.23	13.52	13.00
La Cañada	55	30	25	81.4	31.27	7.22	13.80
Pedro Escobedo	70	28	42	79.4	33.71	8.49	15.03
Jalisco (Negra)	94	32	62	95.6	35.93	13.63	11.49
Jalisco (Roja)	54	30	24	95.5	28.95	11.11	10.39
Laderas San Pedro	81	36	45	95.1	31.25	13.56	15.83
Arcilla IMT	66	25	41	86	30.08	12.07	11.99
Aeropuerto	54	34	20	94.4	36.31	4.75	9.02
La Galera	59	33	26	89.6	33.41	7.25	14.79
T. Autobuses	46.5	36	10.5	92.4	36.57	2.32	10.99
Misha	44	33	11	87	31.65	5.09	7.26
Pueblo Nuevo	37	17	20	61.1	22.05	9.50	9.94

Tabla 3.10 Resultados de correlación Elliot (2% abajo)

Banco de Material	Límite Líquido	Límite Plástico	Índice Plástico	Pasa la Malla No.200	w (%)	Correlación Elliot (ksi)	Mr reales (ksi)
La Venta	69	23	46	87	31.5	12.21	13.07
Santa Rosa	56	19.5	36.5	87.6	25.6	14.71	12.44
La Cañada	55	30	25	81.4	29.25	8.70	17.90
Pedro Escobedo	70	28	42	79.4	32.2	9.60	15.02
Laderas San Pedro	81	36	45	95.1	37.5	9.00	15.48
Aeropuerto	54	34	20	94.4	34.5	6.07	13.63
La Galera	59	33	26	89.6	31.8	8.43	20.59
T. Autobuses	46.5	36	10.5	92.4	34.6	3.76	20.45
Misha	44	33	11	87	30	6.30	12.33
Pueblo Nuevo	37	17	20	61.1	20.5	10.63	19.87

Tabla 3.11 Resultados de correlación Elliot (2% arriba)

Banco de Material	Límite Líquido	Límite Plástico	Índice Plástico	Pasa la Malla No.200	w (%)	Correlación Elliot (ksi)	Mr reales (ksi)
La Venta	69	23	46	87	35.38	9.37	9.59
Santa Rosa	56	19.5	36.5	87.6	29.2	12.09	13.08
La Cañada	55	30	25	81.4	32.85	6.07	13.82
Pedro Escobedo	70	28	42	79.4	35.71	7.04	21.86
Laderas San Pedro	81	36	45	95.1	41.05	6.41	22.22
Aeropuerto	54	34	20	94.4	38.22	3.36	13.63
La Galera	59	33	26	89.6	35.51	5.72	8.56
T. Autobuses	46.5	36	10.5	92.4	38.13	1.18	13.78
Misha	44	33	11	87	33.7	3.60	9.79
Pueblo Nuevo	37	17	20	61.1	24.2	7.93	5.37

De los resultados obtenidos se puede distinguir que las mejores correlaciones se obtienen a contenidos de agua menores (óptimo y 2% abajo), cabe mencionar que con suelos con un índice de plástico mayor a 20, se tienen mejores correlaciones en comparación de los resultados reales.

3.5.3. Farrar y Turner (1991)

Farrar y Turner (1991) desarrollaron una correlación en función del grado de saturación, índice de plasticidad, % que pasa la malla 200, esfuerzo confinamiento y desviador. En la Tabla 3.12 se muestran las propiedades de los suelos analizados.

Tabla 3.12 Propiedades de los suelos analizados

Banco de Material	Límite Líquido	Límite Plástico	Índice Plástico	Pasa la Malla No.200	w (%)
La Venta	69	23	46	87	35.38
Santa Rosa	56	19.5	36.5	87.6	29.2
La Cañada	55	30	25	81.4	32.85
Pedro Escobedo	70	28	42	79.4	35.71
Laderas San Pedro	81	36	45	95.1	41.05
Aeropuerto	54	34	20	94.4	38.22
La Galera	59	33	26	89.6	35.51
T. Autobuses	46.5	36	10.5	92.4	38.13
Misha	44	33	11	87	33.7
Pueblo Nuevo	37	17	20	61.1	24.2

En la Tabla 3.13 se presenta la comparación entre la correlación de Farrar y Turner y los resultados de módulo de resiliencia de esta investigación. Con un $\sigma_3 = 2.03$ psi y diferentes niveles de esfuerzo desviador (proctor estándar).

Tabla 3.13 Comparación entre resultados y correlación Farrar y Turner (óptimo)

Banco de Material	(psi)							
	Mr (ensayos)				Mr (correlación Farrar y Turner)			
	$\sigma_3 = 2.03$				$\sigma_3 = 2.03$			
	σ_d 3.92	σ_d 6.96	σ_d 9.86	σ_d 13.78	σ_d 3.92	σ_d 6.96	σ_d 9.86	σ_d 13.78
La Venta	12.07	11.32	10.99	10.63	12.53	11.54	10.60	9.32
Santa Rosa	13.00	12.33	12.05	11.65	10.52	9.53	8.59	7.32
La Cañada	13.80	13.13	12.53	11.62	9.54	8.55	7.61	6.33
Pedro Escobedo	15.03	13.44	13.00	12.62	10.97	9.98	9.03	7.76
Jalisco (Negra)	11.49	10.28	9.89	9.33	14.34	13.35	12.41	11.14
Jalisco (Roja)	10.40	9.16	7.62	6.24	9.50	8.51	7.57	6.30
Laderas San Pedro	15.84	14.75	14.44	14.39	13.97	12.98	12.03	10.76
Arcilla IMT	12.00	9.50	8.30	6.98	10.73	9.74	8.79	7.52
Aeropuerto	9.02	8.41	7.74	6.76	11.66	10.67	9.73	8.45
La Galera	14.80	12.48	11.26	9.97	10.24	9.25	8.30	7.03
T. Autobuses	11.00	11.03	10.91	10.56	9.59	8.60	7.65	6.38
Misha	7.26	6.88	6.13	5.32	10.44	9.45	8.51	7.24
Pueblo Nuevo	9.94	8.85	7.99	6.98	8.95	7.96	7.01	5.74

Como se puede observar en la tabla anterior, existe una gran similitud entre la correlación de Farrar y Turner y los resultados de módulo de resiliencia. Cabe mencionar que para suelos con límite líquido arriba de 70, los resultados dejan de ser confiables.

En el anexo E de este documento se presenta la comparación de la correlación Farrar y Turner y los módulos obtenidos para diferentes esfuerzos desviadores y de confinamiento.

Capítulo 4

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

De acuerdo a los resultados obtenidos en este trabajo de investigación se llegó a las siguientes conclusiones:

1. Existen diferentes factores que afectan el módulo de resiliencia de los suelos finos (peso volumétrico, límites de consistencia, cantidad de suelo fino, energía de compactación, etc) como ya se ha presentado en la literatura, lo cual nuevamente se constató en este trabajo.
2. Se observó que aunque los suelos estén clasificados con un mismo símbolo de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, éstos no presentan los mismos módulos de resiliencia.
3. Al parecer si se tienen suelos con igual contenido de finos y límite líquido similar, las gráficas de módulo de resiliencia pueden ser similares.
4. Se trató de determinar correlaciones entre propiedades índice y módulo de resiliencia, pero sólo la propiedad de límite líquido parece mostrar una tendencia incremental, es decir, a mayor límite líquido mayor módulo de resiliencia. Esta correlación se puede mejorar evaluando un mayor número de suelos.
5. Se encontró una correlación entre el módulo de resiliencia ($\sigma_3 = 14$ kPa y $\sigma_d = 79$ kPa) y la resistencia a compresión simple, la cual indica que a mayor resistencia a compresión mayor módulo de resiliencia.
6. Los valores de módulo de resiliencia (para especímenes compactados en el óptimo de la prueba Proctor estándar) se graficaron contra la relación σ_d/σ_3 y se encontró que esta puede ser una mejor forma de presentar los datos ya que esto proporciona un modelo tipo potencial.
7. En la gráfica de σ_d/σ_3 contra M_r para las arcillas se observa claramente que a mayor cantidad de finos el módulo de resiliencia disminuye. Esto también se realizó para los otros tipos de suelo pero la base de datos de estos suelos no es tan robusta para poder obtener una gráfica como la que se obtuvo para el caso de los suelos CH.

8. Se observó que la correlación Farrar y Turner (1991) obtiene módulos similares a los resultados de los materiales ensayados en esta investigación, sin embargo se necesita una cantidad mayor de materiales para validar esta correlación para materiales regionales.

Recomendaciones

1. Se recomienda incrementar la base de datos para poder obtener correlaciones con R^2 mayores.
2. Se recomienda analizar todos los datos a mayor profundidad. Hacer combinaciones entre propiedades índice y determinar si se pueden determinar otro tipo de correlaciones.
3. Utilizar en estudios posteriores suelos con clasificaciones del tipo arena y arcillas de baja compresibilidad.
4. Se recomienda de igual forma incrementar la base de datos con materiales granulares.
5. Se presentan todos los resultados de módulo de resiliencia, de tal forma que todos aquellos interesados puedan llevar a cabo análisis más profundos si así lo requieren.

Capítulo 5

REFERENCIAS

1. Huang, Y.H. (2004). Pavement Analysis and Design. Second Edition. Pearson, Prentice Hall.
2. Garnica, P., Pérez, N. y Gómez, J.(2000).“Módulo de Resiliencia en Suelos Finos y Materiales Granulares”. Publicación Técnica No. 142. Instituto Mexicano del Transporte. Querétaro, Méx.
3. Van Til, C.J., B.F. McCullough, B.A. Vallergera, and R.G. Hicks, (1972). Evaluation of AASHO Interim Guides for Design of Pavement Structures, NCHRP 128; Highway Research Board.
4. Rico A., Téllez, R. y Garnica, P.(1998). “Pavimentos flexibles. Problemática, metodologías y tendencias”. Publicación Técnica No. 104. Instituto Mexicano del Transporte. Querétaro, Méx.
5. AASHTO, (1993). Guide for Design of Pavement Structures; American Association of State Highway and Transportation Officials.
6. Aquino, Manuel Zarate. (2011). Diseño de Pavimentos Flexibles, Primera Parte. Tercera Edición. Asociación Mexicana de Asfalto.
7. Rico R, Alfonso, Del Castillo Hermilo (1992). La ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres. Primera Edición. Volumen 2. Editorial Limusa
8. Montejo Fonseca, Alfonso (2006). Ingeniería de Pavimentos. Fundamentos, estudios básicos y diseño. Tercera Edición. Universidad Católica de Colombia Ediciones y Publicaciones.}
9. McLeod, N.W., (1970). “Influence of Hardness of Asphalt Cement on Low Temperature Transverse Pavement Cracking,” Proceedings, Canadian Good Roads Association.
10. Garnica, P., Correa, A. (2004). Conceptos mecanicistas en pavimentos. Publicación Técnica No. 258. Instituto Mexicano del Transporte. Querétaro, Méx.

11. ASTM C 702-98 “Standard practice for reducing samples of aggregate to testing size” emitida por la American Society for Testing and Materials (ASTM).
12. ASTM D 2216-10 “Standard test methods for laboratory determination of water (moisture) content of soil and rock by mass” emitida por la American Society for Testing and Materials (ASTM).
13. ASTM D 4318-10 “Standard test methods for liquid limit, plastic limit, and plasticity index of soils” emitida por la American Society for Testing and Materials (ASTM).
14. ASTM D 854-10 “Standard test methods for specific gravity of soil solids by water pycnometer” emitida por la American Society for Testing and Materials (ASTM).
15. ASTM D 1140 – 00 “Standard test methods for amount of Material in Soils finer than the No. 200 (75- μ m) sieve” emitida por la American Society for Testing and Materials (ASTM).
16. ASTM D 698-07 “Standard test methods for laboratory compaction characteristics of soil using standard effort 600 kN•m/m³ (12 400 ft•lbf/ft³)” emitida por la American Society for Testing and Materials (ASTM).
17. ASTM D 1557 – 12 “Standard Test Methods for laboratory compaction characteristics of soil Using modified effort 2,700 kN-m/m³ (56,000 ft-lbf/ft³)” emitida por la American Society for Testing and Materials (ASTM).
18. NCHRP – Development of the 2002 guide for design of new and rehabilitated pavement structures. National Cooperative Highway Research Program. Project 1-37.
19. California Department of Transportation, 2008. Highway Design Manual.
20. Asphalt Institute, 1991. Thickness Design-Asphalt Pavements for Highways & Streets, Manual Series No. 1; Asphalt Institute.
21. Shell International Petroleum Company Limited, Shell Pavement Design Manual, London, 1978.

22. Corro, S., Magallanes, R. y Prado, G.- Instructivo para el Diseño Estructural de Pavimentos Flexibles para Carreteras; Series Instituto de Ingeniería - UNAM, No. 444.- UNAM, México, D.F., 1981.
23. Juárez B. y Rico, R. (1992). Mecánica de Suelos. Tomo I. Fundamentos de la Mecánica de Suelos. Tercera edición. Editorial Limusa México.
24. NCHRP 1-28A "Recommended standard test method for routine resilient modulus testing of unbound granular base/subbase materials and subgrade soils". Del National Cooperative Highway Research Program. Project 1-28A.
25. Theyse, H.L., de Beer, M., y Rust, F.C. (1996). Overview of the South African Mechanistic Pavement Design Analysis Method. Report No. DP-96/005. March 1996.
26. Malla, R. B. y Joshi, S. (2007). Resilient Modulus Prediction Models Based on Analysis of LTPP Data for Subgrade Soils and Experimental Verification. Journal of Transportation Engineering, Vol. 133, No. 9. September 1, 2007.
27. Gopalakrishnan, K., and Thompson, M.R. (2007). Characterization of NAPTF subgrade soils for mechanistic-based analysis and design of airport flexible pavements. International Journal of Pavement Engineering. Vol. 8, No. 4. December 2007, 307-321.
28. Shaqlaih, A., White, L., and Zaman, M. (2013). Resilient Modulus Modeling with Information Theory Approach. International Journal of Geomechanics. Vol. 13. No. 4. Pp. 384-389.
29. Konrad, J.-M. (2006). The use of tangent stiffness to characterize the resilient response of unbound crushed aggregates. Can. Geotech. J. 43: 1117-1130.
30. Rahim, A. M. (2005). Subgrade Soil Index Properties to Estimate Resilient Modulus for Pavement Design. The International Journal of Pavement Engineering. Vol. 6. No. 3. September 2005. Pp. 163-169.
31. Ping, W.V. y Ling, C-C. (2007). Enhancement of resilient modulus data for the design of pavement structures in Florida. Final Report for the Florida Department of Transportation.

32. Mokwa, R., y Akin, M. (2009). Measurement and evaluation of subgrade soil parameters: Phase I-Synthesis of literatura. FHWA/MT-09-006/8199. Final Report.

ANEXO A
CURVAS DE COMPACTACIÓN

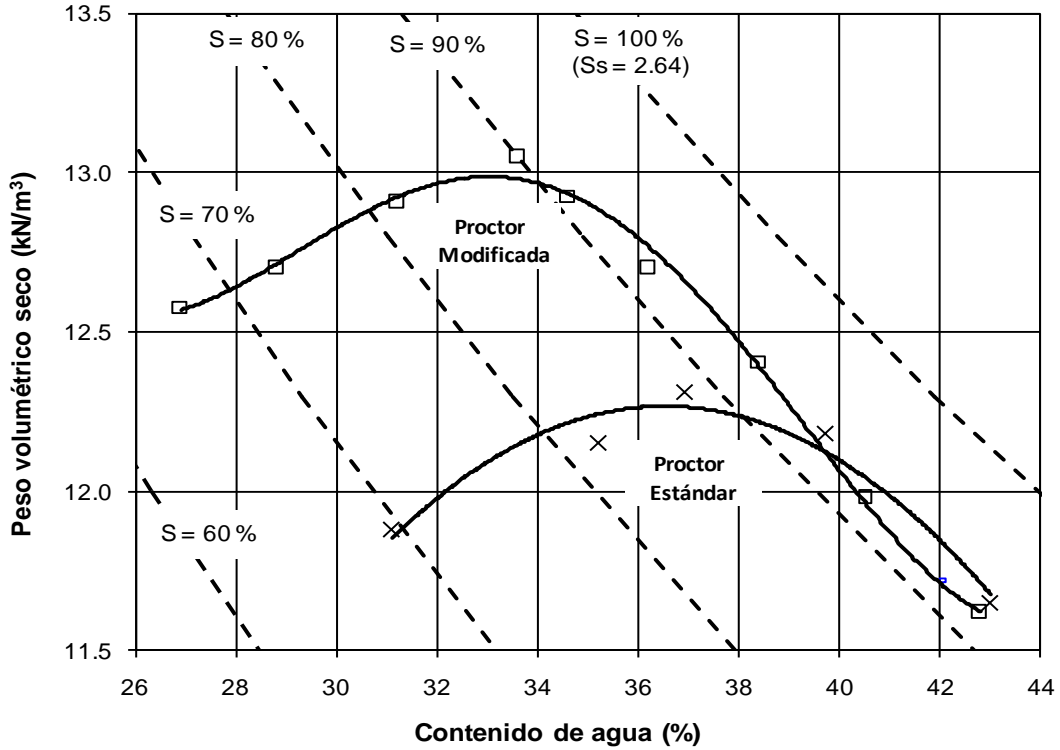


Figura A.1. Curvas de compactación para el material del banco “Aeropuerto”

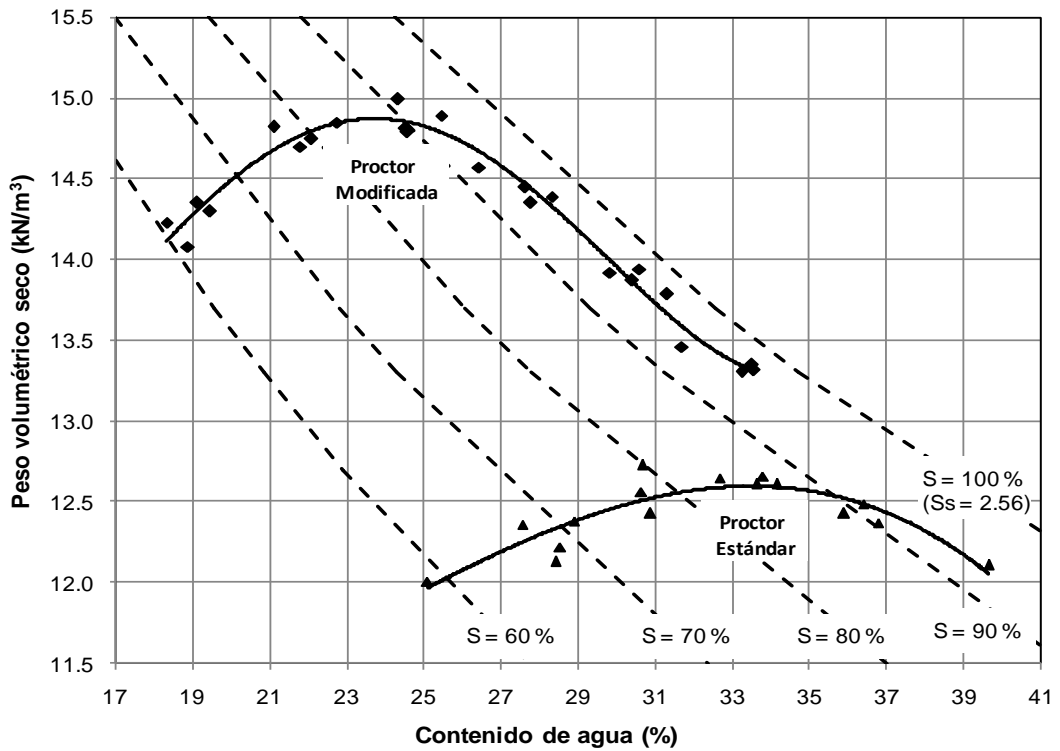


Figura A.2. Curvas de compactación para el material del banco “La Venta”

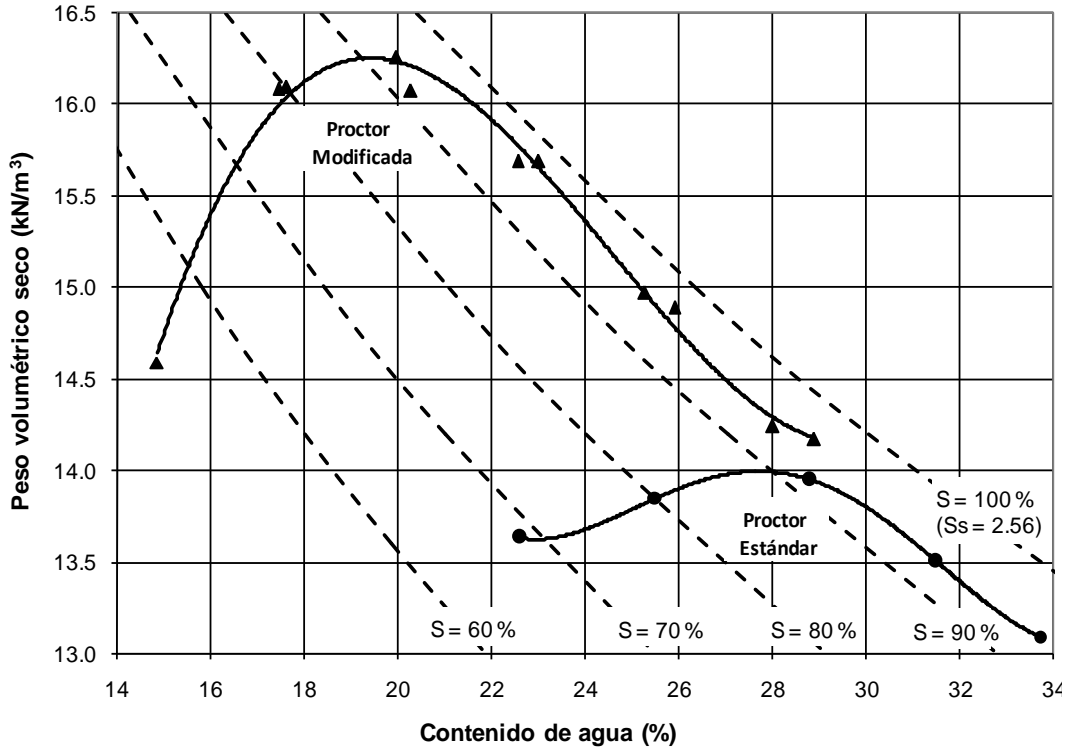


Figura A.3. Curvas de compactación para el material del banco "Santa Rosa"

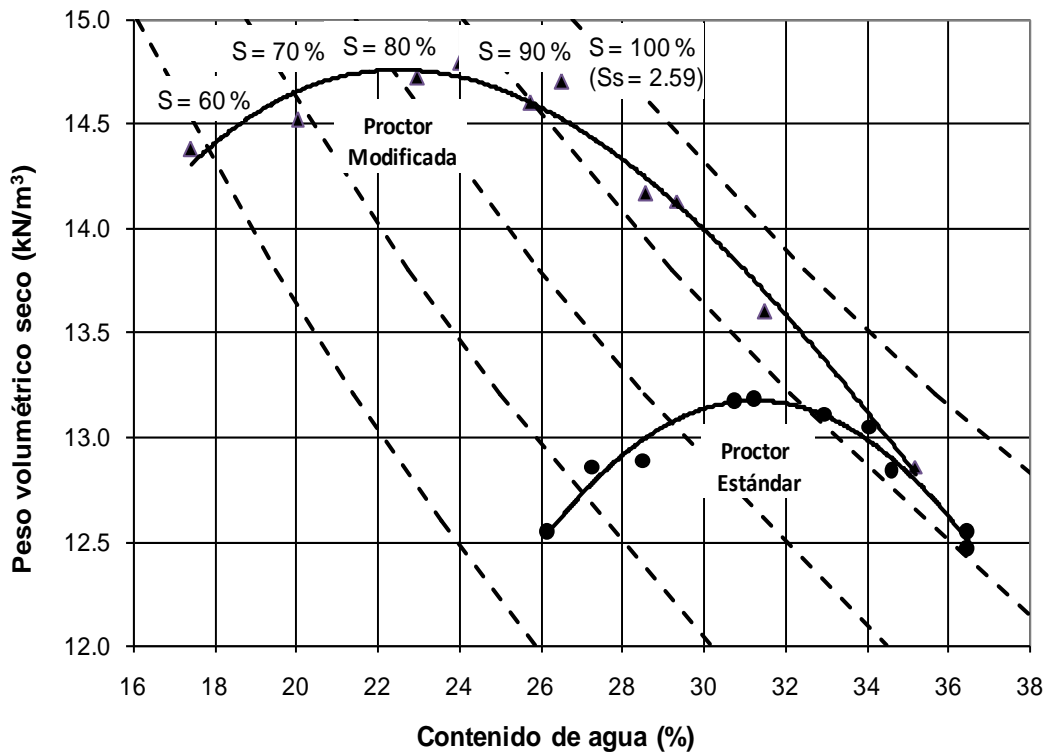


Figura A.4. Curvas de compactación para el material del banco "La Cañada"

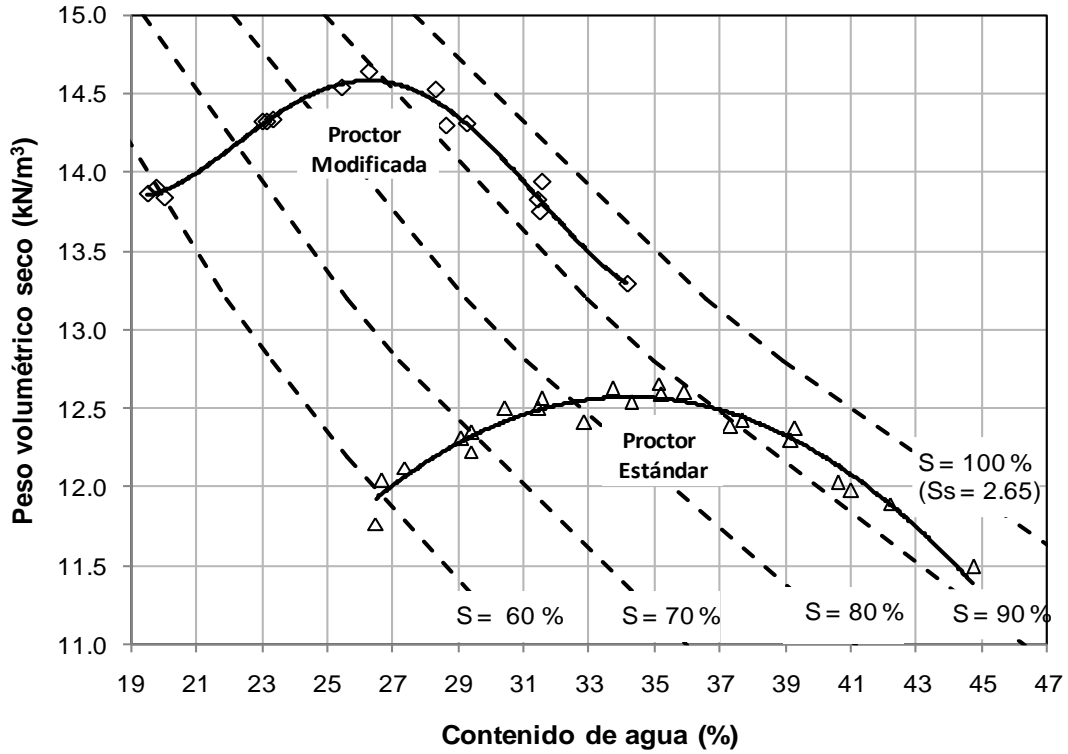


Figura A.5. Curvas de compactación para el material del banco “Pedro Escobedo”

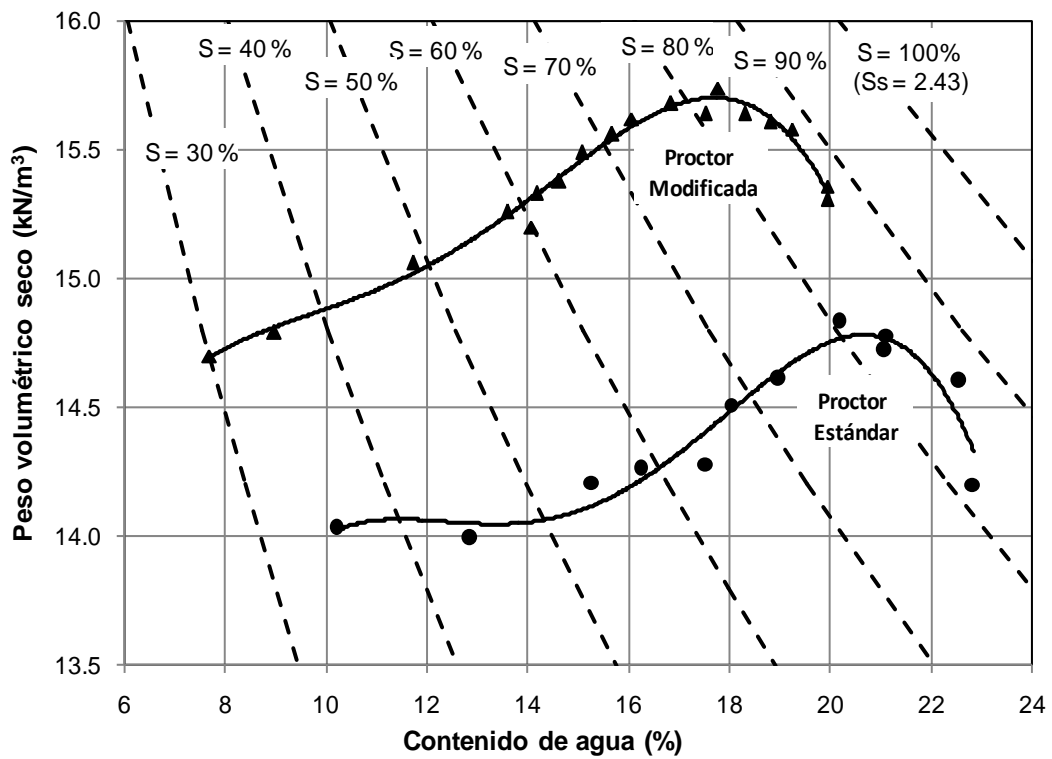


Figura A.6. Curvas de compactación para el material del banco “San José”

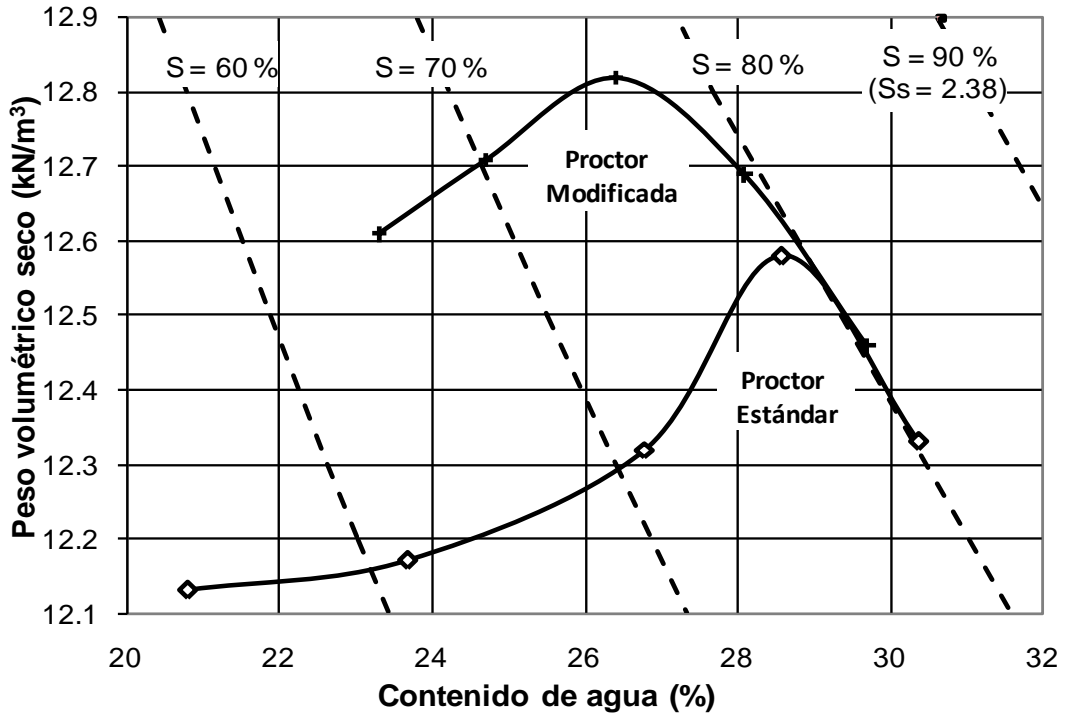


Figura A.7. Curvas de compactación para el material del banco "Comercial Mexicana"

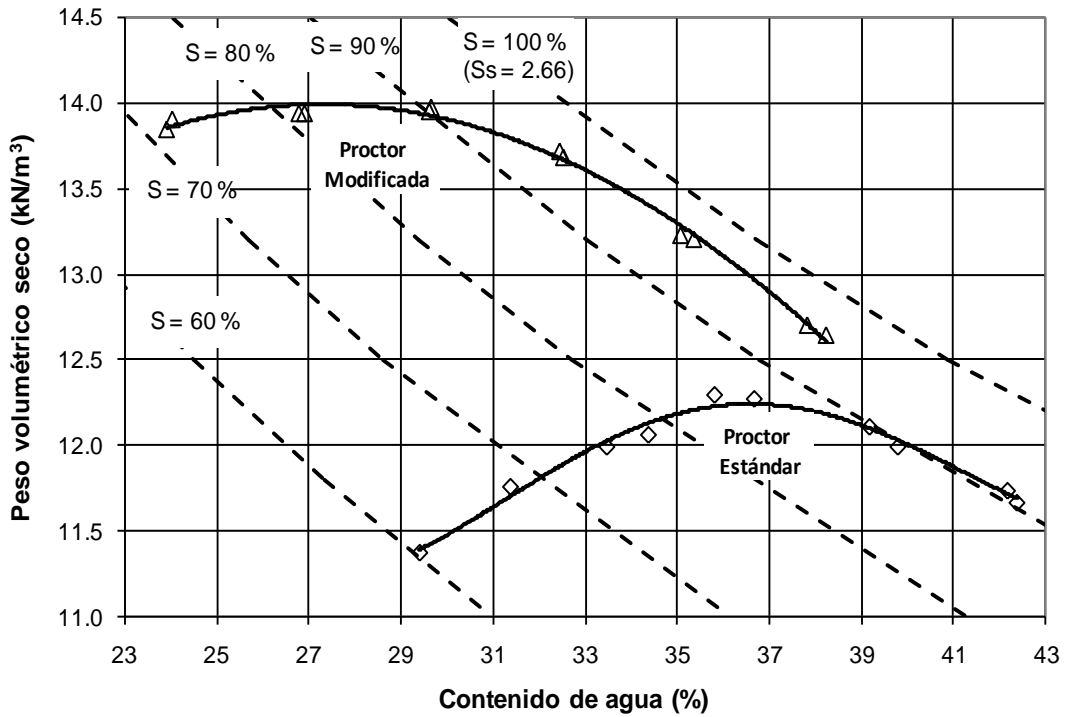


Figura A.8. Curvas de compactación para el material del banco "Terminal de Autobuses"

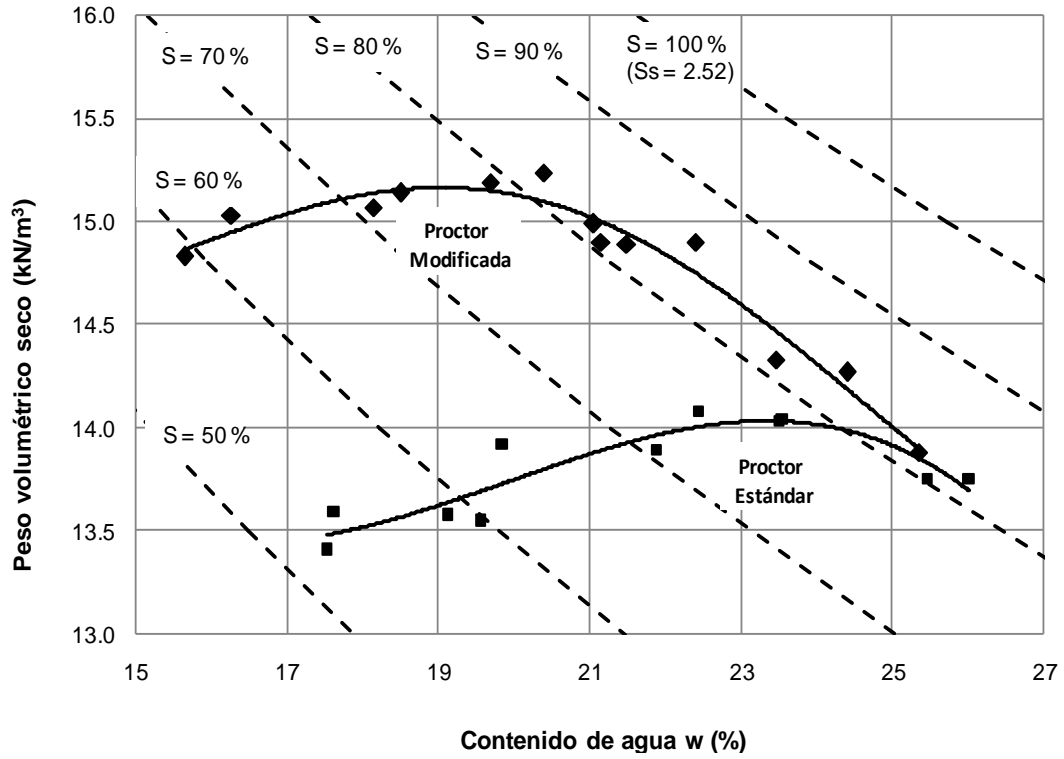


Figura A.9. Curvas de compactación para el material del banco “Los Cues”

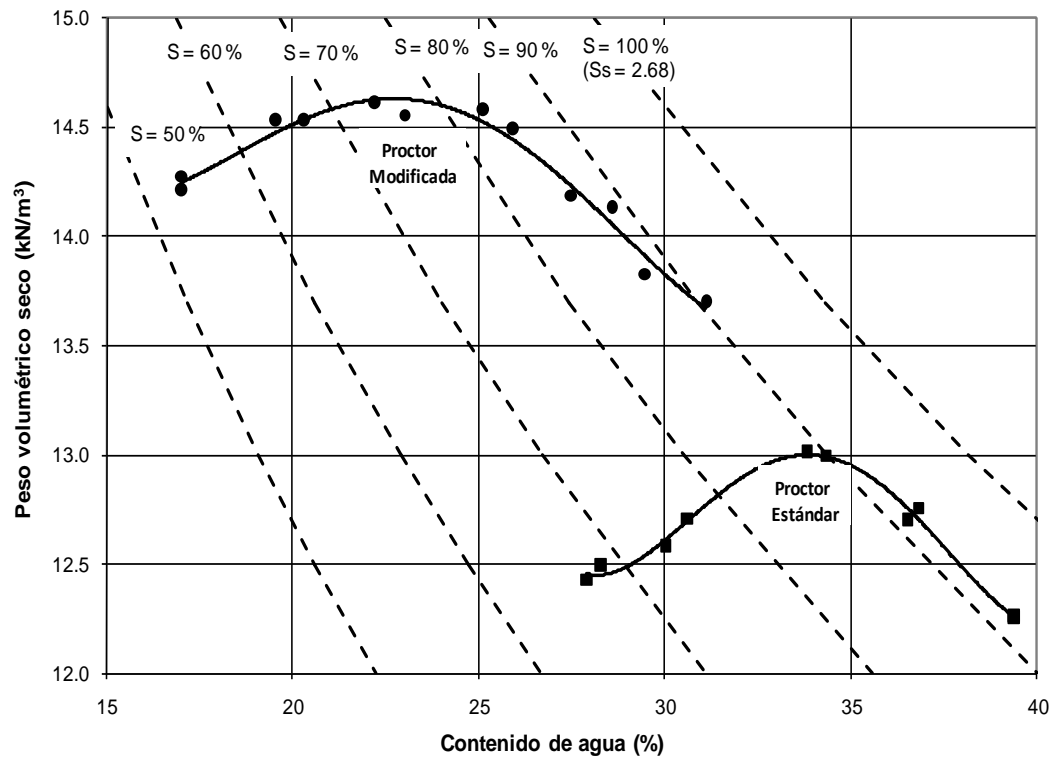


Figura A.10. Curvas de compactación para el material del banco “La Galera”

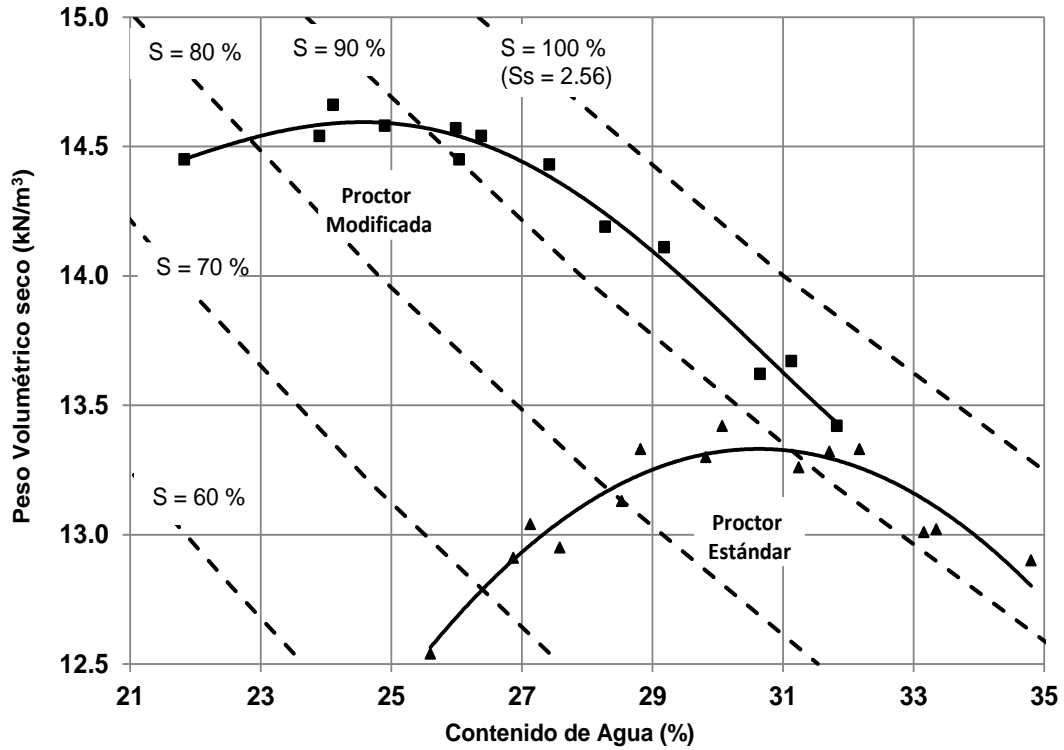


Figura A.11. Curvas de compactación para el material del banco "Misha"

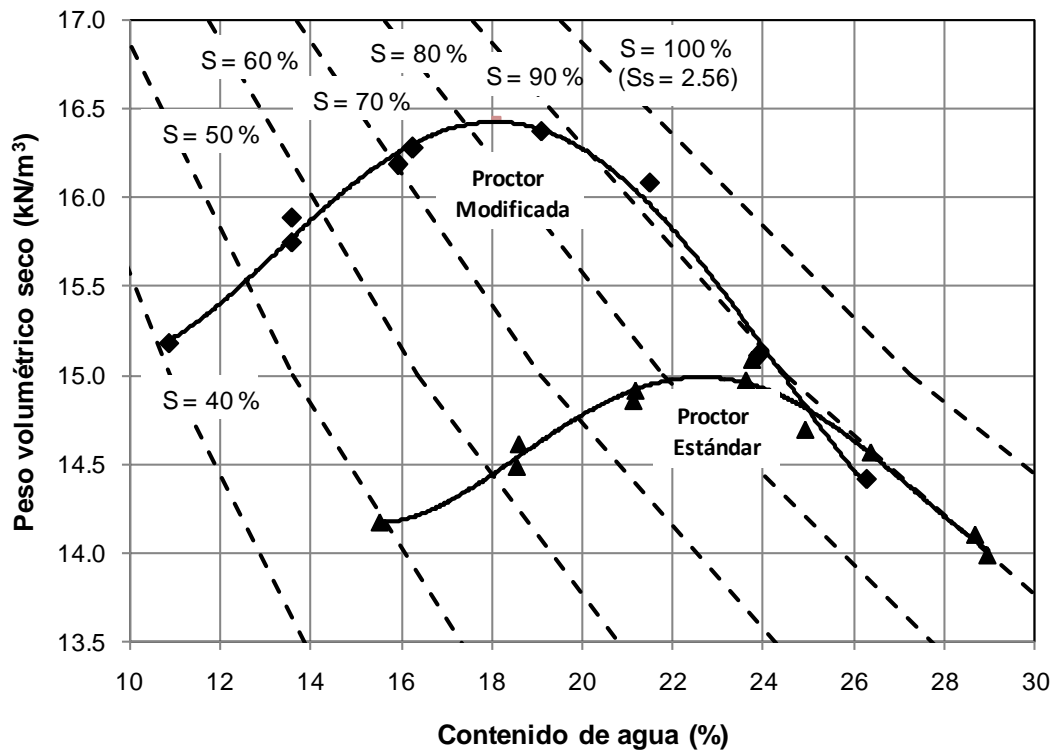


Figura A.12. Curvas de compactación para el material del banco "Pueblo Nuevo"

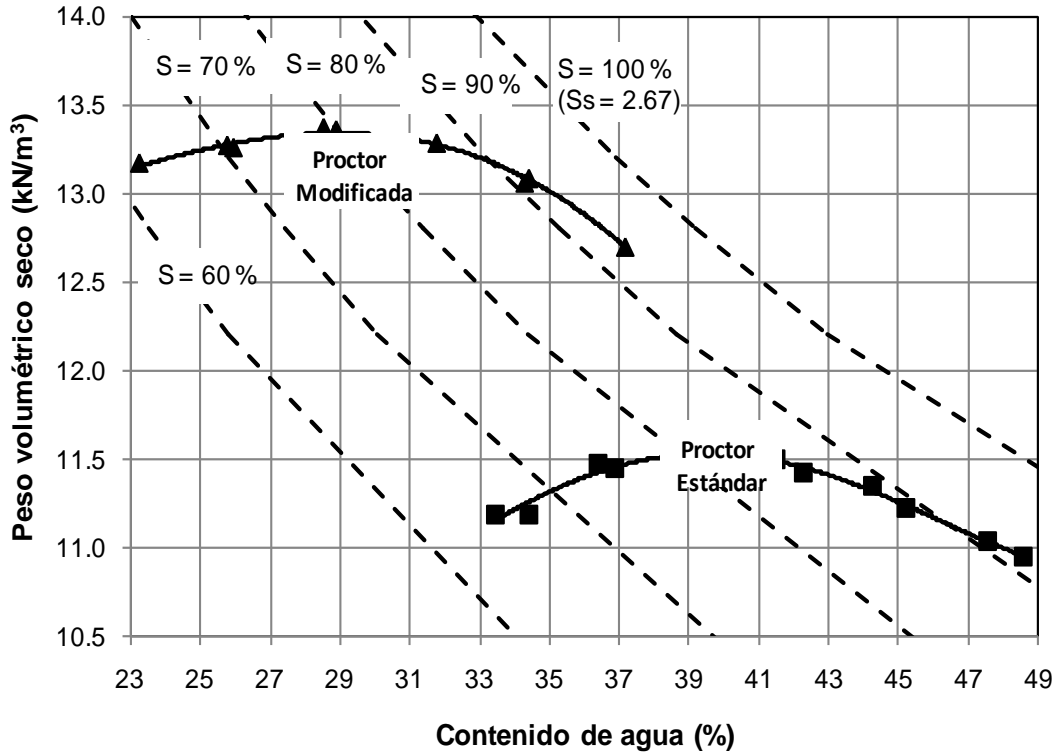


Figura A.13. Curvas de compactación para el material del banco “San Pedro”

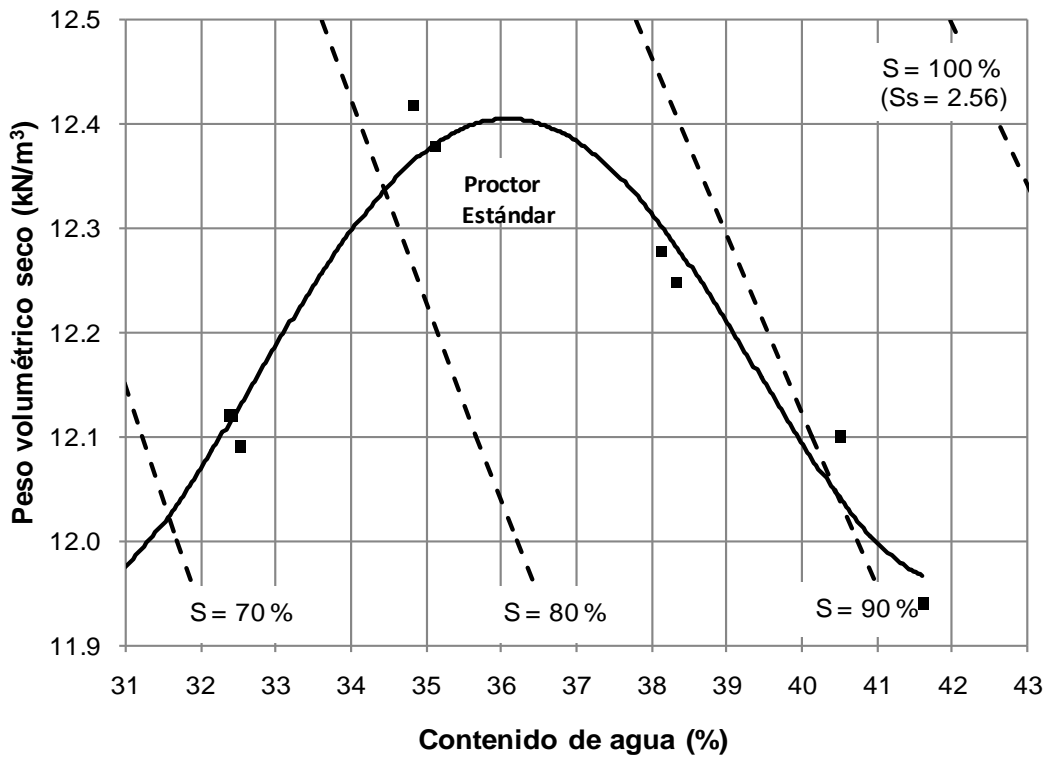


Figura A.14. Curvas de compactación para el material del banco “Jalisco (Negra)”

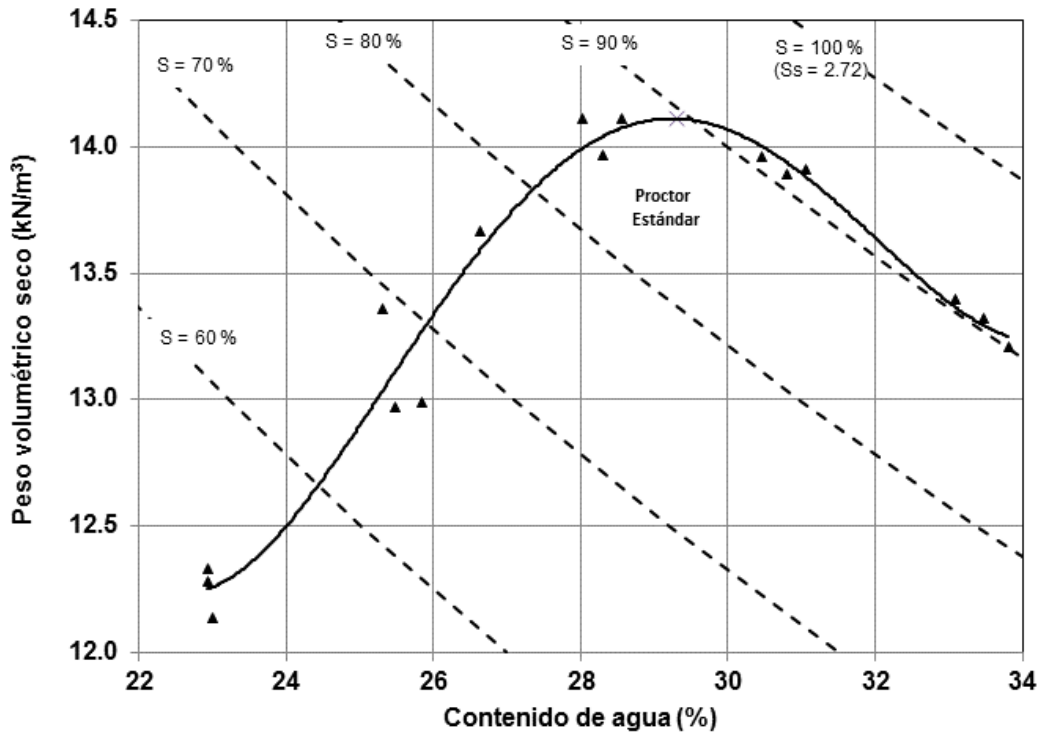


Figura A.15. Curvas de compactación para el material del banco "Jalisco (Roja)"

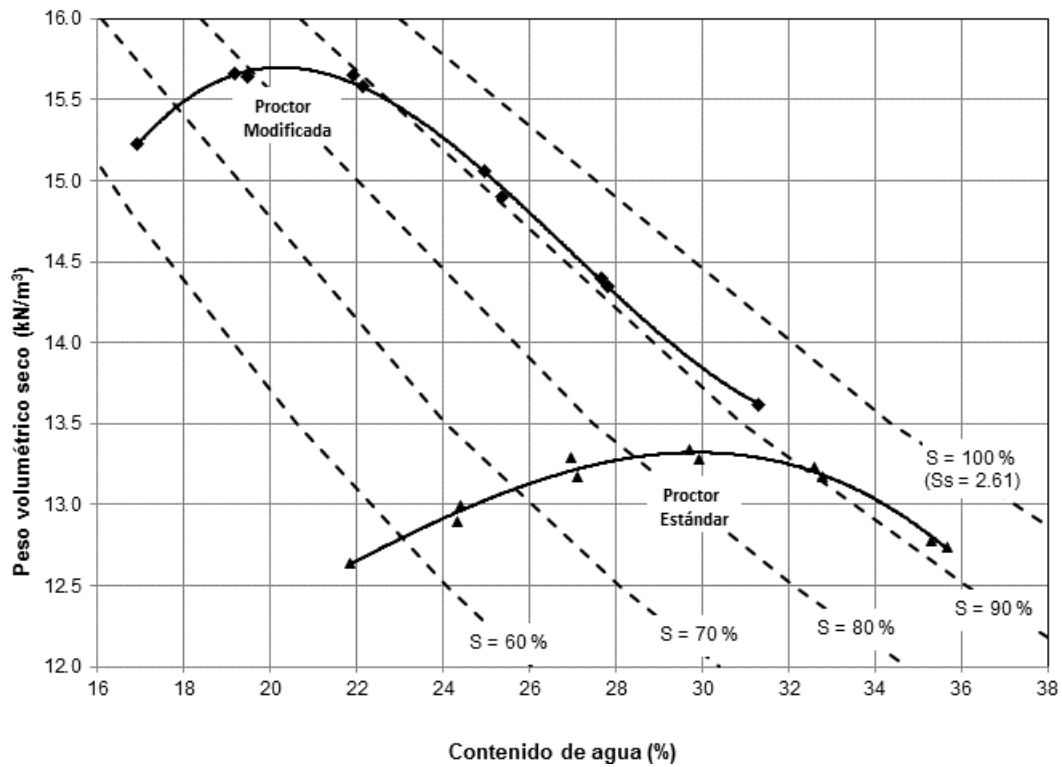


Figura A.16. Curvas de compactación para el material del banco "Arcilla IMT"

ANEXO B
CARACTERÍSTICAS DE ESPECÍMENES

Tabla B.1. Características de los especímenes ensayados (Proctor estándar, óptimo)

Banco de Material	Clasif.	Muestra No.	w (%)	γ_m (kN/m ³)	γ_d (kN/m ³)	Sr (%)	θ (%)	w (%) Prom	γ_d (kN/m ³) Prom	Sr (%) Prom	θ (%) Prom
La Venta	CH	6	33.20	16.67	12.51	84.39	42.34	33.26	12.49	84.19	42.33
		7	33.28	16.62	12.47	84.00	42.30				
		19	33.30	16.63	12.48	84.18	42.36				
Santa Rosa	CH	198	27.10	17.84	14.04	87.95	38.79	27.23	13.99	87.68	38.84
		199	27.11	17.79	14.00	87.39	38.69				
		200	27.26	17.83	14.01	88.07	38.94				
		201	27.44	17.73	13.92	87.29	38.92				
La Cañada	CH-MH	249	30.87	17.12	13.08	84.80	41.15	31.27	13.07	85.82	41.67
		250	31.55	17.15	13.04	86.16	41.94				
		252	31.40	17.21	13.10	86.50	41.91				
Pedro Escobedo	CH	344	33.72	16.97	12.69	85.20	43.62	33.71	12.70	85.32	43.65
		345	33.72	16.92	12.65	84.71	43.49				
		350	33.70	17.06	12.76	86.06	43.83				
Arcilla Negra Jalisco	CH	41	35.90	16.83	12.38	84.03	45.32	35.93	12.49	85.53	45.77
		42	36.20	17.09	12.55	86.86	46.31				
		44	35.70	17.03	12.55	85.69	45.68				
Arcilla Roja Jalisco	CH-MH	357-1	28.66	18.38	14.28	89.80	41.73	28.95	14.22	89.88	41.97
		358-1	29.22	18.39	14.23	90.84	42.39				
		360-1	28.98	18.25	14.15	89.00	41.80				
Laderas San Pedro	CH	474	39.05	15.99	11.50	81.57	45.77	39.02	11.57	82.36	46.00
		475	39.05	16.04	11.54	82.08	45.93				
		476	38.69	16.11	11.61	82.26	45.79				
		477	39.28	16.18	11.61	83.54	46.50				
Arcilla IMT	CH	197-1	30.11	17.64	13.56	88.47	41.62	30.08	13.51	87.72	41.43
		198-1	30.05	17.62	13.55	88.12	41.62				
		199-1	30.20	17.47	13.42	86.79	41.30				
		200-1	29.96	17.57	13.52	87.49	41.19				
Pueblo Nuevo	CL	446	22.05	18.32	15.01	81.16	33.76	22.05	14.94	80.22	33.59
		447	22.09	18.11	14.84	79.02	33.41				
		448	22.06	18.28	14.98	80.73	33.69				
		449	22.00	18.22	14.93	79.95	33.50				
Aeropuerto	MH	413	36.52	16.60	12.16	82.63	45.25	36.31	12.19	82.59	44.91
		416	36.18	16.59	12.18	82.15	44.29				
		419	36.23	16.67	12.24	82.98	45.20				
La Galera	MH	135	33.37	17.25	12.93	86.59	44.00	33.41	12.92	86.56	44.01
		137	33.48	17.30	12.96	87.24	44.23				
		144	33.31	17.19	12.90	85.94	43.79				
		145	33.47	17.22	12.90	86.45	44.03				

Tabla B.2. Características de los especímenes ensayados (Proctor estándar, óptimo)
(Continuación)

Banco de Material	Clasif.	Muestra No.	w (%)	γ_m (kN/m ³)	γ_d (kN/m ³)	Sr (%)	θ (%)	w (%) Prom	γ_d (kN/m ³) Prom	Sr (%) Prom	θ (%) Prom
T. Autobuses	ML	238	36.15	16.66	12.23	84.87	45.08	36.57	12.21	85.49	45.50
		243	36.83	16.67	12.18	85.77	45.72				
		244	36.73	16.69	12.20	85.83	45.69				
Misha	ML	297	31.52	17.14	13.04	81.31	41.88	31.65	13.03	81.62	42.05
		298	31.52	17.19	13.07	81.70	41.98				
		299	31.93	17.14	12.99	81.84	42.28				
Comercial Mexicana	ML	393	28.28	16.28	12.69	80.14	36.58	28.41	12.69	80.45	36.73
		396	28.18	16.25	12.68	79.66	36.41				
		397	28.76	16.34	12.69	81.55	37.21				
San José	SM	85	20.35	17.92	14.89	82.33	30.89	20.34	14.74	80.09	30.56
		88	20.32	17.83	14.82	81.08	30.69				
		89	20.26	17.61	14.64	78.39	30.24				
		92	20.43	17.59	14.61	78.54	30.42				
Los Cues	SM	323	23.61	17.27	13.97	77.36	33.64	23.77	13.98	77.57	33.64
		324	23.52	17.22	13.94	76.63	33.43				
		325	23.74	17.38	14.04	78.69	33.99				
		326	24.18	17.34	13.96	77.59	33.49				
Mezcla 1	CH-CL	507	27.84	17.42	13.63	82.68	38.68	27.81	13.63	82.54	38.62
		508	27.98	17.37	13.57	82.39	38.71				
		510	27.64	17.48	13.70	82.98	38.59				
		515	27.76	17.37	13.60	82.09	38.49				
Mezcla 2	SC	537	20.68	18.66	15.46	76.76	32.60	20.77	15.39	76.26	32.59
		538	20.88	18.61	15.39	76.66	32.76				
		540	20.75	18.50	15.32	75.35	32.40				

Tabla B.3. Características de los especímenes ensayados (Proctor estándar, 2% arriba)

Banco de Material	Clasif.	Muestra No.	w (%)	γ_m (kN/m ³)	γ_d (kN/m ³)	Sr (%)	θ (%)	w (%) Prom	γ_d (kN/m ³) Prom	Sr (%) Prom	θ (%) Prom
La Venta	CH	126	35.76	16.93	12.47	90.33	45.47	35.32	12.54	90.12	45.13
		127	35.38	16.96	12.53	89.96	45.13				
		130	35.00	16.96	12.57	89.72	44.83				
		131	35.12	17.02	12.60	90.47	45.09				
Santa Rosa	CH	209	29.44	17.78	13.74	90.98	41.22	29.20	13.75	90.73	41.10
		210	29.29	17.76	13.74	90.52	41.00				
		212	28.87	17.77	13.79	90.69	41.07				
La Cañada	CH-MH	257	33.00	17.32	13.03	89.91	43.82	32.85	13.02	89.40	43.60
		258	32.79	17.31	13.04	89.49	43.57				
		259	32.77	17.24	12.99	88.80	43.42				
Pedro Escobedo	CH	354	35.72	16.85	12.41	86.51	45.20	35.71	12.44	86.82	45.28
		355	35.72	16.93	12.48	87.32	45.42				
		356	35.70	16.86	12.43	86.64	45.23				
Laderas San Pedro	CH	481	40.95	16.27	11.54	86.17	48.19	41.05	11.51	85.96	48.18
		482	41.06	16.21	11.49	85.73	48.11				
		483	41.15	16.23	11.50	85.98	48.24				
Pueblo Nuevo	CH	450	24.30	18.46	14.85	87.18	36.80	24.20	14.88	87.25	36.73
		452	24.26	18.45	14.85	86.96	36.73				
		453	24.05	18.55	14.95	87.62	36.65				
Aeropuerto	MH	436	38.16	16.90	12.23	87.28	47.57	38.22	12.22	87.35	47.63
		437	38.19	16.87	12.21	87.08	47.53				
		438	38.04	16.89	12.23	87.06	47.44				
		439	38.49	16.93	12.22	87.96	47.96				
La Galera	MH	156	35.31	17.30	12.79	89.62	46.03	35.51	12.77	89.83	46.21
		157	35.30	17.28	12.77	89.34	45.95				
		179	35.92	17.32	12.74	90.52	46.65				
T. Autobuses	ML	262	38.16	16.90	12.23	88.45	47.26	38.13	12.22	89.26	47.49
		264	38.19	16.87	12.21	89.74	47.61				
		265	38.04	16.89	12.23	89.60	47.60				
Misha	ML	307	33.52	17.22	12.89	84.69	44.06	33.70	12.96	85.93	44.51
		308	33.50	17.29	12.95	85.34	44.23				
		309	33.51	17.41	13.04	86.48	44.53				
		310	34.25	17.38	12.94	87.19	45.20				
Los Cues	SM	330	25.79	17.36	13.80	82.31	36.28	25.59	13.85	82.28	36.14
		333	25.42	17.43	13.89	82.22	36.00				
		334	25.57	17.41	13.87	82.30	36.14				
Mezcla 1	CH-CL	511	30.24	17.72	13.60	89.54	41.95	30.21	13.54	88.54	41.71
		512	30.28	17.46	13.41	86.89	41.39				
		513	30.11	17.71	13.61	89.20	41.78				

Tabla B.4. Características de los especímenes ensayados (Proctor estándar, 2% abajo)

Banco de Material	Clasif.	Muestra No.	w (%)	γ_m (kN/m ³)	γ_d (kN/m ³)	Sr (%)	θ (%)	w (%) Prom	γ_d (kN/m ³) Prom	Sr (%) Prom	θ (%) Prom
La Venta	CH	33	31.40	16.46	12.53	80.00	40.09	31.19	12.52	79.34	39.79
		34	31.22	16.32	12.44	78.44	39.59				
		90	31.11	16.46	12.55	79.60	39.81				
		91	31.01	16.44	12.55	79.31	39.67				
Santa Rosa	CH	203	25.67	17.29	13.76	79.62	36.00	25.50	13.91	81.02	36.15
		205	25.46	17.46	13.91	80.97	36.11				
		206	25.46	17.52	13.97	81.66	36.25				
		207	25.42	17.54	13.99	81.82	36.25				
La Cañada	CH-MH	253	28.77	16.83	13.07	78.93	38.33	28.89	13.09	79.58	38.56
		254	28.76	16.83	13.07	78.86	38.30				
		255	29.27	16.94	13.11	80.77	39.10				
		256	28.77	16.91	13.13	79.75	38.52				
Pedro Escobedo	CH	348	31.73	16.53	12.55	78.46	40.59	31.94	12.52	78.67	40.77
		352	31.73	16.52	12.54	78.33	40.55				
		353	32.35	16.52	12.48	79.21	41.17				
Laderas San Pedro	CH	486	37.02	15.62	11.40	76.14	43.00	37.02	11.47	76.95	43.30
		487	37.01	15.82	11.54	77.87	43.55				
		491	37.03	15.72	11.47	77.08	43.32				
		492	37.02	15.68	11.44	76.72	43.32				
Pueblo Nuevo	CH	456	20.02	17.94	14.95	72.93	30.52	20.39	14.87	73.27	30.90
		457	21.10	17.88	14.77	74.62	31.75				
		463	20.05	17.87	14.88	72.25	30.42				
Aeropuerto	MH	423	34.37	16.26	12.10	77.11	42.40	34.38	12.16	77.86	42.63
		426	34.33	16.47	12.26	78.86	42.89				
		427	34.44	16.31	12.13	77.62	42.59				
La Galera	MH	165	31.87	17.01	12.90	82.28	41.91	31.70	12.88	81.37	41.56
		166	31.46	17.01	12.94	80.84	41.27				
		168	31.62	16.95	12.88	81.32	41.49				
		170	31.84	16.88	12.81	81.02	41.56				
T. Autobuses	ML	240	33.64	16.28	12.18	78.33	41.77	34.13	12.11	78.60	42.13
		241	34.33	16.17	12.04	78.23	42.14				
		245	34.41	16.27	12.11	79.23	42.47				
Misha	ML	301	29.61	16.58	12.79	73.67	38.61	29.61	12.86	74.51	38.81
		302	29.58	16.73	12.91	74.94	38.93				
		304	29.66	16.68	12.87	74.91	38.90				
Comercial Mexicana	ML	400	26.59	15.66	12.37	71.35	33.54	26.71	12.37	71.61	33.67
		402	26.97	15.69	12.36	72.22	33.99				
		403	26.56	15.66	12.37	71.25	33.49				

Tabla B.5. Características de los especímenes ensayados (Proctor estándar, 2% abajo)
(Continuación)

Banco de Material	Clasif.	Muestra No.	w (%)	γ_m (kN/m ³)	γ_d (kN/m ³)	Sr (%)	θ (%)	w (%) Prom	γ_d (kN/m ³) Prom	Sr (%) Prom	θ (%) Prom
San José	SM	77	18.47	17.27	14.58	70.62	27.44	18.78	14.57	71.67	27.88
		94	19.20	17.38	14.58	73.44	28.53				
		96	18.71	17.24	14.52	70.86	27.69				
		97	18.72	17.32	14.59	71.77	27.84				
Los Cues	ML	335	21.35	16.88	13.91	69.22	30.27	21.21	13.85	67.98	29.87
		336	21.06	16.70	13.79	66.73	29.46				
Mezcla 1	CH-CL	516	26.17	17.23	13.66	78.07	36.43	26.17	13.63	77.68	36.35
		523	26.16	17.15	13.60	77.29	36.26				
Mezcla 2	SC	541	19.26	17.97	15.70	68.32	29.59	18.85	15.35	67.57	29.09
		542	18.68	17.89	15.08	66.40	28.73				
		544	18.60	18.09	15.26	68.00	28.95				

Tabla B.6. Características de los especímenes ensayados (Proctor modificada, óptimo)

Banco de Material	Clasif.	Muestra No.	w (%)	γ_m (kN/m ³)	γ_d (kN/m ³)	Sr (%)	θ (%)	w (%) Prom	γ_d (kN/m ³) Prom	Sr (%) Prom	θ (%) Prom
La Venta	CH	11	23.68	18.17	14.69	85.48	35.47	23.71	14.74	85.83	35.56
		12	23.50	18.31	14.83	85.10	35.24				
		50	23.79	18.24	14.73	86.46	35.73				
		51	23.88	18.21	14.70	86.28	35.78				
Santa Rosa	CH	218	18.94	19.25	16.18	87.82	31.24	18.99	16.23	88.97	31.43
		219	19.10	19.31	16.21	89.06	31.56				
		220	18.91	19.31	16.24	89.54	31.42				
		221	18.99	19.36	16.27	89.46	31.50				
La Cañada	CH-MH	281	21.23	18.13	14.95	78.66	32.37	21.34	14.91	78.44	32.42
		282	21.28	18.07	14.90	78.09	32.31				
		286	21.41	18.12	14.93	79.00	32.58				
		287	21.42	18.03	14.85	78.02	32.42				
Pedro Escobedo	CH	372	25.79	18.40	14.63	87.94	38.46	25.74	14.62	87.66	38.37
		373	25.64	18.28	14.55	86.39	38.03				
		375	25.80	18.46	14.68	88.66	38.61				
Pueblo Nuevo	CH	458	18.13	19.28	16.32	82.60	30.16	17.74	16.32	80.88	29.52
		460	17.53	19.22	16.35	80.31	29.21				
		461	17.57	19.16	16.30	79.73	29.18				
Aeropuerto	MH	432	32.51	17.11	12.92	85.38	42.80	32.74	12.93	86.47	43.09
		433	32.79	17.20	12.95	87.25	43.04				
		434	32.93	17.20	12.94	86.77	43.42				
La Galera	MH	174	22.61	17.76	14.48	74.34	33.38	22.79	14.48	74.95	33.65
		176	22.79	17.79	14.49	75.04	33.67				
		180	22.98	17.80	14.48	75.46	33.91				
T. Autobuses	ML	267	26.37	17.70	14.00	81.22	37.64	26.52	14.00	81.72	37.86
		270	26.62	17.74	14.01	82.12	38.02				
		271	26.57	17.72	14.00	81.81	37.93				
Misha	ML	311	23.34	18.13	14.70	77.23	34.99	23.39	14.67	77.05	34.99
		312	23.66	18.12	14.66	77.73	35.35				
		313	23.16	18.06	14.66	76.18	34.62				
Comercial Mexicana	ML	404	26.54	16.16	12.77	76.31	34.55	26.39	12.77	75.64	34.30
		405	26.10	16.08	12.75	74.73	33.92				
		407	26.54	16.16	12.77	75.89	34.42				
San José	SM	106	17.89	18.52	15.71	83.98	28.65	17.93	15.67	83.55	28.64
		107	18.08	18.48	15.65	83.96	28.84				
		110	17.83	18.43	15.64	82.71	28.43				
Los Cues	SM	342	18.57	17.85	15.06	75.90	28.50	18.78	15.09	75.11	28.88
		358	18.87	17.98	15.13	75.00	29.11				
		359	18.89	17.93	15.08	74.44	29.03				

Tabla B.7. Características de los especímenes ensayados (Proctor modificada, óptimo)
(Continuación)

Banco de Material	Clasif.	Muestra No.	w (%)	γ_m (kN/m ³)	γ_d (kN/m ³)	Sr (%)	θ (%)	w (%) Prom	γ_d (kN/m ³) Prom	Sr (%) Prom	θ (%) Prom
Mezcla 1	CH-CL	524	20.76	18.53	15.34	75.62	32.46	21.01	15.38	77.02	32.94
		525	21.16	18.59	15.35	77.16	33.11				
		526	21.11	18.72	15.46	78.28	33.26				
Mezcla 2	SC	551	15.67	19.68	17.01	74.00	27.17	15.59	16.98	73.28	26.98
		556	15.50	19.57	16.94	72.60	26.79				
		558	15.59	19.63	16.98	73.24	26.98				

Tabla B.8. Características de los especímenes ensayados (Proctor modificada, 2% arriba)

Banco de Material	Clasif.	Muestra No.	w (%)	γ_m (kN/m ³)	γ_d (kN/m ³)	Sr (%)	θ (%)	w (%) Prom	γ_d (kN/m ³) Prom	Sr (%) Prom	θ (%) Prom
La Venta	CH	23	26.17	18.36	14.55	92.30	38.82	26.13	14.58	92.53	38.83
		24	26.23	18.42	14.59	93.08	39.01				
		102	26.00	18.38	14.59	92.21	38.66				
Santa Rosa	CH	230	20.91	19.25	15.92	92.78	33.95	20.65	15.98	92.54	33.65
		231	21.03	19.34	15.98	94.14	34.25				
		232	20.78	19.28	15.96	92.75	33.82				
		233	19.88	19.27	16.07	90.48	32.58				
La Cañada	CH-MH	288	23.52	18.27	14.79	84.90	35.48	23.49	14.79	84.69	34.41
		290	23.48	18.21	14.75	84.18	35.31				
		291	23.47	18.29	14.82	85.00	32.45				
Pedro Escobedo	CH	384	27.89	18.37	14.36	91.25	40.83	27.64	14.30	89.87	40.15
		385	27.64	18.29	14.33	89.91	40.36				
		386	27.41	18.24	14.31	87.27	38.84				
		387	27.60	18.11	14.20	91.06	40.56				
Pueblo Nuevo	CH	464	19.66	19.33	16.16	87.16	32.37	19.65	16.20	87.77	32.44
		465	19.77	19.42	16.22	88.53	32.68				
		466	19.51	19.40	16.23	87.61	32.28				
Aeropuerto	MH	443	34.51	17.40	12.93	90.90	45.50	34.49	12.93	90.77	45.38
		444	34.52	17.37	12.91	90.64	45.22				
		445	34.44	17.39	12.94	90.76	45.42				
La Galera	MH	192	24.30	17.99	14.48	79.79	35.86	24.37	14.52	80.53	36.17
		195	24.53	18.04	14.48	80.63	36.21				
		196	24.28	18.14	14.59	81.17	36.44				
T. Autobuses	ML	272	28.53	17.95	13.97	87.41	40.62	28.52	13.96	87.21	40.57
		274	28.40	17.89	13.94	86.59	40.35				
		277	28.62	17.96	13.96	87.63	40.74				
Misha	ML	315	24.86	18.18	14.56	80.51	36.90	24.53	14.61	80.04	36.53
		316	25.03	18.21	14.56	81.08	37.16				
		317	23.70	18.20	14.71	78.52	35.54				
Los Cues	SM	378	20.89	17.98	14.87	79.48	31.67	21.00	14.92	80.54	31.94
		380	21.16	18.14	14.97	81.85	32.29				
		381	20.95	18.04	14.91	80.30	31.86				
Mezcla 1	CH-CL	531	22.78	18.67	15.21	81.33	35.32	22.88	15.19	81.44	35.42
		532	22.87	18.68	15.20	81.58	35.44				
		534	22.99	18.64	15.15	81.41	35.51				
Mezcla 2	SC	553	18.00	19.98	16.96	83.98	31.07	17.79	16.83	81.55	30.50
		554	17.51	19.71	16.78	79.65	29.94				
		555	17.85	19.75	16.76	81.01	30.49				

Tabla B.9. Características de los especímenes ensayados (Proctor modificada, 2% abajo)

Banco de Material	Clasif.	Muestra No.	w (%)	γ_m (kN/m ³)	γ_d (kN/m ³)	Sr (%)	θ (%)	w (%) Prom	γ_d (kN/m ³) Prom	Sr (%) Prom	θ (%) Prom
La Venta	CH	46	22.10	17.87	14.63	79.00	32.97	21.98	14.65	78.81	32.83
		47	21.78	17.84	14.65	78.06	32.52				
		49	22.14	17.83	14.60	78.71	32.95				
		75	21.90	17.95	14.73	79.48	32.88				
Santa Rosa	CH	225	16.96	18.79	16.06	77.08	27.78	16.89	16.03	76.28	27.60
		227	16.87	18.65	15.96	75.29	27.44				
		228	16.84	18.76	16.06	76.48	27.58				
La Cañada	CH-MH	292	19.50	17.67	14.79	70.30	29.39	19.43	14.73	69.43	29.17
		294	19.44	17.55	14.69	69.04	29.11				
		295	19.35	17.56	14.71	68.95	29.02				
Pedro Escobedo	CH	389	23.48	17.82	14.43	77.68	34.55	23.37	14.60	78.64	34.65
		390	23.38	18.10	14.67	78.19	34.57				
		391	23.26	18.10	14.69	80.05	34.83				
Pueblo Nuevo	CH	470	15.83	18.79	16.22	70.93	26.17	15.97	16.15	70.76	26.29
		471	15.94	18.71	16.14	70.43	26.21				
		473	16.15	18.70	16.10	70.92	26.50				
Aeropuerto	MH	435	30.53	16.73	12.82	79.00	39.90	30.51	12.87	79.51	40.01
		440	30.49	16.80	12.87	79.56	40.01				
		441	30.51	16.79	12.87	79.52	40.02				
		442	30.51	16.84	12.90	79.95	40.12				
La Galera	MH	187	21.03	17.46	14.43	68.52	30.92	21.02	14.46	68.84	30.98
		189	20.89	17.50	14.48	68.61	30.83				
		191	21.15	17.53	14.47	69.39	31.19				
T. Autobuses	ML	280	24.52	17.36	13.94	74.84	34.85	24.56	13.95	75.02	34.92
		284	24.62	17.36	13.93	74.95	34.95				
		285	24.54	17.40	13.97	75.28	34.97				
Misha	ML	319	21.46	17.71	14.58	69.78	31.90	21.44	14.62	70.03	31.94
		321	21.40	17.84	14.70	70.75	32.06				
		322	21.46	17.69	14.57	69.57	31.87				
Comercial Mexicana	ML	409	24.14	15.56	12.53	66.56	30.83	24.50	12.56	67.87	31.36
		414	24.18	15.57	12.53	66.71	30.90				
		429	24.87	15.67	12.55	68.79	31.81				
		430	24.81	15.75	12.62	69.41	31.90				
San José	SM	114	16.20	18.08	15.56	72.94	25.69	16.10	15.47	72.00	25.39
		115	15.90	17.85	15.40	70.48	24.97				
		118	16.19	17.96	15.46	72.58	25.51				
Los Cues	SM	360	16.99	17.58	15.03	66.41	26.04	17.00	15.04	66.50	26.05
		361	16.93	17.54	15.00	65.80	25.88				
		376	17.07	17.66	15.08	67.29	26.24				

Tabla B.10. Características de los especímenes ensayados (Proctor modificada, 2% abajo)
Continuación)

Banco de Material	Clasif.	Muestra No.	w (%)	γ_m (kN/m ³)	γ_d (kN/m ³)	Sr (%)	θ (%)	w (%) Prom	γ_d (kN/m ³) Prom	Sr (%) Prom	θ (%) Prom
Mezcla 1	CH-CL	527	18.83	18.22	15.33	68.55	29.43	18.77	15.30	67.93	29.26
		528	18.87	18.24	15.34	68.73	29.50				
		530	18.60	18.05	15.22	66.51	28.85				
Mezcla 2	SC	560	13.70	18.99	16.70	61.58	23.32	13.79	16.80	63.02	23.62
		561	13.87	19.24	16.89	64.30	23.89				
		562	13.95	19.06	16.73	63.01	23.79				
		563	13.65	19.19	16.89	63.17	23.49				

ANEXO C
GRÁFICAS PROMEDIO DE LAS PRUEBAS DE MÓDULO DE
RESILIENCIA



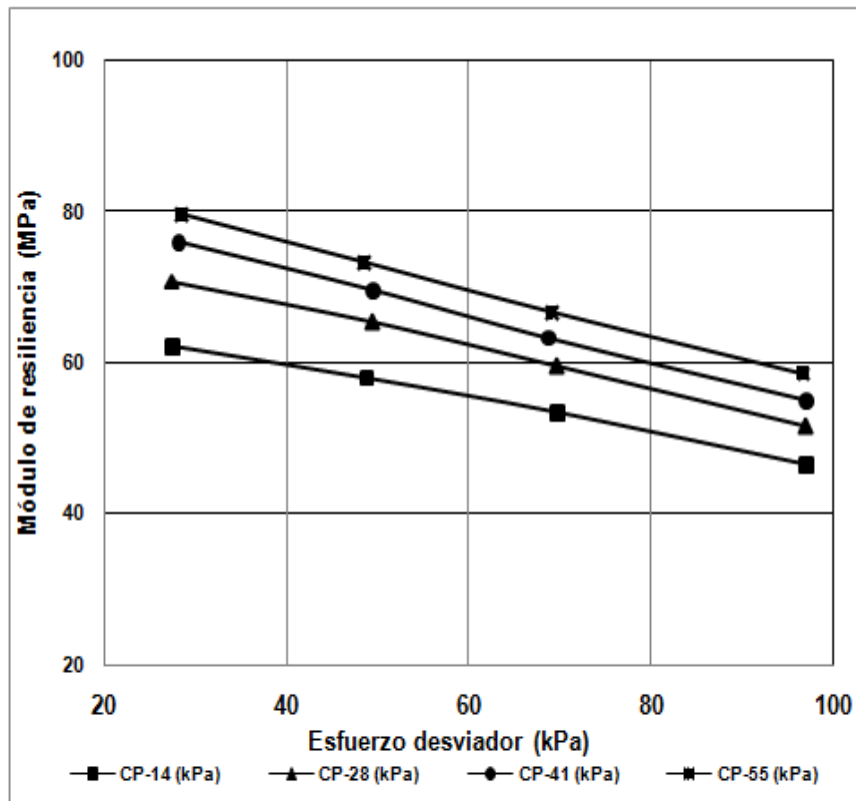
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
DIVISIÓN DE LABORATORIOS
MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES GRANULARES

Km 12+000 carretera Querétaro-Galindo, Sanfandila, mpio de Pedro Escobedo, Querétaro 76700

Localización del banco:	Aeropuerto
Descripción de la muestra:	MH
Identificación de la muestra:	220402-20
Prueba a realizar:	Módulo de Resiliencia

DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS

Muestra No. :	413, 416, 419				
Número de capas :	8	γ_o promedio (kN/m ³):	12.19	W promedio (%):	36.31
γ_m promedio (kN/m ³):	16.62	Sr (%) promedio:	82.59	θ promedio (%):	44.91



σ_3 (kPa)	σ_d (kPa)	θ (kPa)	M_r (MPa)
14	27	69	62
14	49	91	58
14	70	112	53
14	97	139	47
28	27	111	71
28	49	133	65
28	70	154	59
28	97	181	51
41	28	151	76
41	49	172	70
41	69	192	63
41	97	220	55
55	28	193	80
55	48	213	73
55	69	234	67
55	97	262	59

OBSERVACIONES:
Proctor Estándar (óptimo)

Figura C.1. Módulos de Resiliencia para el material del banco “Aeropuerto”



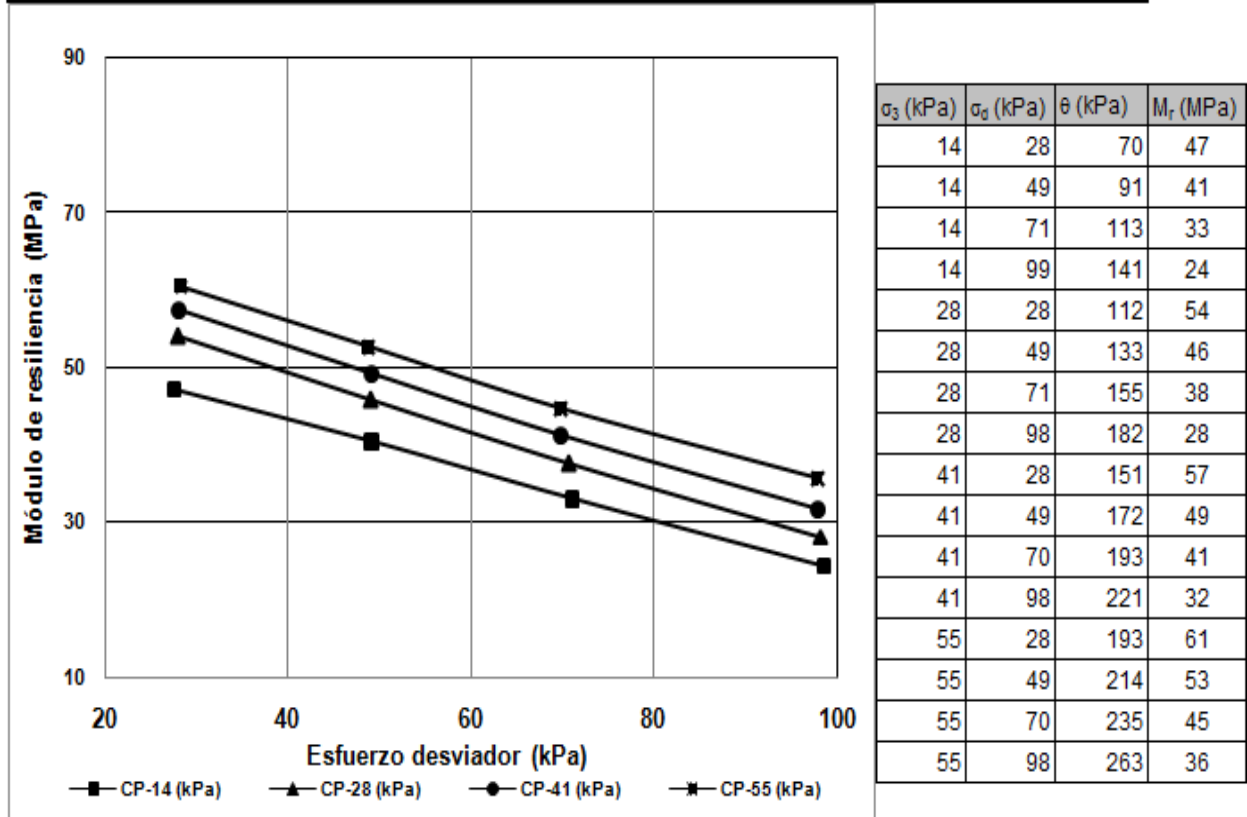
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
DIVISIÓN DE LABORATORIOS
MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES GRANULARES

Km 12+000 carretera Querétaro-Galindo, Sanfandila, mpio de Pedro Escobedo, Querétaro 76700

Localización del banco:	Aeropuerto
Descripción de la muestra:	MH
Identificación de la muestra:	220402-20
Prueba a realizar:	Módulo de Resiliencia

DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS

Muestra No.:	436, 437, 438, 439				
Número de capas :	8	γ_d promedio (kN/m ³):	12.22	W promedio (%):	38.22
γ_m promedio (kN/m ³):	16.90	Sr (%) promedio:	87.35	θ promedio (%):	47.63



OBSERVACIONES:
PROCTOR ESTÁNDAR 2% Arriba

Figura C.2. Módulos de Resiliencia para el material del banco “Aeropuerto”



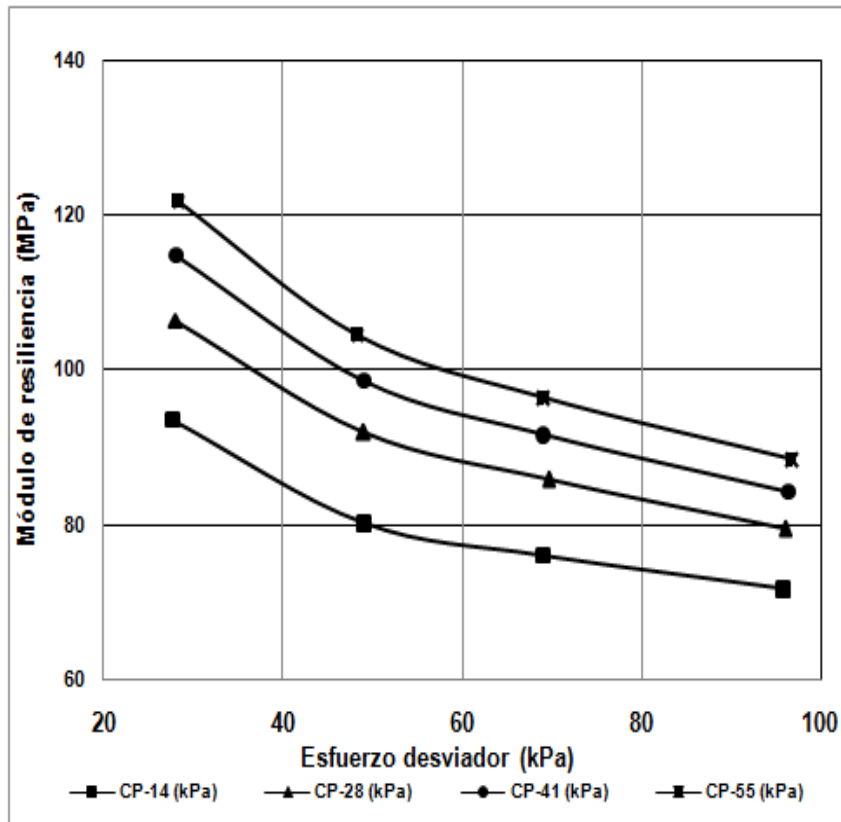
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
DIVISIÓN DE LABORATORIOS
MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES GRANULARES

Km 12+000 carretera Querétaro-Galindo, Sanfandila, mpio de Pedro Escobedo, Querétaro 76700

Localización del banco:	Aeropuerto
Descripción de la muestra:	MH
Identificación de la muestra:	220402-20
Prueba a realizar:	Módulo de Resiliencia

DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS

Muestra No.:	423, 426, 427				
Número de capas :	8	γ_d promedio (kN/m ³):	12.16	W promedio (%):	34.38
γ_m promedio (kN/m ³):	16.35	Sr (%) promedio:	77.86	θ promedio (%):	42.63



σ_3 (kPa)	σ_d (kPa)	θ (kPa)	M_r (MPa)
14	28	70	94
14	49	91	80
14	69	111	76
14	96	138	72
28	28	112	106
28	49	133	92
28	70	154	86
28	96	180	80
41	28	151	115
41	49	172	99
41	69	192	92
41	96	219	84
55	28	193	122
55	48	213	105
55	69	234	96
55	97	262	89

OBSERVACIONES:
PROCTOR ESTÁNDAR 2% Abajo

Figura C.3. Módulos de Resiliencia para el material del banco “Aeropuerto”



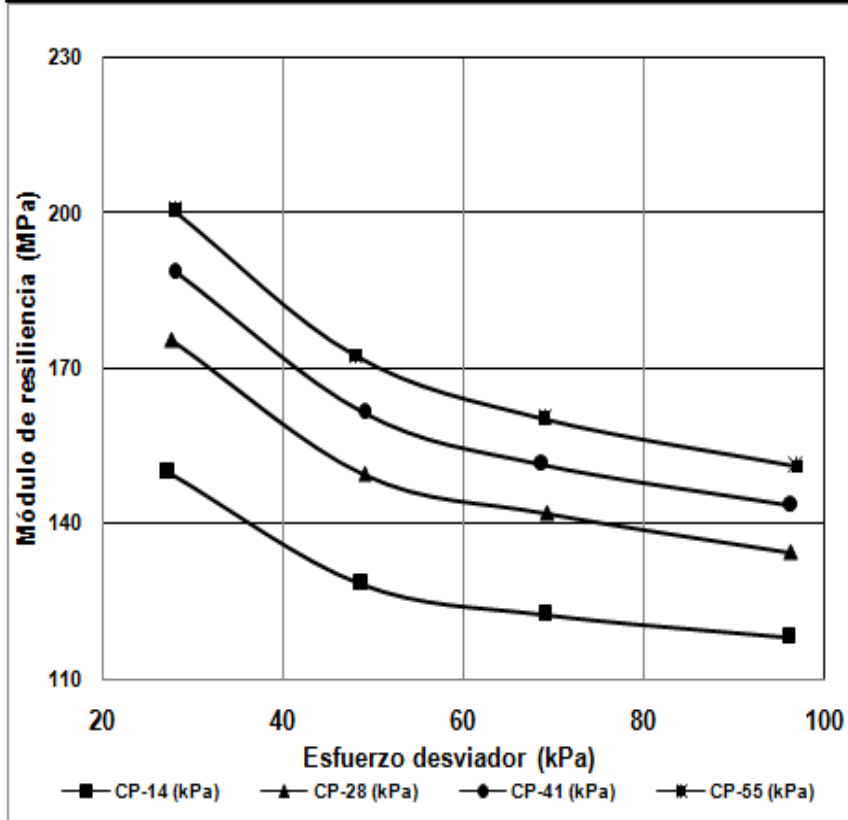
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
DIVISIÓN DE LABORATORIOS
MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES GRANULARES

Km 12+000 carretera Querétaro-Galindo, Sanfandilla, mpio de Pedro Escobedo, Querétaro 76700

Localización del banco:	Aeropuerto
Descripción de la muestra:	MH
Identificación de la muestra:	220402-20
Prueba a realizar:	Módulo de Resiliencia

DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS

Muestra No.:	432, 433, 434				
Número de capas :	8	γ_d promedio (kN/m ³):	12.93	W promedio (%):	32.74
γ_m promedio (kN/m ³):	17.17	Sr (%) promedio:	86.47	θ promedio (%):	43.09



σ_3 (kPa)	σ_d (kPa)	θ (kPa)	M_r (MPa)
14	27	69	150
14	49	91	128
14	69	111	122
14	96	138	118
28	28	112	175
28	49	133	150
28	69	153	142
28	96	180	134
41	28	151	189
41	49	172	161
41	69	192	152
41	96	219	144
55	28	193	200
55	48	213	172
55	69	234	160
55	97	262	151

OBSERVACIONES:
PROCTOR MODIFICADA ÓPTIMO

Figura C.4. Módulos de Resiliencia para el material del banco "Aeropuerto"



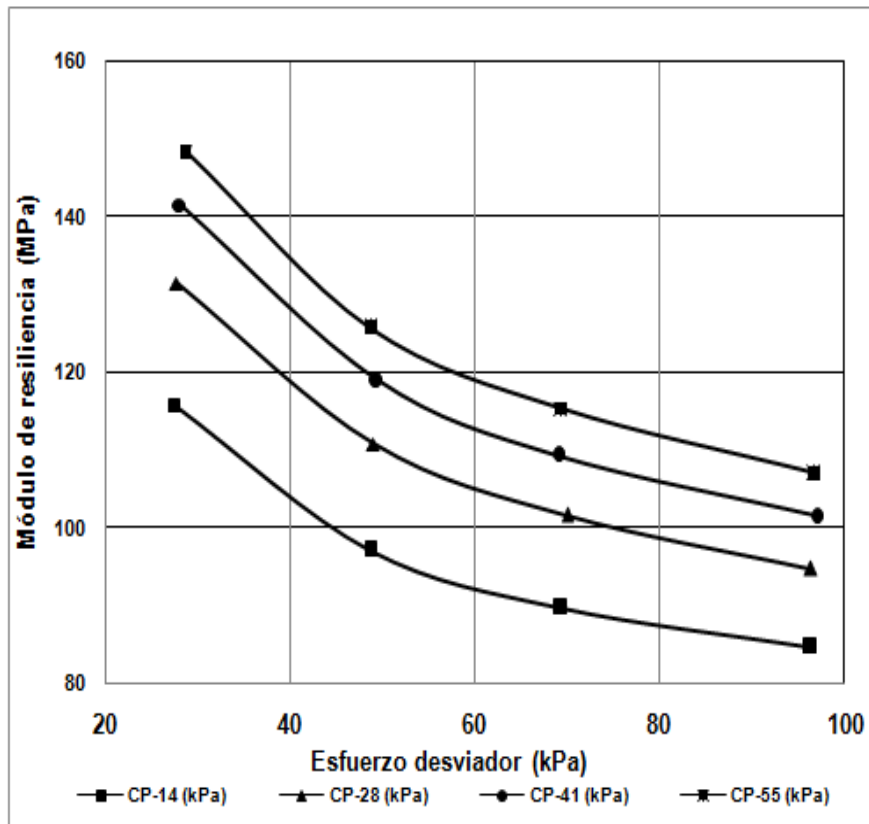
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
DIVISIÓN DE LABORATORIOS
MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES GRANULARES

Km 12+000 carretera Querétaro-Galindo, Sanfandila, mpio de Pedro Escobedo, Querétaro 76700

Localización del banco:	Aeropuerto	
Descripción de la muestra:	MH	
Identificación de la muestra:	220402-20	
Prueba a realizar:	Módulo de Resiliencia	

DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS

Muestra No.:	443, 444, 445				
Número de capas :	8	γ_d promedio (kN/m ³):	12.93	W promedio (%):	34.49
γ_m promedio (kN/m ³):	17.39	Sr (%) promedio:	90.77	θ promedio (%):	45.38



σ_3 (kPa)	σ_d (kPa)	θ (kPa)	M_r (MPa)
14	27	69	116
14	49	91	97
14	69	111	90
14	96	138	85
28	28	112	132
28	49	133	111
28	70	154	102
28	96	180	95
41	28	151	142
41	49	172	119
41	69	192	109
41	97	220	101
55	29	194	149
55	49	214	126
55	69	234	115
55	97	262	107

OBSERVACIONES:
PROCTOR MODIFICADA 2% Arriba

Figura C.5. Módulos de Resiliencia para el material del banco “Aeropuerto”



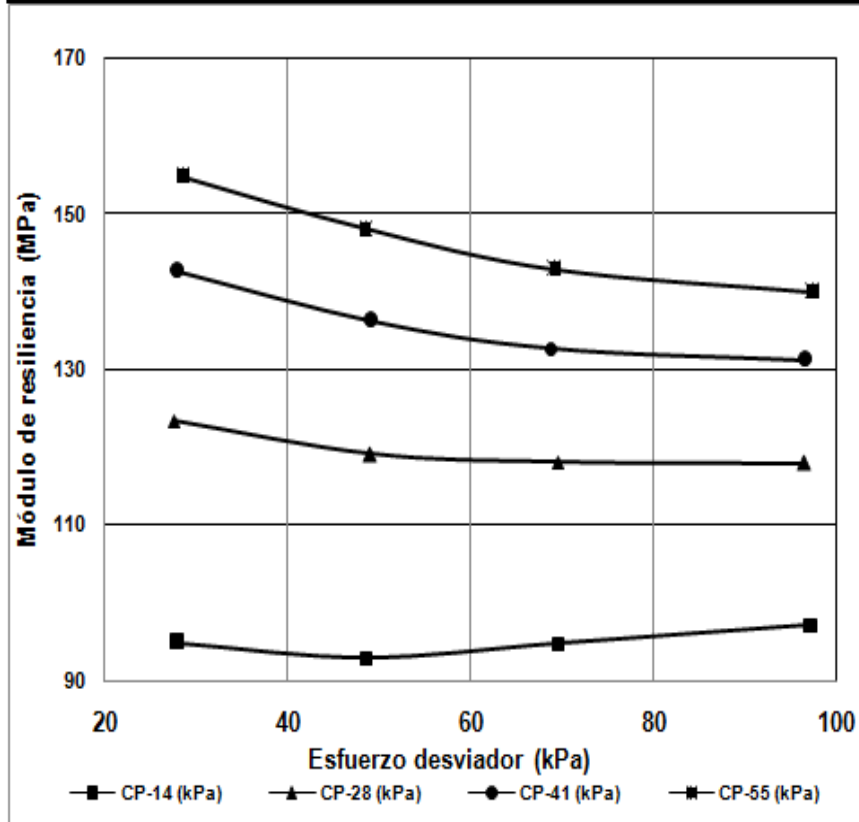
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
DIVISIÓN DE LABORATORIOS
MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES GRANULARES

Km 12+000 carretera Querétaro-Galindo, Sanfandila, mpio de Pedro Escobedo, Querétaro 76700

Localización del banco:	Aeropuerto	
Descripción de la muestra:	MH	
Identificación de la muestra:	220402-20	
Prueba a realizar:	Módulo de Resiliencia	

DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS

Muestra No.:	435, 440, 441, 442				
Número de capas :	8	γ_d promedio (kN/m ³):	12.87	W promedio (%):	30.51
γ_m promedio (kN/m ³):	16.79	Sr (%) promedio:	79.51	θ promedio (%):	40.01



σ_3 (kPa)	σ_d (kPa)	θ (kPa)	M_r (MPa)
14	28	70	95
14	49	91	93
14	70	112	95
14	97	139	97
28	28	112	123
28	49	133	119
28	70	154	118
28	97	181	118
41	28	151	143
41	49	172	136
41	69	192	133
41	97	220	131
55	29	194	155
55	49	214	148
55	69	234	143
55	98	263	140

OBSERVACIONES:
PROCTOR MODIFICADA 2% Abajo

Figura C.6. Módulos de Resiliencia para el material del banco "Aeropuerto"



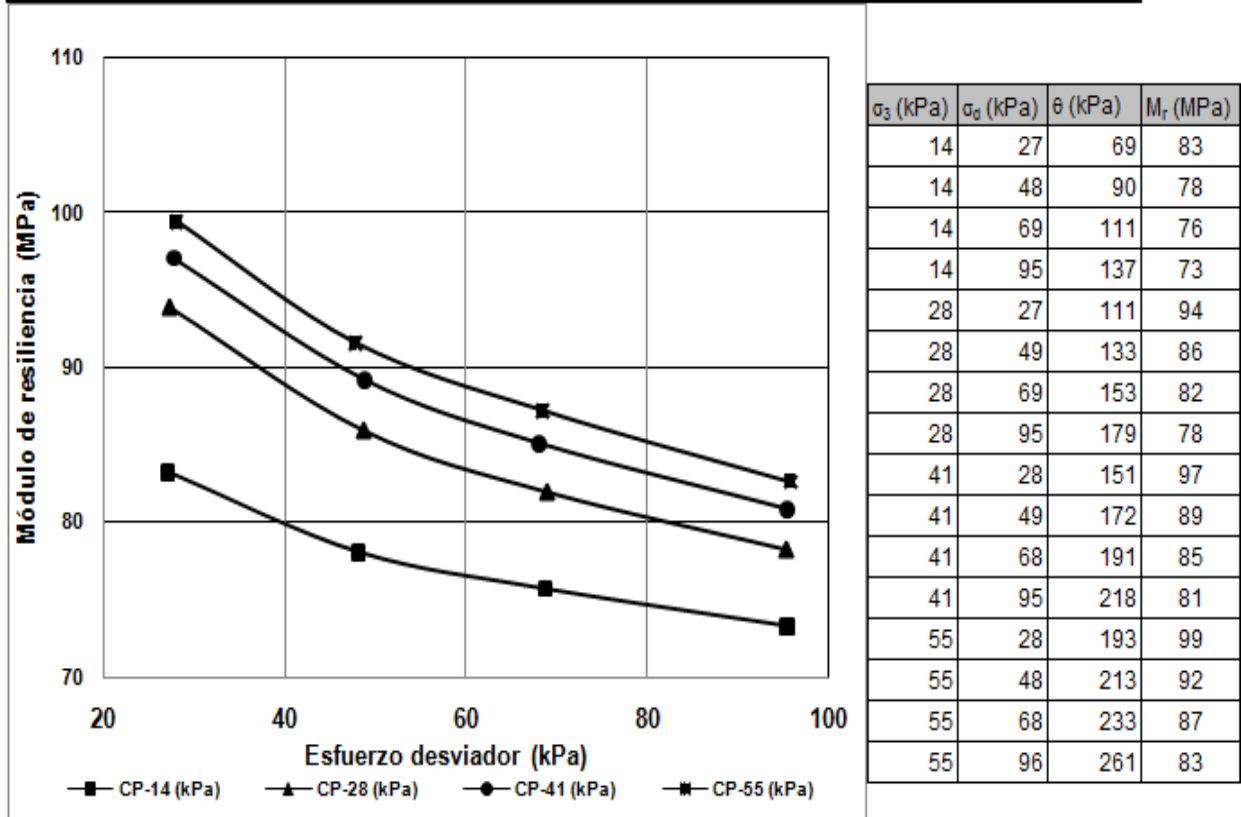
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
DIVISIÓN DE LABORATORIOS
MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES GRANULARES

Km 12+000 carretera Querétaro-Galindo, Sanfandila, mpio de Pedro Escobedo, Querétaro 76700

Localización del banco:	La Venta	
Descripción de la muestra:	Arcilla "CH"	
Identificación de la muestra:	IS-20120713-05	
Prueba a realizar:	Módulo de Resiliencia	

DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS

Muestra No.:	6,7,19				
Número de capas :	8	γ_d promedio (kN/m ³):	12.49	W promedio (%):	33.26
γ_m promedio (kN/m ³):	16.64	Sr (%) promedio:	84.19	θ promedio (%):	42.33



OBSERVACIONES:
PROCTOR ESTÁNDAR ÓPTIMO

Figura C.7. Módulos de Resiliencia para el material del banco "La Venta"



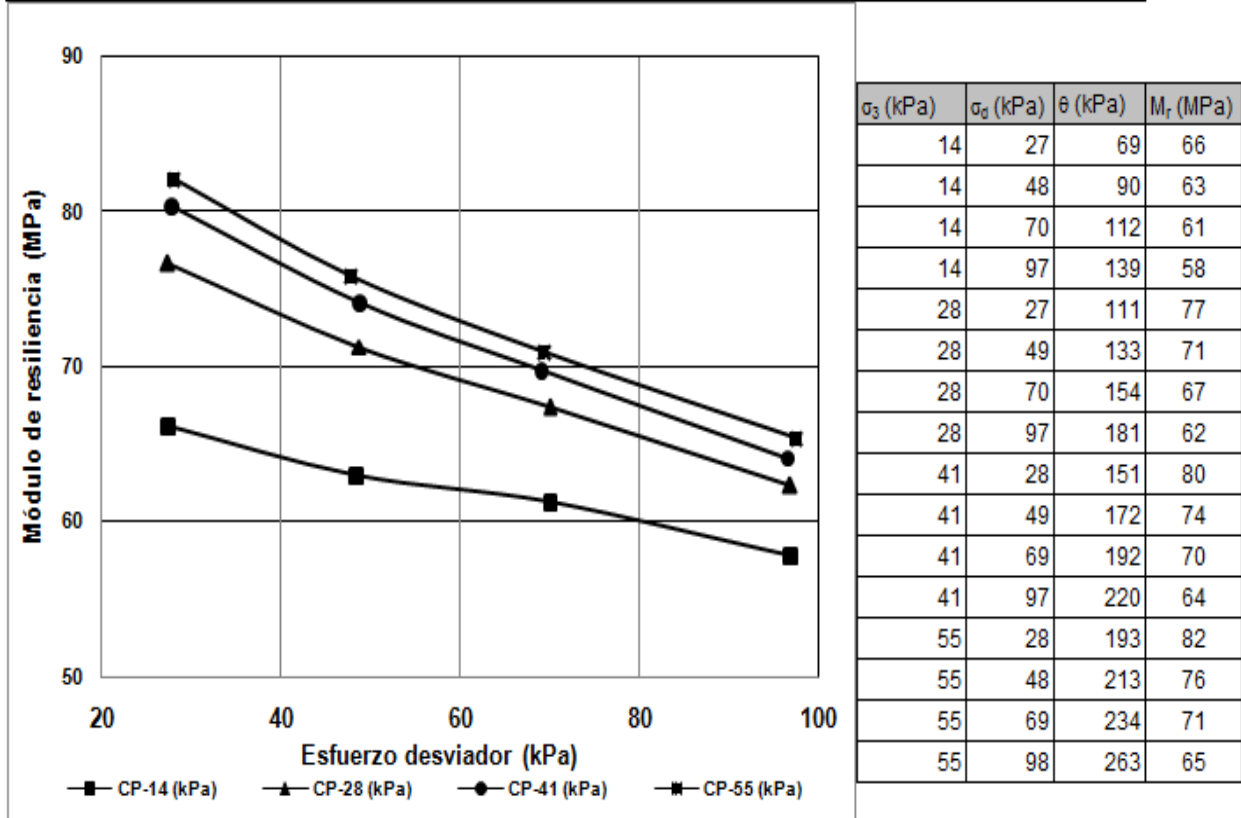
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
DIVISIÓN DE LABORATORIOS
MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES GRANULARES

Km 12+000 carretera Querétaro-Galindo, Sanfandilla, mpio de Pedro Escobedo, Querétaro 76700

Localización del banco:	La Venta	
Descripción de la muestra:	Arcilla "CH"	
Identificación de la muestra:	IS-20120713-05	
Prueba a realizar:	Módulo de Resiliencia	

DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS

Muestra No.:	126, 127, 130, 131				
Número de capas :	8	γ_d promedio (kN/m ³):	12.54	W promedio (%):	35.32
γ_m promedio (kN/m ³):	16.97	Sr (%) promedio:	90.12	θ promedio (%):	45.13



OBSERVACIONES:
PROCTOR ESTÁNDAR 2% arriba

Figura C.8. Módulos de Resiliencia para el material del banco "La Venta"



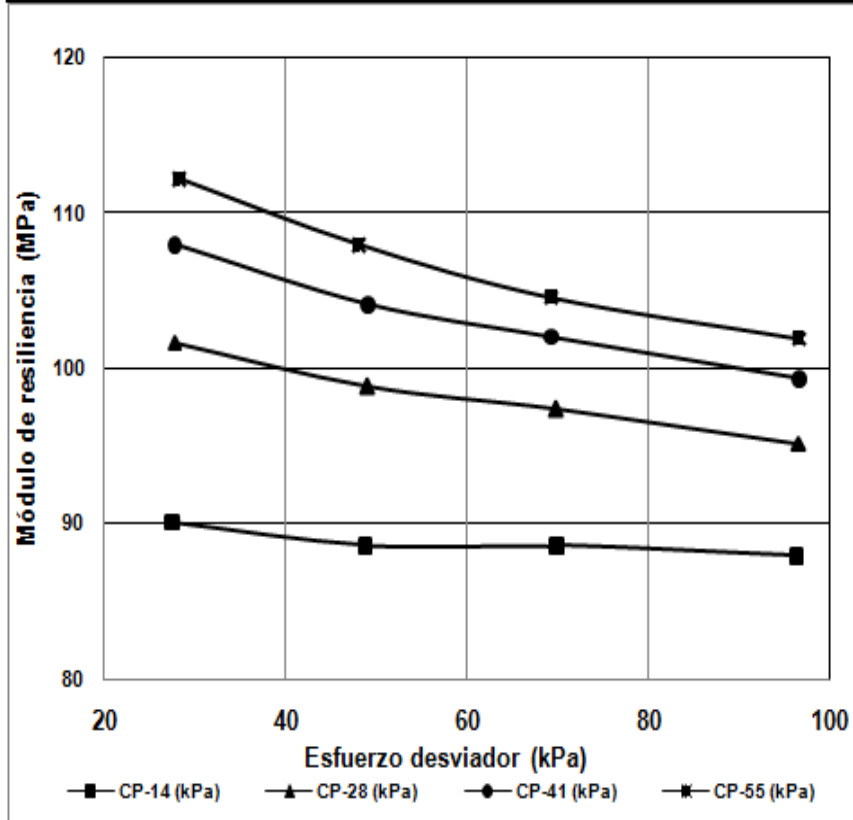
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
DIVISIÓN DE LABORATORIOS
MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES GRANULARES

Km 12+000 carretera Querétaro-Galindo, Sanfandila, mpio de Pedro Escobedo, Querétaro 76700

Localización del banco:	La Venta
Descripción de la muestra:	Arcilla "CH"
Identificación de la muestra:	IS-20120713-05
Prueba a realizar:	Módulo de Resiliencia

DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS

Muestra No.:	33,34,90,91				
Número de capas :	8	γ_d promedio (kN/m ³):	12.52	W promedio (%):	31.19
γ_m promedio (kN/m ³):	16.42	Sr (%) promedio:	79.34	θ promedio (%):	39.79



σ_3 (kPa)	σ_d (kPa)	θ (kPa)	M_r (MPa)
14	28	70	90
14	49	91	89
14	70	112	89
14	96	138	88
28	28	112	102
28	49	133	99
28	70	154	97
28	97	181	95
41	28	151	108
41	49	172	104
41	69	192	102
41	97	220	99
55	28	193	112
55	48	213	108
55	69	234	105
55	97	262	102

OBSERVACIONES:

PROCTOR ESTÁNDAR 2% abajo

Figura C.9. Módulos de Resiliencia para el material del banco "La Venta"



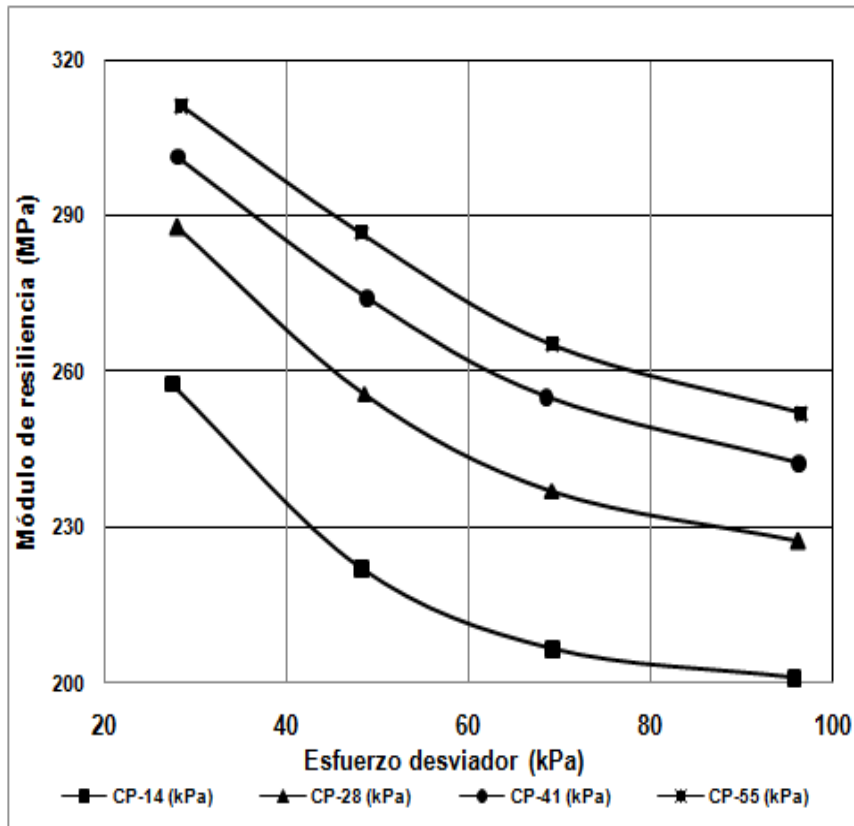
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
DIVISIÓN DE LABORATORIOS
MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES GRANULARES

Km 12+000 carretera Querétaro-Galindo, Sanfandila, mpio de Pedro Escobedo, Querétaro 76700

Localización del banco:	La Venta
Descripción de la muestra:	Arcilla "CH"
Identificación de la muestra:	IS-20120713-05
Prueba a realizar:	Módulo de Resiliencia

DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS

Muestra No.:	11,12,50,51				
Número de capas :	8	γ_d promedio (kN/m ³):	14.74	W promedio (%):	23.71
γ_m promedio (kN/m ³):	18.23	Sr (%) promedio:	85.83	θ promedio (%):	35.56



σ_3 (kPa)	σ_d (kPa)	θ (kPa)	M_r (MPa)
14	28	70	258
14	48	90	222
14	69	111	207
14	96	138	201
28	28	112	288
28	49	133	256
28	69	153	237
28	96	180	227
41	28	151	302
41	49	172	274
41	69	192	255
41	96	219	243
55	29	194	311
55	48	213	287
55	69	234	265
55	97	262	252

OBSERVACIONES:
PROCTOR modificada óptimo

Figura C.10. Módulos de Resiliencia para el material del banco "La Venta"



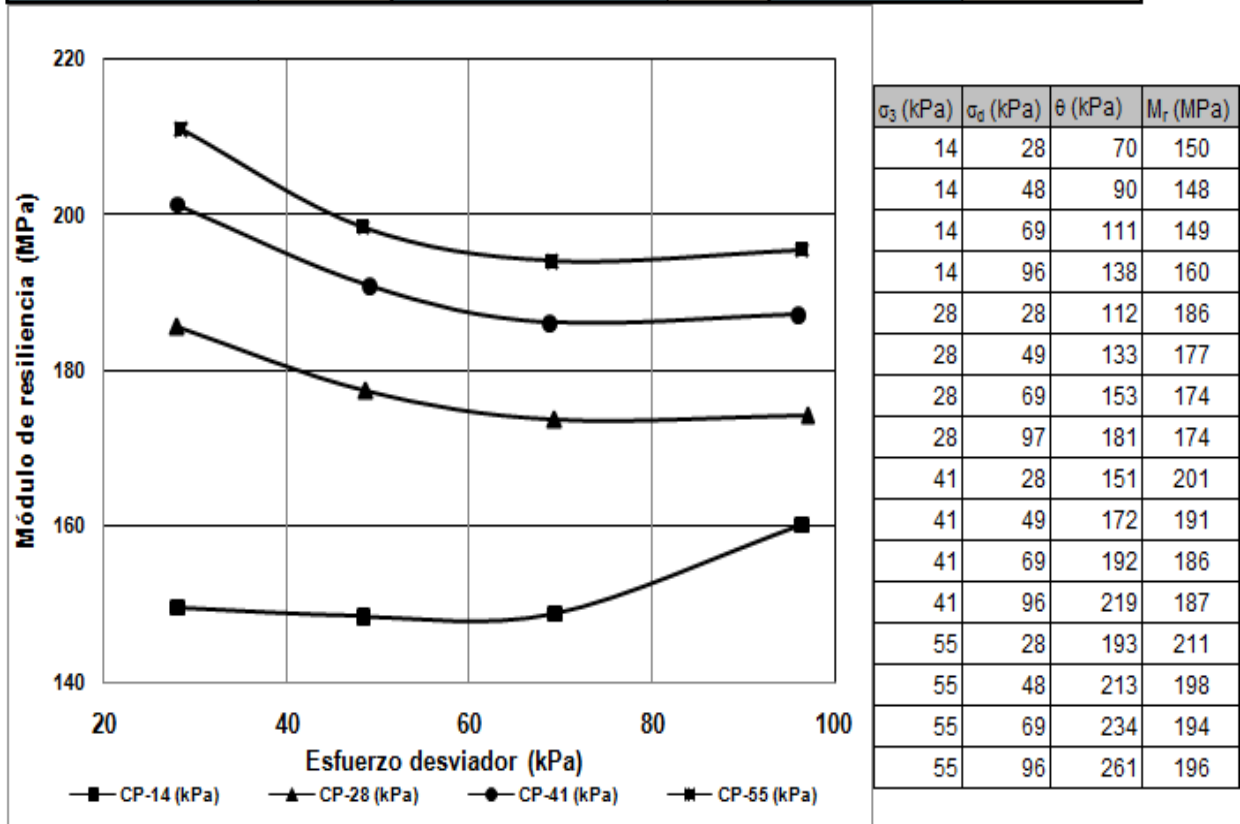
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
DIVISIÓN DE LABORATORIOS
MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES GRANULARES

Km 12+000 carretera Querétaro-Galindo, Sanfandila, mpio de Pedro Escobedo, Querétaro 76700

Localización del banco:	La Venta	
Descripción de la muestra:	Arcilla "CH"	
Identificación de la muestra:	IS-20120713-05	
Prueba a realizar:	Módulo de Resiliencia	

DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS

Muestra No.:	23,24,102				
Número de capas :	8	γ_d promedio (kN/m ³):	14.58	W promedio (%):	26.13
γ_m promedio (kN/m ³):	18.38	Sr (%) promedio:	92.53	θ promedio (%):	38.83



OBSERVACIONES:
PROCTOR modificada 2% arriba

Figura C.11. Módulos de Resiliencia para el material del banco "La Venta"



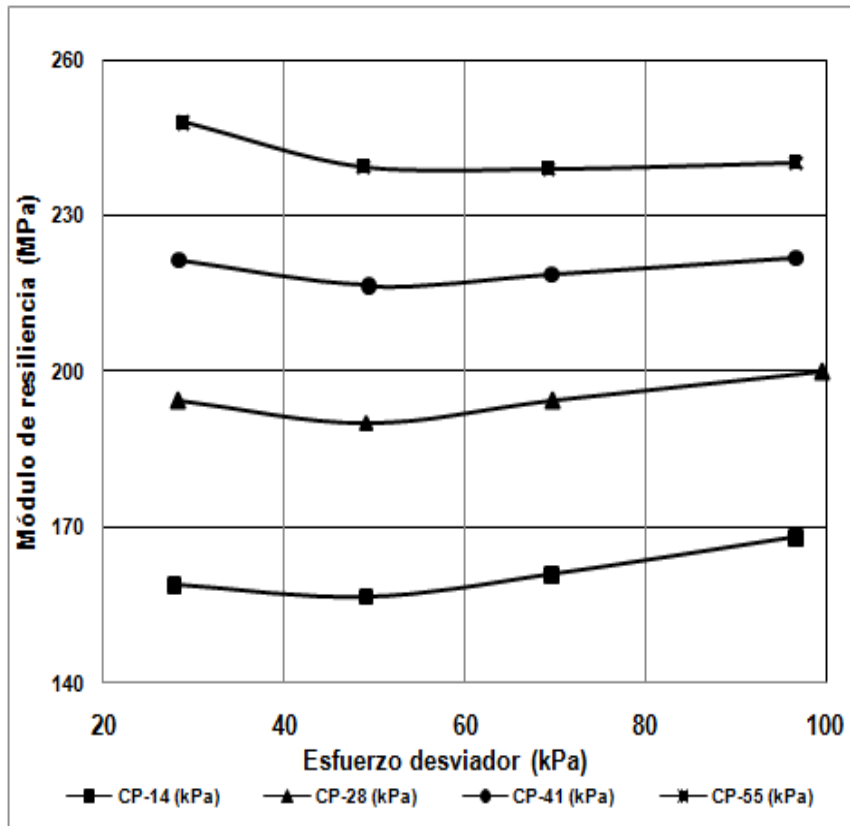
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
DIVISIÓN DE LABORATORIOS
MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES GRANULARES

Km 12+000 carretera Querétaro-Galindo, Sanfandila, mpio de Pedro Escobedo, Querétaro 76700

Localización del banco:	La Venta
Descripción de la muestra:	Arcilla "CH"
Identificación de la muestra:	IS-20120713-05
Prueba a realizar:	Módulo de Resiliencia

DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS

Muestra No.:	46, 46, 49, 75				
Número de capas :	8	γ_d promedio (kN/m ³):	14.65	W promedio (%):	21.98
γ_m promedio (kN/m ³):	17.87	Sr (%) promedio:	78.81	θ promedio (%):	32.83



σ_3 (kPa)	σ_d (kPa)	θ (kPa)	M_r (MPa)
14	28	70	159
14	49	91	157
14	70	112	161
14	97	139	168
28	28	112	194
28	49	133	190
28	70	154	194
28	100	184	200
41	28	151	222
41	49	172	217
41	70	193	219
41	97	220	222
55	29	194	248
55	49	214	240
55	69	234	239
55	97	262	240

OBSERVACIONES:
PROCTOR Modificada 2% abajo

Figura C.12. Módulos de Resiliencia para el material del banco "La Venta"



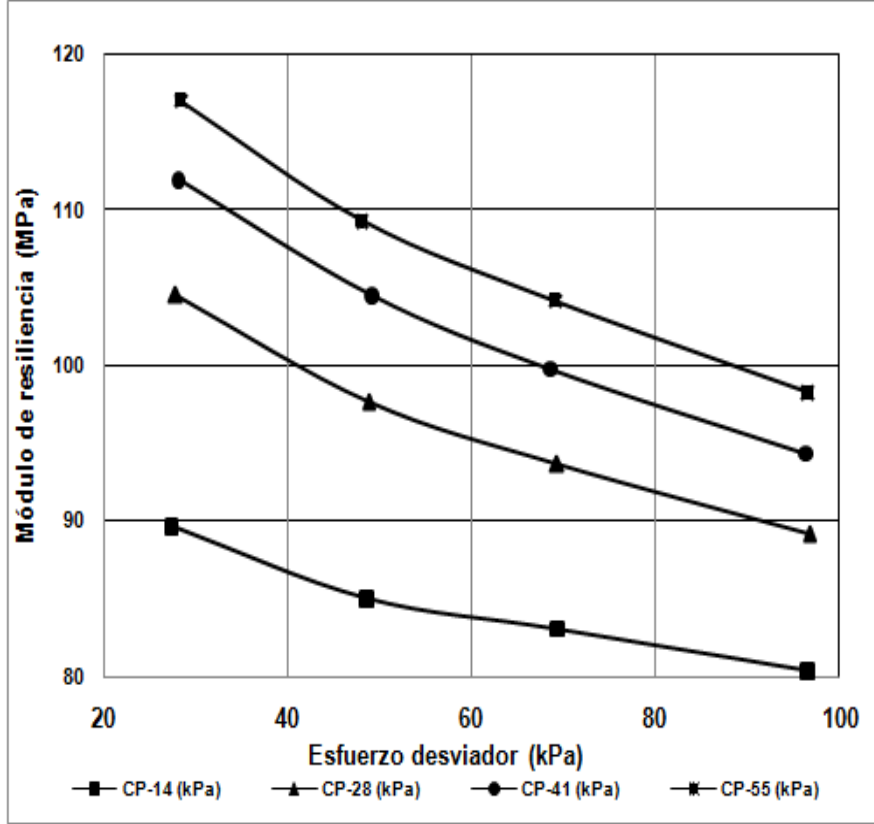
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
DIVISIÓN DE LABORATORIOS
MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES GRANULARES

Km 12+000 carretera Querétaro-Galindo, Sanfandila, mpio de Pedro Escobedo, Querétaro 76700

Localización del banco:	Santa Rosa Jauregui
Descripción de la muestra:	Arcilla "CH"
Identificación de la muestra:	IS-20070822-167
Prueba a realizar:	Módulo de Resiliencia

DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS

Muestra No.:	198, 199, 200, 201				
Número de capas :	8	γ_d promedio (kN/m ³):	13.99	W promedio (%):	27.23
γ_m promedio (kN/m ³):	17.80	Sr (%) promedio:	87.68	θ promedio (%):	38.84



σ_3 (kPa)	σ_d (kPa)	θ (kPa)	M_r (MPa)
14	27	69	90
14	49	91	85
14	69	111	83
14	97	139	80
28	28	112	105
28	49	133	98
28	69	153	94
28	97	181	89
41	28	151	112
41	49	172	105
41	69	192	100
41	96	219	94
55	28	193	117
55	48	213	109
55	69	234	104
55	97	262	98

OBSERVACIONES:

PROCTOR ESTÁNDAR ÓPTIMO

Figura C.13. Módulos de Resiliencia para el material del banco "Santa Rosa"



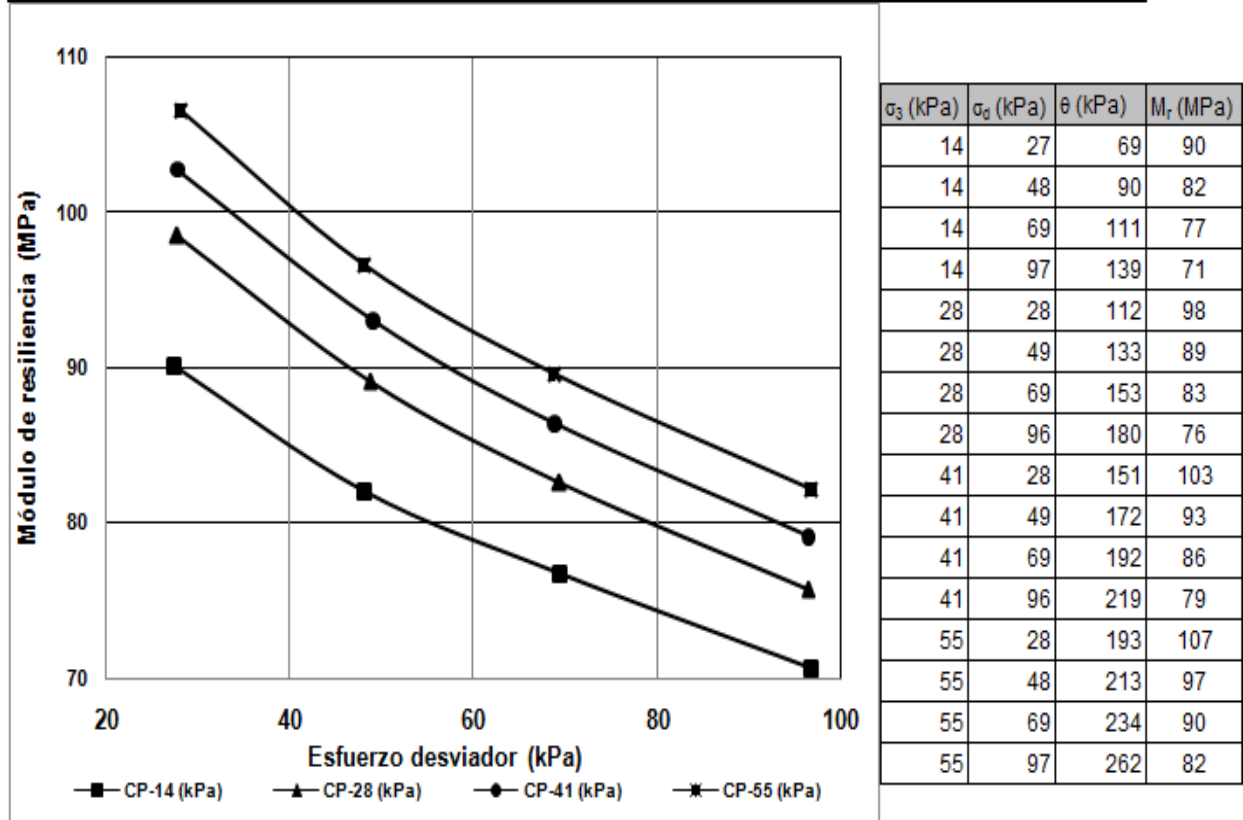
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
DIVISIÓN DE LABORATORIOS
MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES GRANULARES

Km 12+000 carretera Querétaro-Galindo, Sanfandila, mpio de Pedro Escobedo, Querétaro 76700

Localización del banco:	Santa Rosa Jauregui	
Descripción de la muestra:	Arcilla "CH"	
Identificación de la muestra:	IS-20070822-167	
Prueba a realizar:	Módulo de Resiliencia	

DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS

Muestra No.:	209, 210, 212				
Número de capas :	8	γ_d promedio (kN/m ³):	13.75	W promedio (%):	29.20
γ_m promedio (kN/m ³):	17.77	Sr (%) promedio:	90.73	θ promedio (%):	41.10



OBSERVACIONES:

PROCTOR ESTÁNDAR 2% ARRIBA

Figura C.14. Módulos de Resiliencia para el material del banco "Santa Rosa"



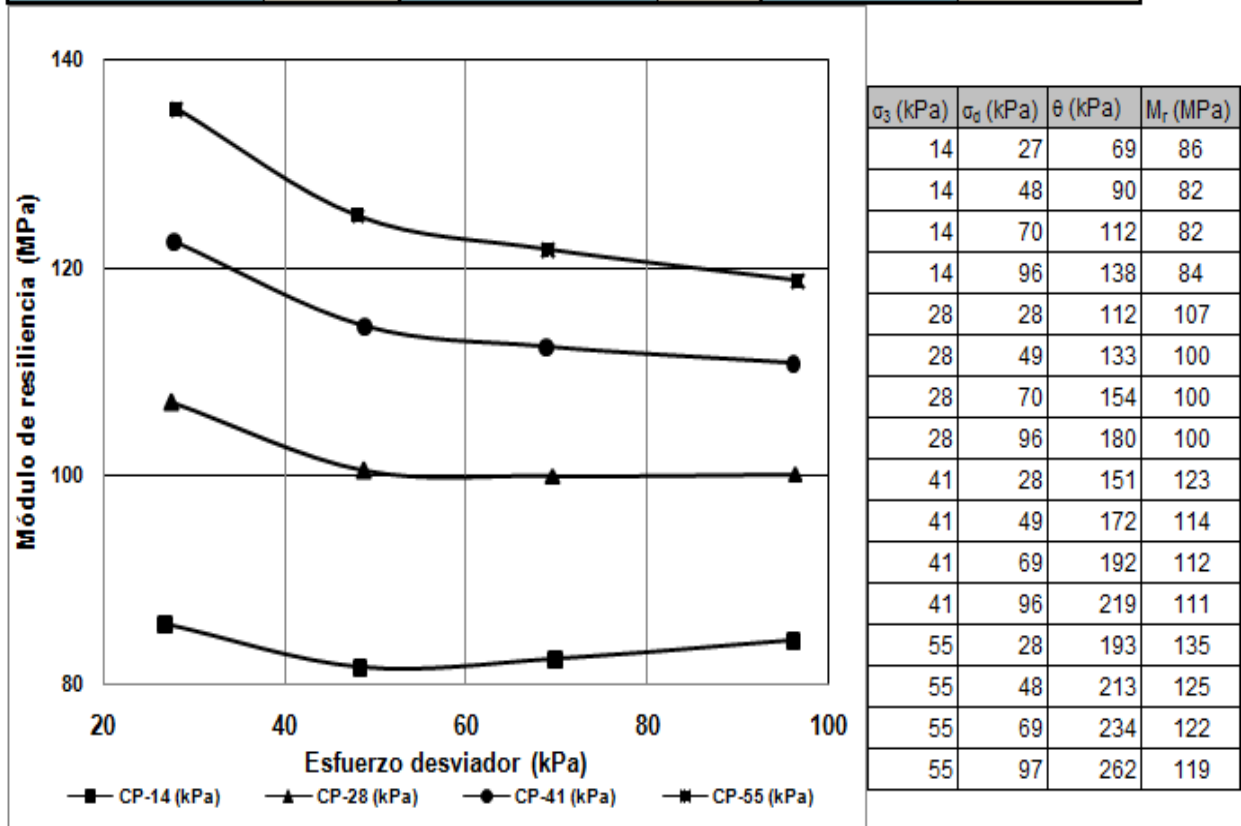
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
DIVISIÓN DE LABORATORIOS
MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES GRANULARES

Km 12+000 carretera Querétaro-Galindo, Sanfandila, mpio de Pedro Escobedo, Querétaro 76700

Localización del banco:	Santa Rosa Jauregui
Descripción de la muestra:	Arcilla "CH"
Identificación de la muestra:	IS-20070822-167
Prueba a realizar:	Módulo de Resiliencia

DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS

Muestra No.:	203,205,206, 207				
Número de capas :	8	γ_o promedio (kN/m ³):	13.91	W promedio (%):	25.50
γ_m promedio (kN/m ³):	17.45	Sr (%) promedio:	81.02	θ promedio (%):	36.15



OBSERVACIONES:

PROCTOR ESTÁNDAR 2% ABAJO

Figura C.15. Módulos de Resiliencia para el material del banco "Santa Rosa"



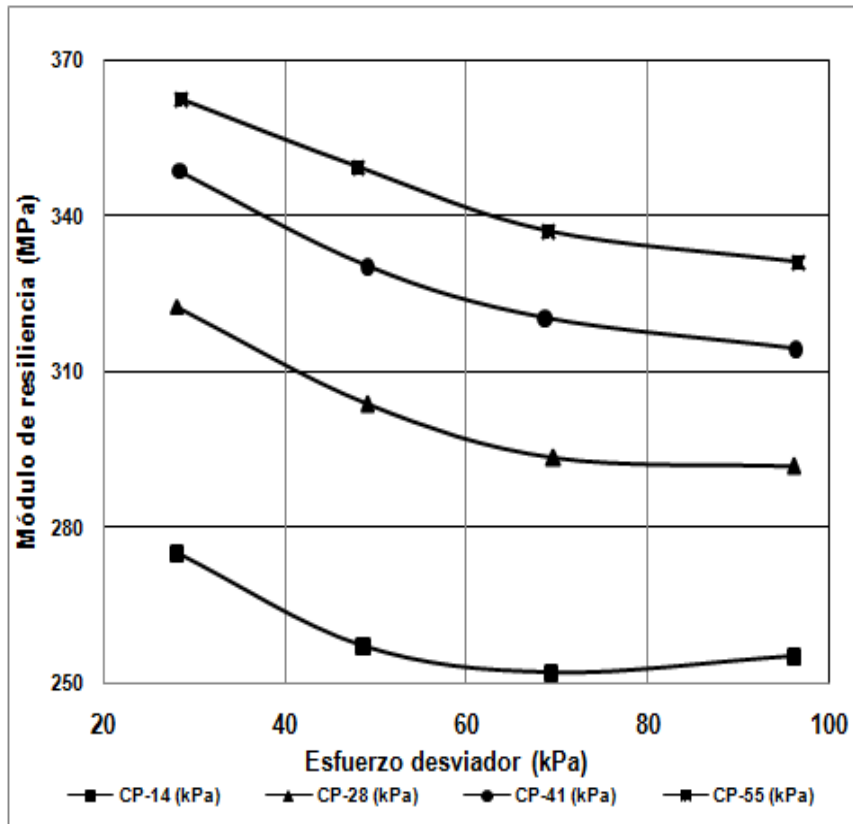
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
DIVISIÓN DE LABORATORIOS
MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES GRANULARES

Km 12+000 carretera Querétaro-Galindo, Sanfandila, mpio de Pedro Escobedo, Querétaro 76700

Localización del banco:	Santa Rosa Jauregui
Descripción de la muestra:	Arcilla "CH"
Identificación de la muestra:	IS-20070822-167
Prueba a realizar:	Módulo de Resiliencia

DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS

Muestra No.:	218, 219, 220, 221				
Número de capas :	8	γ_c promedio (kN/m ³):	16.23	W promedio (%):	18.99
γ_m promedio (kN/m ³):	19.31	Sr (%) promedio:	88.97	θ promedio (%):	31.43



σ_3 (kPa)	σ_d (kPa)	θ (kPa)	M_r (MPa)
14	28	70	275
14	49	91	257
14	69	111	252
14	96	138	255
28	28	112	323
28	49	133	304
28	70	154	294
28	96	180	292
41	28	151	349
41	49	172	330
41	69	192	321
41	96	219	315
55	29	194	363
55	48	213	350
55	69	234	337
55	97	262	331

OBSERVACIONES:
PROCTOR MODIFICADA ÓPTIMO

Figura C.16. Módulos de Resiliencia para el material del banco "Santa Rosa"



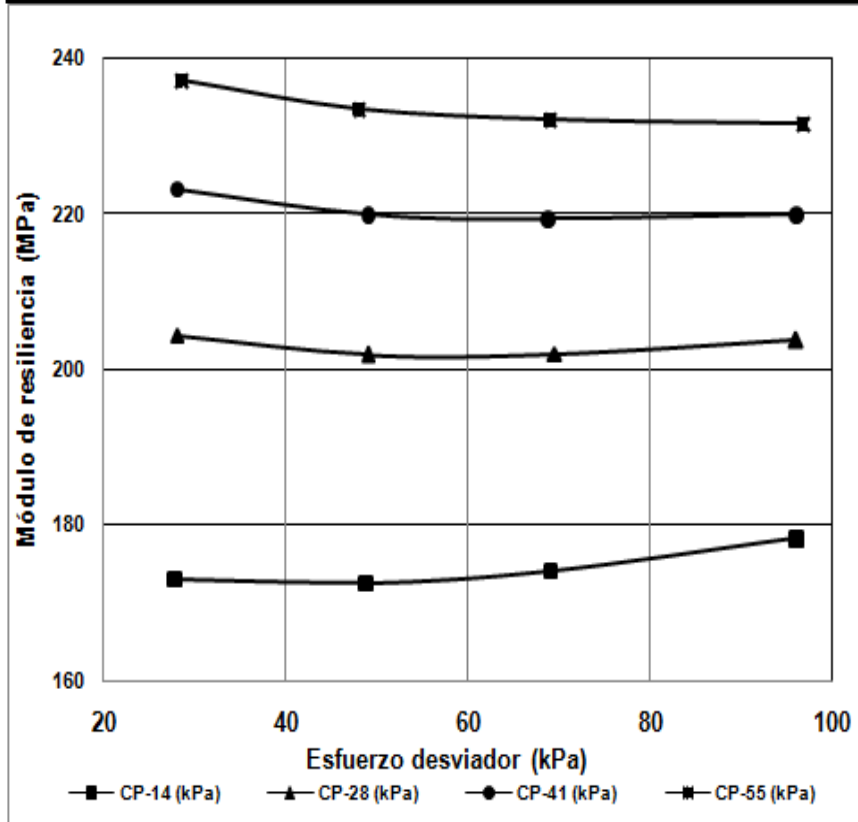
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
DIVISIÓN DE LABORATORIOS
MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES GRANULARES

Km 12+000 carretera Querétaro-Galindo, Sanfandila, mpio de Pedro Escobedo, Querétaro 76700

Localización del banco:	Santa Rosa Jauregui
Descripción de la muestra:	Arcilla "CH"
Identificación de la muestra:	IS-20070822-167
Prueba a realizar:	Módulo de Resiliencia

DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS

Muestra No.:	230, 231, 232, 233				
Número de capas :	8	γ_d promedio (kN/m ³):	15.98	W promedio (%):	20.65
γ_m promedio (kN/m ³):	19.28	Sr (%) promedio:	92.54	θ promedio (%):	33.65



σ_3 (kPa)	σ_d (kPa)	θ (kPa)	M_r (MPa)
14	28	70	173
14	49	91	173
14	69	111	174
14	96	138	178
28	28	112	204
28	49	133	202
28	70	154	202
28	96	180	204
41	28	151	223
41	49	172	220
41	69	192	219
41	96	219	220
55	29	194	237
55	48	213	234
55	69	234	232
55	97	262	232

OBSERVACIONES:
PROCTOR MODIFICADA 2% Arriba

Figura C.17. Módulos de Resiliencia para el material del banco "Santa Rosa"



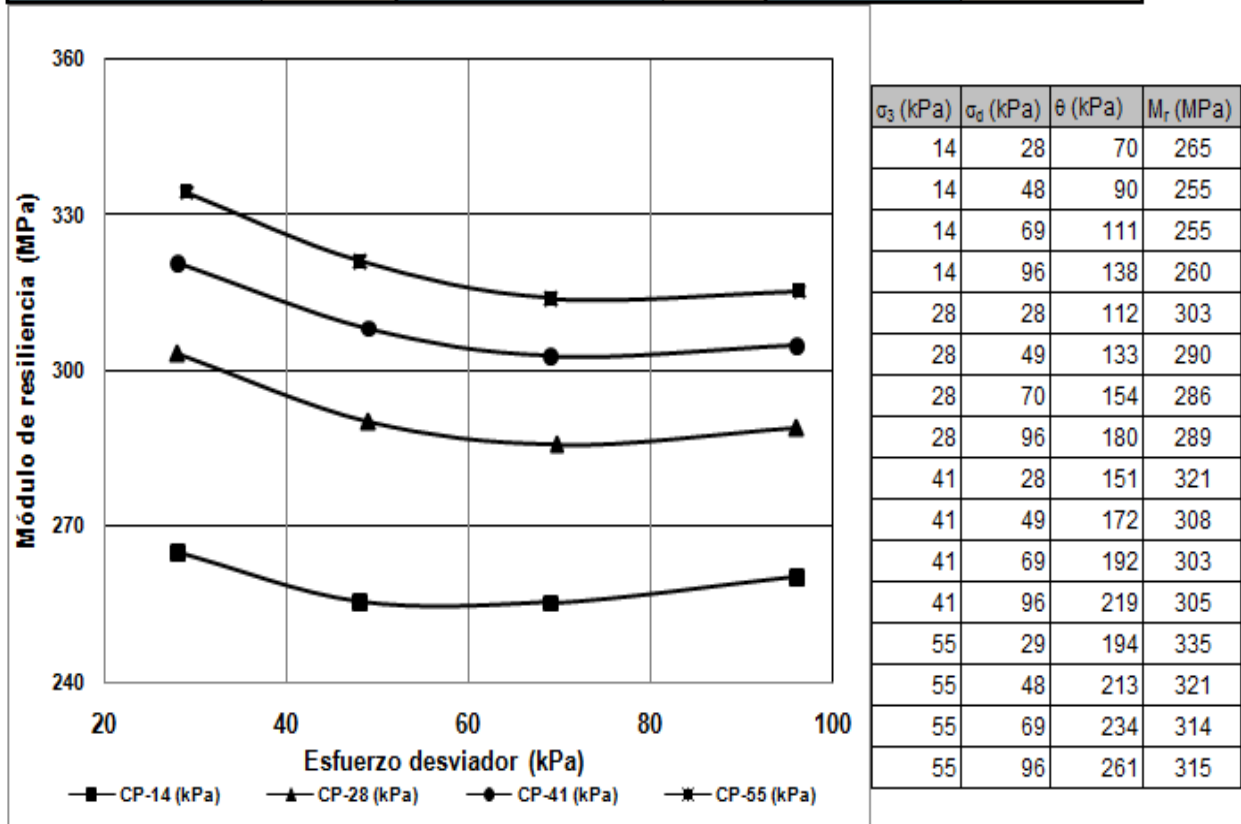
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
DIVISIÓN DE LABORATORIOS
MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES GRANULARES

Km 12+000 carretera Querétaro-Galindo, Sanfandila, mpio de Pedro Escobedo, Querétaro 76700

Localización del banco:	Santa Rosa Jauregui
Descripción de la muestra:	Arcilla "CH"
Identificación de la muestra:	IS-20070822-167
Prueba a realizar:	Módulo de Resiliencia

DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS

Muestra No.:	225, 227, 228				
Número de capas :	8	γ_d promedio (kN/m ³):	16.03	W promedio (%):	16.89
γ_m promedio (kN/m ³):	18.73	Sr (%) promedio:	76.28	θ promedio (%):	27.60



OBSERVACIONES:

PROCTOR MODIFICADA 2% Abajo

Figura C.18. Módulos de Resiliencia para el material del banco "Santa Rosa"



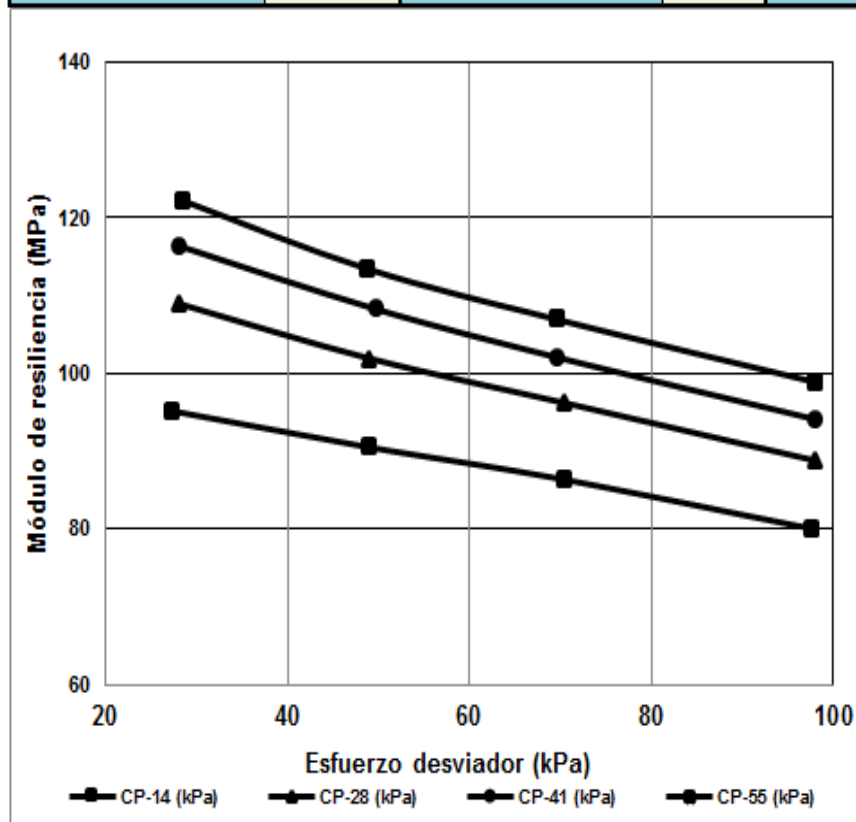
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
DIVISIÓN DE LABORATORIOS
MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES GRANULARES

Km 12+000 carretera Querétaro-Galindo, Sanfandila, mpio de Pedro Escobedo, Querétaro 76700

Localización del banco:	La cañada
Descripción de la muestra:	CH-MH
Identificación de la muestra:	IS-20110215-46
Prueba a realizar:	Módulo de Resiliencia

DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS

Muestra No.:	249, 250, 252				
Número de capas :	8	γ_d promedio (kN/m ³):	13.07	W promedio (%):	31.27
γ_m promedio (kN/m ³):	17.16	Sr (%) promedio:	85.82	θ promedio (%):	41.67



σ_3 (kPa)	σ_d (kPa)	θ (kPa)	M_r (MPa)
14	27	69	95
14	49	91	91
14	70	112	86
14	98	140	80
28	28	112	109
28	49	133	102
28	70	154	96
28	98	182	89
41	28	151	117
41	50	173	108
41	70	193	102
41	98	221	94
55	28	193	122
55	49	214	114
55	70	235	107
55	98	263	99

OBSERVACIONES:
PROCTOR ESTÁNDAR ÓPTIMO

Figura C.19. Módulos de Resiliencia para el material del banco “La Cañada”



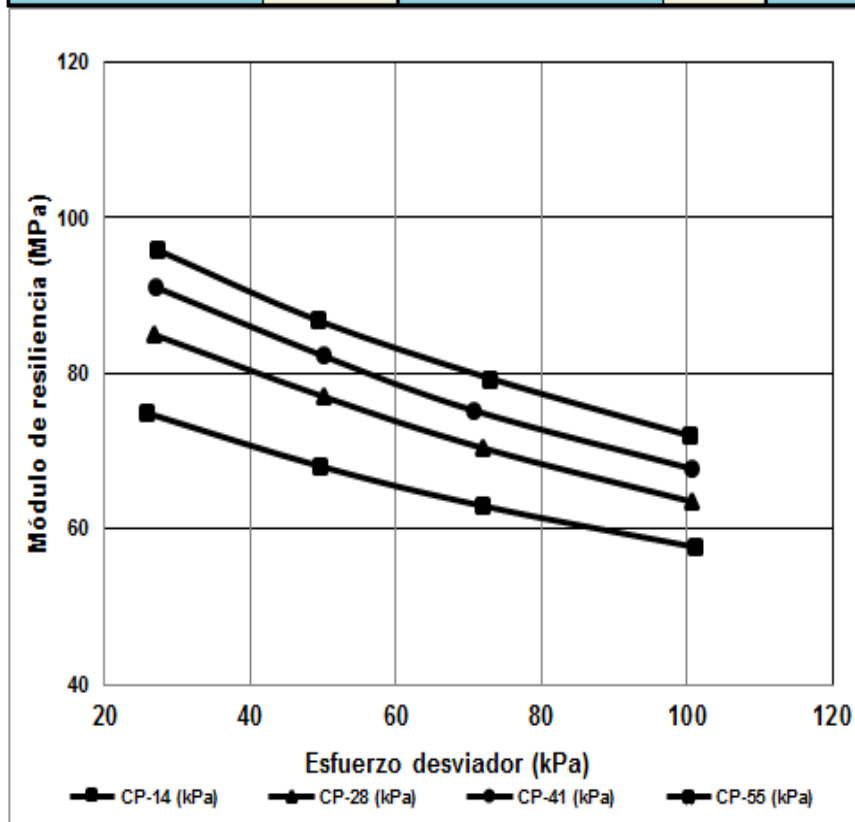
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
DIVISIÓN DE LABORATORIOS
MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES GRANULARES

Km 12+000 carretera Querétaro-Galindo, Sanfandila, mpio de Pedro Escobedo, Querétaro 76700

Localización del banco:	La cañada
Descripción de la muestra:	CH-MH
Identificación de la muestra:	IS-20110215-46
Prueba a realizar:	Módulo de Resiliencia

DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS

Muestra No.:	257, 258, 259				
Número de capas :	8	γ_d promedio (kN/m ³):	13.02	W promedio (%):	32.85
γ_m promedio (kN/m ³):	17.29	Sr (%) promedio:	89.40	θ promedio (%):	43.60



σ_3 (kPa)	σ_d (kPa)	θ (kPa)	M_r (MPa)
14	26	68	75
14	50	92	68
14	72	114	63
14	101	143	58
28	27	111	85
28	50	134	77
28	72	156	70
28	101	185	63
41	27	150	91
41	50	173	82
41	71	194	75
41	101	224	68
55	27	192	96
55	49	214	87
55	73	238	79
55	100	265	72

OBSERVACIONES:
PROCTOR ESTÁNDAR 2% Arriba

Figura C.20. Módulos de Resiliencia para el material del banco “La Cañada”



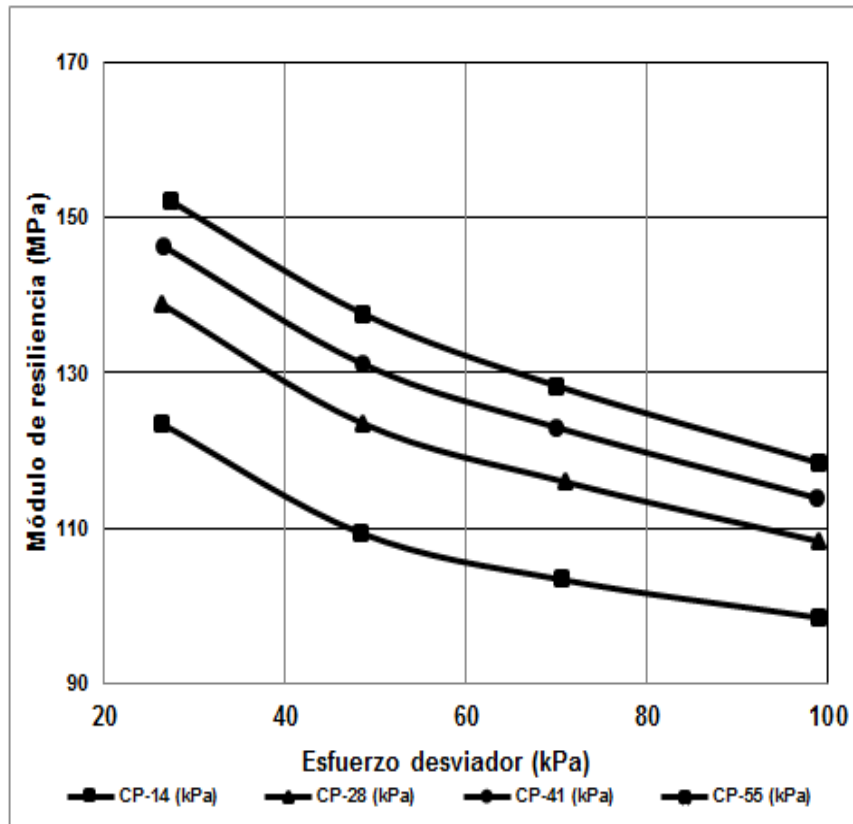
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
DIVISIÓN DE LABORATORIOS
MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES GRANULARES

Km 12+000 carretera Querétaro-Galindo, Sanfandila, mpio de Pedro Escobedo, Querétaro 76700

Localización del banco:	La cañada
Descripción de la muestra:	CH-MH
Identificación de la muestra:	IS-20110215-46
Prueba a realizar:	Módulo de Resiliencia

DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS

Muestra No.:	253, 254, 255, 256				
Número de capas :	8	γ_d promedio (kN/m ³):	13.09	W promedio (%):	28.89
γ_m promedio (kN/m ³):	16.88	Sr (%) promedio:	79.58	θ promedio (%):	38.56



σ_3 (kPa)	σ_d (kPa)	θ (kPa)	M_r (MPa)
14	26	68	123
14	48	90	110
14	71	113	104
14	99	141	99
28	26	110	139
28	49	133	123
28	71	155	116
28	99	183	108
41	27	150	146
41	49	172	131
41	70	193	123
41	99	222	114
55	27	192	152
55	49	214	138
55	70	235	128
55	99	264	118

OBSERVACIONES:
PROCTOR ESTÁNDAR 2% ABAJO

Figura C.21. Módulos de Resiliencia para el material del banco “La Cañada”



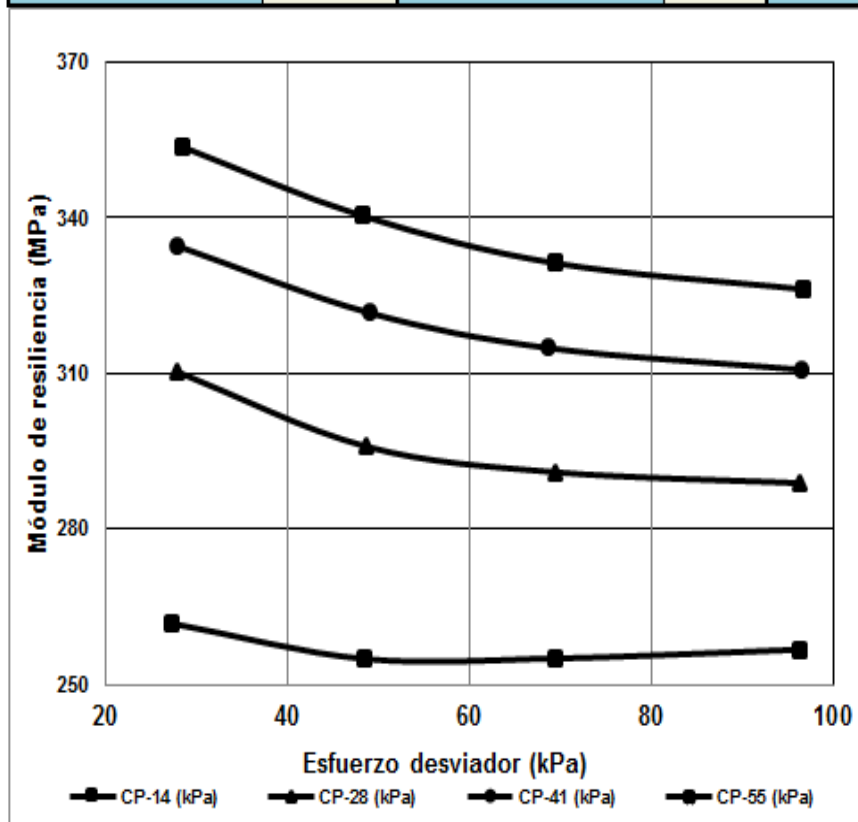
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
DIVISIÓN DE LABORATORIOS
MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES GRANULARES

Km 12+000 carretera Querétaro-Galindo, Sanfandila, mpio de Pedro Escobedo, Querétaro 76700

Localización del banco:	La cañada
Descripción de la muestra:	CH-MH
Identificación de la muestra:	IS-20110215-46
Prueba a realizar:	Módulo de Resiliencia

DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS

Muestra No.:	281, 282, 286, 287				
Número de capas :	8	γ_d promedio (kN/m ³):	14.91	W promedio (%):	21.34
γ_m promedio (kN/m ³):	18.09	Sr (%) promedio:	78.44	θ promedio (%):	32.42



σ_3 (kPa)	σ_d (kPa)	θ (kPa)	M_r (MPa)
14	27	69	262
14	49	91	255
14	70	112	255
14	96	138	257
28	28	112	310
28	49	133	296
28	70	154	291
28	96	180	289
41	28	151	335
41	49	172	322
41	69	192	315
41	97	220	311
55	29	194	354
55	48	213	340
55	70	235	331
55	97	262	326

OBSERVACIONES:
PROCTOR MODIFICADA ÓPTIMO

Figura C.22. Módulos de Resiliencia para el material del banco “La Cañada”



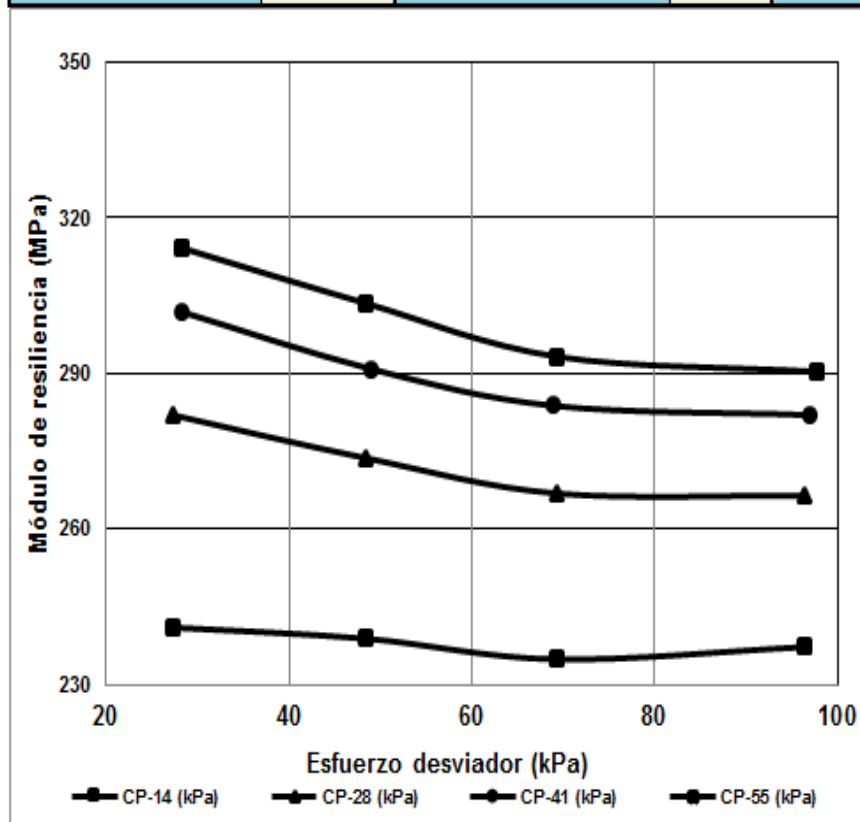
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
DIVISIÓN DE LABORATORIOS
MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES GRANULARES

Km 12+000 carretera Querétaro-Galindo, Sanfandila, mpio de Pedro Escobedo, Querétaro 76700

Localización del banco:	La cañada
Descripción de la muestra:	CH-MH
Identificación de la muestra:	IS-20110215-46
Prueba a realizar:	Módulo de Resiliencia

DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS

Muestra No.:	288, 290, 291				
Número de capas :	8	γ_d promedio (kN/m ³):	14.79	W promedio (%):	23.49
γ_m promedio (kN/m ³):	18.26	Sr (%) promedio:	84.69	θ promedio (%):	34.41



σ_3 (kPa)	σ_d (kPa)	θ (kPa)	M_r (MPa)
14	27	69	241
14	48	90	239
14	69	111	235
14	96	138	237
28	27	111	282
28	48	132	274
28	69	153	267
28	96	180	267
41	28	151	302
41	49	172	291
41	69	192	284
41	97	220	282
55	28	193	314
55	48	213	304
55	69	234	293
55	98	263	290

OBSERVACIONES:
PROCTOR MODIFICADA 2% Arriba

Figura C.23. Módulos de Resiliencia para el material del banco “La Cañada”



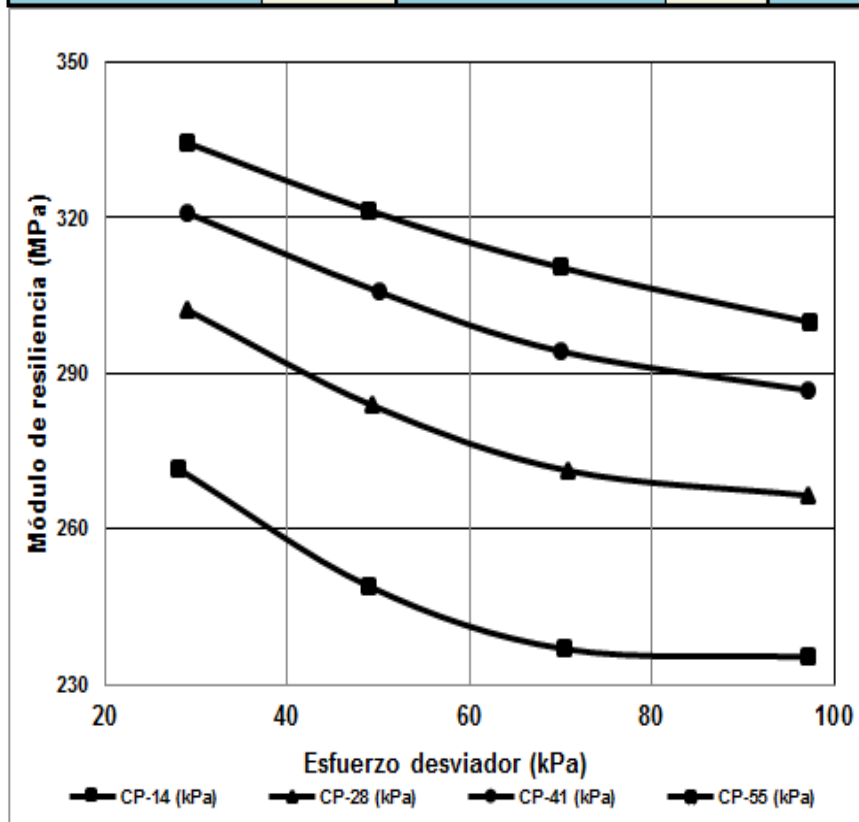
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
DIVISIÓN DE LABORATORIOS
MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES GRANULARES

Km 12+000 carretera Querétaro-Galindo, Sanfandila, mpio de Pedro Escobedo, Querétaro 76700

Localización del banco:	La cañada
Descripción de la muestra:	CH-MH
Identificación de la muestra:	IS-20110215-46
Prueba a realizar:	Módulo de Resiliencia

DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS

Muestra No.:	292, 294, 295				
Número de capas :	8	γ_d promedio (kN/m ³):	14.73	W promedio (%):	19.43
γ_m promedio (kN/m ³):	17.59	Sr (%) promedio:	69.43	θ promedio (%):	29.17



σ_3 (kPa)	σ_d (kPa)	θ (kPa)	M_r (MPa)
14	28	70	272
14	49	91	249
14	70	112	237
14	97	139	235
28	29	113	302
28	49	133	284
28	71	155	271
28	97	181	266
41	29	152	321
41	50	173	306
41	70	193	294
41	97	220	287
55	29	194	335
55	49	214	322
55	70	235	311
55	97	262	300

OBSERVACIONES:
PROCTOR MODIFICADA 2% Abajo

Figura C.24. Módulos de Resiliencia para el material del banco “La Cañada”



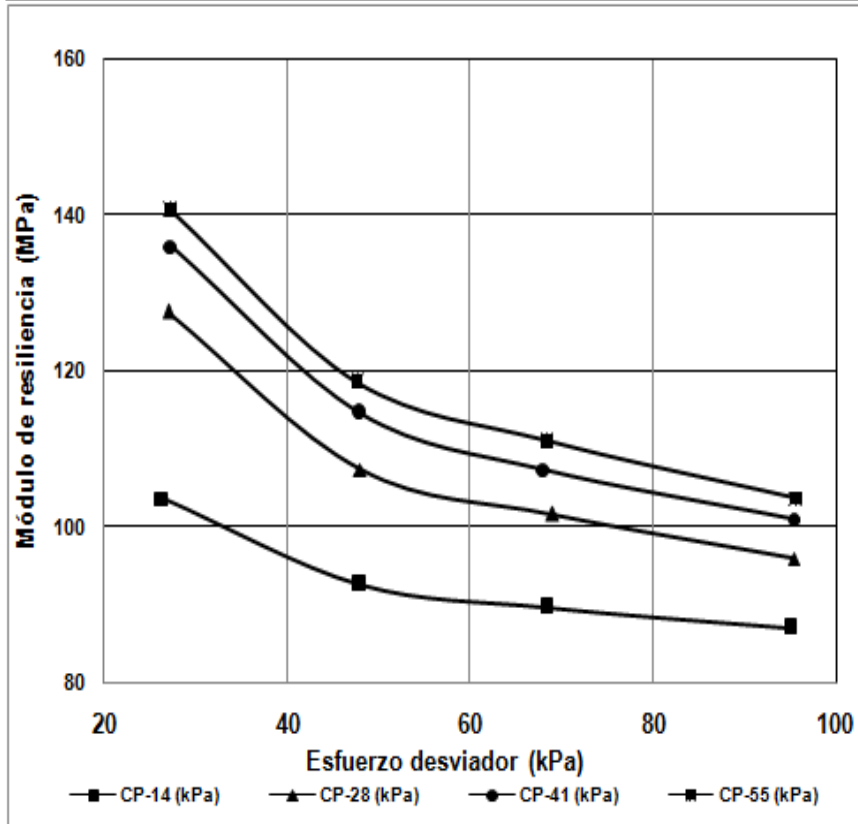
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
DIVISIÓN DE LABORATORIOS
MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES GRANULARES

Km 12+000 carretera Querétaro-Galindo, Sanfandila, mpio de Pedro Escobedo, Querétaro 76700

Localización del banco:	Pedro Escobedo	
Descripción de la muestra:	Arcilla "CH"	
Identificación de la muestra:	IS-20130207-02	
Prueba a realizar:	Módulo de Resiliencia	

DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS

Muestra No.:	344, 345, 350				
Número de capas :	8	γ_d promedio (kN/m ³):	12.70	W promedio (%):	33.71
γ_m promedio (kN/m ³):	16.98	Sr (%) promedio:	85.32	θ promedio (%):	43.65



σ_3 (kPa)	σ_d (kPa)	θ (kPa)	M_r (MPa)
14	26	68	104
14	48	90	93
14	68	110	90
14	95	137	87
28	27	111	128
28	48	132	107
28	69	153	102
28	95	179	96
41	27	150	136
41	48	171	115
41	68	191	107
41	95	218	101
55	27	192	141
55	48	213	119
55	68	233	111
55	96	261	104

OBSERVACIONES:
 PROCTOR ESTÁNDAR ÓPTIMO

Figura C.25. Módulos de Resiliencia para el material del banco "Pedro Escobedo"



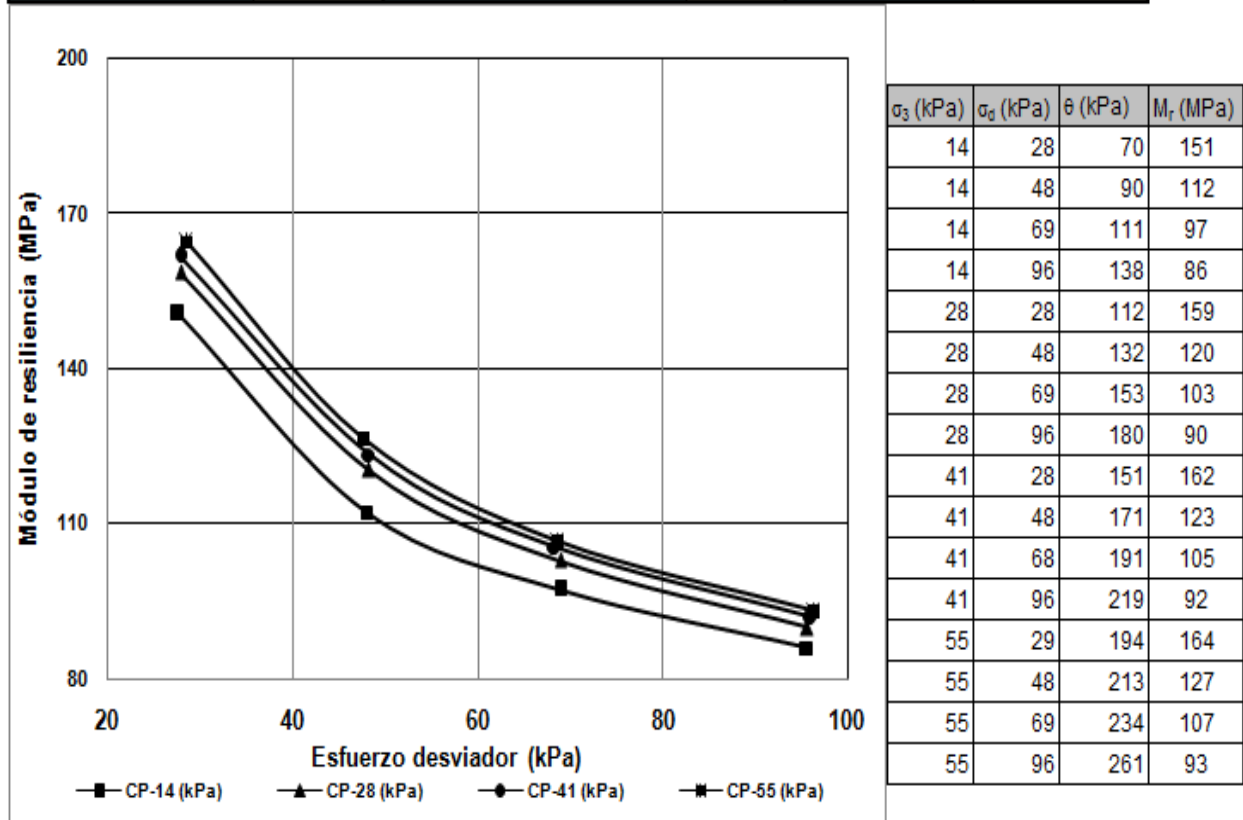
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
DIVISIÓN DE LABORATORIOS
MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES GRANULARES

Km 12+000 carretera Querétaro-Galindo, Sanfandila, mpio de Pedro Escobedo, Querétaro 76700

Localización del banco:	Pedro Escobedo
Descripción de la muestra:	Arcilla "CH"
Identificación de la muestra:	IS-20130207-02
Prueba a realizar:	Módulo de Resiliencia

DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS

Muestra No.:	354, 355, 356	
Número de capas :	8	γ_d promedio (kN/m ³): 12.44
γ_m promedio (kN/m ³):	16.88	W promedio (%): 35.71
		Sr (%) promedio: 86.82
		θ promedio (%): 45.28



OBSERVACIONES:
PROCTOR ESTÁNDAR 2% Arriba

Figura C.26. Módulos de Resiliencia para el material del banco "Pedro Escobedo"



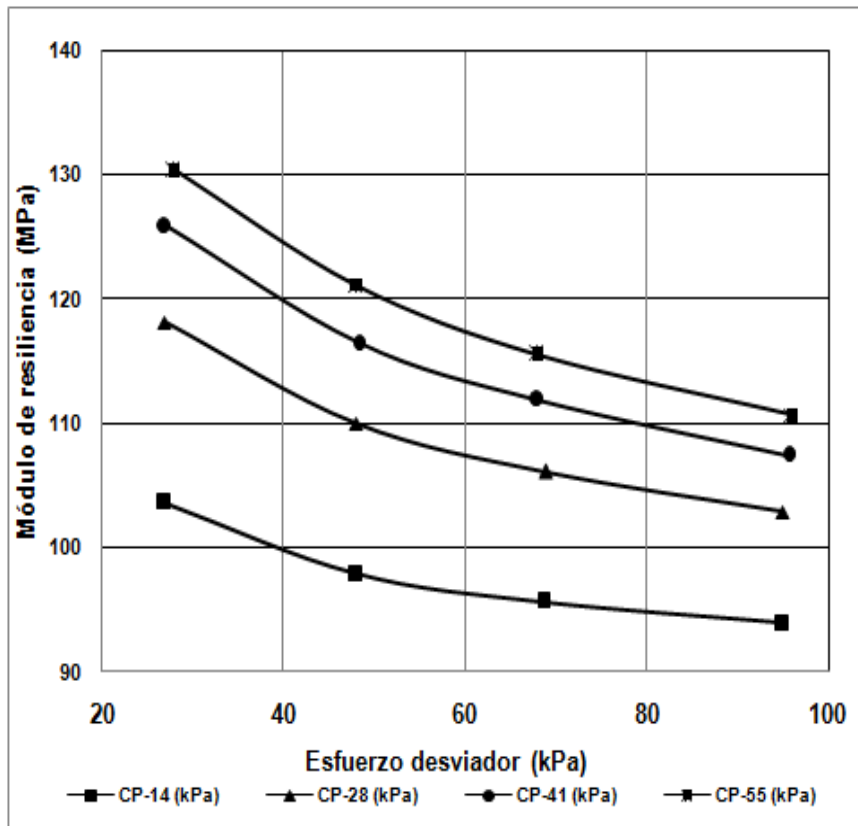
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
DIVISIÓN DE LABORATORIOS
MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES GRANULARES

Km 12+000 carretera Querétaro-Galindo, Sanfandila, mpio de Pedro Escobedo, Querétaro 76700

Localización del banco:	Pedro Escobedo
Descripción de la muestra:	Arcilla "CH"
Identificación de la muestra:	IS-20130207-02
Prueba a realizar:	Módulo de Resiliencia

DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS

Muestra No.:	348, 352, 353				
Número de capas :	8	γ_d promedio (kN/m ³):	12.52	W promedio (%):	31.94
γ_m promedio (kN/m ³):	16.52	Sr (%) promedio:	78.67	θ promedio (%):	40.77



σ_3 (kPa)	σ_d (kPa)	θ (kPa)	M_r (MPa)
14	27	69	104
14	48	90	98
14	69	111	96
14	95	137	94
28	27	111	118
28	48	132	110
28	69	153	106
28	95	179	103
41	27	150	126
41	48	171	116
41	68	191	112
41	96	219	107
55	28	193	130
55	48	213	121
55	68	233	116
55	96	261	111

OBSERVACIONES:

PROCTOR ESTÁNDAR 2% Abajo

Figura C.27. Módulos de Resiliencia para el material del banco "Pedro Escobedo"



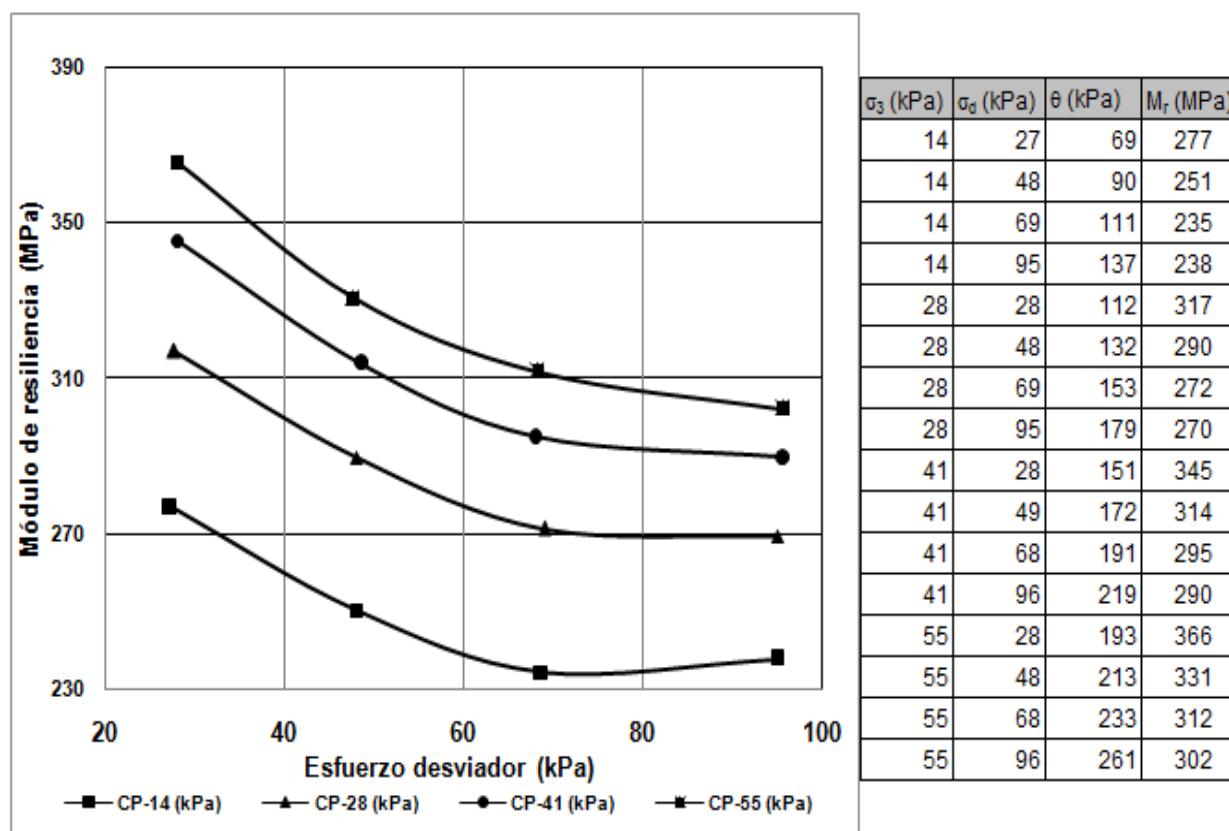
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
DIVISIÓN DE LABORATORIOS
MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES GRANULARES

Km 12+000 carretera Querétaro-Galindo, Sanfandila, mpio de Pedro Escobedo, Querétaro 76700

Localización del banco:	Pedro Escobedo
Descripción de la muestra:	Arcilla "CH"
Identificación de la muestra:	IS-20130207-02
Prueba a realizar:	Módulo de Resiliencia

DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS

Muestra No.:	372, 373, 375				
Número de capas :	8	γ_d promedio (kN/m ³):	14.62	W promedio (%):	25.74
γ_m promedio (kN/m ³):	18.38	Sr (%) promedio:	87.66	θ promedio (%):	38.37



OBSERVACIONES:
PROCTOR MODIFICADA ÓPTIMO

Figura C.28. Módulos de Resiliencia para el material del banco "Pedro Escobedo"



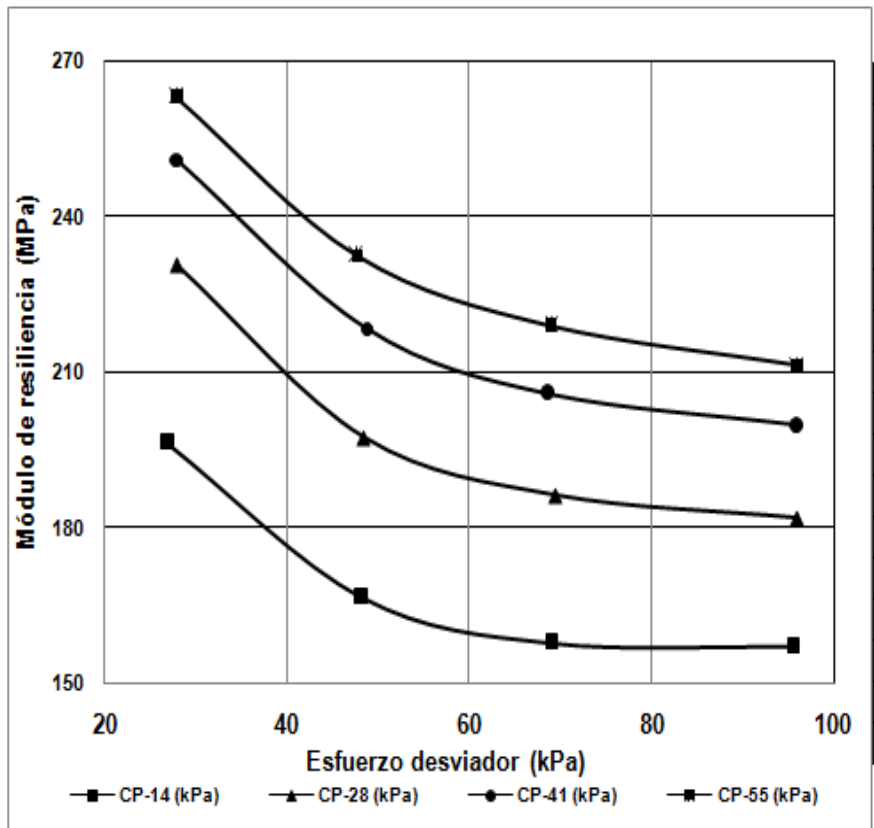
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
DIVISIÓN DE LABORATORIOS
MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES GRANULARES

Km 12+000 carretera Querétaro-Galindo, Sanfandila, mpio de Pedro Escobedo, Querétaro 76700

Localización del banco:	Pedro Escobedo
Descripción de la muestra:	Arcilla "CH"
Identificación de la muestra:	IS-20130207-02
Prueba a realizar:	Módulo de Resiliencia

DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS

Muestra No.:	384, 385, 386, 387				
Número de capas :	8	γ_d promedio (kN/m ³):	14.30	W promedio (%):	27.64
γ_m promedio (kN/m ³):	18.25	Sr (%) promedio:	89.87	θ promedio (%):	40.15



σ_3 (kPa)	σ_d (kPa)	θ (kPa)	M_r (MPa)
14	27	69	196
14	48	90	167
14	69	111	158
14	96	138	157
28	28	112	231
28	49	133	197
28	70	154	186
28	96	180	182
41	28	151	251
41	49	172	218
41	69	192	206
41	96	219	200
55	28	193	263
55	48	213	233
55	69	234	219
55	96	261	211

OBSERVACIONES:

PROCTOR MODIFICADA 2% Arriba

Figura C.29. Módulos de Resiliencia para el material del banco "Pedro Escobedo"



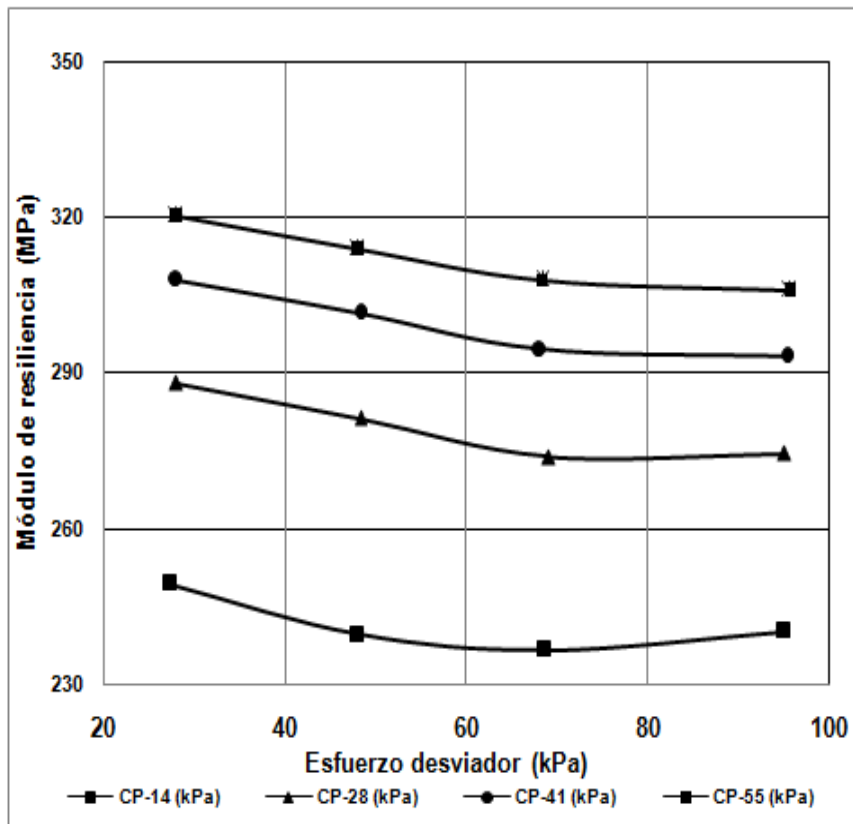
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
DIVISIÓN DE LABORATORIOS
MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES GRANULARES

Km 12+000 carretera Querétaro-Galindo, Sanfandila, mpio de Pedro Escobedo, Querétaro 76700

Localización del banco:	Pedro Escobedo
Descripción de la muestra:	Arcilla "CH"
Identificación de la muestra:	IS-20130207-02
Prueba a realizar:	Módulo de Resiliencia

DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS

Muestra No.:	389, 390, 391				
Número de capas :	8	γ_o promedio (kN/m ³):	14.60	W promedio (%):	23.37
γ_m promedio (kN/m ³):	18.01	Sr (%) promedio:	78.64	θ promedio (%):	34.65



σ_3 (kPa)	σ_d (kPa)	θ (kPa)	M_r (MPa)
14	27	69	249
14	48	90	240
14	69	111	237
14	95	137	240
28	28	112	288
28	48	132	281
28	69	153	274
28	95	179	274
41	28	151	308
41	48	171	301
41	68	191	295
41	95	218	293
55	28	193	320
55	48	213	314
55	68	233	308
55	96	261	306

OBSERVACIONES:
 PROCTOR MODIFICADA 2% Abajo

Figura C.30. Módulos de Resiliencia para el material del banco "Pedro Escobedo"



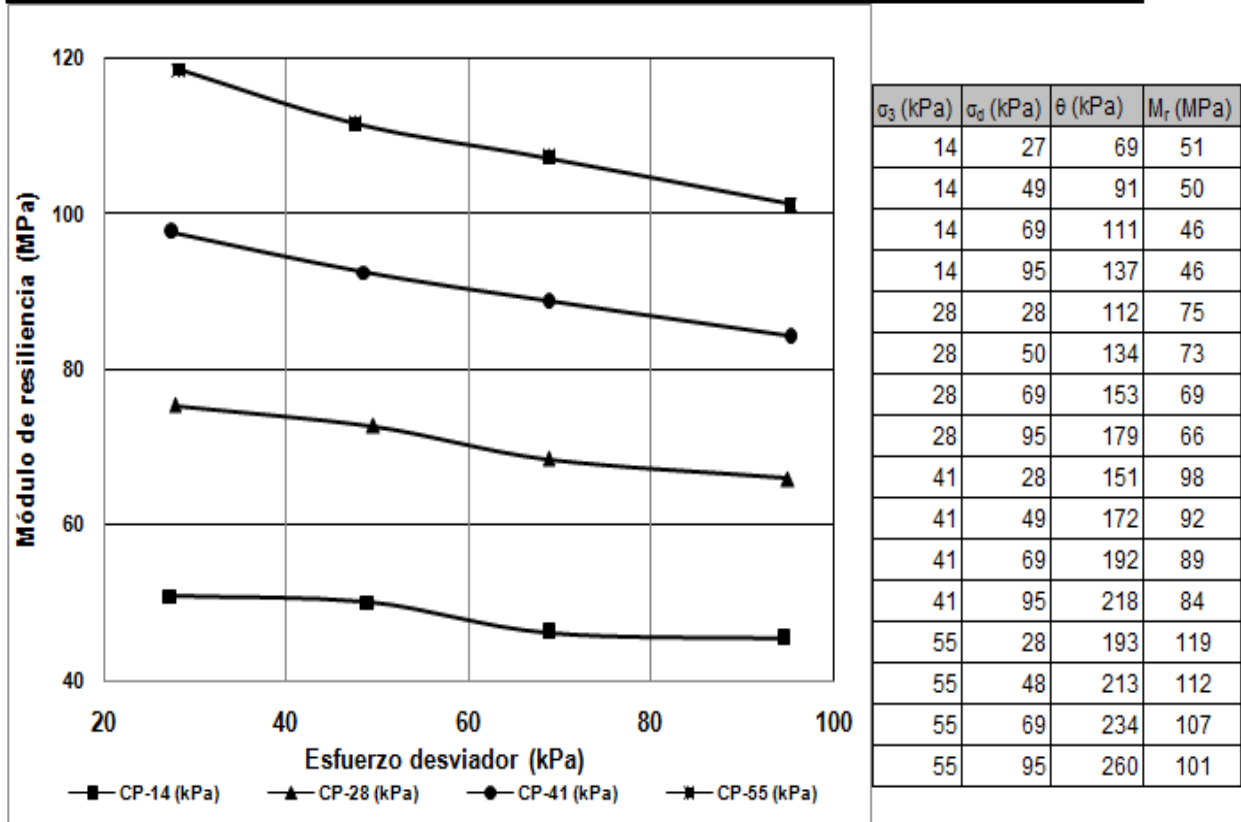
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
DIVISIÓN DE LABORATORIOS
MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES GRANULARES

Km 12+000 carretera Querétaro-Galindo, Sanfandila, mpio de Pedro Escobedo, Querétaro 76700

Localización del banco:	San José
Descripción de la muestra:	Arena Limosa "SM"
Identificación de la muestra:	IS-20120808-07
Prueba a realizar:	Módulo de Resiliencia

DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS

Muestra No.:	85, 88, 89, 92				
Número de capas :	8	γ_d promedio (kN/m ³):	14.74	W promedio (%):	20.34
γ_m promedio (kN/m ³):	17.74	Sr (%) promedio:	80.09	θ promedio (%):	30.56



OBSERVACIONES:

PROCTOR ESTÁNDAR ÓPTIMO

Figura C.31. Módulos de Resiliencia para el material del banco "San José"



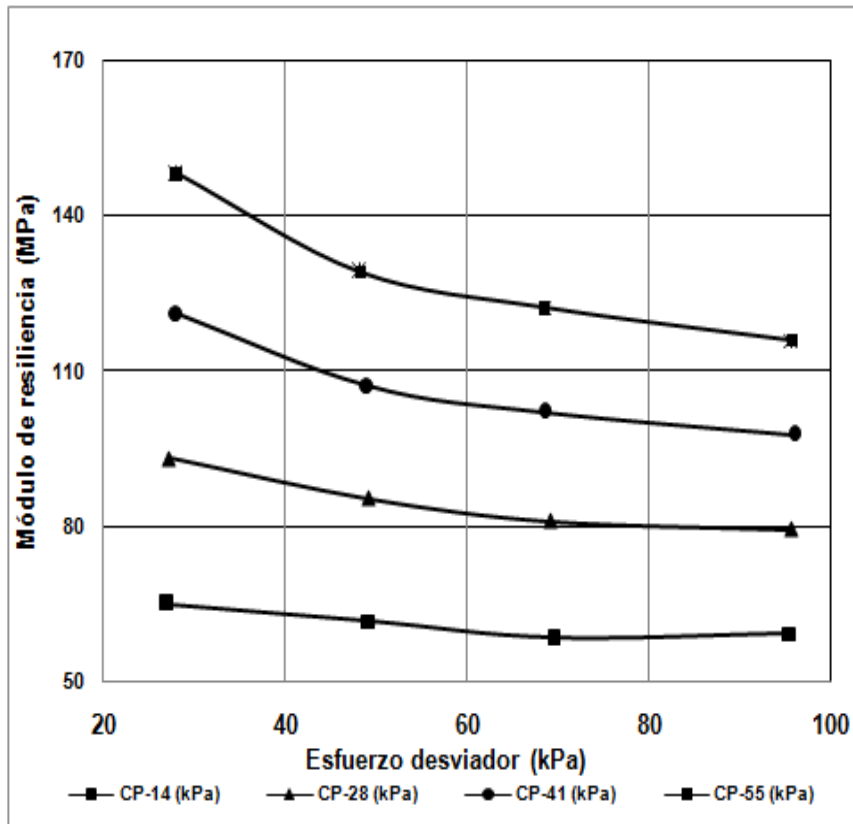
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
DIVISIÓN DE LABORATORIOS
MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES GRANULARES

Km 12+000 carretera Querétaro-Galindo, Sanfandila, mpio de Pedro Escobedo, Querétaro 76700

Localización del banco:	San José
Descripción de la muestra:	Arena Limosa "SM"
Identificación de la muestra:	IS-20120808-07
Prueba a realizar:	Módulo de Resiliencia

DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS

Muestra No.:	77, 94, 96, 97				
Número de capas :	8	γ_d promedio (kN/m ³):	14.57	W promedio (%):	18.78
γ_m promedio (kN/m ³):	17.30	Sr (%) promedio:	71.67	θ promedio (%):	27.88



σ_3 (kPa)	σ_d (kPa)	θ (kPa)	M_r (MPa)
14	27	69	65
14	49	91	62
14	70	112	59
14	96	138	59
28	27	111	93
28	49	133	85
28	69	153	81
28	96	180	79
41	28	151	121
41	49	172	107
41	69	192	102
41	96	219	98
55	28	193	148
55	48	213	129
55	69	234	122
55	96	261	116

OBSERVACIONES:
PROCTOR ESTÁNDAR 2% abajo

Figura C.32. Módulos de Resiliencia para el material del banco "San José"



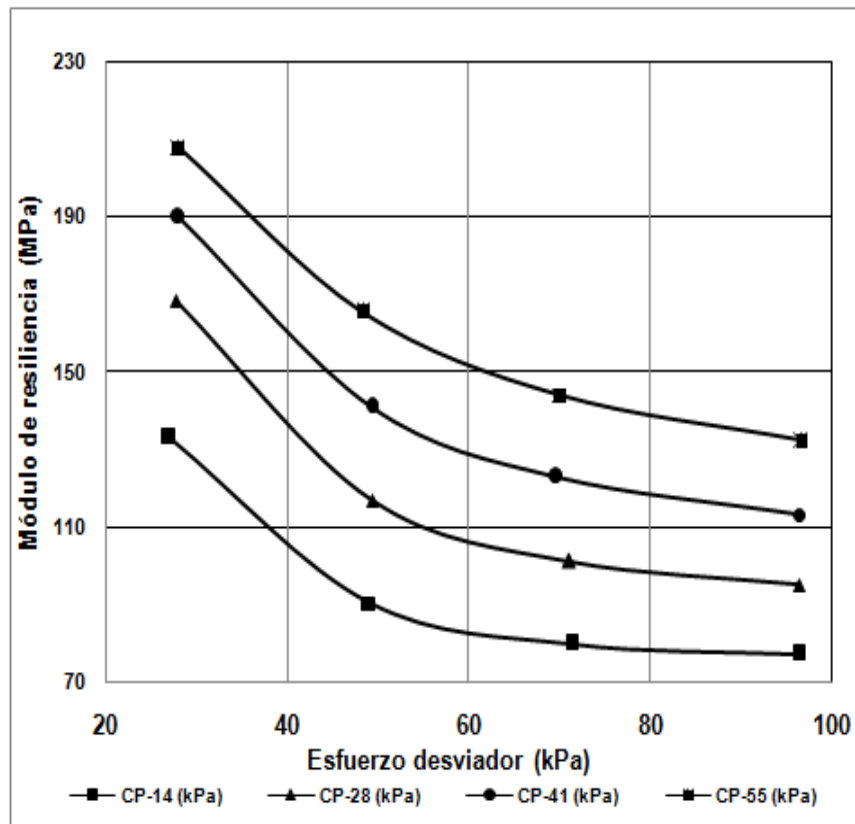
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
DIVISIÓN DE LABORATORIOS
MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES GRANULARES

Km 12+000 carretera Querétaro-Galindo, Sanfandilla, mpio de Pedro Escobedo, Querétaro 76700

Localización del banco:	San José
Descripción de la muestra:	Arena Limosa "SM"
Identificación de la muestra:	IS-20120808-07
Prueba a realizar:	Módulo de Resiliencia

DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS

Muestra No.:	106, 107, 110				
Número de capas :	8	γ_d promedio (kN/m ³):	15.67	W promedio (%):	17.93
γ_m promedio (kN/m ³):	18.48	Sr (%) promedio:	83.55	θ promedio (%):	28.64



σ_3 (kPa)	σ_d (kPa)	θ (kPa)	M_r (MPa)
14	27	69	133
14	49	91	91
14	71	113	80
14	96	138	78
28	28	112	169
28	49	133	117
28	71	155	101
28	96	180	95
41	28	151	190
41	49	172	141
41	70	193	123
41	96	219	113
55	28	193	208
55	48	213	166
55	70	235	144
55	97	262	132

OBSERVACIONES:
PROCTOR MODIFICADA ÓPTIMO

Figura C.33. Módulos de Resiliencia para el material del banco "San José"



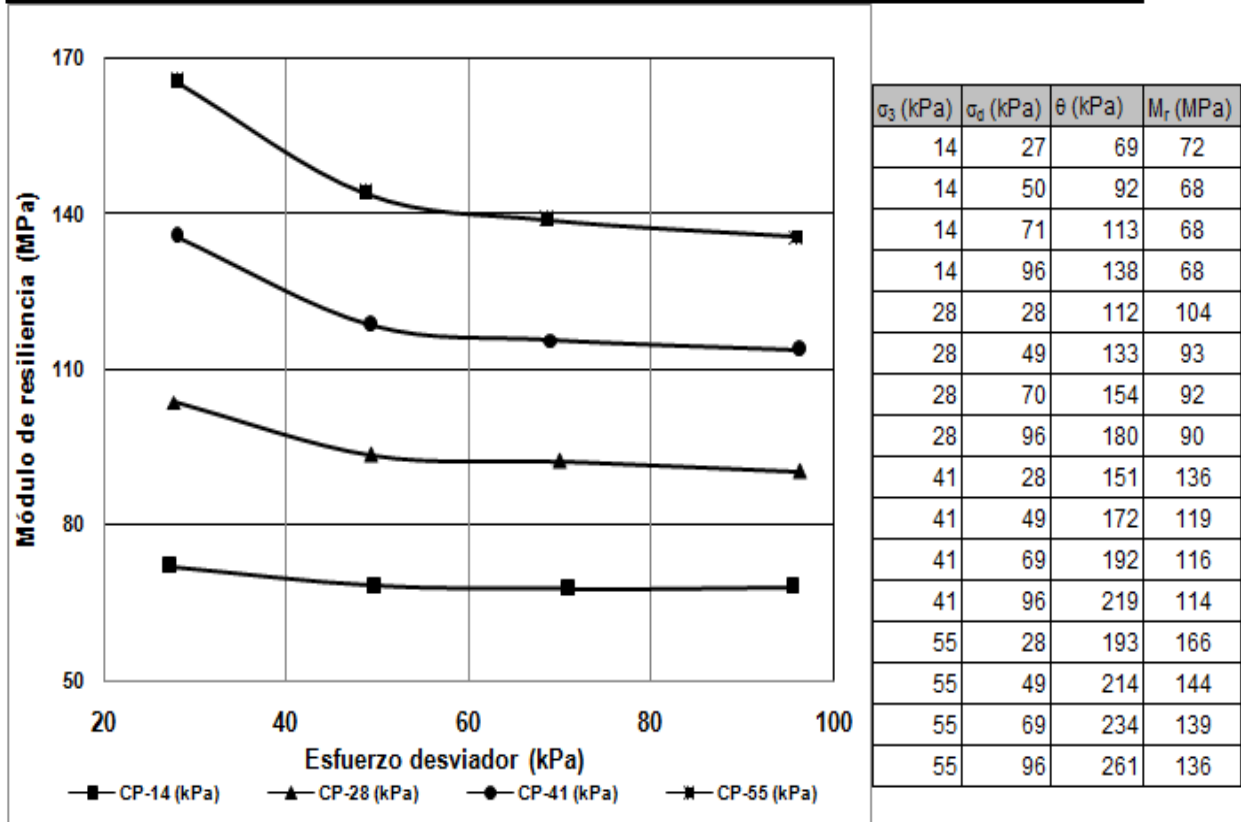
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
DIVISIÓN DE LABORATORIOS
MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES GRANULARES

Km 12+000 carretera Querétaro-Galindo, Sanfandila, mpio de Pedro Escobedo, Querétaro 76700

Localización del banco:	San José
Descripción de la muestra:	Arena Limosa "SM"
Identificación de la muestra:	IS-20120808-07
Prueba a realizar:	Módulo de Resiliencia

DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS

Muestra No.:	114, 115, 118				
Número de capas :	8	γ_d promedio (kN/m ³):	15.47	W promedio (%):	16.10
γ_m promedio (kN/m ³):	17.96	Sr (%) promedio:	72.00	θ promedio (%):	25.39



OBSERVACIONES:

PROCTOR MODIFICADA 2% ABAJO

Figura C.34. Módulos de Resiliencia para el material del banco "San José"



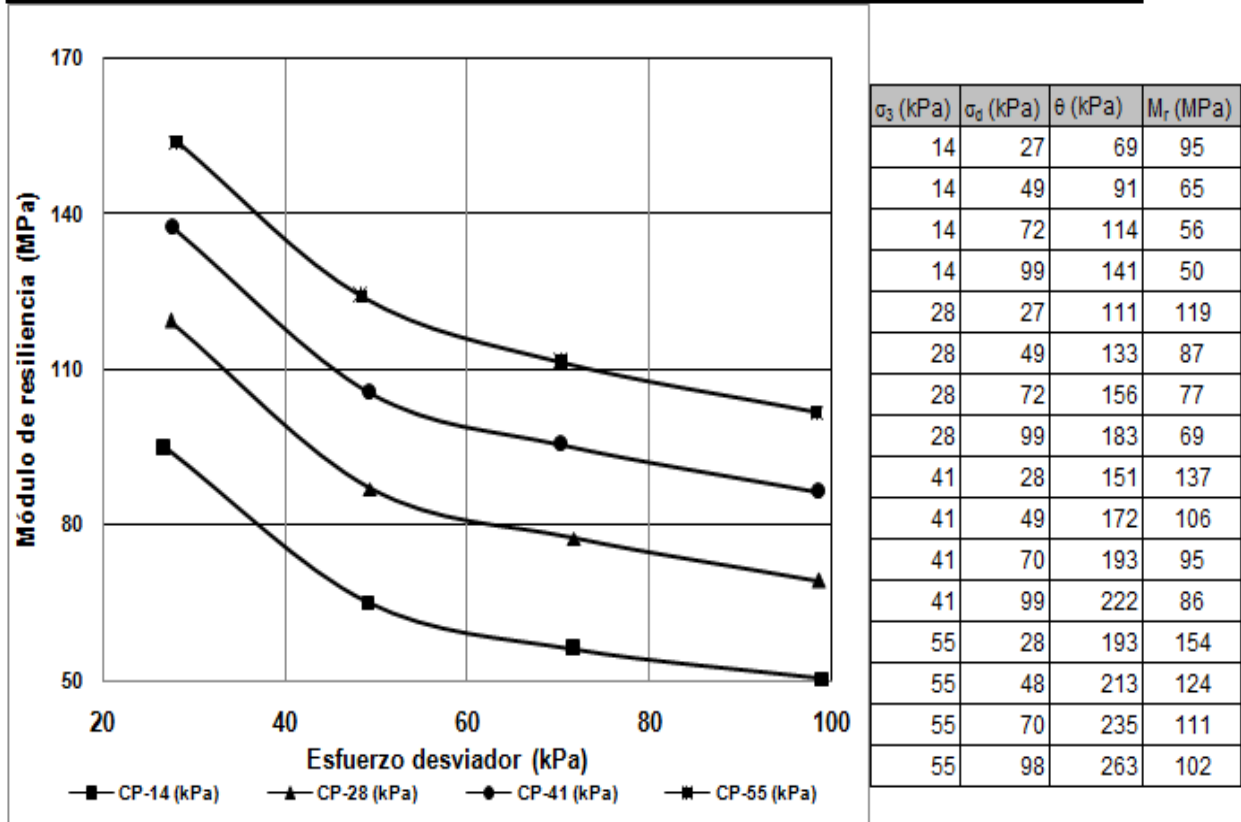
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
DIVISIÓN DE LABORATORIOS
MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES GRANULARES

Km 12+000 carretera Querétaro-Galindo, Sanfandila, mpio de Pedro Escobedo, Querétaro 76700

Localización del banco:	Comercial
Descripción de la muestra:	Limo Arenoso
Identificación de la muestra:	IS-20070323-02
Prueba a realizar:	Módulo de Resiliencia

DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS

Muestra No.:	393, 396, 397				
Número de capas :	8	γ_d promedio (kN/m ³):	12.69	W promedio (%):	28.41
γ_m promedio (kN/m ³):	16.29	Sr (%) promedio:	80.45	θ promedio (%):	36.73



OBSERVACIONES:
PROCTOR ESTÁNDAR ÓPTIMO

Figura C.35. Módulos de Resiliencia para el material del banco “Comercial Mexicana”



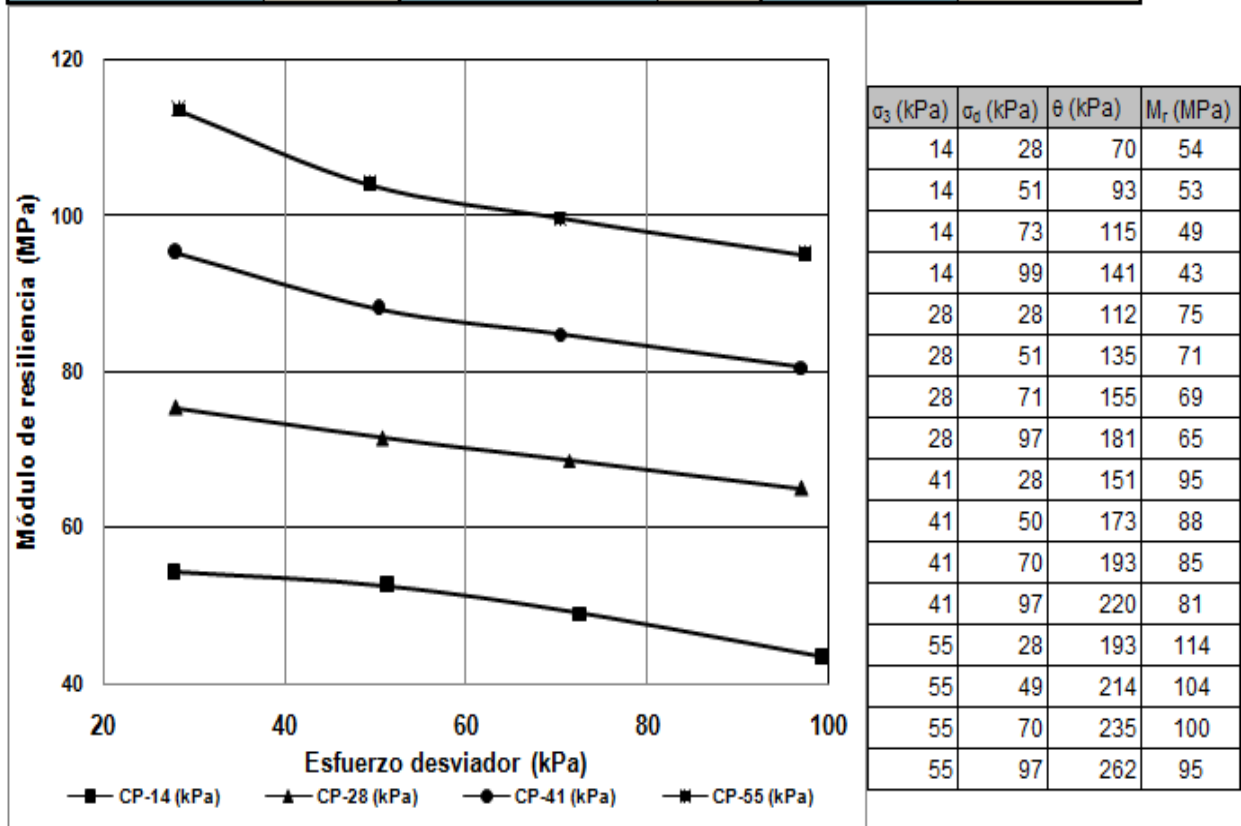
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
DIVISIÓN DE LABORATORIOS
MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES GRANULARES

Km 12+000 carretera Querétaro-Galindo, Sanfandila, mpio de Pedro Escobedo, Querétaro 76700

Localización del banco:	Comercial
Descripción de la muestra:	Limo Arenoso
Identificación de la muestra:	IS-20070323-02
Prueba a realizar:	Módulo de Resiliencia

DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS

Muestra No.:	400, 402, 403				
Número de capas :	8	γ_o promedio (kN/m ³):	12.37	W promedio (%):	26.71
γ_m promedio (kN/m ³):	15.67	Sr (%) promedio:	71.61	θ promedio (%):	33.67



OBSERVACIONES:
 PROCTOR ESTÁNDAR 2% Abajo

Figura C.36. Módulos de Resiliencia para el material del banco “Comercial Mexicana”



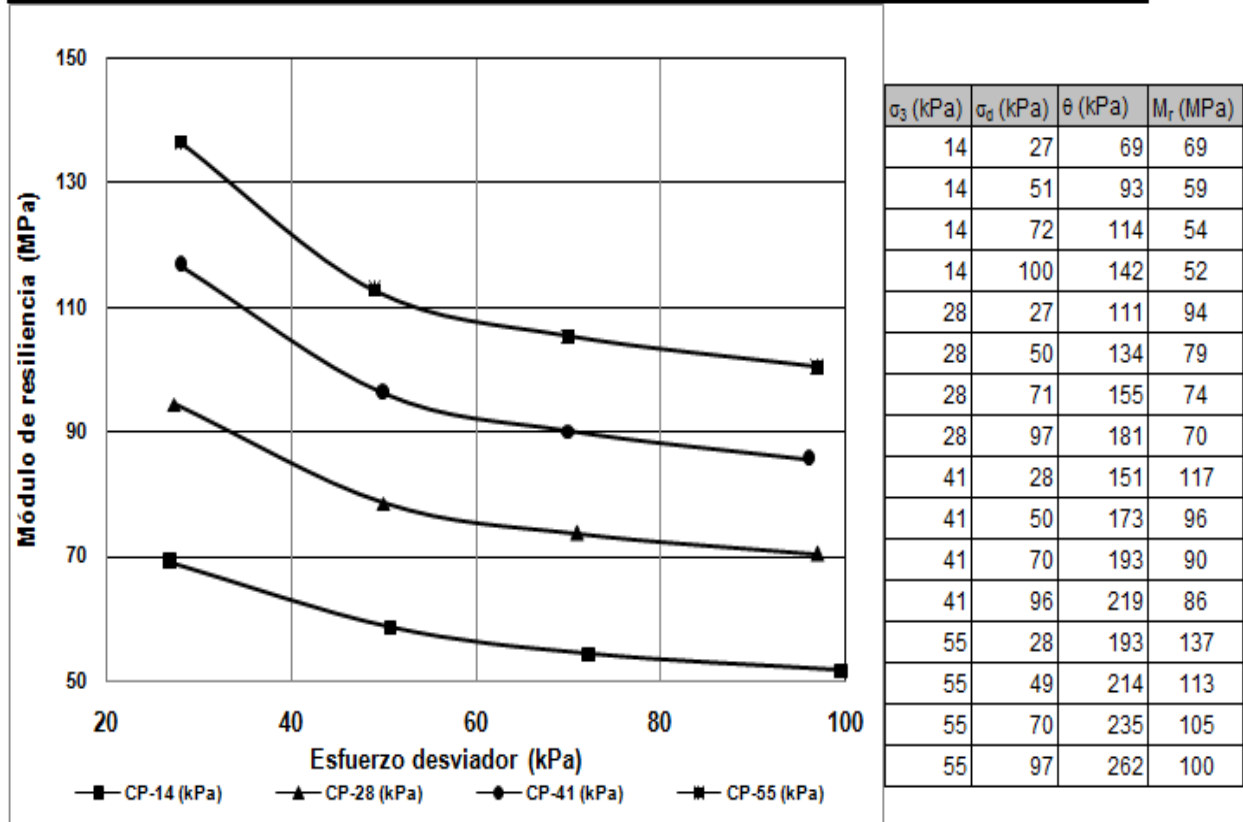
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
DIVISIÓN DE LABORATORIOS
MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES GRANULARES

Km 12+000 carretera Querétaro-Galindo, Sanfandila, mpio de Pedro Escobedo, Querétaro 76700

Localización del banco:	Comercial
Descripción de la muestra:	Limo Arenoso
Identificación de la muestra:	IS-20070323-02
Prueba a realizar:	Módulo de Resiliencia

DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS

Muestra No.:	404, 405, 407				
Número de capas :	8	γ_d promedio (kN/m ³):	12.77	W promedio (%):	26.39
γ_m promedio (kN/m ³):	16.14	Sr (%) promedio:	75.64	θ promedio (%):	34.30



OBSERVACIONES:

PROCTOR MODIFICADA ÓPTIMO

Figura C.37. Módulos de Resiliencia para el material del banco “Comercial Mexicana”



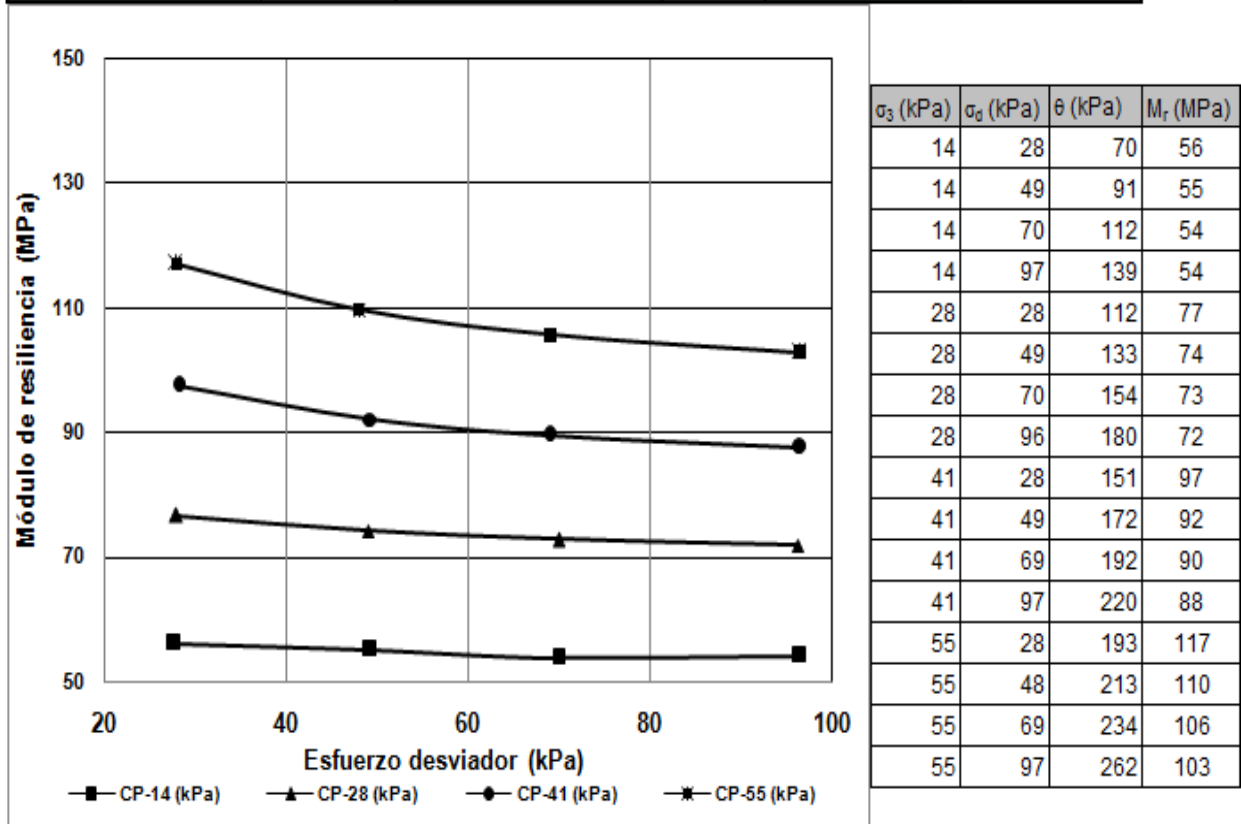
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
DIVISIÓN DE LABORATORIOS
MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES GRANULARES

Km 12+000 carretera Querétaro-Galindo, Sanfandila, mpio de Pedro Escobedo, Querétaro 76700

Localización del banco:	Comercial
Descripción de la muestra:	Limo Arenoso
Identificación de la muestra:	IS-20070323-02
Prueba a realizar:	Módulo de Resiliencia

DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS

Muestra No.:	409, 414, 429, 430				
Número de capas :	8	γ_d promedio (kN/m ³):	12.56	W promedio (%):	24.50
γ_m promedio (kN/m ³):	15.63	Sr (%) promedio:	67.87	θ promedio (%):	31.36



OBSERVACIONES:
 PROCTOR MODIFICADA 2% Abajo

Figura C.38. Módulos de Resiliencia para el material del banco “Comercial Mexicana”



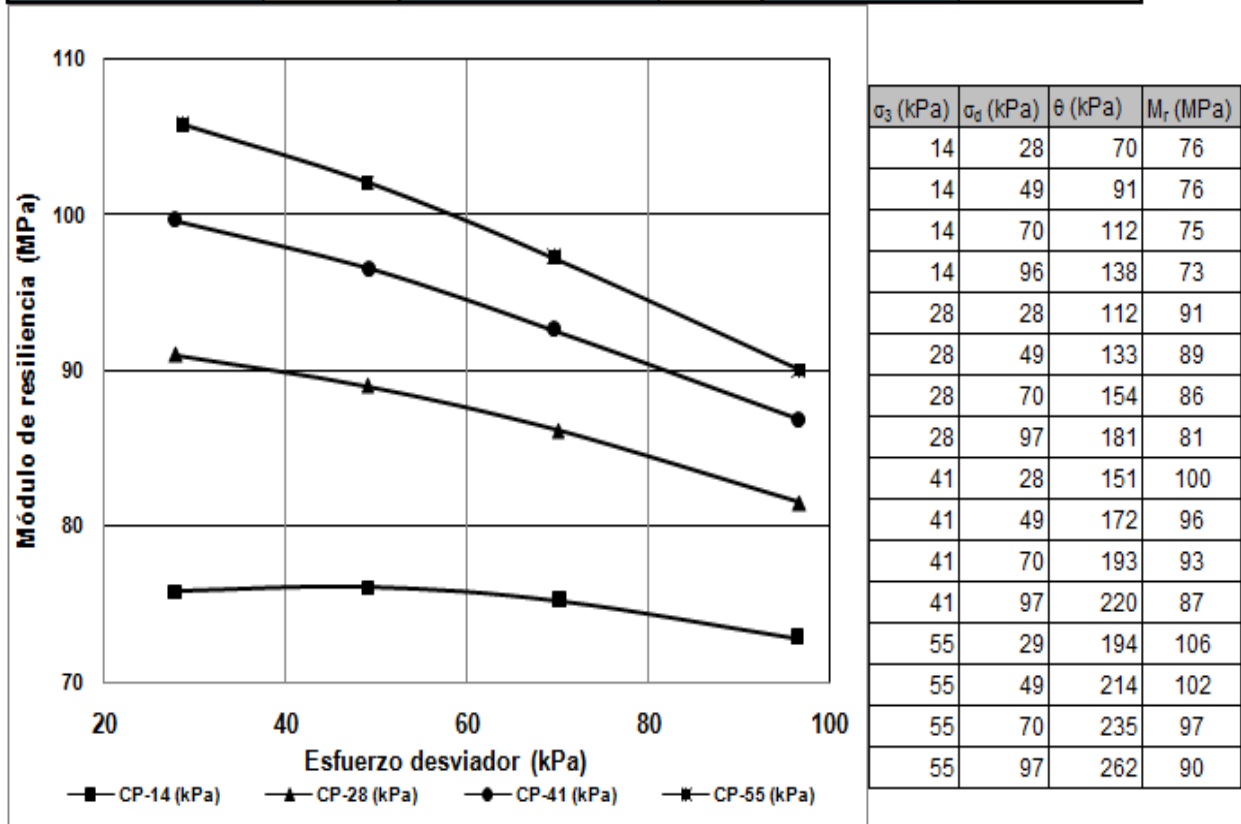
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
DIVISIÓN DE LABORATORIOS
MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES GRANULARES

Km 12+000 carretera Querétaro-Galindo, Sanfandila, mpio de Pedro Escobedo, Querétaro 76700

Localización del banco:	Terminal de Autobuses
Descripción de la muestra:	ML
Identificación de la muestra:	020201-12
Prueba a realizar:	Módulo de Resiliencia

DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS

Muestra No.:	238, 243, 244				
Número de capas :	8	γ_o promedio (kN/m ³):	12.21	W promedio (%):	36.57
γ_m promedio (kN/m ³):	16.67	Sr (%) promedio:	85.49	θ promedio (%):	45.50



OBSERVACIONES:
PROCTOR ESTÁNDAR ÓPTIMO

Figura C.39. Módulos de Resiliencia para el material del banco “Terminal de Autobuses”



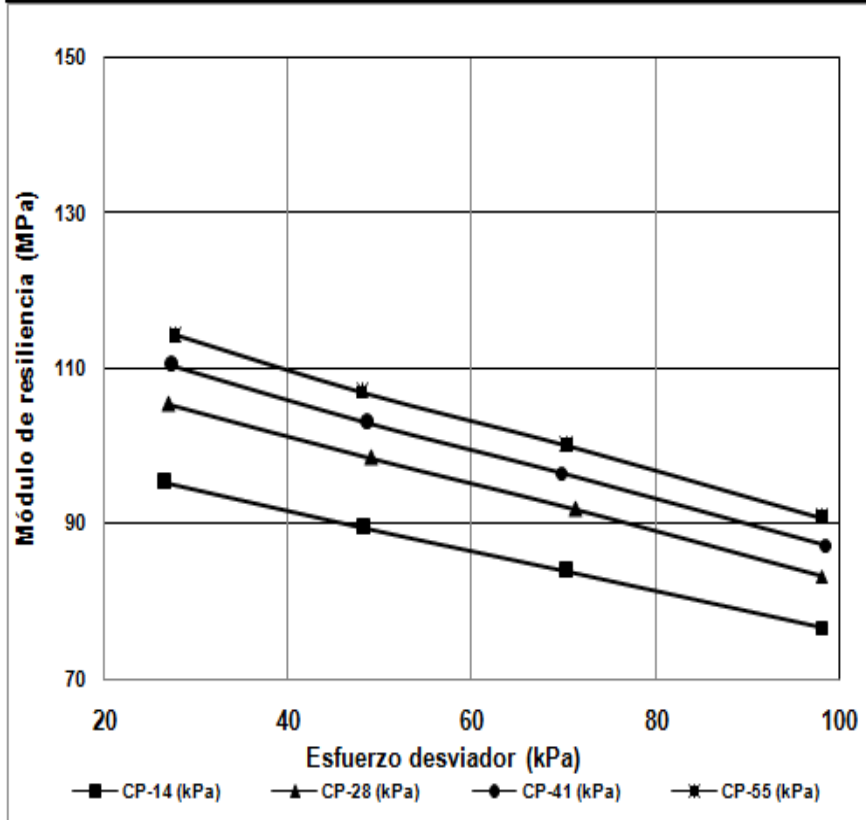
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
DIVISIÓN DE LABORATORIOS
MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES GRANULARES

Km 12+000 carretera Querétaro-Galindo, Sanfandila, mpio de Pedro Escobedo, Querétaro 76700

Localización del banco:	Terminal de Autobuses
Descripción de la muestra:	ML
Identificación de la muestra:	020201-12
Prueba a realizar:	Módulo de Resiliencia

DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS

Muestra No.:	262, 264, 265				
Número de capas :	8	γ_d promedio (kN/m ³):	12.23	W promedio (%):	38.13
γ_m promedio (kN/m ³):	16.88	Sr (%) promedio:	89.26	θ promedio (%):	47.49



σ_3 (kPa)	σ_d (kPa)	θ (kPa)	M_r (MPa)
14	27	69	95
14	48	90	90
14	70	112	84
14	98	140	77
28	27	111	105
28	49	133	98
28	71	155	92
28	98	182	83
41	27	150	110
41	49	172	103
41	70	193	96
41	98	221	87
55	28	193	114
55	48	213	107
55	70	235	100
55	98	263	91

OBSERVACIONES:
PROCTOR ESTÁNDAR 2% Arriba

Figura C.40. Módulos de Resiliencia para el material del banco “Terminal de Autobuses”



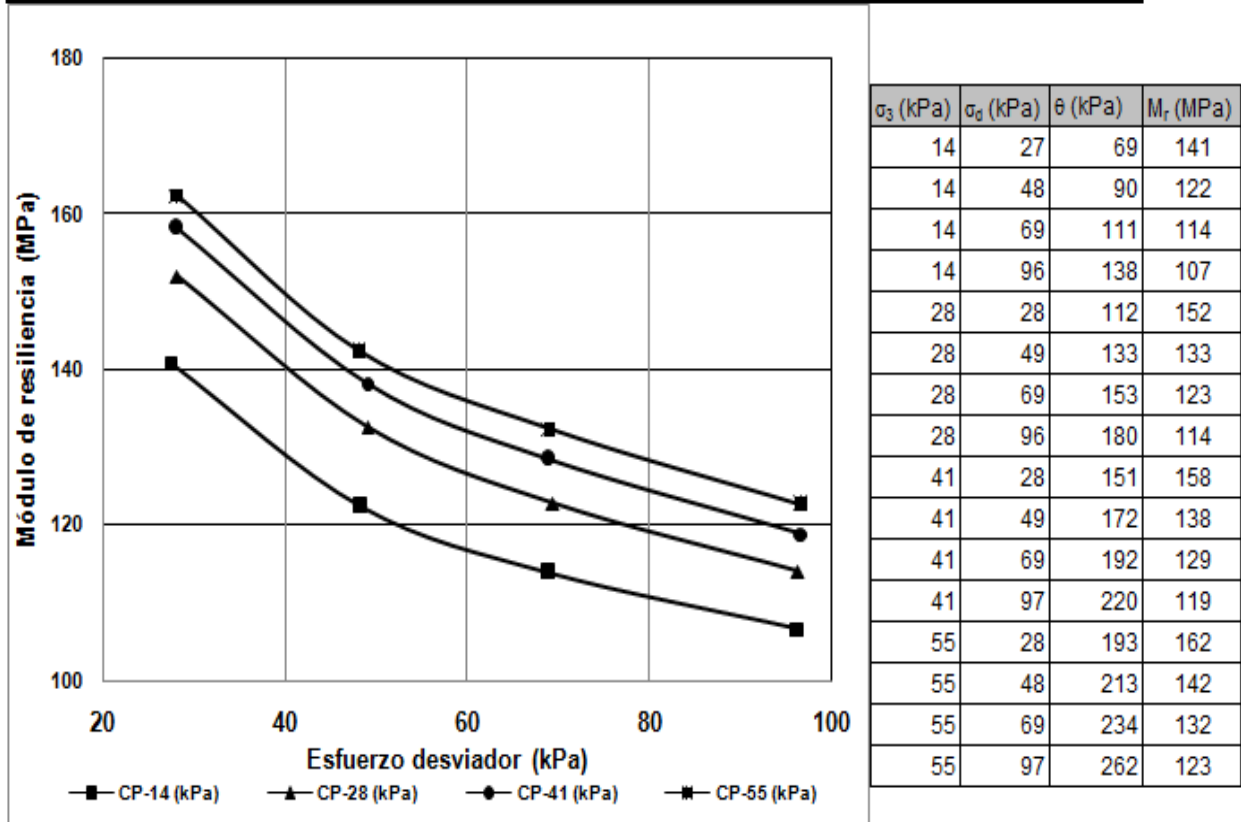
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
DIVISIÓN DE LABORATORIOS
MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES GRANULARES

Km 12+000 carretera Querétaro-Galindo, Sanfandila, mpio de Pedro Escobedo, Querétaro 76700

Localización del banco:	Terminal de Autobuses
Descripción de la muestra:	ML
Identificación de la muestra:	020201-12
Prueba a realizar:	Módulo de Resiliencia

DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS

Muestra No.:	240, 241, 245				
Número de capas :	8	γ_d promedio (kN/m ³):	12.11	W promedio (%):	34.13
γ_m promedio (kN/m ³):	16.24	Sr (%) promedio:	78.60	θ promedio (%):	42.13



OBSERVACIONES:

PROCTOR ESTÁNDAR 2% ABAJO

Figura C.41. Módulos de Resiliencia para el material del banco “Terminal de Autobuses”



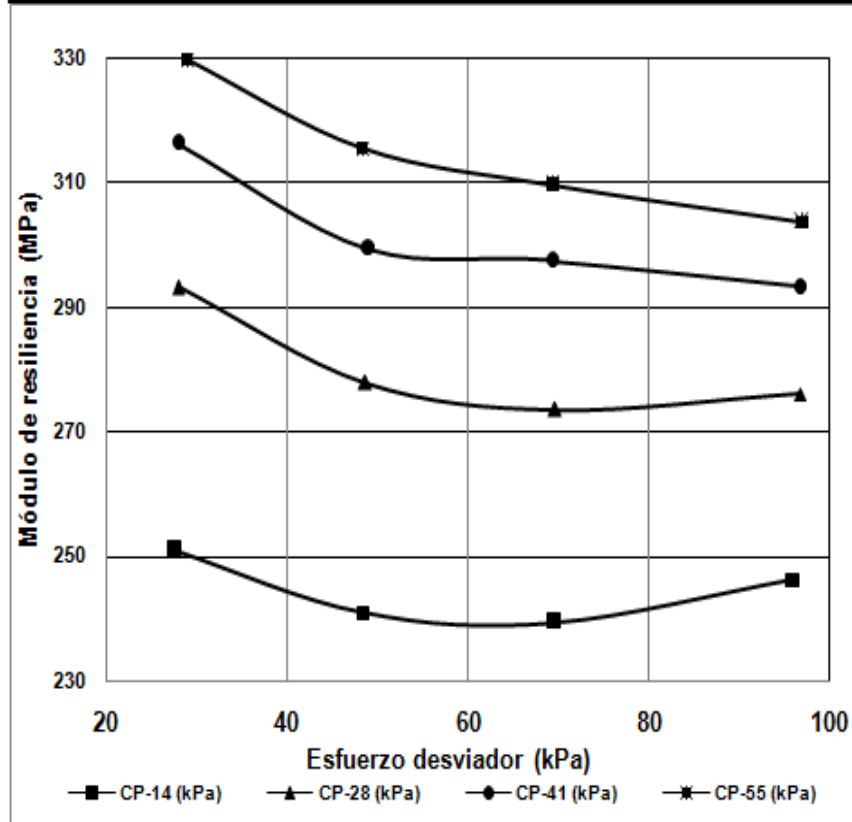
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
DIVISIÓN DE LABORATORIOS
MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES GRANULARES

Km 12+000 carretera Querétaro-Galindo, Sanfandila, mpio de Pedro Escobedo, Querétaro 76700

Localización del banco:	Terminal de Autobuses
Descripción de la muestra:	ML
Identificación de la muestra:	020201-12
Prueba a realizar:	Módulo de Resiliencia

DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS

Muestra No.:	267, 270, 271				
Número de capas :	8	γ_d promedio (kN/m ³):	14.00	W promedio (%):	26.52
γ_m promedio (kN/m ³):	17.72	Sr (%) promedio:	81.72	θ promedio (%):	37.86



σ_3 (kPa)	σ_d (kPa)	θ (kPa)	M_r (MPa)
14	28	70	251
14	48	90	241
14	70	112	239
14	96	138	246
28	28	112	293
28	49	133	278
28	70	154	274
28	97	181	276
41	28	151	316
41	49	172	299
41	69	192	298
41	97	220	293
55	29	194	330
55	48	213	316
55	69	234	310
55	97	262	304

OBSERVACIONES:
PROCTOR MODIFICADA ÓPTIMO

Figura C.42. Módulos de Resiliencia para el material del banco “Terminal de Autobuses”



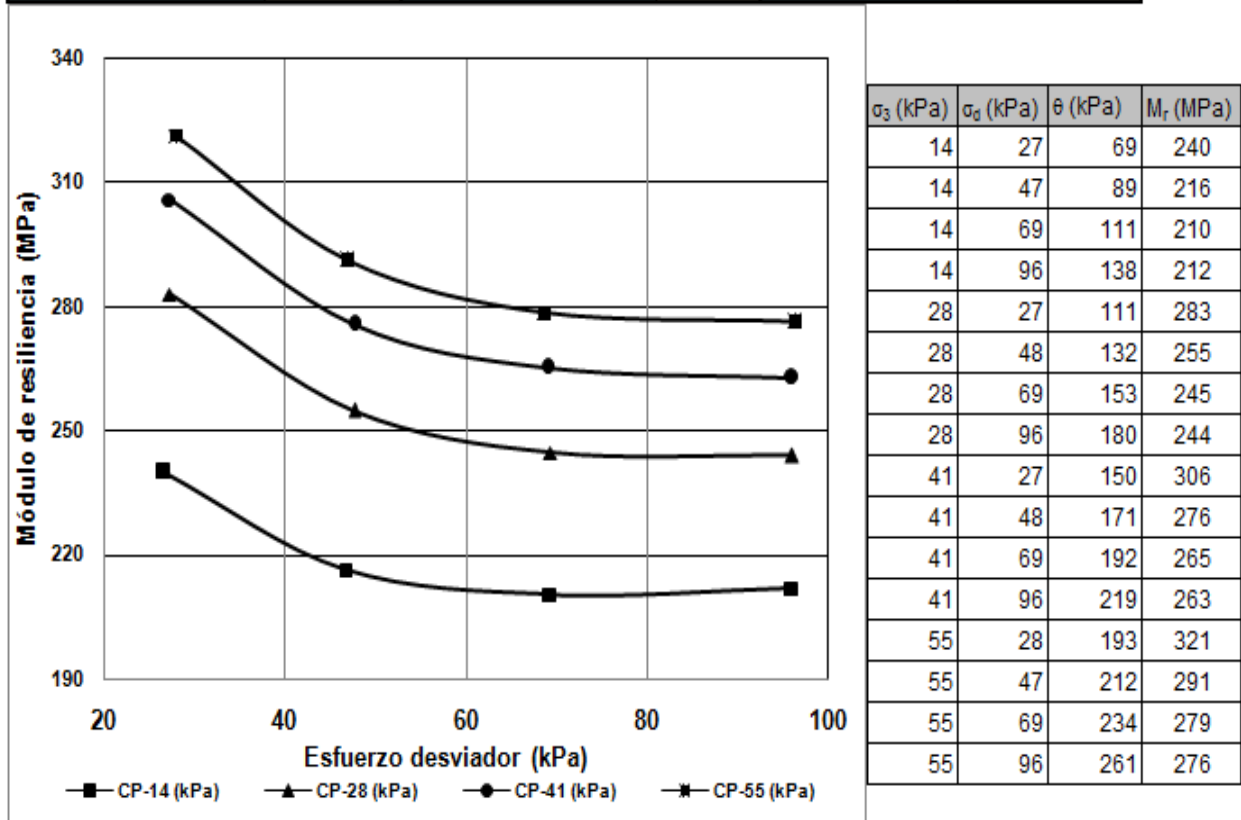
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
DIVISIÓN DE LABORATORIOS
MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES GRANULARES

Km 12+000 carretera Querétaro-Galindo, Sanfandila, mpio de Pedro Escobedo, Querétaro 76700

Localización del banco:	Terminal de Autobuses
Descripción de la muestra:	ML
Identificación de la muestra:	020201-12
Prueba a realizar:	Módulo de Resiliencia

DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS

Muestra No.:	272, 274, 277				
Número de capas :	8	γ_d promedio (kN/m ³):	13.96	W promedio (%):	28.52
γ_m promedio (kN/m ³):	17.94	Sr (%) promedio:	87.21	θ promedio (%):	40.57



OBSERVACIONES:
PROCTOR MODIFICADA 2% Arriba

Figura C.43. Módulos de Resiliencia para el material del banco “Terminal de Autobuses”



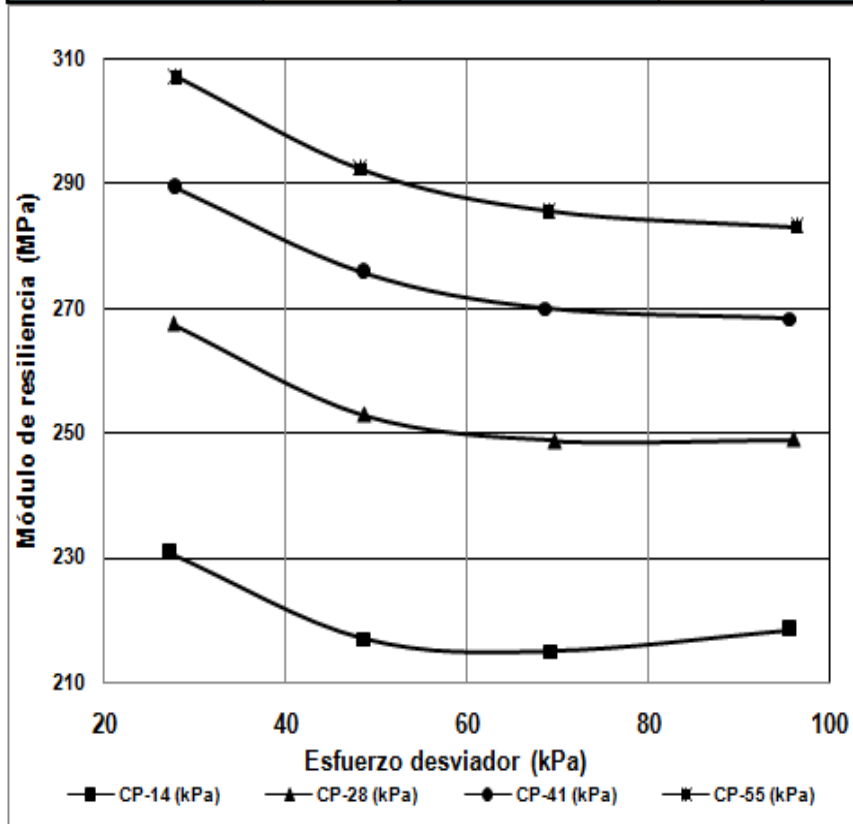
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
DIVISIÓN DE LABORATORIOS
MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES GRANULARES

Km 12+000 carretera Querétaro-Galindo, Sanfandila, mpio de Pedro Escobedo, Querétaro 76700

Localización del banco:	Terminal de Autobuses
Descripción de la muestra:	ML
Identificación de la muestra:	020201-12
Prueba a realizar:	Módulo de Resiliencia

DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS

Muestra No.:	280, 284, 285				
Número de capas :	8	γ_o promedio (kN/m ³):	13.95	W promedio (%):	24.56
γ_m promedio (kN/m ³):	17.37	Sr (%) promedio:	75.02	θ promedio (%):	34.92



σ_3 (kPa)	σ_d (kPa)	θ (kPa)	M_r (MPa)
14	27	69	231
14	49	91	217
14	69	111	215
14	96	138	218
28	28	112	268
28	49	133	253
28	70	154	249
28	96	180	249
41	28	151	289
41	49	172	276
41	69	192	270
41	96	219	268
55	28	193	307
55	48	213	292
55	69	234	286
55	96	261	283

OBSERVACIONES:
PROCTOR MODIFICADA 2% Abajo

Figura C.44. Módulos de Resiliencia para el material del banco “Terminal de Autobuses”



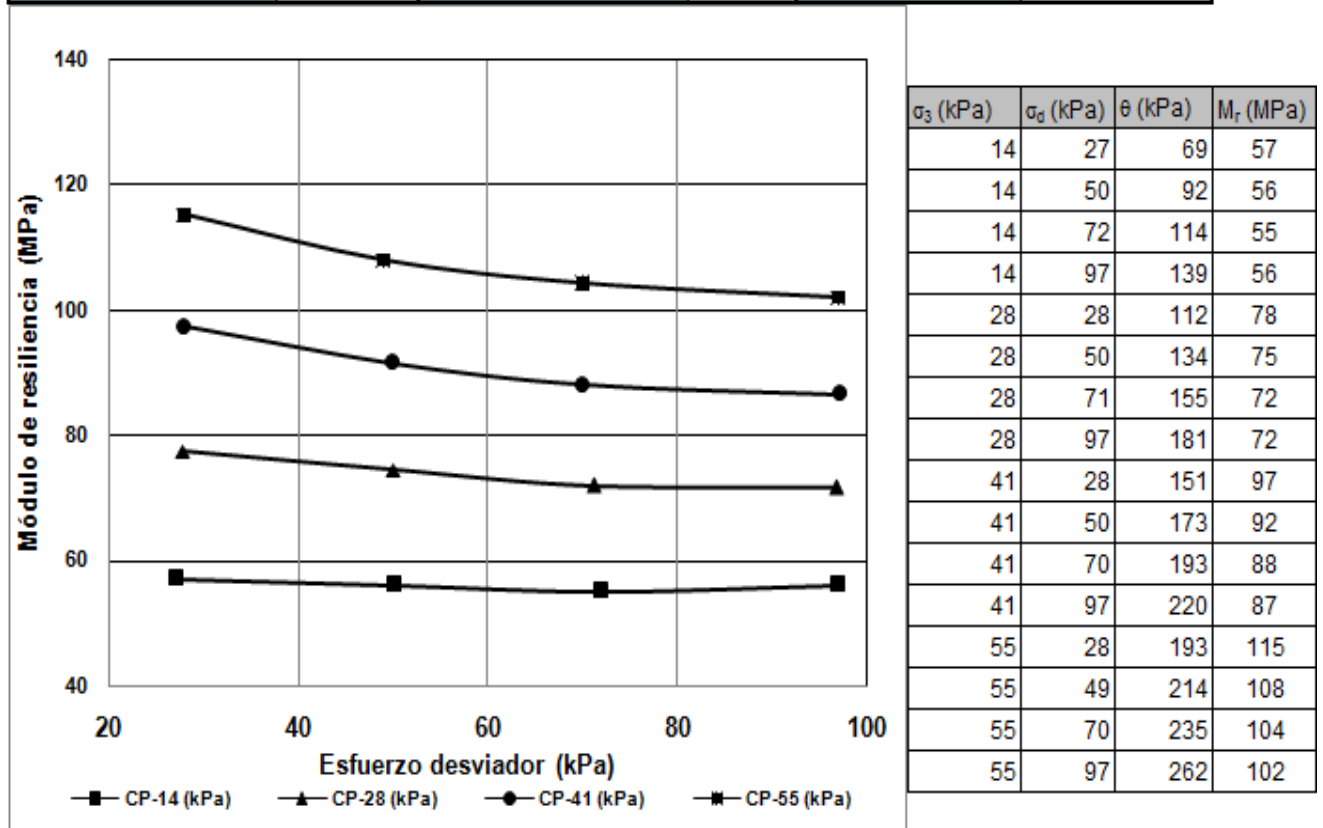
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
DIVISIÓN DE LABORATORIOS
MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES GRANULARES

Km 12+000 carretera Querétaro-Galindo, Sanfandila, mpio de Pedro Escobedo, Querétaro 76700

Localización del banco:	Los Cues
Descripción de la muestra:	Arena Limosa
Identificación de la muestra:	IS-20101208-12
Prueba a realizar:	Módulo de Resiliencia

DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS

Muestra No.:	323, 324, 325, 326				
Número de capas :	8	γ_d promedio (kN/m ³):	13.98	W promedio (%):	23.77
γ_m promedio (kN/m ³):	17.30	Sr (%) promedio:	77.57	θ promedio (%):	33.64



OBSERVACIONES:
PROCTOR ESTÁNDAR ÓPTIMO

Figura C.45. Módulos de Resiliencia para el material del banco “Los Cues”



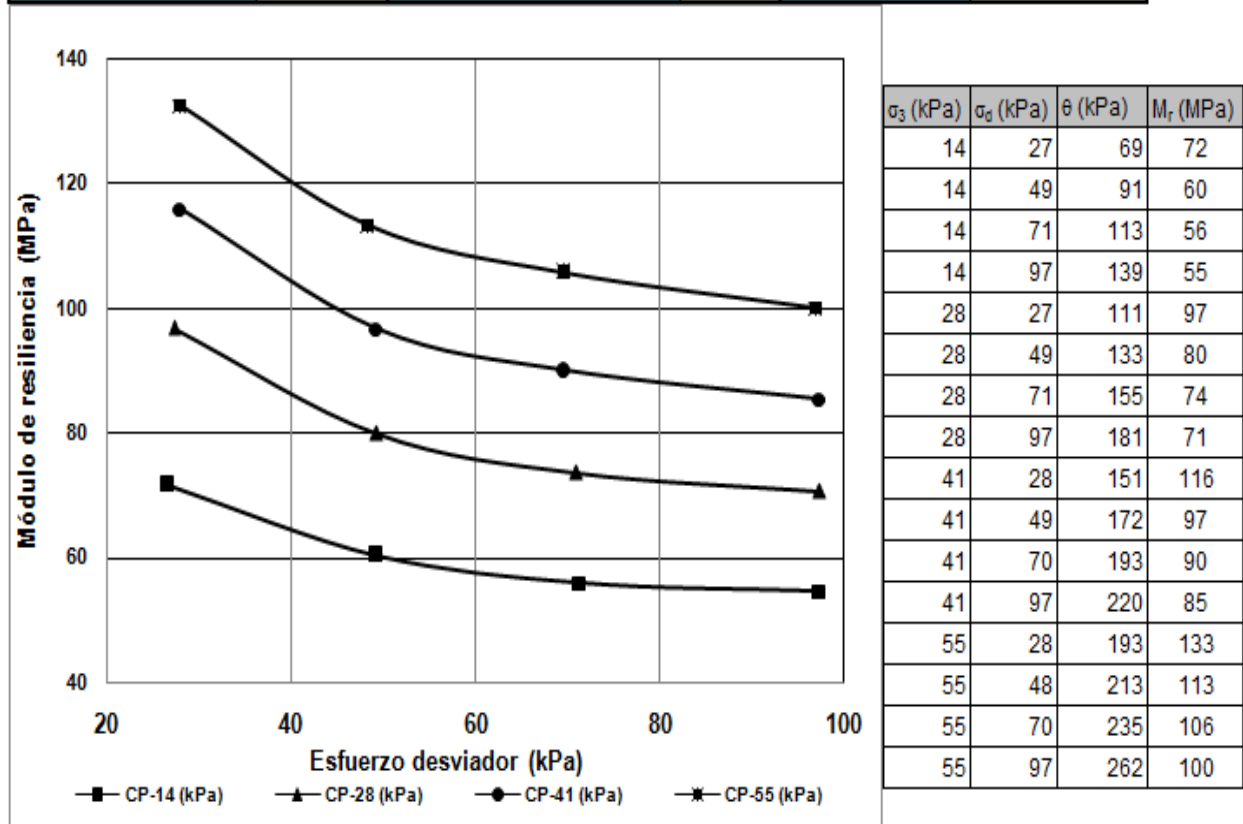
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
DIVISIÓN DE LABORATORIOS
MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES GRANULARES

Km 12+000 carretera Querétaro-Galindo, Sanfandila, mpio de Pedro Escobedo, Querétaro 76700

Localización del banco:	Los Cues
Descripción de la muestra:	Arena Limosa
Identificación de la muestra:	IS-20101208-12
Prueba a realizar:	Módulo de Resiliencia

DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS

Muestra No.:	330, 333, 334				
Número de capas :	8	γ_d promedio (kN/m ³):	13.85	W promedio (%):	25.59
γ_m promedio (kN/m ³):	17.40	Sr (%) promedio:	82.28	θ promedio (%):	36.14



OBSERVACIONES:
 PROCTOR ESTÁNDAR 2% Arriba

Figura C.46. Módulos de Resiliencia para el material del banco “Los Cues”



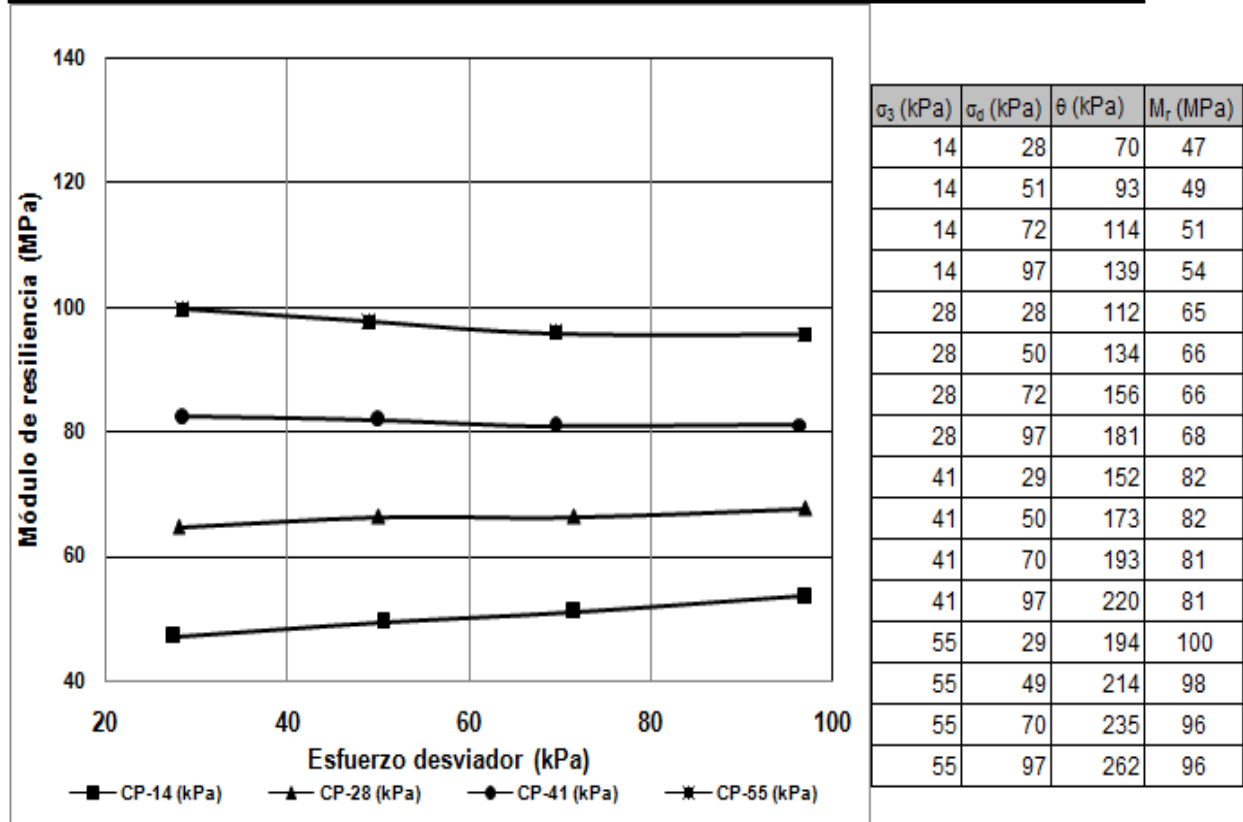
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
DIVISIÓN DE LABORATORIOS
MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES GRANULARES

Km 12+000 carretera Querétaro-Galindo, Sanfandila, mpio de Pedro Escobedo, Querétaro 76700

Localización del banco:	Los Cues
Descripción de la muestra:	Arena Limosa
Identificación de la muestra:	IS-20101208-12
Prueba a realizar:	Módulo de Resiliencia

DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS

Muestra No.:	335, 336				
Número de capas :	8	γ_d promedio (kN/m ³):	13.85	W promedio (%):	21.21
γ_m promedio (kN/m ³):	16.79	Sr (%) promedio:	67.98	θ promedio (%):	29.87



OBSERVACIONES:
PROCTOR ESTÁNDAR 2% Abajo

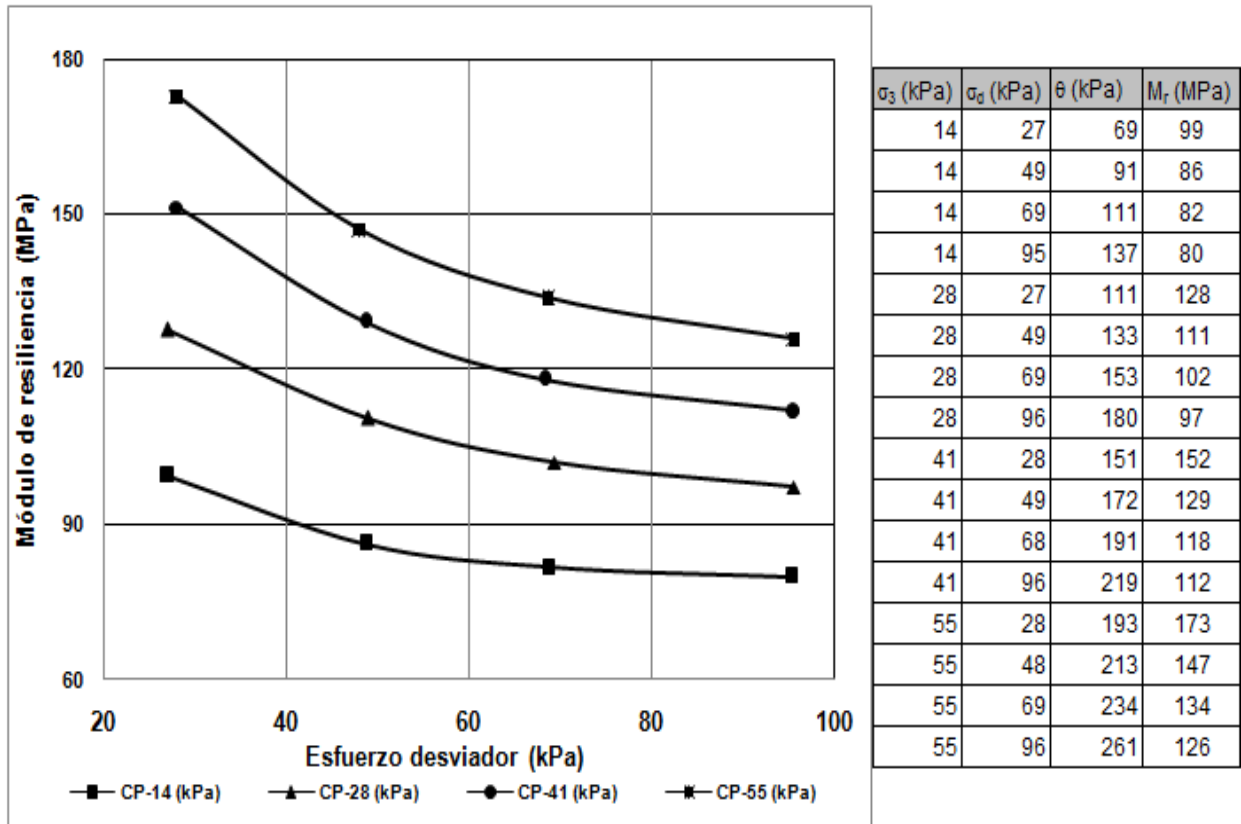
Figura C.47. Módulos de Resiliencia para el material del banco “Los Cues”



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
DIVISIÓN DE LABORATORIOS
MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES GRANULARES

Km 12+000 carretera Querétaro-Galindo, Sanfandila, mpio de Pedro Escobedo, Querétaro 76700

Localización del banco:	Los Cues				
Descripción de la muestra:	Arena Limosa				
Identificación de la muestra:	IS-20101208-12				
Prueba a realizar:	Módulo de Resiliencia				
DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS					
Muestra No.:	342, 358, 359				
Número de capas :	8	γ_d promedio (kN/m ³):	15.09	W promedio (%):	18.78
γ_m promedio (kN/m ³):	17.92	Sr (%) promedio:	75.11	θ promedio (%):	28.88



OBSERVACIONES:
PROCTOR MODIFICADA ÓPTIMO

Figura C.48. Módulos de Resiliencia para el material del banco “Los Cues”



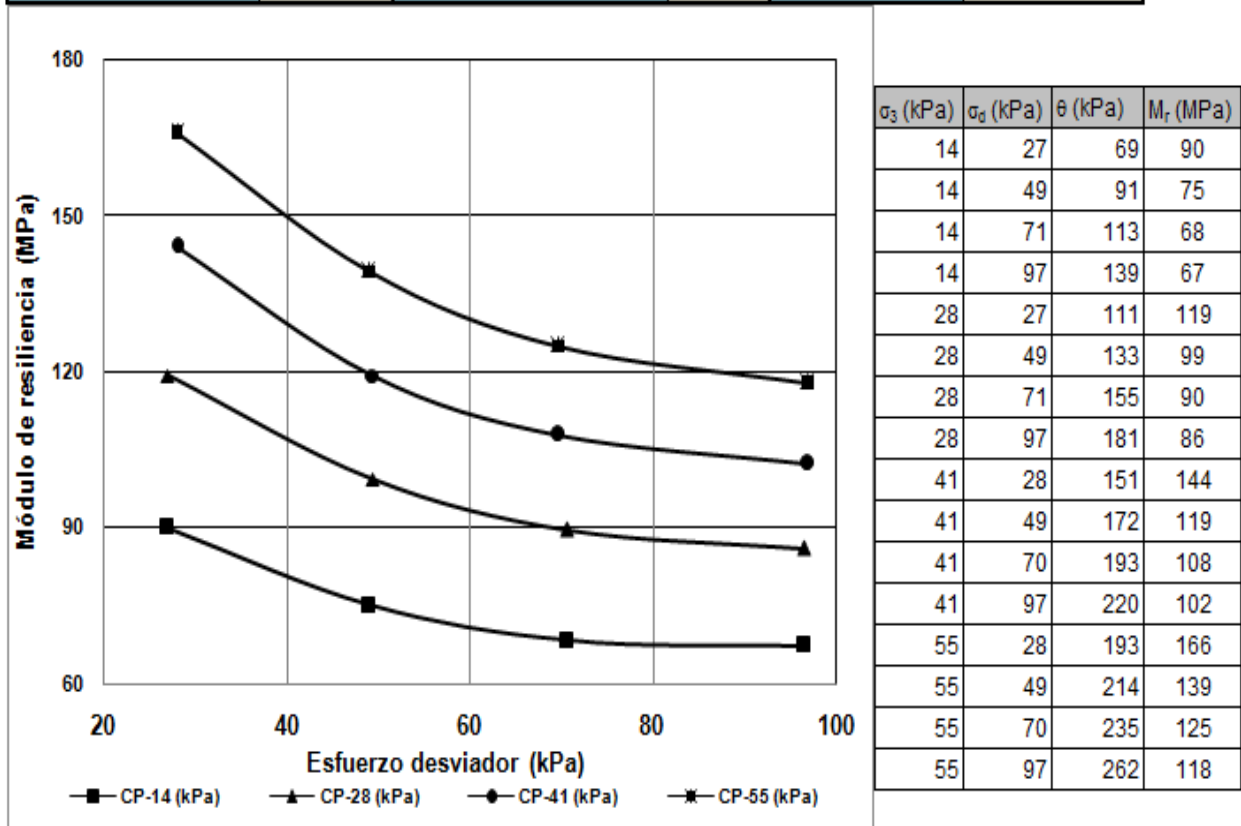
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
DIVISIÓN DE LABORATORIOS
MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES GRANULARES

Km 12+000 carretera Querétaro-Galindo, Sanfandila, mpio de Pedro Escobedo, Querétaro 76700

Localización del banco:	Los Cues
Descripción de la muestra:	Arena Limosa
Identificación de la muestra:	IS-20101208-12
Prueba a realizar:	Módulo de Resiliencia

DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS

Muestra No.:	378, 380, 381				
Número de capas :	8	γ_d promedio (kN/m ³):	14.92	W promedio (%):	21.00
γ_m promedio (kN/m ³):	18.05	Sr (%) promedio:	80.54	θ promedio (%):	31.94



OBSERVACIONES:
PROCTOR MODIFICADA 2% Arriba

Figura C.49. Módulos de Resiliencia para el material del banco “Los Cues”



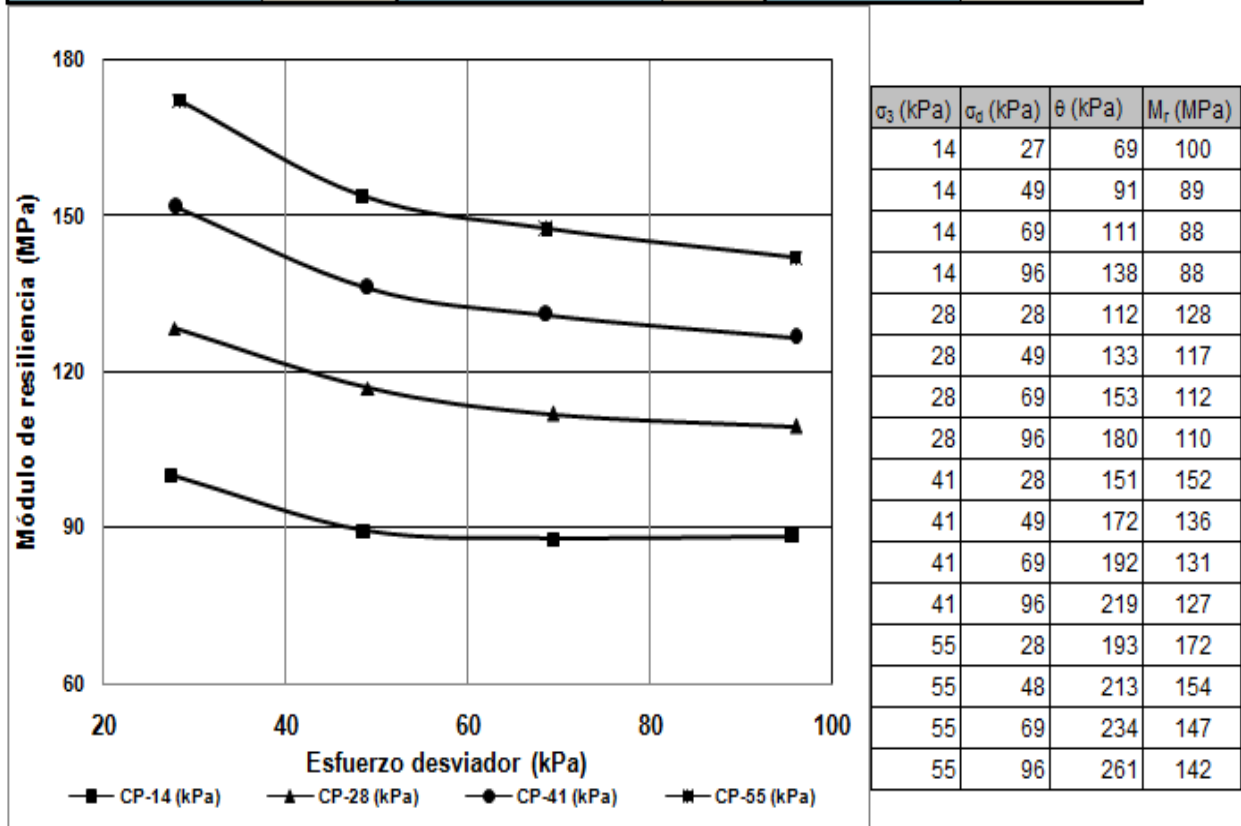
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
DIVISIÓN DE LABORATORIOS
MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES GRANULARES

Km 12+000 carretera Querétaro-Galindo, Sanfandila, mpio de Pedro Escobedo, Querétaro 76700

Localización del banco:	Los Cues
Descripción de la muestra:	Arena Limosa
Identificación de la muestra:	IS-20101208-12
Prueba a realizar:	Módulo de Resiliencia

DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS

Muestra No.:	360, 361, 376				
Número de capas:	8	γ_o promedio (kN/m ³):	15.04	W promedio (%):	17.00
γ_m promedio (kN/m ³):	17.59	Sr (%) promedio:	66.50	θ promedio (%):	26.05



OBSERVACIONES:

PROCTOR MODIFICADA 2% Abajo

Figura C.50. Módulos de Resiliencia para el material del banco “Los Cues”



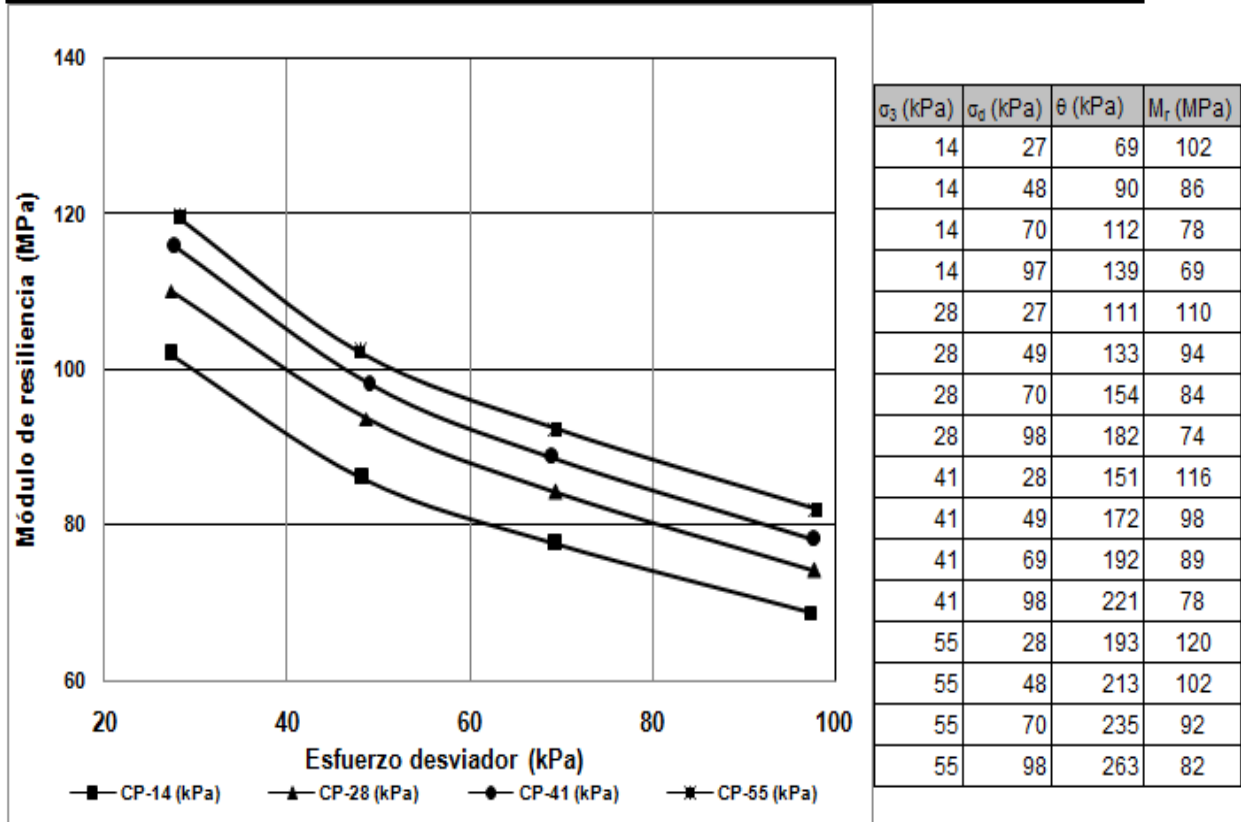
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
DIVISIÓN DE LABORATORIOS
MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES GRANULARES

Km 12+000 carretera Querétaro-Galindo, Sanfandila, mpio de Pedro Escobedo, Querétaro 76700

Localización del banco:	La Galera	
Descripción de la muestra:	Terraplén "MH"	
Identificación de la muestra:	IS-20070607-157	
Prueba a realizar:	Módulo de Resiliencia	

DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS

Muestra No.:	135, 137, 144, 145				
Número de capas :	8	γ_d promedio (kN/m ³):	12.92	W promedio (%):	33.41
γ_m promedio (kN/m ³):	17.24	Sr (%) promedio:	86.56	θ promedio (%):	44.01



OBSERVACIONES:
PROCTOR ESTÁNDAR ÓPTIMO

Figura C.51. Módulos de Resiliencia para el material del banco "La Galera"



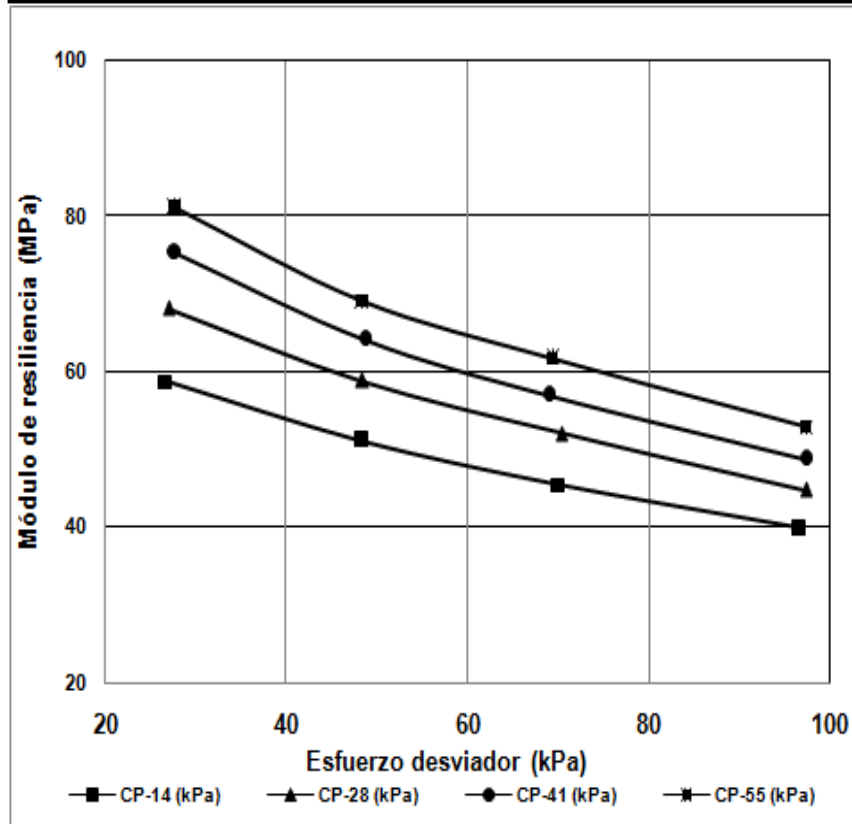
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
DIVISIÓN DE LABORATORIOS
MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES GRANULARES

Km 12+000 carretera Querétaro-Galindo, Sanfandila, mpio de Pedro Escobedo, Querétaro 76700

Localización del banco:	La Galera
Descripción de la muestra:	Terraplén "MH"
Identificación de la muestra:	IS-20070607-157
Prueba a realizar:	Módulo de Resiliencia

DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS

Muestra No.:	156, 157, 179				
Número de capas :	8	γ_d promedio (kN/m ³):	12.77	W promedio (%):	35.51
γ_m promedio (kN/m ³):	17.30	Sr (%) promedio:	89.83	θ promedio (%):	46.21



σ_3 (kPa)	σ_d (kPa)	θ (kPa)	M_r (MPa)
14	27	69	59
14	48	90	51
14	70	112	45
14	97	139	40
28	27	111	68
28	48	132	59
28	70	154	52
28	97	181	45
41	28	151	75
41	49	172	64
41	69	192	57
41	97	220	49
55	28	193	81
55	48	213	69
55	69	234	62
55	97	262	53

OBSERVACIONES:
PROCTOR ESTÁNDAR 2% arriba

Figura C.52. Módulos de Resiliencia para el material del banco "La Galera"



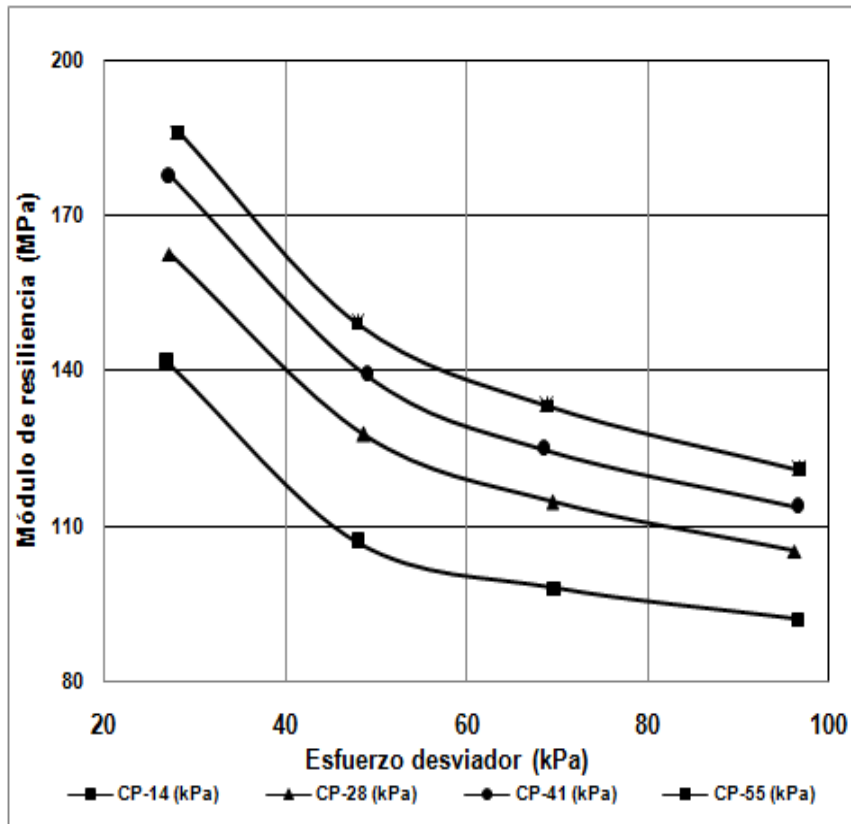
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
DIVISIÓN DE LABORATORIOS
MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES GRANULARES

Km 12+000 carretera Querétaro-Galindo, Sanfandila, mpio de Pedro Escobedo, Querétaro 76700

Localización del banco:	La Galera
Descripción de la muestra:	Terraplén "MH"
Identificación de la muestra:	IS-20070607-157
Prueba a realizar:	Módulo de Resiliencia

DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS

Muestra No.:	165, 166, 168, 170				
Número de capas :	8	γ_c promedio (kN/m ³):	12.88	W promedio (%):	31.70
γ_m promedio (kN/m ³):	16.96	Sr (%) promedio:	81.37	θ promedio (%):	41.56



σ_3 (kPa)	σ_d (kPa)	θ (kPa)	M_r (MPa)
14	27	69	142
14	48	90	107
14	70	112	98
14	97	139	92
28	27	111	163
28	49	133	128
28	70	154	115
28	96	180	105
41	27	150	178
41	49	172	139
41	69	192	125
41	97	220	114
55	28	193	186
55	48	213	149
55	69	234	133
55	97	262	121

OBSERVACIONES:
PROCTOR ESTÁNDAR 2% abajo

Figura C.53. Módulos de Resiliencia para el material del banco "La Galera"



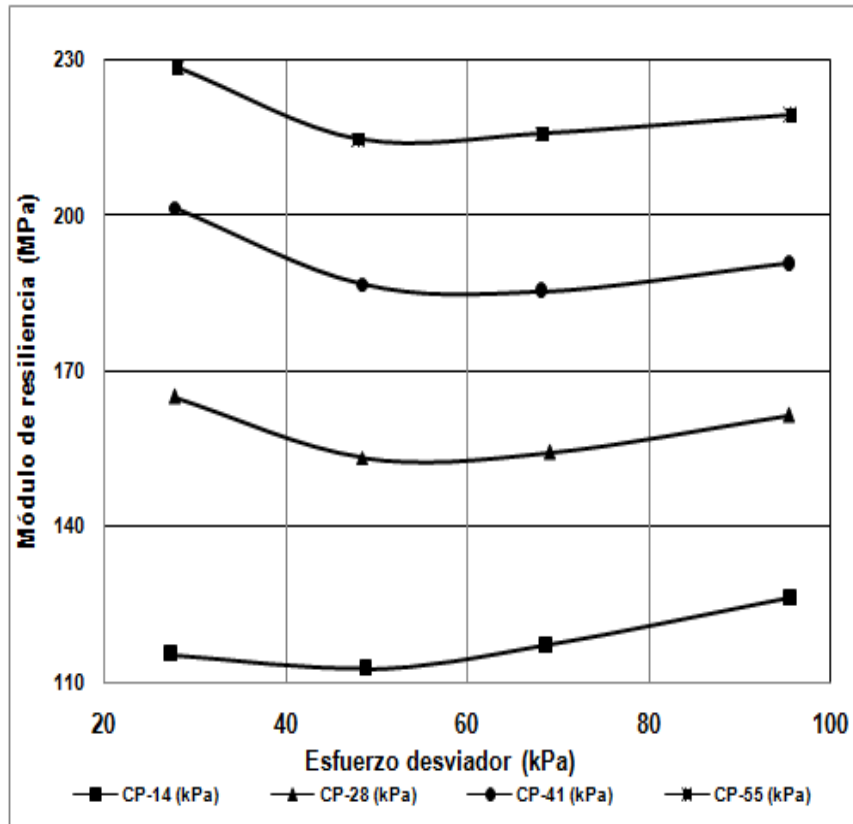
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
DIVISIÓN DE LABORATORIOS
MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES GRANULARES

Km 12+000 carretera Querétaro-Galindo, Sanfandila, mpio de Pedro Escobedo, Querétaro 76700

Localización del banco:	La Galera
Descripción de la muestra:	Terraplén "MH"
Identificación de la muestra:	IS-20070607-157
Prueba a realizar:	Módulo de Resiliencia

DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS

Muestra No.:	174, 176, 180				
Número de capas :	8	γ_c promedio (kN/m ³):	14.48	W promedio (%):	22.79
γ_m promedio (kN/m ³):	17.79	Sr (%) promedio:	74.95	θ promedio (%):	33.65



σ_3 (kPa)	σ_c (kPa)	θ (kPa)	M_r (MPa)
14	27	69	115
14	49	91	113
14	69	111	117
14	96	138	126
28	28	112	165
28	48	132	153
28	69	153	154
28	95	179	161
41	28	151	201
41	48	171	187
41	68	191	185
41	95	218	191
55	28	193	229
55	48	213	215
55	68	233	216
55	96	261	219

OBSERVACIONES:
PROCTOR MODIFICADA ÓPTIMO

Figura C.54. Módulos de Resiliencia para el material del banco "La Galera"



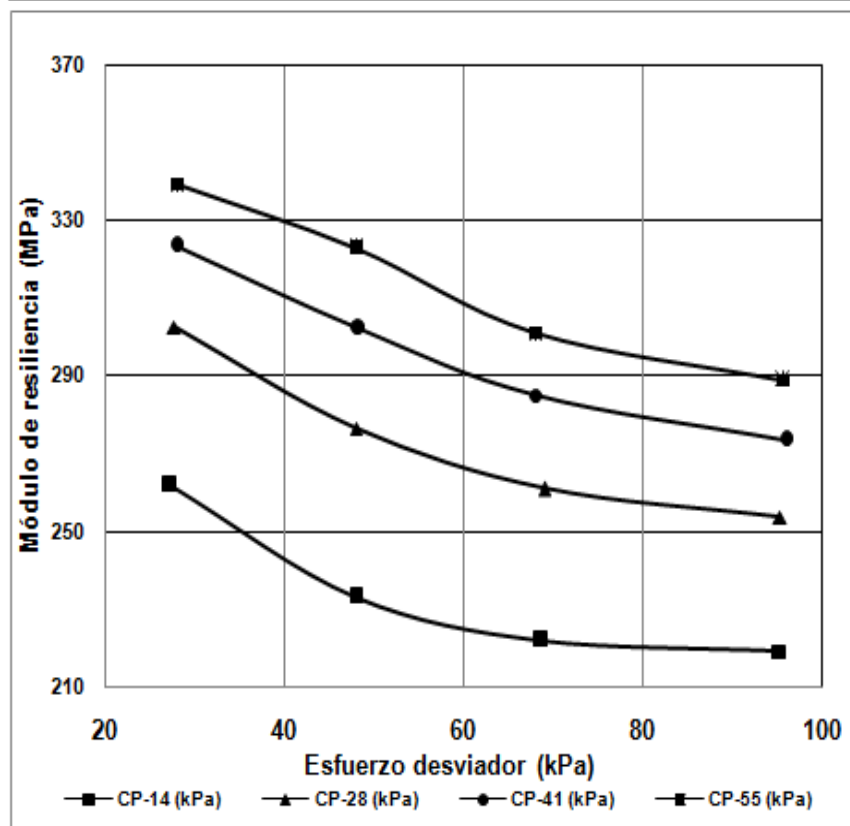
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
DIVISIÓN DE LABORATORIOS
MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES GRANULARES

Km 12+000 carretera Querétaro-Galindo, Sanfandila, mpio de Pedro Escobedo, Querétaro 76700

Localización del banco:	La Galera
Descripción de la muestra:	Terraplén "MH"
Identificación de la muestra:	IS-20070607-157
Prueba a realizar:	Módulo de Resiliencia

DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS

Muestra No.:	192, 195, 196				
Número de capas :	8	γ_d promedio (kN/m ³):	14.52	W promedio (%):	24.37
γ_m promedio (kN/m ³):	18.06	Sr (%) promedio:	80.53	θ promedio (%):	36.17



σ_3 (kPa)	σ_d (kPa)	θ (kPa)	M_r (MPa)
14	27	69	262
14	48	90	233
14	69	111	222
14	95	137	219
28	28	112	303
28	48	132	277
28	69	153	261
28	95	179	254
41	28	151	323
41	48	171	302
41	68	191	285
41	96	219	274
55	28	193	339
55	48	213	323
55	68	233	301
55	96	261	289

OBSERVACIONES:

PROCTOR MODIFICADA 2% ARRIBA

Figura C.55. Módulos de Resiliencia para el material del banco "La Galera"



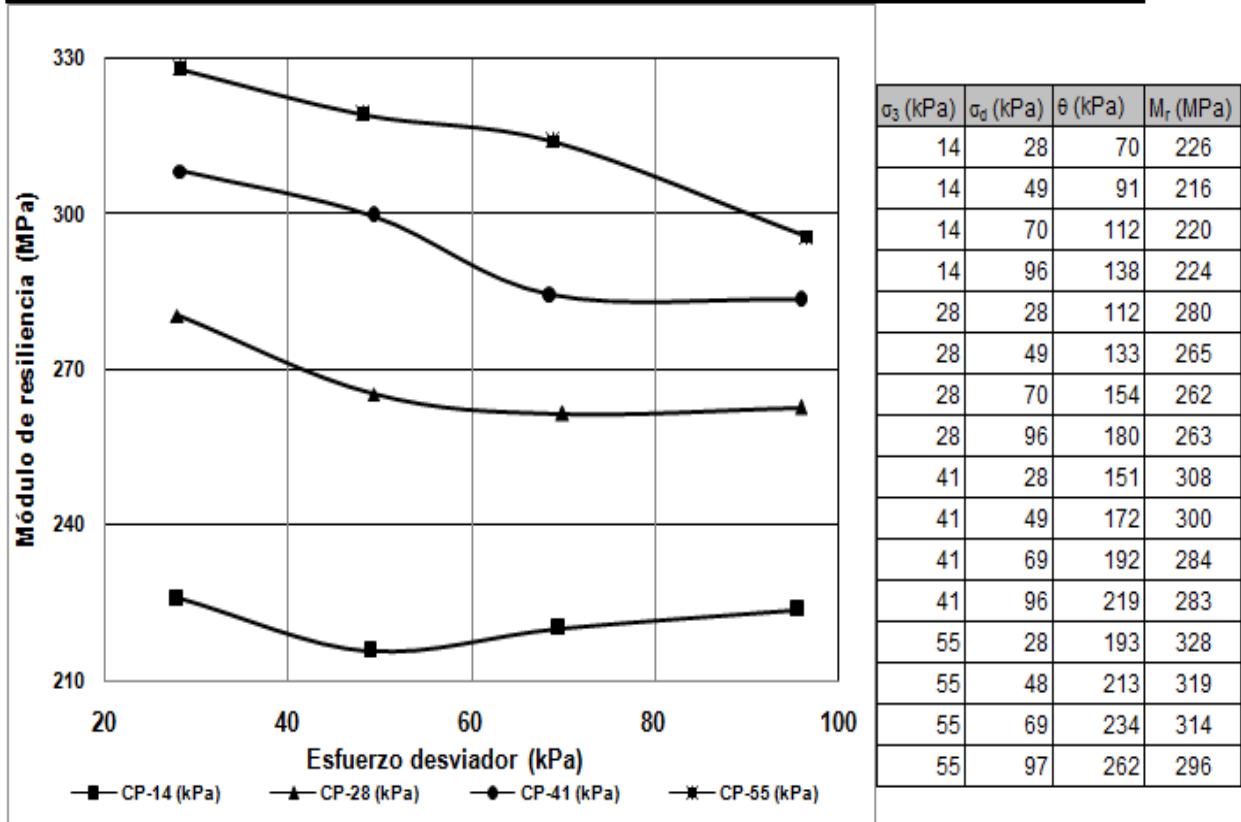
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
DIVISIÓN DE LABORATORIOS
MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES GRANULARES

Km 12+000 carretera Querétaro-Galindo, Sanfandila, mpio de Pedro Escobedo, Querétaro 76700

Localización del banco:	La Galera	
Descripción de la muestra:	Terraplén "MH"	
Identificación de la muestra:	IS-20070607-157	
Prueba a realizar:	Módulo de Resiliencia	

DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS

Muestra No.:	187, 189, 191				
Número de capas :	8	γ_d promedio (kN/m ³):	14.46	W promedio (%):	21.02
γ_m promedio (kN/m ³):	17.50	Sr (%) promedio:	68.84	θ promedio (%):	30.98



OBSERVACIONES:

PROCTOR MODIFICADA 2% ABAJO

Figura C.56. Módulos de Resiliencia para el material del banco "La Galera"



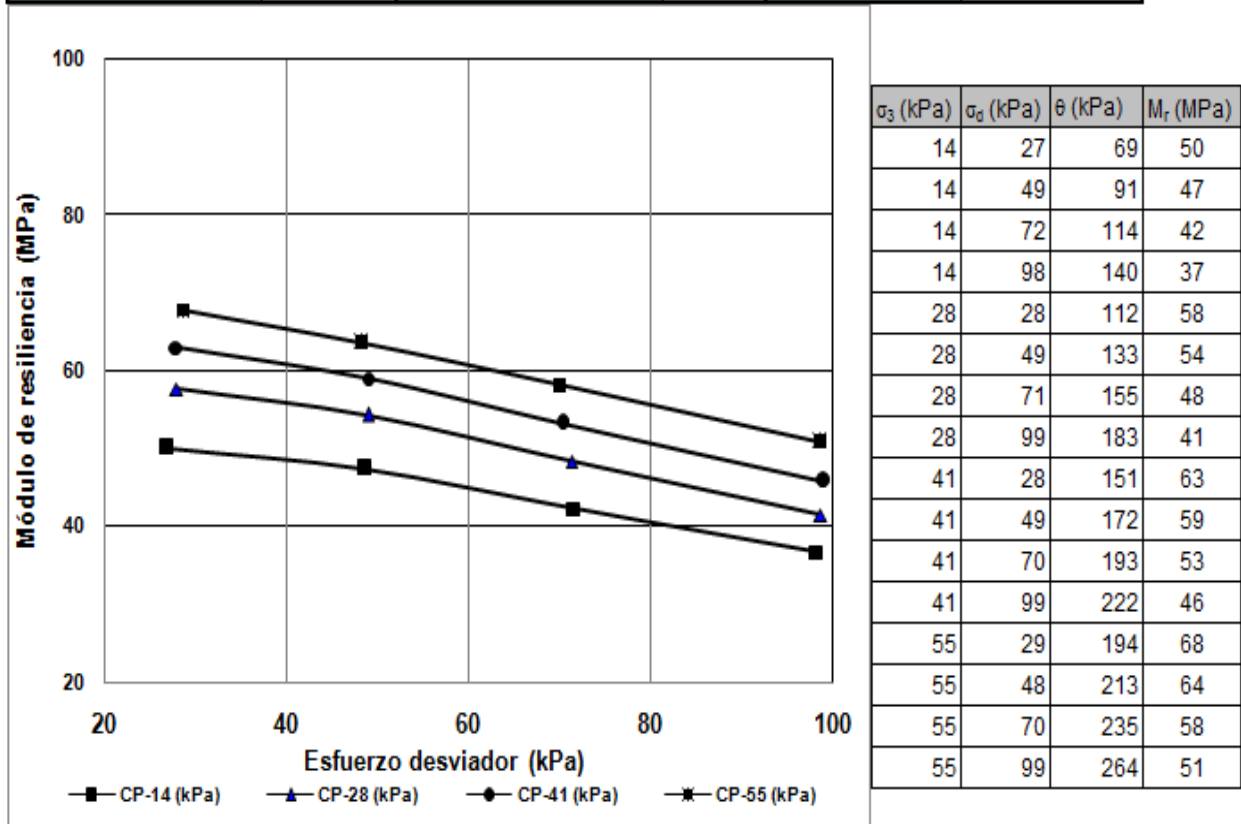
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
DIVISIÓN DE LABORATORIOS
MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES GRANULARES

Km 12+000 carretera Querétaro-Galindo, Sanfandila, mpio de Pedro Escobedo, Querétaro 76700

Localización del banco:	Misha
Descripción de la muestra:	ML
Identificación de la muestra:	IS-20101124-01
Prueba a realizar:	Módulo de Resiliencia

DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS

Muestra No.:	297, 298, 299				
Número de capas :	8	γ_d promedio (kN/m ³):	13.03	W promedio (%):	31.65
γ_m promedio (kN/m ³):	17.16	Sr (%) promedio:	81.62	θ promedio (%):	42.05



OBSERVACIONES:
 PROCTOR ESTÁNDAR ÓPTIMO

Figura C.57. Módulos de Resiliencia para el material del banco "Misha"



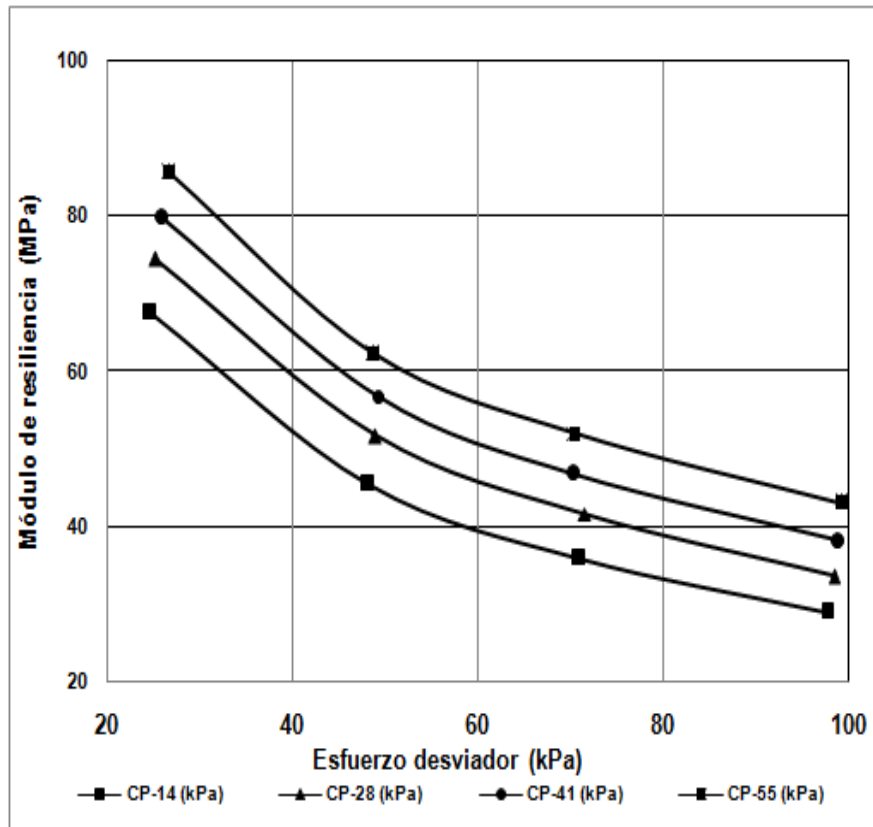
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
DIVISIÓN DE LABORATORIOS
MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES GRANULARES

Km 12+000 carretera Querétaro-Galindo, Sanfandila, mpio de Pedro Escobedo, Querétaro 76700

Localización del banco:	Misha
Descripción de la muestra:	ML
Identificación de la muestra:	IS-20101124-01
Prueba a realizar:	Módulo de Resiliencia

DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS

Muestra No.:	307, 308, 309, 310				
Número de capas :	8	γ_d promedio (kN/m ³):	12.96	W promedio (%):	33.70
γ_m promedio (kN/m ³):	17.32	Sr (%) promedio:	85.93	θ promedio (%):	44.51



σ_3 (kPa)	σ_d (kPa)	θ (kPa)	M_r (MPa)
14	25	67	68
14	48	90	45
14	71	113	36
14	98	140	29
28	25	109	74
28	49	133	52
28	72	156	42
28	99	183	34
41	26	149	80
41	49	172	57
41	71	194	47
41	99	222	38
55	27	192	86
55	49	214	62
55	71	236	52
55	99	264	43

OBSERVACIONES:
PROCTOR ESTÁNDAR 2% Arriba

Figura C.58. Módulos de Resiliencia para el material del banco "Misha"



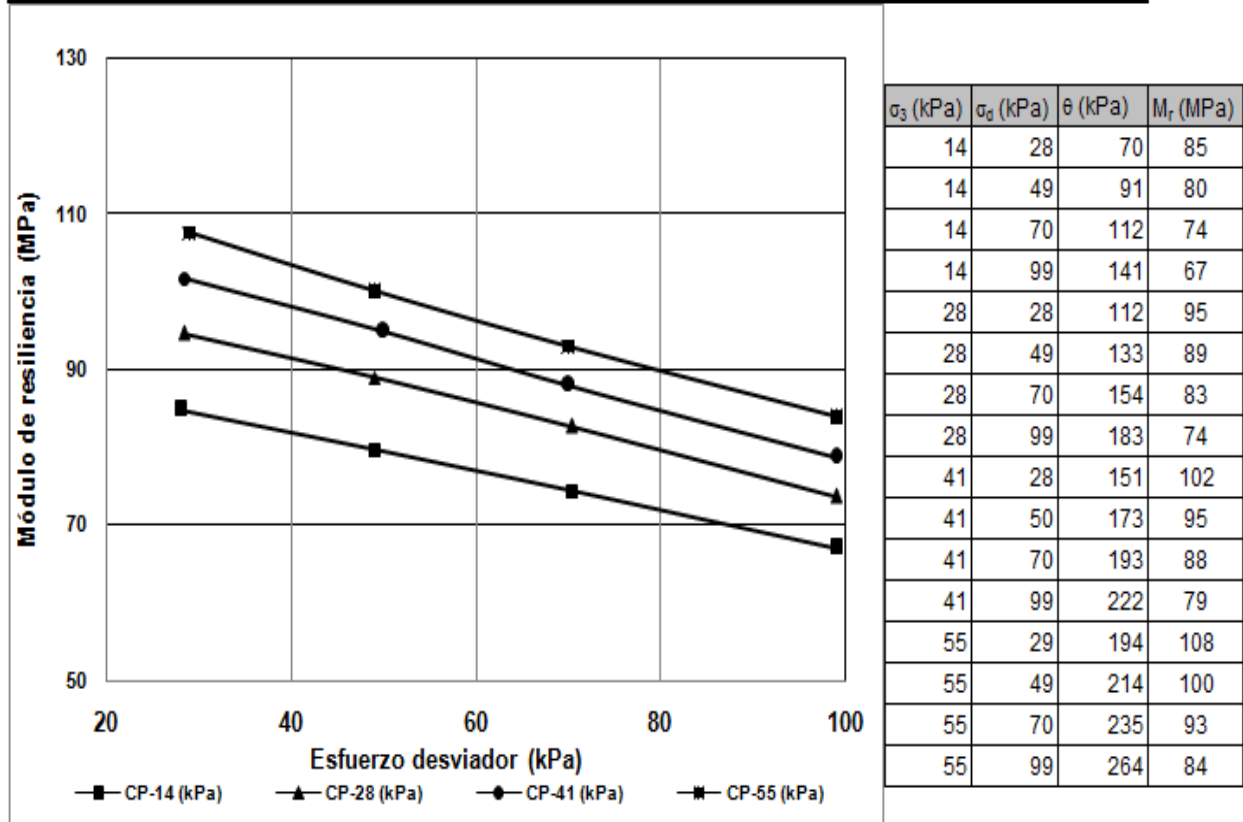
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
DIVISIÓN DE LABORATORIOS
MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES GRANULARES

Km 12+000 carretera Querétaro-Galindo, Sanfandila, mpio de Pedro Escobedo, Querétaro 76700

Localización del banco:	Misha
Descripción de la muestra:	ML
Identificación de la muestra:	IS-20101124-01
Prueba a realizar:	Módulo de Resiliencia

DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS

Muestra No.:	301, 302, 304				
Número de capas :	8	γ_d promedio (kN/m ³):	12.86	W promedio (%):	29.61
γ_m promedio (kN/m ³):	16.67	Sr (%) promedio:	74.51	θ promedio (%):	38.81



OBSERVACIONES:

PROCTOR ESTÁNDAR 2% ABAJO

Figura C.59. Módulos de Resiliencia para el material del banco "Misha"



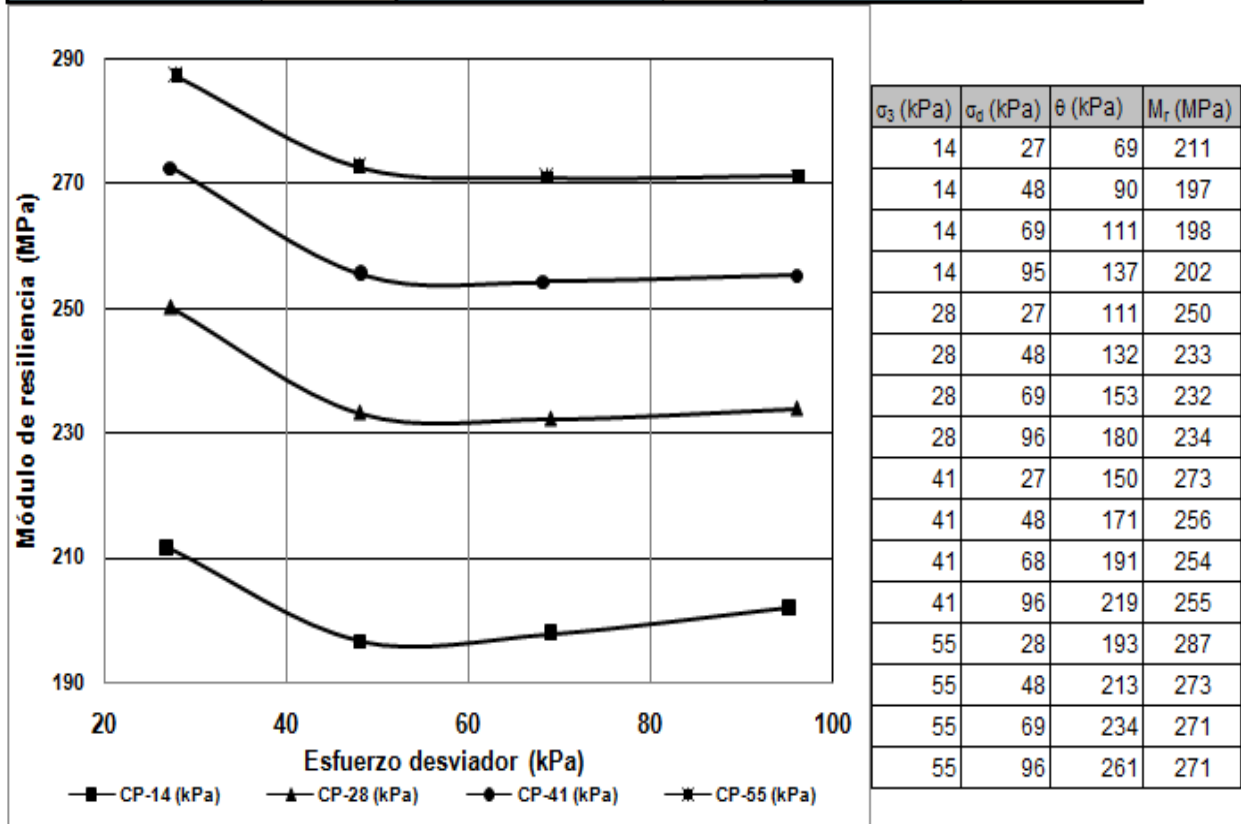
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
DIVISIÓN DE LABORATORIOS
MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES GRANULARES

Km 12+000 carretera Querétaro-Galindo, Sanfandila, mpio de Pedro Escobedo, Querétaro 76700

Localización del banco:	Misha
Descripción de la muestra:	ML
Identificación de la muestra:	IS-20101124-01
Prueba a realizar:	Módulo de Resiliencia

DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS

Muestra No.:	311, 312, 313	γ_d control (kN/m ³):	14.59	W control (%):	24.60
Número de capas:	8	γ_d promedio (kN/m ³):	14.67	W promedio (%):	23.39
γ_m promedio (kN/m ³):	18.11	Sr (%) promedio:	77.05	θ promedio (%):	34.99



OBSERVACIONES:
PROCTOR MODIFICADA ÓPTIMO

Figura C.60. Módulos de Resiliencia para el material del banco "Misha"



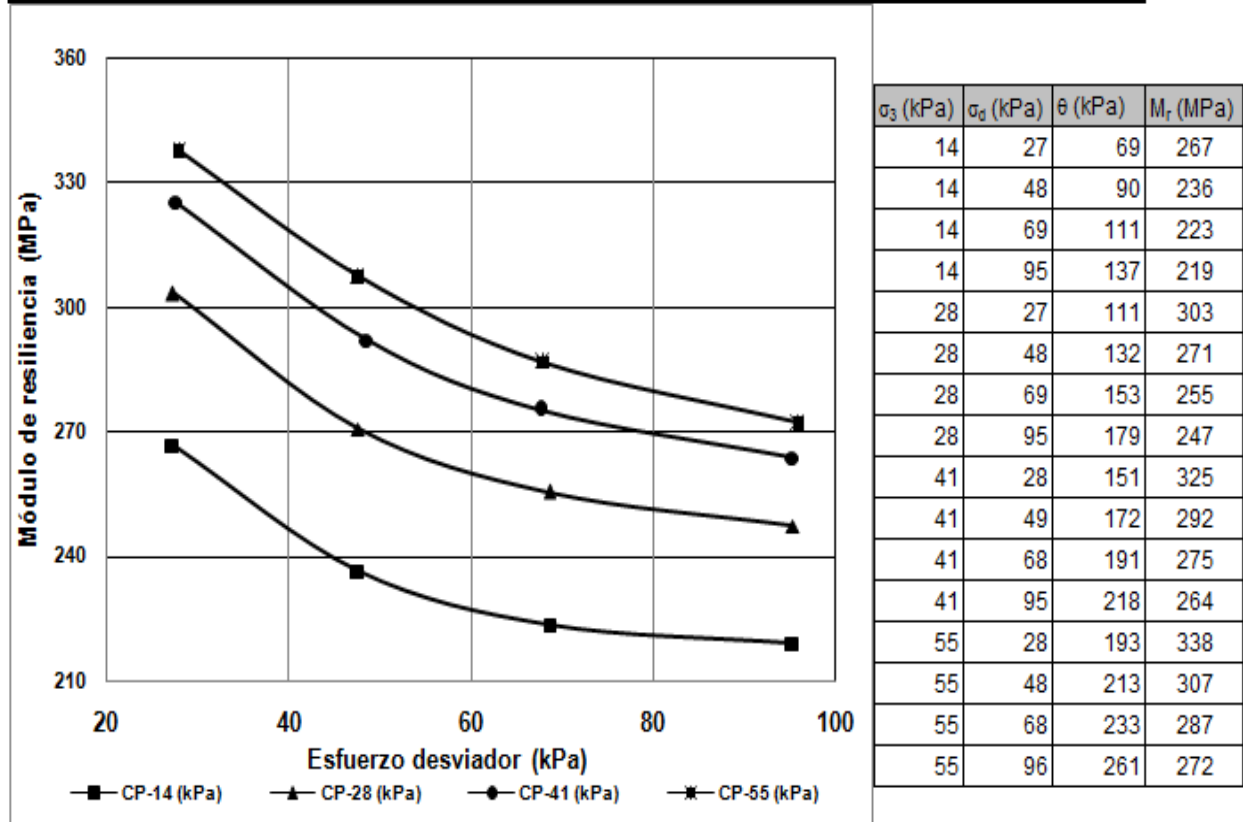
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
DIVISIÓN DE LABORATORIOS
MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES GRANULARES

Km 12+000 carretera Querétaro-Galindo, Sanfandila, mpio de Pedro Escobedo, Querétaro 76700

Localización del banco:	Misha
Descripción de la muestra:	ML
Identificación de la muestra:	IS-20101124-01
Prueba a realizar:	Módulo de Resiliencia

DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS

Muestra No.:	315, 316, 317	γ_d control(kN/m ³):	14.48	W control (%):	26.60
Número de capas :	8	γ_d promedio (kN/m ³):	14.61	W promedio (%):	24.53
γ_m promedio (kN/m ³):	18.19	Sr (%) promedio:	80.04	θ promedio (%):	36.53



OBSERVACIONES:
PROCTOR MODIFICADA 2% ARRIBA

Figura C.61. Módulos de Resiliencia para el material del banco "Misha"



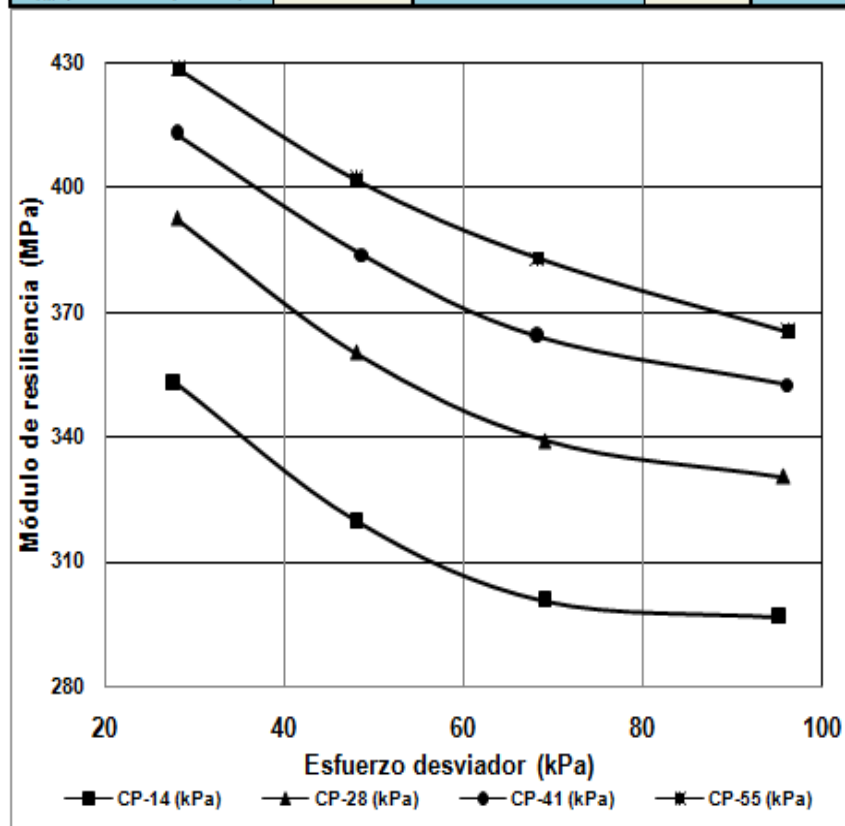
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
DIVISIÓN DE LABORATORIOS
MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES GRANULARES

Km 12+000 carretera Querétaro-Galindo, Sanfandila, mpio de Pedro Escobedo, Querétaro 76700

Localización del banco:	Misha
Descripción de la muestra:	ML
Identificación de la muestra:	IS-20101124-01
Prueba a realizar:	Módulo de Resiliencia

DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS

Muestra No.:	319, 321, 322	γ_d (kN/m ³):	14.51	w (%):	22.60
Número de capas:	8	γ_d promedio (kN/m ³):	14.62	W promedio (%):	21.44
γ_m promedio (kN/m ³):	17.75	Sr (%) promedio:	70.03	θ promedio (%):	31.94



σ_3 (kPa)	σ_d (kPa)	θ (kPa)	M_r (MPa)
14	28	70	353
14	48	90	320
14	69	111	301
14	95	137	297
28	28	112	393
28	48	132	360
28	69	153	339
28	96	180	330
41	28	151	413
41	49	172	384
41	68	191	364
41	96	219	353
55	28	193	428
55	48	213	402
55	68	233	383
55	96	261	365

OBSERVACIONES:
PROCTOR MODIFICADA 2% Abajo

Figura C.62. Módulos de Resiliencia para el material del banco "Misha"



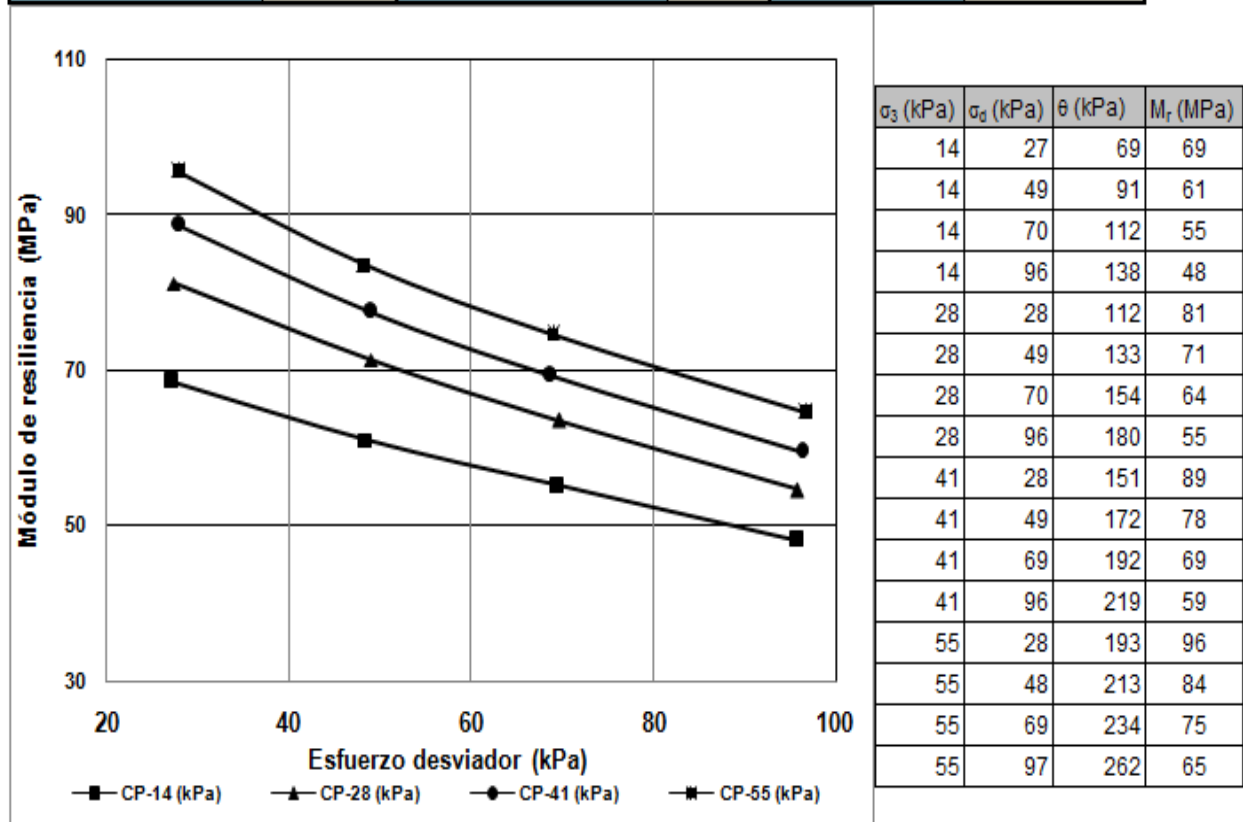
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
DIVISIÓN DE LABORATORIOS
MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES GRANULARES

Km 12+000 carretera Querétaro-Galindo, Sanfandila, mpio de Pedro Escobedo, Querétaro 76700

Localización del banco:	Pueblo Nuevo
Descripción de la muestra:	"CL"
Identificación de la muestra:	240800-01
Prueba a realizar:	Módulo de Resiliencia

DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS

Muestra No.:	446, 447, 448, 449				
Número de capas :	8	γ_d promedio (kN/m ³):	14.94	W promedio (%):	22.05
γ_m promedio (kN/m ³):	18.23	Sr promedio (%):	80.22	θ promedio (%):	33.59



OBSERVACIONES:
PROCTOR ESTÁNDAR ÓPTIMO

Figura C.63. Módulos de Resiliencia para el material del banco "Pueblo Nuevo"



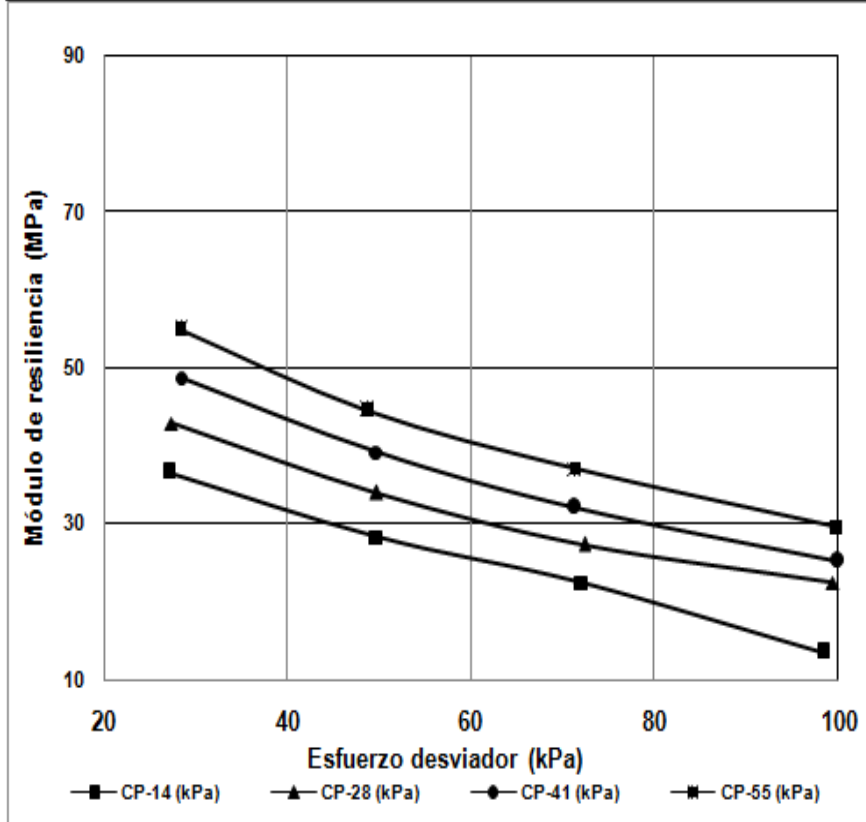
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
DIVISIÓN DE LABORATORIOS
MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES GRANULARES

Km 12+000 carretera Querétaro-Galindo, Sanfandila, mpio de Pedro Escobedo, Querétaro 76700

Localización del banco:	Pueblo Nuevo	
Descripción de la muestra:	"CL"	
Identificación de la muestra:	240800-01	
Prueba a realizar:	Módulo de Resiliencia	

DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS

Muestra No.:	450, 452, 453				
Número de capas :	8	γ_d promedio (kN/m ³):	14.88	W promedio (%):	24.20
γ_m promedio (kN/m ³):	18.49	Sr (%) promedio:	87.25	θ promedio (%):	36.73



σ_3 (kPa)	σ_d (kPa)	θ (kPa)	M_r (MPa)
14	27	69	37
14	50	92	28
14	72	114	22
14	98	140	14
28	27	111	43
28	50	134	34
28	72	156	27
28	99	183	22
41	28	151	49
41	50	173	39
41	71	194	32
41	100	223	25
55	28	193	55
55	49	214	45
55	71	236	37
55	100	265	30

OBSERVACIONES:
PROCTOR ESTÁNDAR 2% Arriba

Figura C.64. Módulos de Resiliencia para el material del banco "Pueblo Nuevo"



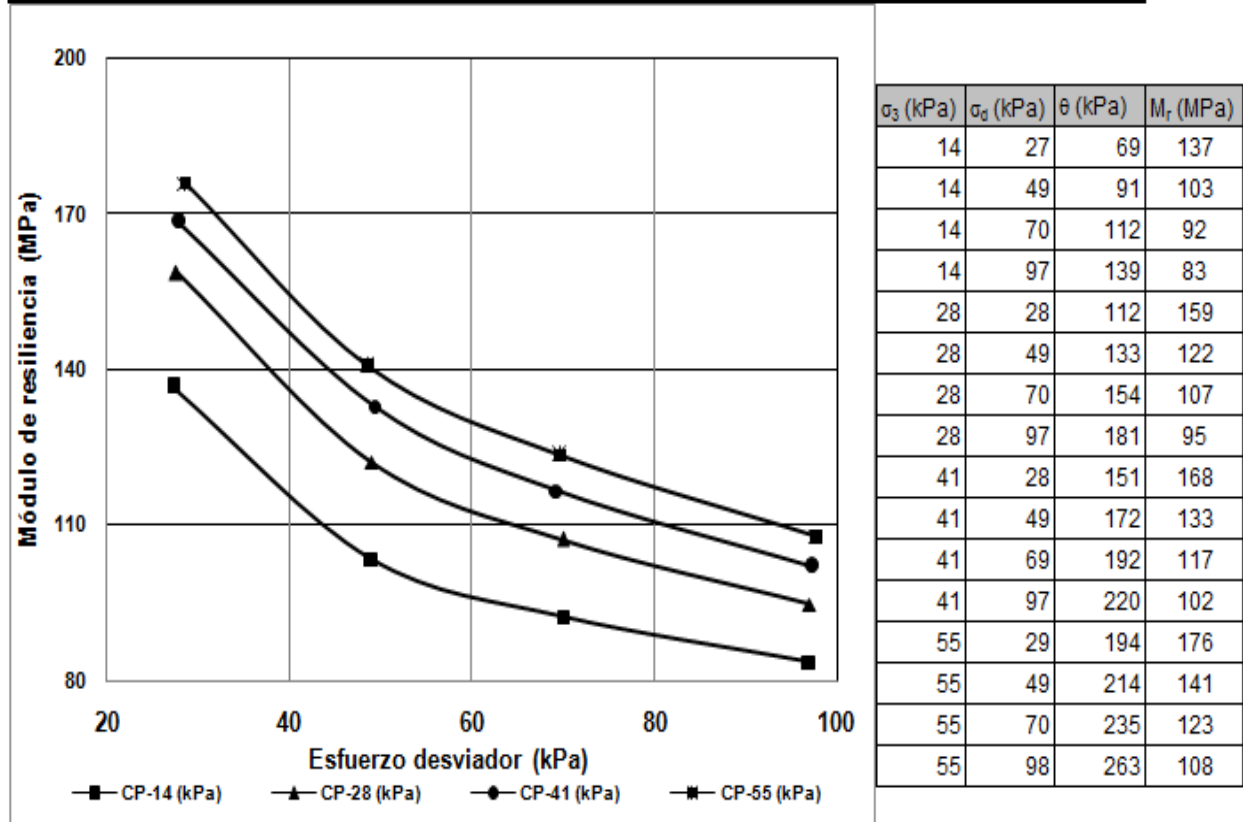
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
DIVISIÓN DE LABORATORIOS
MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES GRANULARES

Km 12+000 carretera Querétaro-Galindo, Sanfandila, mpio de Pedro Escobedo, Querétaro 76700

Localización del banco:	Pueblo Nuevo	
Descripción de la muestra:	"CL"	
Identificación de la muestra:	240800-01	
Prueba a realizar:	Módulo de Resiliencia	

DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS

Muestra No.:	456, 457, 463				
Número de capas :	8	γ_d promedio (kN/m ³):	14.87	W promedio (%):	20.39
γ_m promedio (kN/m ³):	17.90	Sr (%) promedio:	73.27	θ promedio (%):	30.90



OBSERVACIONES:

PROCTOR ESTÁNDAR 2% Abajo

Figura C.65. Módulos de Resiliencia para el material del banco "Pueblo Nuevo"



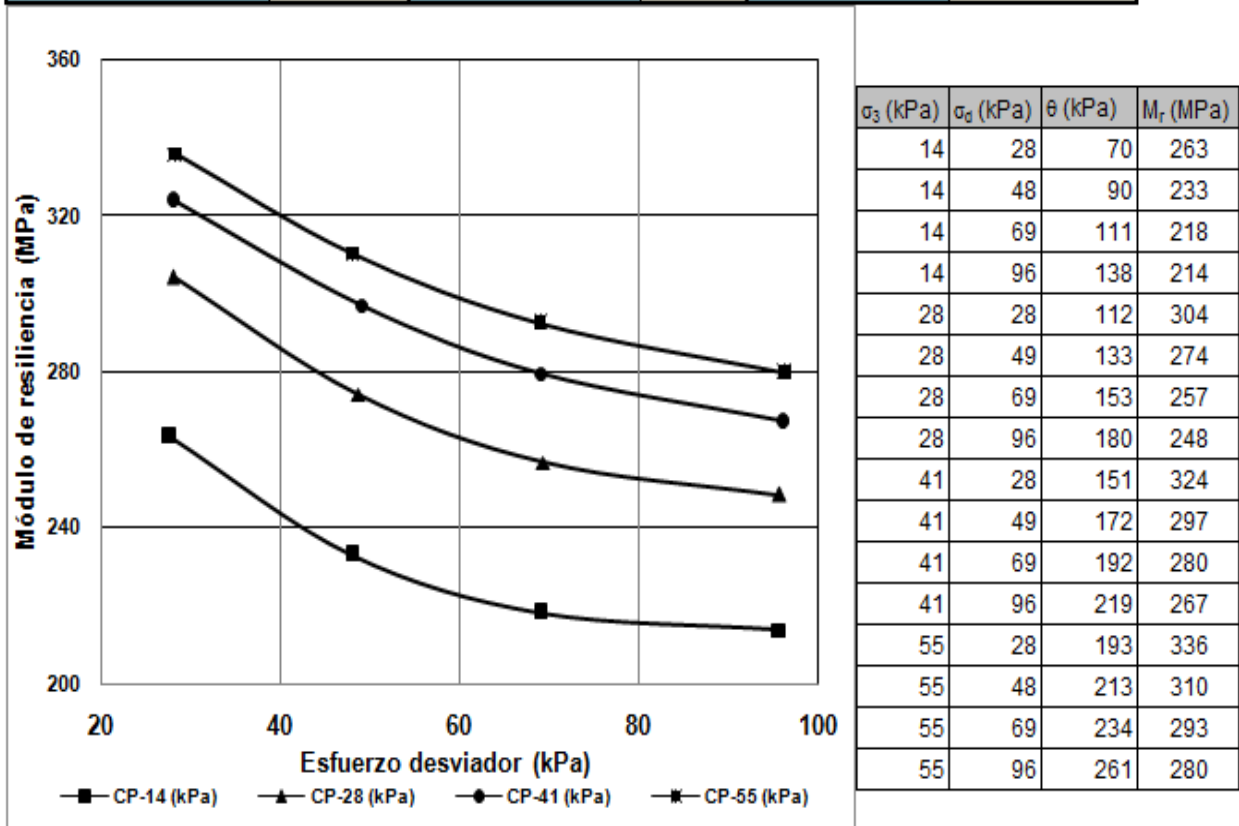
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
DIVISIÓN DE LABORATORIOS
MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES GRANULARES

Km 12+000 carretera Querétaro-Galindo, Sanfandila, mpio de Pedro Escobedo, Querétaro 76700

Localización del banco:	Pueblo Nuevo
Descripción de la muestra:	"CL"
Identificación de la muestra:	240800-01
Prueba a realizar:	Módulo de Resiliencia

DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS

Muestra No.:	458, 460, 461				
Número de capas :	8	γ_d promedio (kN/m ³):	16.32	W promedio (%):	17.74
γ_m promedio (kN/m ³):	19.22	Sr (%) promedio:	80.88	θ promedio (%):	29.52



OBSERVACIONES:
PROCTOR MODIFICADA ÓPTIMO

Figura C.66. Módulos de Resiliencia para el material del banco "Pueblo Nuevo"



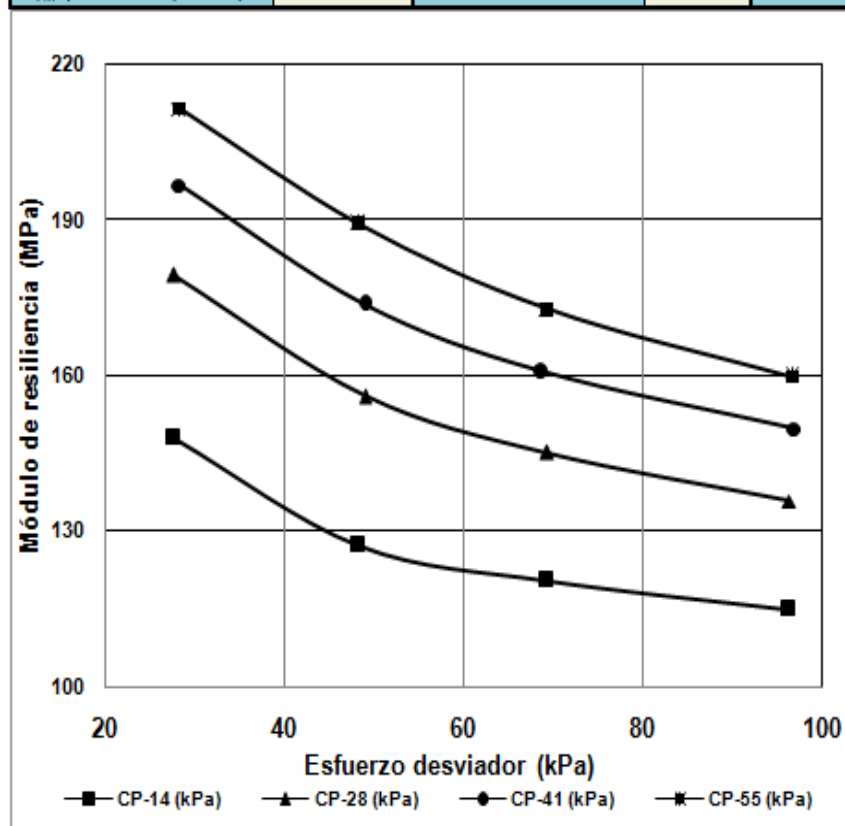
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
DIVISIÓN DE LABORATORIOS
MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES GRANULARES

Km 12+000 carretera Querétaro-Galindo, Sanfandila, mpio de Pedro Escobedo, Querétaro 76700

Localización del banco:	Pueblo Nuevo
Descripción de la muestra:	"CL"
Identificación de la muestra:	240800-01
Prueba a realizar:	Módulo de Resiliencia

DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS

Muestra No.:	464, 465, 466				
Número de capas :	8	γ_d promedio (kN/m ³):	16.20	W promedio (%):	19.65
γ_m promedio (kN/m ³):	19.38	Sr (%) promedio:	87.77	θ promedio (%):	32.44



σ_3 (kPa)	σ_d (kPa)	θ (kPa)	M_r (MPa)
14	28	70	148
14	48	90	127
14	69	111	120
14	96	138	115
28	28	112	179
28	49	133	156
28	69	153	145
28	96	180	136
41	28	151	197
41	49	172	174
41	69	192	161
41	97	220	150
55	28	193	211
55	48	213	189
55	69	234	173
55	97	262	160

OBSERVACIONES:
PROCTOR MODIFICADA 2%arriba

Figura C.67. Módulos de Resiliencia para el material del banco "Pueblo Nuevo"



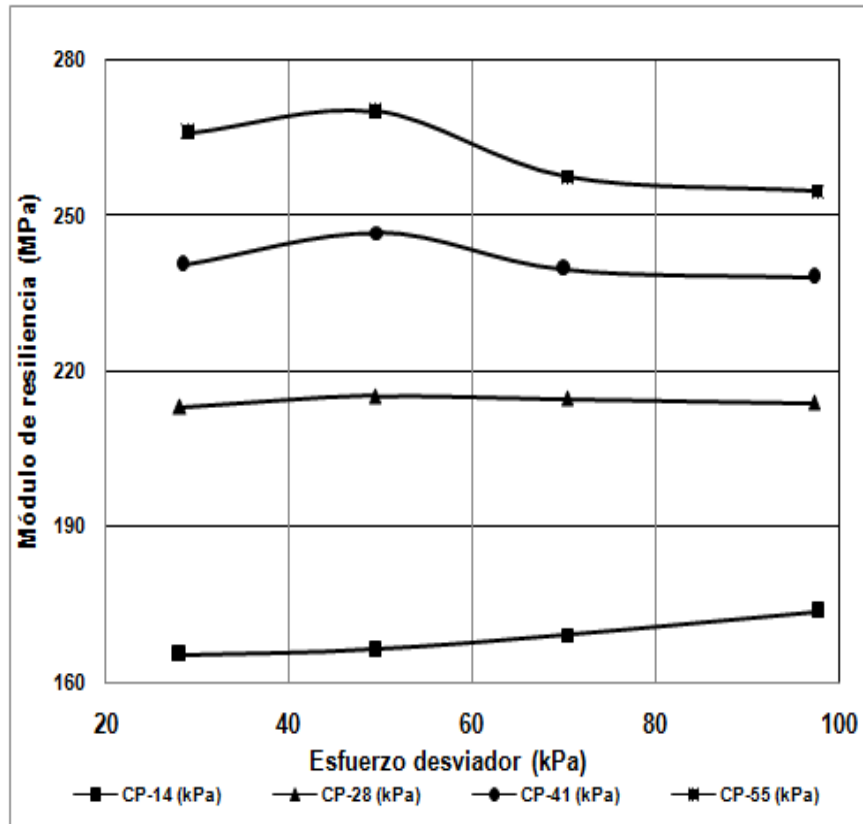
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
DIVISIÓN DE LABORATORIOS
MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES GRANULARES

Km 12+000 carretera Querétaro-Galindo, Sanfandila, mpio de Pedro Escobedo, Querétaro 76700

Localización del banco:	Pueblo Nuevo	
Descripción de la muestra:	"CL"	
Identificación de la muestra:	240800-01	
Prueba a realizar:	Módulo de Resiliencia	

DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS

Muestra No.:	470, 471, 473				
Número de capas :	8	γ_d promedio (kN/m ³):	16.15	W promedio (%):	15.97
γ_m promedio (kN/m ³):	18.73	Sr (%) promedio:	70.76	θ promedio (%):	26.29



σ_3 (kPa)	σ_d (kPa)	θ (kPa)	M_r (MPa)
14	28	70	165
14	49	91	166
14	70	112	169
14	98	140	174
28	28	112	213
28	49	133	215
28	70	154	215
28	97	181	214
41	28	151	241
41	50	173	247
41	70	193	240
41	97	220	238
55	29	194	266
55	49	214	270
55	70	235	258
55	98	263	255

OBSERVACIONES:
PROCTOR MODIFICADA 2%abajo

Figura C.68. Módulos de Resiliencia para el material del banco "Pueblo Nuevo"



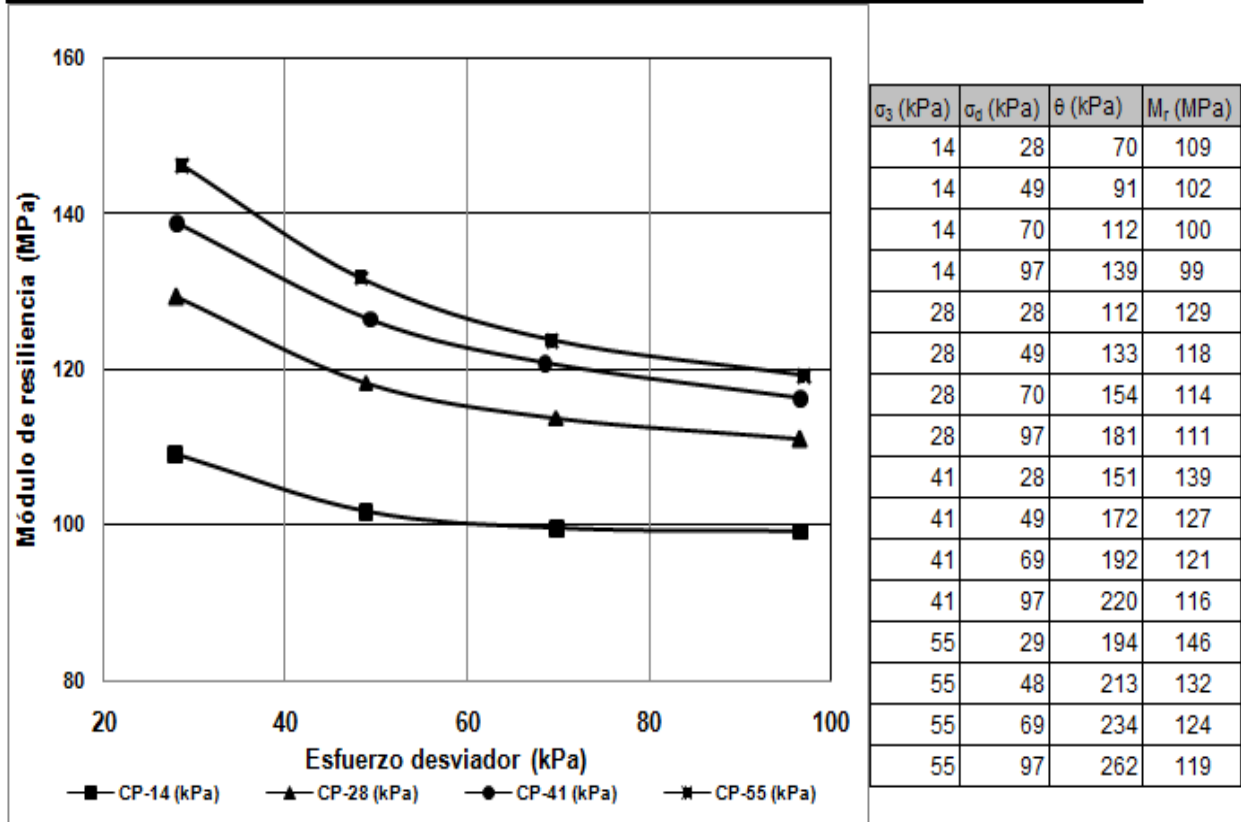
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
DIVISIÓN DE LABORATORIOS
MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES GRANULARES

Km 12+000 carretera Querétaro-Galindo, Sanfandila, mpio de Pedro Escobedo, Querétaro 76700

Localización del banco:	Laderas San Pedro
Descripción de la muestra:	CH
Identificación de la muestra:	200802-09
Prueba a realizar:	Módulo de Resiliencia

DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS

Muestra No.:	474,475,476,477				
Número de capas :	8	γ_c promedio (kN/m ³):	11.57	W promedio (%):	39.02
γ_m promedio (kN/m ³):	16.08	Sr (%) promedio:	82.36	θ promedio (%):	46.00



OBSERVACIONES:
PROCTOR ESTÁNDAR ÓPTIMO

Figura C.69. Módulos de Resiliencia para el material del banco “San Pedro”



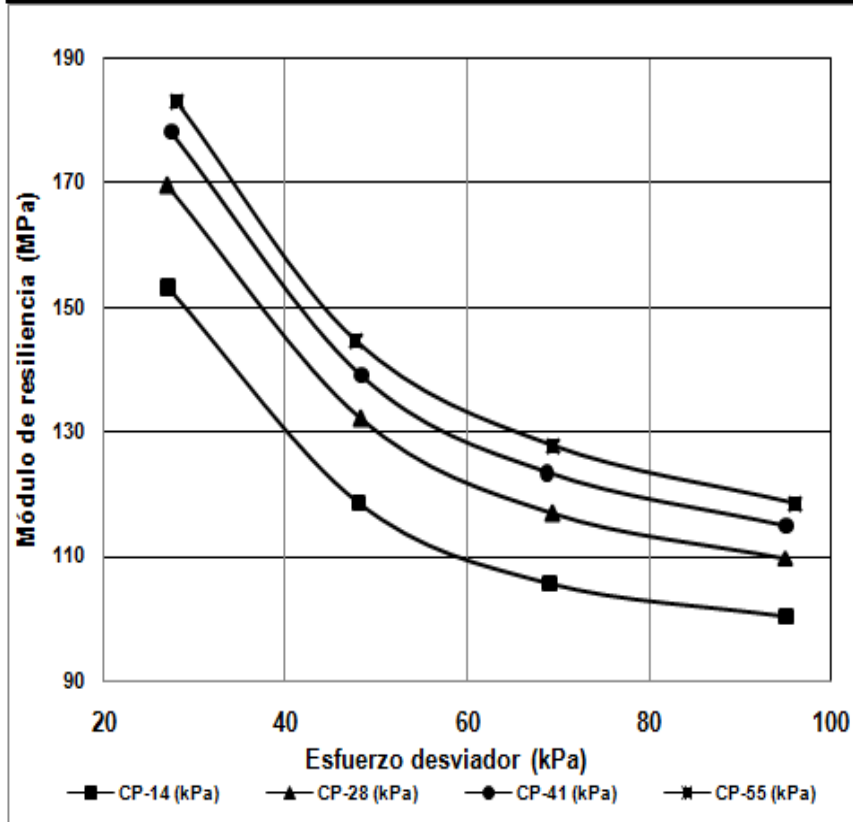
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
DIVISIÓN DE LABORATORIOS
MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES GRANULARES

Km 12+000 carretera Querétaro-Galindo, Sanfandila, mpio de Pedro Escobedo, Querétaro 76700

Localización del banco:	Laderas San Pedro
Descripción de la muestra:	CH
Identificación de la muestra:	200802-09
Prueba a realizar:	Módulo de Resiliencia

DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS

Muestra No.:	481,482,483				
Número de capas :	8	γ_c promedio (kN/m ³):	11.51	W promedio (%):	41.05
γ_m promedio (kN/m ³):	16.24	Sr (%) promedio:	85.96	θ promedio (%):	48.18



σ_3 (kPa)	σ_d (kPa)	θ (kPa)	M_r (MPa)
14	27	69	153
14	48	90	119
14	69	111	106
14	95	137	100
28	27	111	170
28	48	132	132
28	69	153	117
28	95	179	110
41	27	150	178
41	48	171	139
41	69	192	124
41	95	218	115
55	28	193	183
55	48	213	145
55	69	234	128
55	96	261	118

OBSERVACIONES:
PROCTOR ESTÁNDAR 2% arriba

Figura C.70. Módulos de Resiliencia para el material del banco “San Pedro”



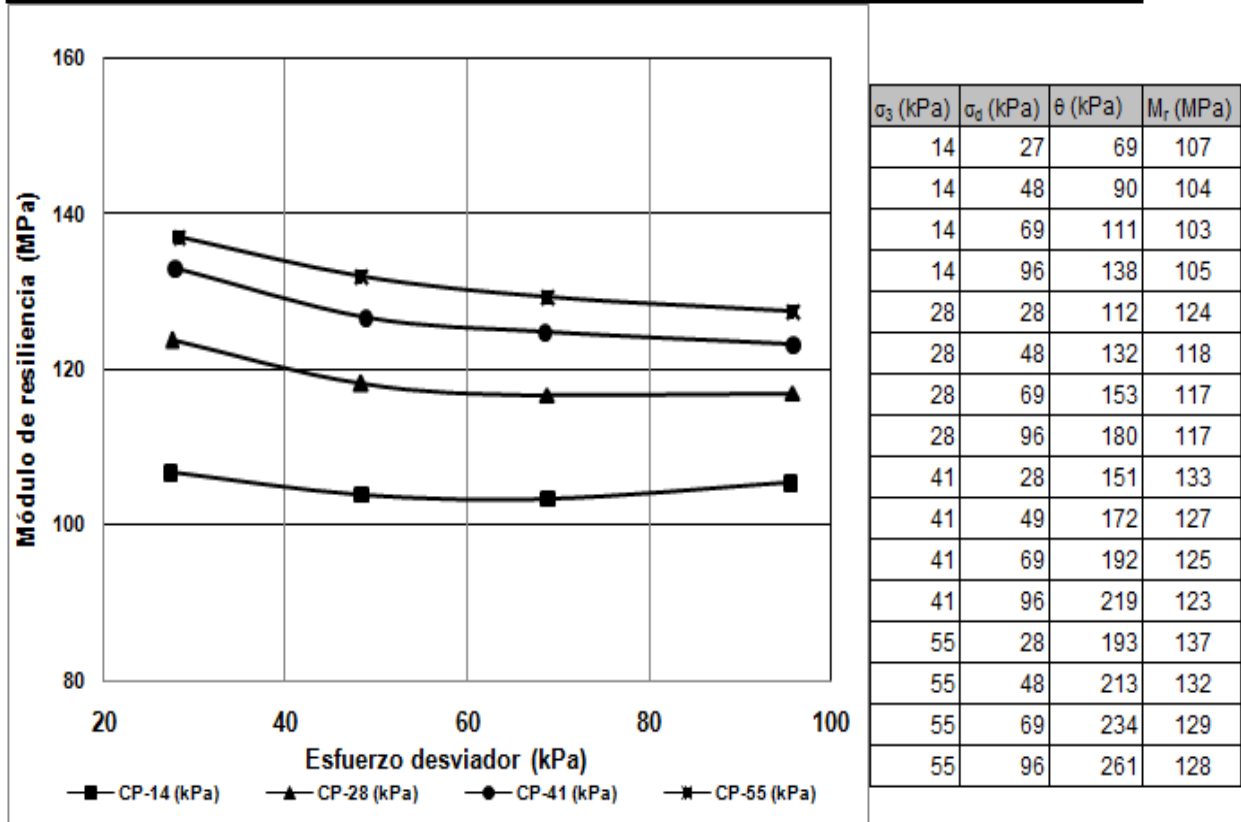
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
DIVISIÓN DE LABORATORIOS
MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES GRANULARES

Km 12+000 carretera Querétaro-Galindo, Sanfandila, mpio de Pedro Escobedo, Querétaro 76700

Localización del banco:	Laderas San Pedro
Descripción de la muestra:	CH
Identificación de la muestra:	200802-09
Prueba a realizar:	Módulo de Resiliencia

DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS

Muestra No.:	486, 487, 491, 492				
Número de capas :	8	γ_d promedio (kN/m ³):	11.47	W promedio (%):	37.02
γ_m promedio (kN/m ³):	15.71	Sr (%) promedio:	76.95	θ promedio (%):	43.30



OBSERVACIONES:

PROCTOR ESTÁNDAR 2% abajo

Figura C.71. Módulos de Resiliencia para el material del banco “San Pedro”



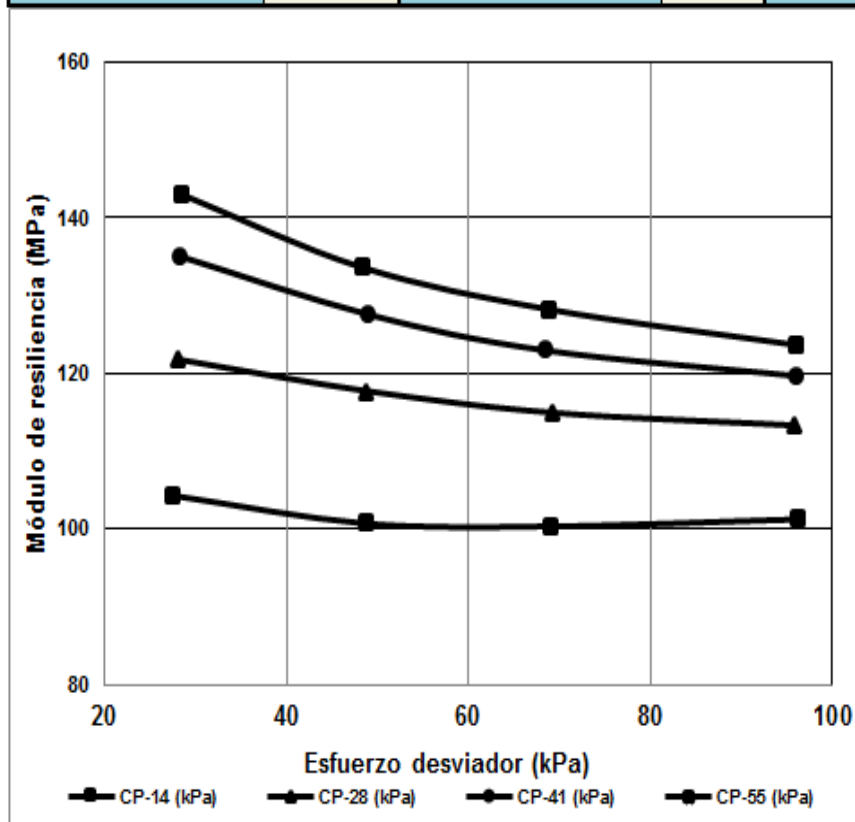
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
DIVISIÓN DE LABORATORIOS
MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES GRANULARES

Km 12+000 carretera Querétaro-Galindo, Sanfandila, mpio de Pedro Escobedo, Querétaro 76700

Localización del banco:	Mezcla 1
Descripción de la muestra:	CH-CL
Identificación de la muestra:	IS-20130807-14
Prueba a realizar:	Módulo de Resiliencia

DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS

Muestra No.:	507,508,510,515				
Número de capas :	8	γ_d promedio (kN/m ³):	13.63	W promedio (%):	27.81
γ_m promedio (kN/m ³):	17.41	Sr (%) promedio:	82.54	θ promedio (%):	38.62



σ_3 (kPa)	σ_d (kPa)	θ (kPa)	M_r (MPa)
14	28	70	104
14	49	91	101
14	69	111	100
14	96	138	101
28	28	112	122
28	49	133	118
28	69	153	115
28	96	180	113
41	28	151	135
41	49	172	128
41	69	192	123
41	96	219	120
55	29	194	143
55	48	213	134
55	69	234	128
55	96	261	124

OBSERVACIONES:
PROCTOR ESTÁNDAR ÓPTIMO

Figura C.72. Módulos de Resiliencia para el material del banco “Mezcla 1”



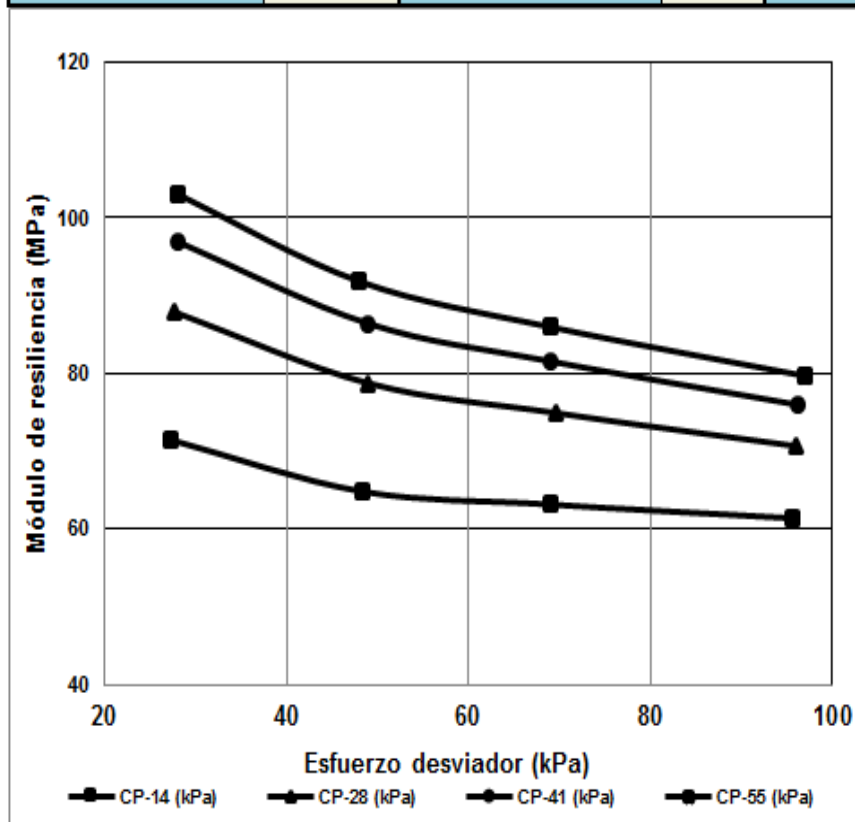
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
DIVISIÓN DE LABORATORIOS
MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES GRANULARES

Km 12+000 carretera Querétaro-Galindo, Sanfandila, mpio de Pedro Escobedo, Querétaro 76700

Localización del banco:	Mezcla 1
Descripción de la muestra:	CH-CL
Identificación de la muestra:	IS-20130807-14
Prueba a realizar:	Módulo de Resiliencia

DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS

Muestra No.:	511, 512, 513				
Número de capas :	8	γ_d promedio (kN/m ³):	13.54	W promedio (%):	30.21
γ_m promedio (kN/m ³):	17.63	Sr (%) promedio:	88.54	θ promedio (%):	41.71



σ_3 (kPa)	σ_d (kPa)	θ (kPa)	M_r (MPa)
14	27	69	71
14	48	90	65
14	69	111	63
14	96	138	61
28	28	112	88
28	49	133	79
28	70	154	75
28	96	180	71
41	28	151	97
41	49	172	86
41	69	192	82
41	96	219	76
55	28	193	103
55	48	213	92
55	69	234	86
55	97	262	80

OBSERVACIONES:
PROCTOR ESTÁNDAR 2% arriba

Figura C.73. Módulos de Resiliencia para el material del banco “Mezcla 1”



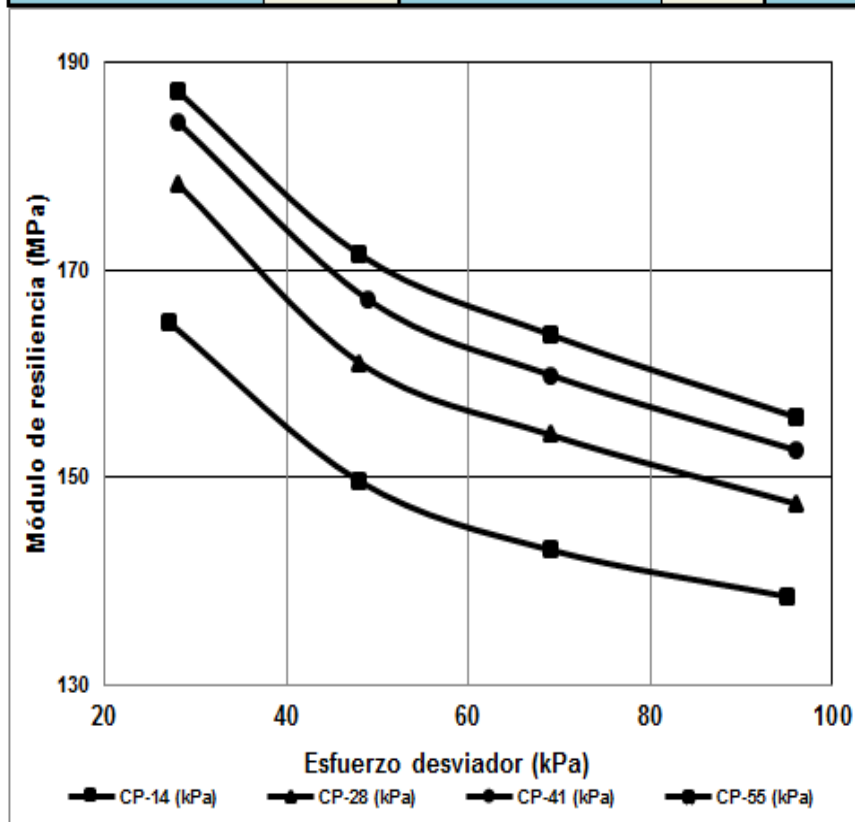
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
DIVISIÓN DE LABORATORIOS
MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES GRANULARES

Km 12+000 carretera Querétaro-Galindo, Sanfandila, mpio de Pedro Escobedo, Querétaro 76700

Localización del banco:	Mezcla 1	
Descripción de la muestra:	CH-CL	
Identificación de la muestra:	IS-20130807-14	
Prueba a realizar:	Módulo de Resiliencia	

DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS

Muestra No.:	516, 523				
Número de capas :	8	γ_d promedio (kN/m ³):	13.63	W promedio (%):	26.17
γ_m promedio (kN/m ³):	17.19	Sr (%) promedio:	77.68	θ promedio (%):	36.35



σ_3 (kPa)	σ_d (kPa)	θ (kPa)	M_r (MPa)
14	27	69	165
14	48	90	150
14	69	111	143
14	95	137	138
28	28	112	178
28	48	132	161
28	69	153	154
28	96	180	147
41	28	151	184
41	49	172	167
41	69	192	160
41	96	219	153
55	28	193	187
55	48	213	171
55	69	234	164
55	96	261	156

OBSERVACIONES:
PROCTOR ESTÁNDAR 2% abajo

Figura C.74. Módulos de Resiliencia para el material del banco “Mezcla 1”



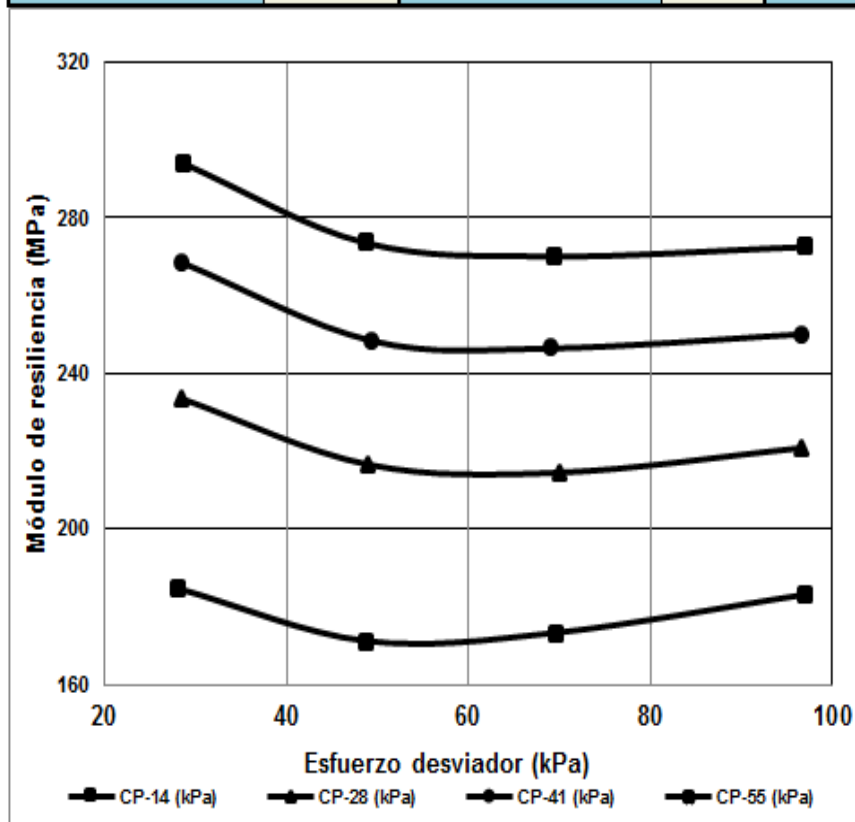
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
DIVISIÓN DE LABORATORIOS
MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES GRANULARES

Km 12+000 carretera Querétaro-Galindo, Sanfandila, mpio de Pedro Escobedo, Querétaro 76700

Localización del banco:	Mezcla 1
Descripción de la muestra:	CH-CL
Identificación de la muestra:	IS-20130807-14
Prueba a realizar:	Módulo de Resiliencia

DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS

Muestra No.:	524, 525, 526				
Número de capas :	8	γ_d promedio (kN/m ³):	15.38	W promedio (%):	21.01
γ_m promedio (kN/m ³):	18.61	Sr (%) promedio:	77.02	θ promedio (%):	32.94



σ_3 (kPa)	σ_d (kPa)	θ (kPa)	M_r (MPa)
14	28	70	185
14	49	91	171
14	70	112	173
14	97	139	183
28	28	112	233
28	49	133	217
28	70	154	214
28	97	181	221
41	28	151	268
41	49	172	248
41	69	192	247
41	97	220	250
55	29	194	294
55	49	214	274
55	69	234	270
55	97	262	273

OBSERVACIONES:
PROCTOR MODIFICADA ÓPTIMO

Figura C.75. Módulos de Resiliencia para el material del banco “Mezcla1”



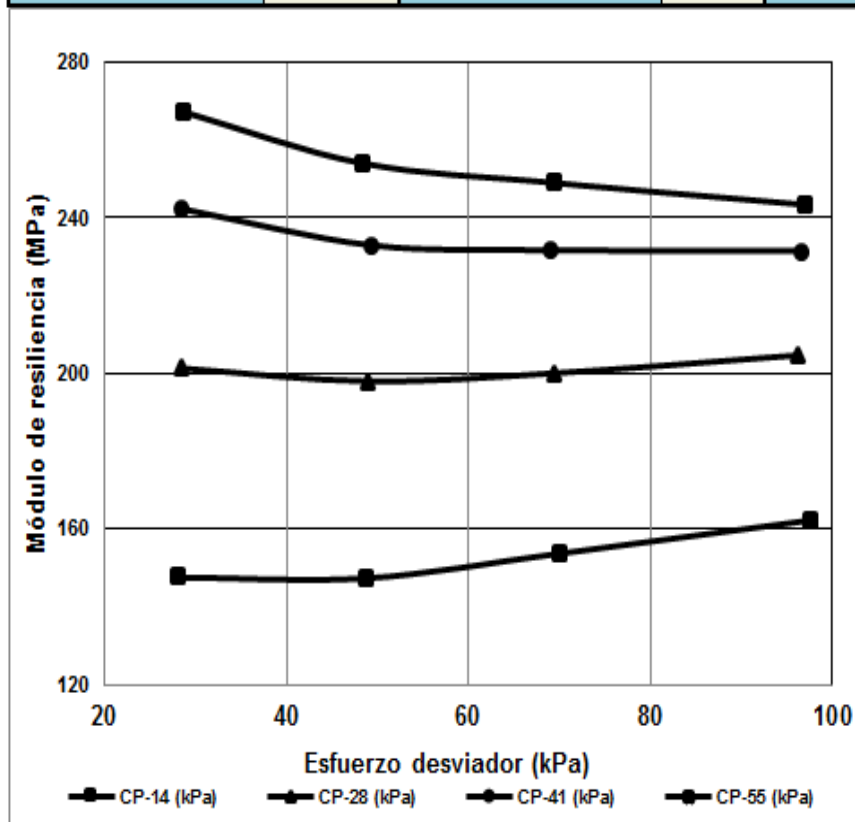
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
DIVISIÓN DE LABORATORIOS
MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES GRANULARES

Km 12+000 carretera Querétaro-Galindo, Sanfandila, mpio de Pedro Escobedo, Querétaro 76700

Localización del banco:	Mezcla 1
Descripción de la muestra:	CH-CL
Identificación de la muestra:	IS-20130807-14
Prueba a realizar:	Módulo de Resiliencia

DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS

Muestra No.:	531, 532, 534				
Número de capas :	8	γ_d promedio (kN/m ³):	15.19	W promedio (%):	22.88
γ_m promedio (kN/m ³):	18.66	Sr (%) promedio:	81.44	θ promedio (%):	35.42



σ_3 (kPa)	σ_d (kPa)	θ (kPa)	M_r (MPa)
14	28	70	148
14	49	91	147
14	70	112	154
14	98	140	162
28	28	112	201
28	49	133	198
28	69	153	200
28	96	180	205
41	28	151	242
41	49	172	233
41	69	192	232
41	97	220	231
55	29	194	267
55	48	213	254
55	69	234	249
55	97	262	244

OBSERVACIONES:
PROCTOR MODIFICADA 2% arriba

Figura C.76. Módulos de Resiliencia para el material del banco “Mezcla1”



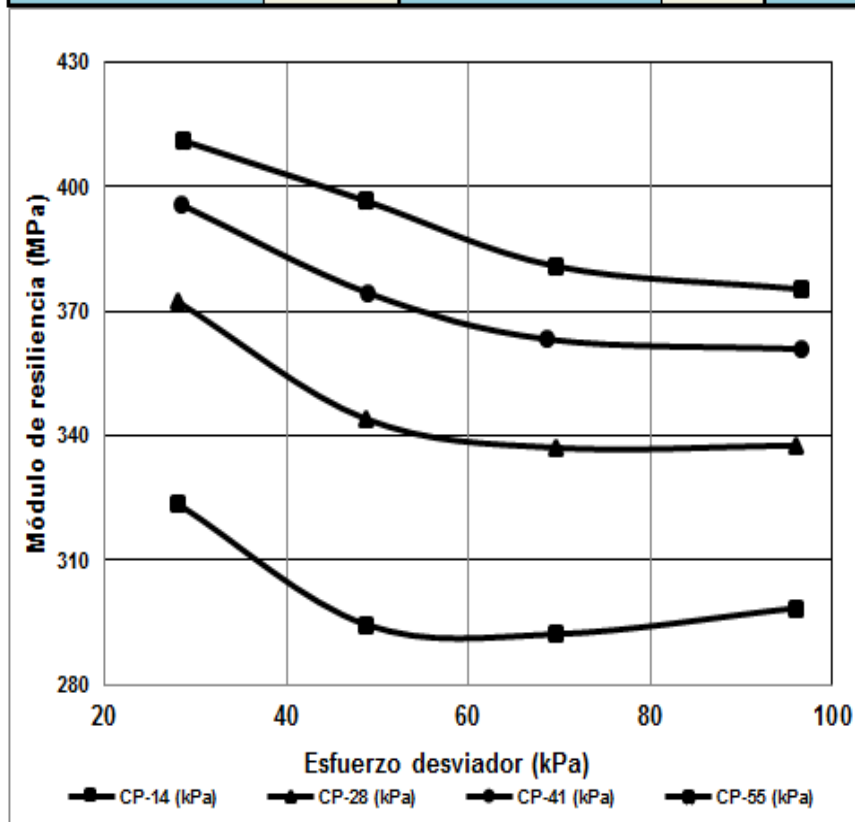
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
DIVISIÓN DE LABORATORIOS
MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES GRANULARES

Km 12+000 carretera Querétaro-Galindo, Sanfandila, mpio de Pedro Escobedo, Querétaro 76700

Localización del banco:	Mezcla 1
Descripción de la muestra:	CH-CL
Identificación de la muestra:	IS-20130807-14
Prueba a realizar:	Módulo de Resiliencia

DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS

Muestra No.:	527, 528, 530				
Número de capas :	8	γ_d promedio (kN/m ³):	15.30	W promedio (%):	18.77
γ_m promedio (kN/m ³):	18.17	Sr (%) promedio:	67.93	θ promedio (%):	29.26



σ_3 (kPa)	σ_d (kPa)	θ (kPa)	M_r (MPa)
14	28	70	324
14	49	91	294
14	70	112	292
14	96	138	298
28	28	112	372
28	49	133	344
28	70	154	337
28	96	180	337
41	28	151	396
41	49	172	374
41	69	192	363
41	97	220	361
55	29	194	411
55	49	214	397
55	70	235	381
55	97	262	375

OBSERVACIONES:
PROCTOR MODIFICADA 2% abajo

Figura C.77. Módulos de Resiliencia para el material del banco “Mezcla 1”



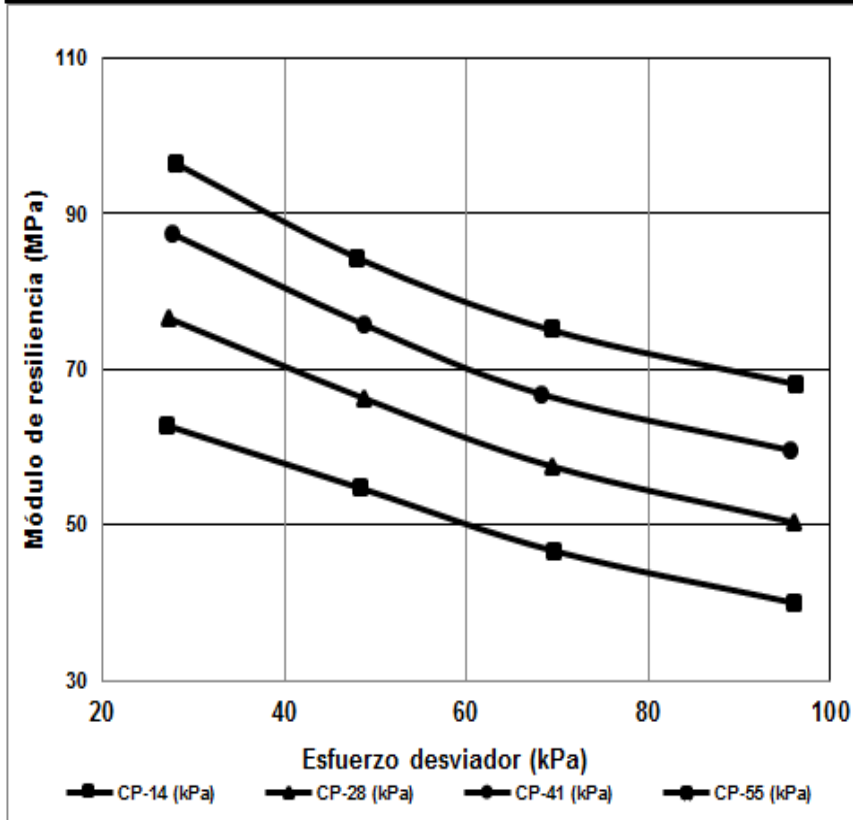
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
DIVISIÓN DE LABORATORIOS
MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES GRANULARES

Km 12+000 carretera Querétaro-Galindo, Sanfandila, mpio de Pedro Escobedo, Querétaro 76700

Localización del banco:	Mezcla 2
Descripción de la muestra:	SC
Identificación de la muestra:	IS-20130822-15
Prueba a realizar:	Módulo de Resiliencia

DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS

Muestra No.:	537,538, 540				
Número de capas :	8	γ_d promedio (kN/m ³):	15.39	W promedio (%):	20.77
γ_m promedio (kN/m ³):	18.59	Sr (%) promedio:	76.26	θ promedio (%):	32.59



σ_3 (kPa)	σ_d (kPa)	θ (kPa)	M_r (MPa)
14	27	69	63
14	48	90	55
14	70	112	47
14	96	138	40
28	27	111	76
28	49	133	66
28	69	153	58
28	96	180	50
41	28	151	87
41	49	172	76
41	68	191	67
41	96	219	60
55	28	193	96
55	48	213	84
55	69	234	75
55	96	261	68

OBSERVACIONES:
PROCTOR ESTÁNDAR ÓPTIMO

Figura C.78. Módulos de Resiliencia para el material del banco “Mezcla 2”



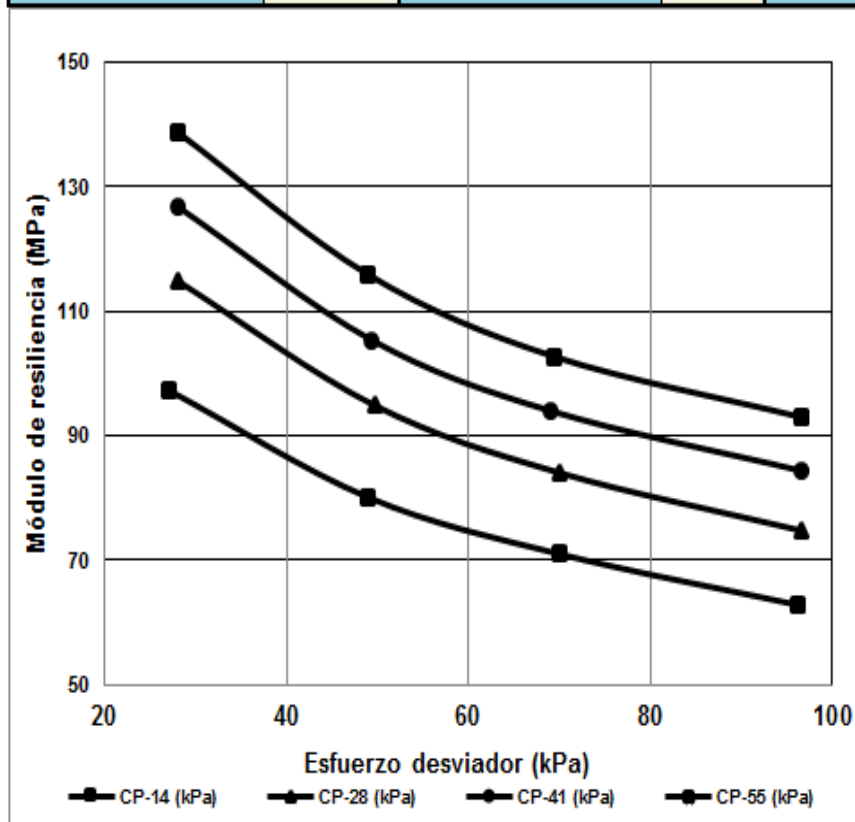
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
DIVISIÓN DE LABORATORIOS
MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES GRANULARES

Km 12+000 carretera Querétaro-Galindo, Sanfandila, mpio de Pedro Escobedo, Querétaro 76700

Localización del banco:	Mezcla 2
Descripción de la muestra:	SC
Identificación de la muestra:	IS-20130822-15
Prueba a realizar:	Módulo de Resiliencia

DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS

Muestra No.:	541, 542, 544				
Número de capas :	8	γ_d promedio (kN/m ³):	15.35	W promedio (%):	18.85
γ_m promedio (kN/m ³):	17.98	Sr (%) promedio:	67.57	θ promedio (%):	29.09



σ_3 (kPa)	σ_d (kPa)	θ (kPa)	M_r (MPa)
14	27	69	97
14	49	91	80
14	70	112	71
14	96	138	63
28	28	112	115
28	50	134	95
28	70	154	84
28	97	181	75
41	28	151	127
41	49	172	105
41	69	192	94
41	97	220	84
55	28	193	139
55	49	214	116
55	69	234	103
55	97	262	93

OBSERVACIONES:
PROCTOR ESTÁNDAR 2% abajo

Figura C.79. Módulos de Resiliencia para el material del banco “Mezcla 2”



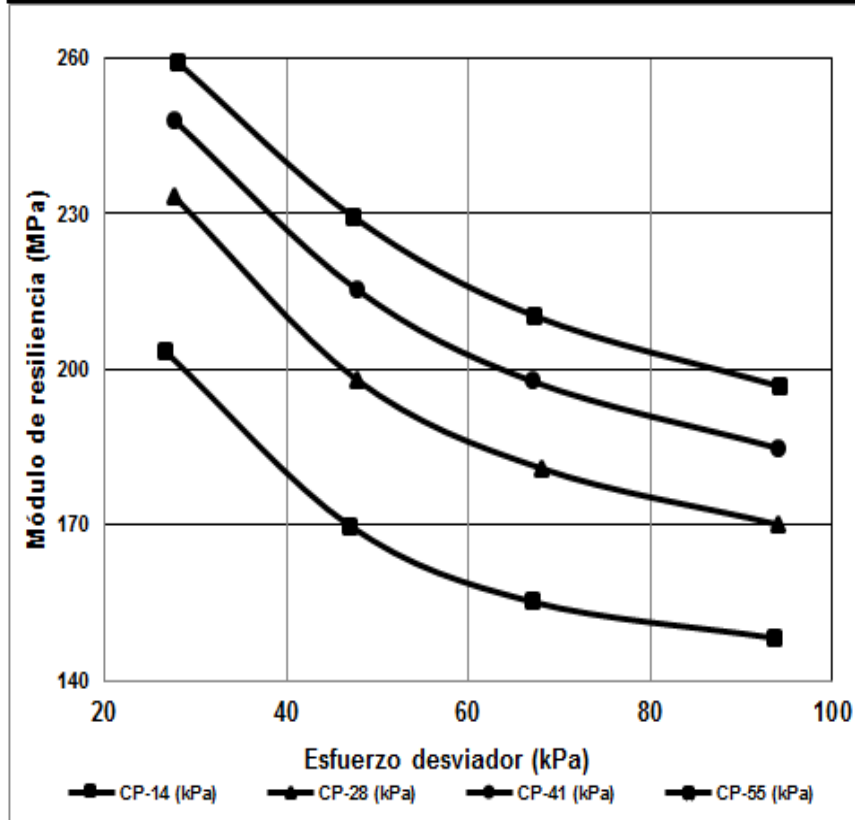
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
DIVISIÓN DE LABORATORIOS
MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES GRANULARES

Km 12+000 carretera Querétaro-Galindo, Sanfandila, mpio de Pedro Escobedo, Querétaro 76700

Localización del banco:	Mezcla 2	
Descripción de la muestra:	SC	
Identificación de la muestra:	IS-20130822-15	
Prueba a realizar:	Módulo de Resiliencia	

DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS

Muestra No.:	551, 556, 558				
Número de capas :	8	γ_d promedio (kN/m ³):	16.98	W promedio (%):	15.59
γ_m promedio (kN/m ³):	19.63	Sr (%) promedio:	73.28	θ promedio (%):	26.98



σ_3 (kPa)	σ_d (kPa)	θ (kPa)	M_r (MPa)
14	27	69	203
14	47	89	170
14	67	109	155
14	94	136	148
28	28	112	233
28	48	132	198
28	68	152	181
28	94	178	170
41	28	151	248
41	48	171	216
41	67	190	198
41	94	217	185
55	28	193	259
55	47	212	229
55	67	232	210
55	94	259	197

OBSERVACIONES:
PROCTOR MODIFICADA óptimo

Figura C.80. Módulos de Resiliencia para el material del banco “Mezcla 2”



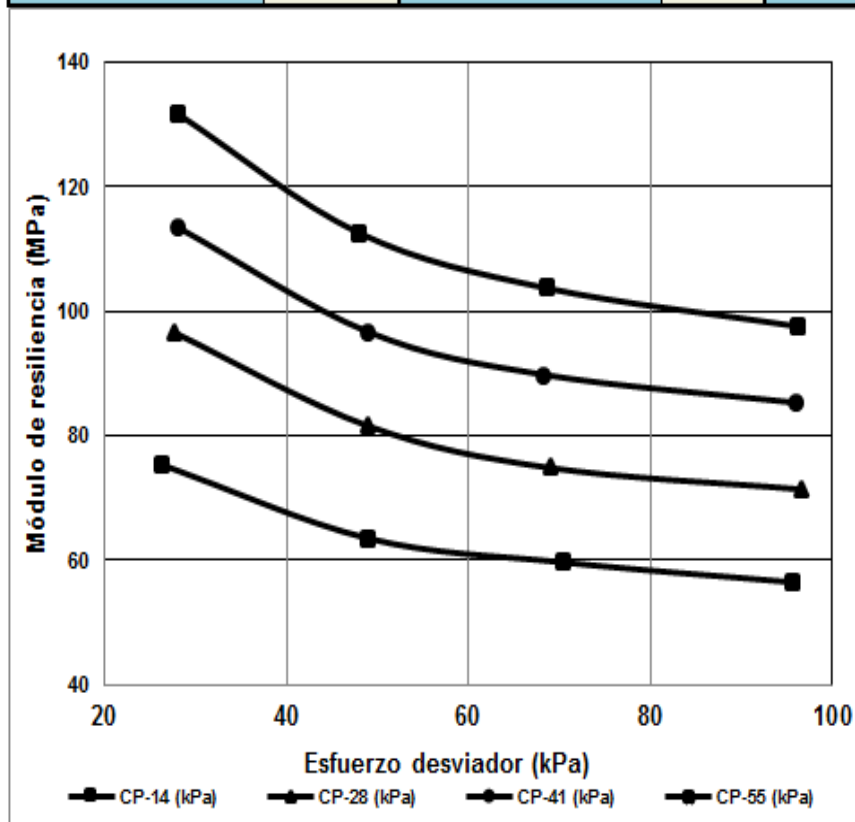
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
DIVISIÓN DE LABORATORIOS
MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES GRANULARES

Km 12+000 carretera Querétaro-Galindo, Sanfandila, mpio de Pedro Escobedo, Querétaro 76700

Localización del banco:	Mezcla 2	
Descripción de la muestra:	SC	
Identificación de la muestra:	IS-20130822-15	
Prueba a realizar:	Módulo de Resiliencia	

DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS

Muestra No.:	553, 554, 555				
Número de capas :	8	γ_d promedio (kN/m ³):	16.83	W promedio (%):	17.79
γ_m promedio (kN/m ³):	19.81	Sr (%) promedio:	81.55	θ promedio (%):	30.50



σ_3 (kPa)	σ_d (kPa)	θ (kPa)	M_r (MPa)
14	26	68	75
14	49	91	63
14	70	112	60
14	96	138	56
28	28	112	96
28	49	133	82
28	69	153	75
28	97	181	71
41	28	151	113
41	49	172	97
41	68	191	90
41	96	219	85
55	28	193	132
55	48	213	113
55	69	234	104
55	96	261	98

OBSERVACIONES:
PROCTOR MODIFICADA 2% arriba

Figura C.81. Módulos de Resiliencia para el material del banco “Mezcla 2”



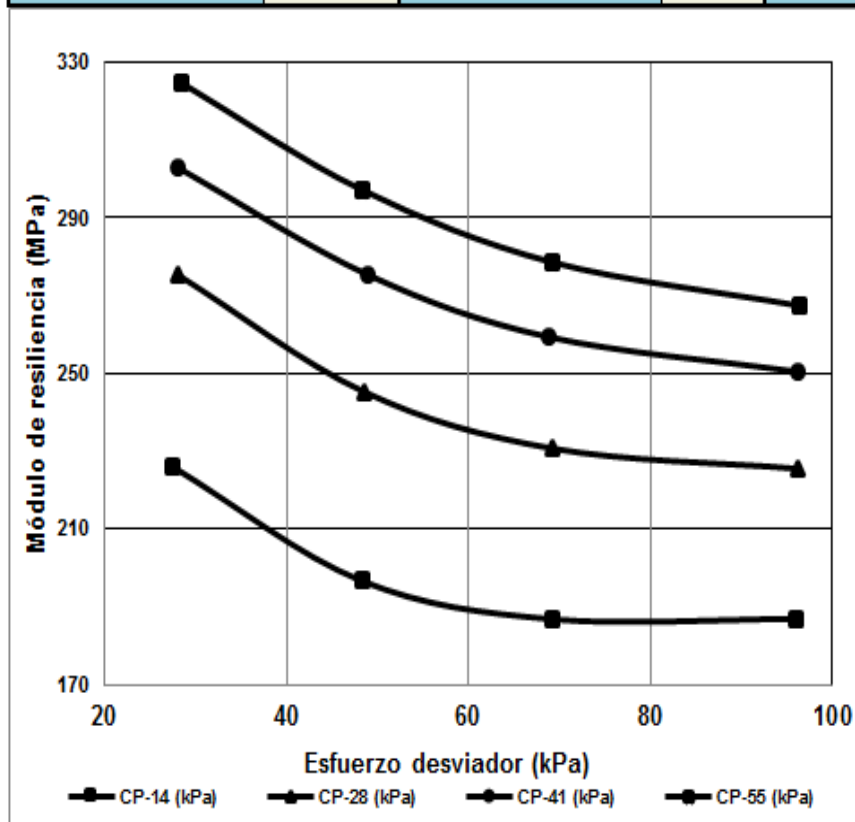
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
DIVISIÓN DE LABORATORIOS
MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES GRANULARES

Km 12+000 carretera Querétaro-Galindo, Sanfandila, mpio de Pedro Escobedo, Querétaro 76700

Localización del banco:	Mezcla 2	
Descripción de la muestra:	SC	
Identificación de la muestra:	IS-20130822-15	
Prueba a realizar:	Módulo de Resiliencia	

DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS

Muestra No.:	560, 561, 562, 563				
Número de capas :	8	γ_d promedio (kN/m ³):	16.80	W promedio (%):	13.79
γ_m promedio (kN/m ³):	19.12	Sr (%) promedio:	63.02	θ promedio (%):	23.62



σ_3 (kPa)	σ_d (kPa)	θ (kPa)	M_r (MPa)
14	28	70	226
14	48	90	197
14	69	111	187
14	96	138	187
28	28	112	275
28	49	133	245
28	69	153	231
28	96	180	226
41	28	151	303
41	49	172	275
41	69	192	259
41	96	219	250
55	29	194	325
55	48	213	297
55	69	234	278
55	97	262	267

OBSERVACIONES:
PROCTOR MODIFICADA 2% abajo

Figura C.82. Módulos de Resiliencia para el material del banco “Mezcla 2”



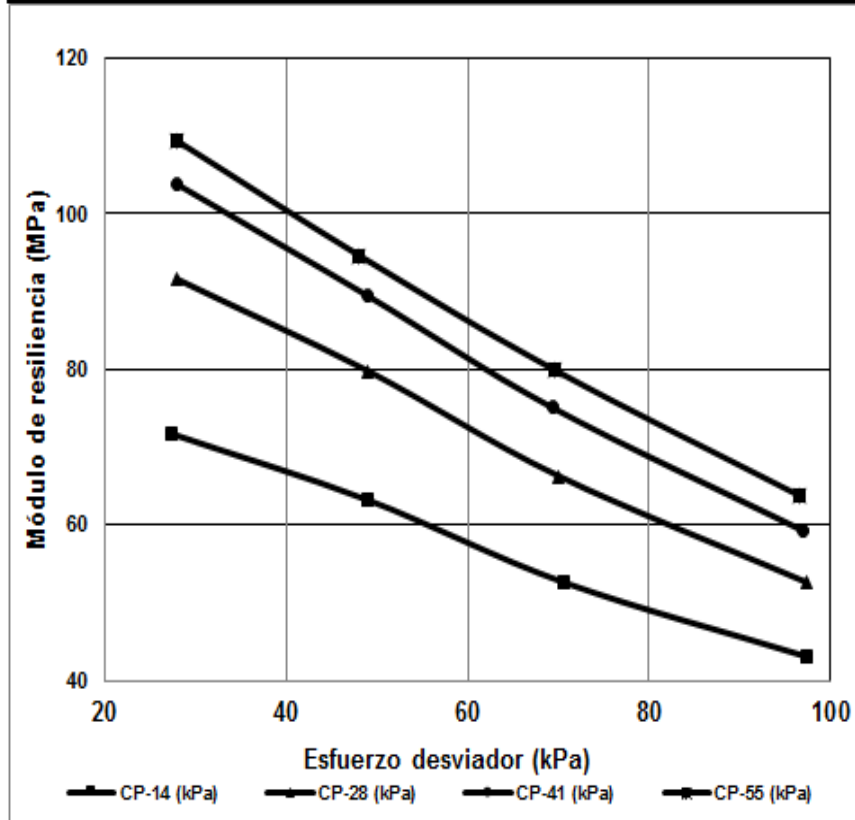
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
DIVISIÓN DE LABORATORIOS
MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES GRANULARES

Km 12+000 carretera Querétaro-Galindo, Sanfandila, mpio de Pedro Escobedo, Querétaro 76700

Localización del banco:	Jalisco
Descripción de la muestra:	CH-MH
Identificación de la muestra:	IS-20120207-01
Prueba a realizar:	Módulo de Resiliencia

DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS

Muestra No.:	357-1,358-1,360-1				
Número de capas :	8	γ_d promedio (kN/m ³):	14.22	W promedio (%):	28.95
γ_m promedio (kN/m ³):	18.34	Sr (%) promedio:	89.88	θ promedio (%):	41.97



σ_3 (kPa)	σ_0 (kPa)	θ (kPa)	M_r (MPa)
14	27	69	72
14	49	91	63
14	71	113	53
14	97	139	43
28	28	112	92
28	49	133	80
28	70	154	66
28	97	181	53
41	28	151	104
41	49	172	89
41	69	192	75
41	97	220	59
55	28	193	109
55	48	213	95
55	70	235	80
55	97	262	64

OBSERVACIONES:
PROCTOR ESTÁNDAR ÓPTIMO

Figura C.83. Módulos de Resiliencia para el material del banco “Jalisco (roja)”



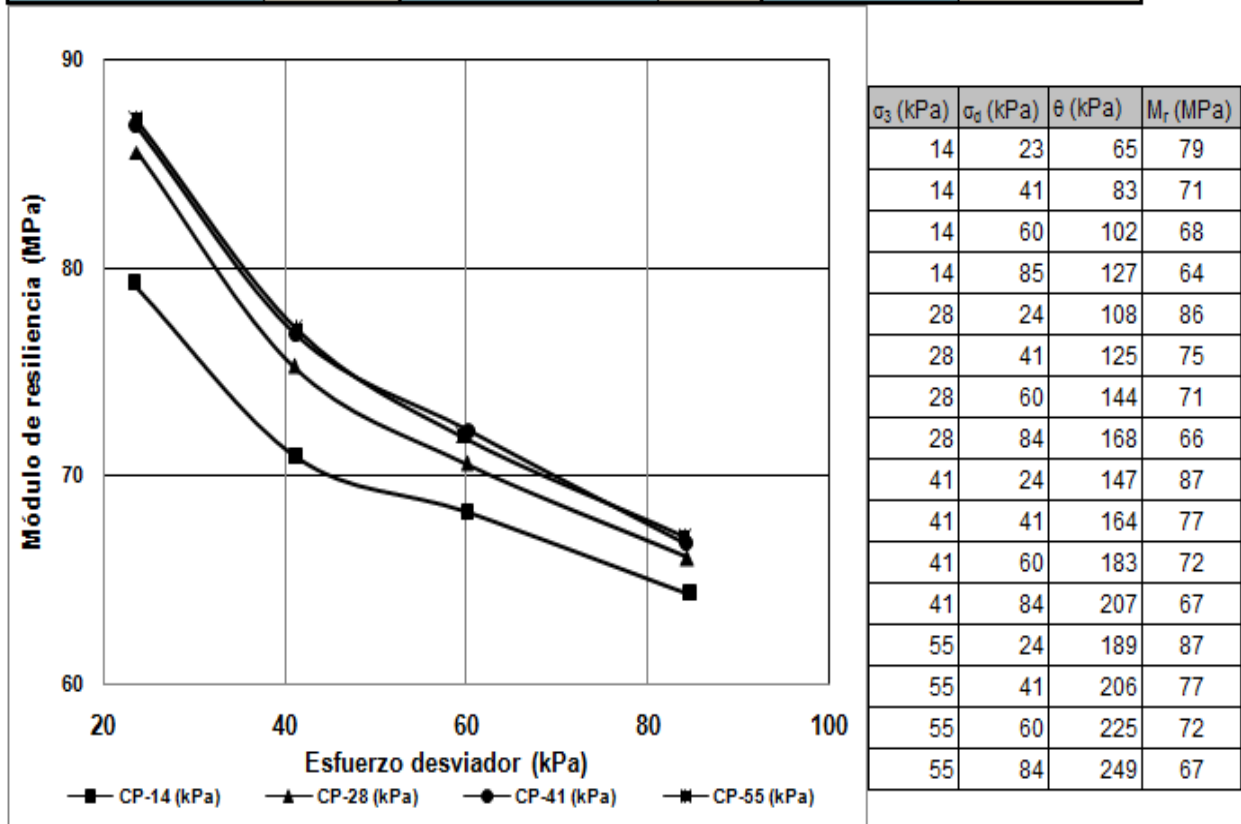
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
DIVISIÓN DE LABORATORIOS
MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES GRANULARES

Km 12+000 carretera Querétaro-Galindo, Sanfandila, mpio de Pedro Escobedo, Querétaro 76700

Localización del banco:	Jalisco
Descripción de la muestra:	Arcilla Negra "CH"
Identificación de la muestra:	IS-20090227-02
Prueba a realizar:	Módulo de Resiliencia

DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS

Muestra No.:	41, 42, 44				
Número de capas :	8	γ_o promedio (kN/m ³):	12.49	W promedio (%):	35.93
γ_m promedio (kN/m ³):	16.98	Sr (%) promedio:	85.53	θ promedio (%):	45.77



OBSERVACIONES:
PROCTOR ESTÁNDAR ÓPTIMO

Figura C.84. Módulos de Resiliencia para el material del banco "Jalisco (negra)"



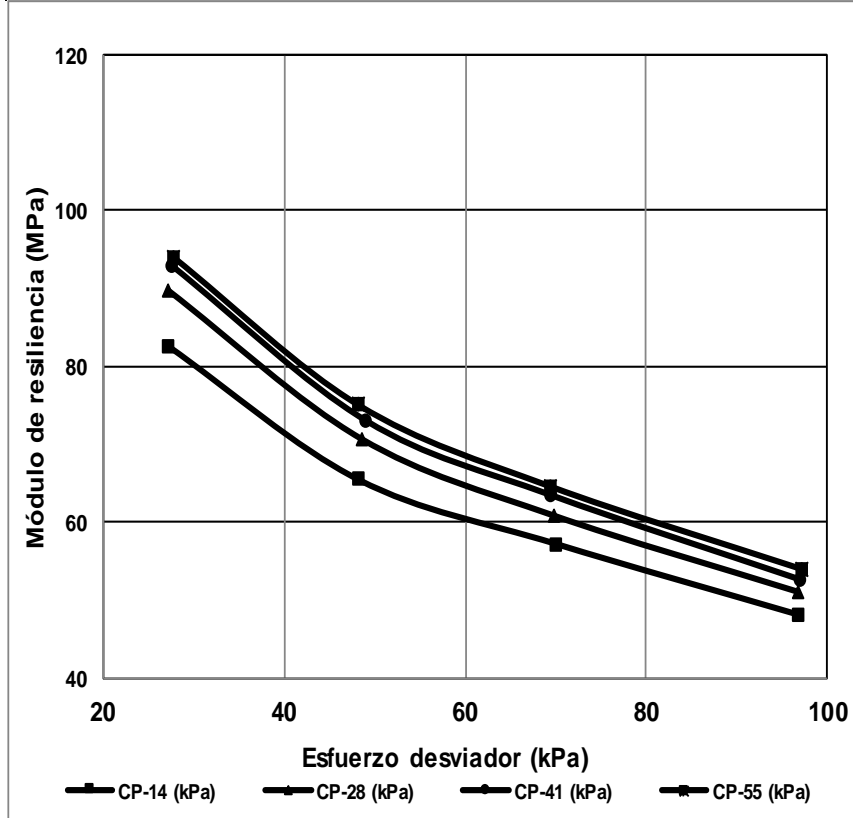
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
DIVISIÓN DE LABORATORIOS
MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES GRANULARES

Km 12+000 carretera Querétaro-Galindo, Sanfandila, mpio de Pedro Escobedo, Querétaro 76700

Localización del banco:	IMT
Descripción de la muestra:	Arcilla "CH"
Identificación de la muestra:	IS-20090720-14
Prueba a realizar:	Módulo de Resiliencia

DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS

Muestra No.:	197-1, 198-1, 199-1, 200-1				
Número de capas :	8	γ_d promedio (kN/m ³):	13.51	W promedio (%):	30.08
γ_m promedio (kN/m ³):	17.58	Sr (%) promedio:	87.72	θ promedio (%):	41.43



σ_3 (kPa)	σ_d (kPa)	θ (kPa)	M_r (MPa)
14	27	69	83
14	48	90	66
14	70	112	57
14	97	139	48
28	27	111	90
28	49	133	71
28	70	154	61
28	97	181	51
41	28	151	93
41	49	172	73
41	70	193	63
41	97	220	53
55	28	193	94
55	48	213	75
55	70	235	65
55	97	262	54

OBSERVACIONES:
PROCTOR ESTÁNDAR ÓPTIMO

Figura C.85. Módulos de Resiliencia para el material del banco "Arcilla IMT"

ANEXO D
RESISTENCIA A COMPRESIÓN NO CONFINADA

Tabla D.1. Resistencia a la presión no confinada
(Proctor estándar, contenido de agua óptimo)

Especimen No.	Banco de Material	Características de Probeta								Falla		Falla (prom)	
		d (cm)	h (cm)	Masa muestra (g)	Vol. prom (cm)	γ_m (kN/m ³)	γ_d (kN/m ³)	W prom (%)	γ_d prom (kN/m ³)	σ máx (Kpa)	ε (%)	σ máx (Kpa)	ε (%)
6	La Venta	70.46	143.39	949.86	559.11	16.67	12.51	33.26	12.49	298	1.8	289	2.0
7	La Venta	70.76	143.53	956.08	564.43	16.62	12.47			298	1.6		
19	La Venta	70.49	143.59	950.09	560.36	16.63	12.48			270	2.5		
198	Santa Rosa	70.47	143.55	1018.52	559.94	17.84	14.04	27.23	13.99	310	4.0	324	3.5
199	Santa Rosa	70.60	143.65	1020.00	562.40	17.79	14.00			325	3.0		
200	Santa Rosa	70.60	143.56	1021.52	562.00	17.83	14.01			320	3.5		
201	Santa Rosa	70.60	143.59	1016.12	562.11	17.73	13.92			340	3.5		
249	La Cañada	70.66	143.67	983.00	563.44	17.12	13.08	31.27	13.07	390	3.2	377	3.4
250	La Cañada	70.74	143.71	987.55	564.75	17.15	13.04			360	3.3		
252	La Cañada	70.77	143.67	991.41	565.21	17.21	13.10			380	3.8		
344	Pedro Escobedo	70.64	143.52	972.66	562.42	16.97	12.69	33.71	12.70	400	1.4	363	1.5
345	Pedro Escobedo	70.70	143.50	971.51	563.35	16.92	12.65			350	1.1		
350	Pedro Escobedo	70.51	143.54	974.62	560.55	17.06	12.76			340	1.9		
446	Pueblo Nuevo	70.80	143.72	1056.75	565.76	18.32	15.01	22.05	14.94	290	4.0	278	4.0
447	Pueblo Nuevo	70.81	143.68	1044.60	565.78	18.11	14.84			240	3.6		
448	Pueblo Nuevo	70.78	143.60	1053.00	565.01	18.28	14.98			290	4.3		
449	Pueblo Nuevo	70.80	143.61	1049.95	565.34	18.22	14.93			290	3.9		
85	San José	70.44	142.60	1015.33	555.71	17.92	14.89	20.34	14.74	95	0.5	92	0.7
88	San José	70.62	142.93	1017.34	559.85	17.83	14.82			87	0.5		
89	San José	70.87	143.31	1014.76	565.32	17.61	14.64			90	1.0		
92	San José	70.94	143.18	1014.74	565.92	17.59	14.61			95	0.7		

Tabla D.2. Resistencia a la presión no confinada
(Proctor estándar, contenido de agua óptimo)

Especimen No.	Banco de Material	Características de Probeta								Falla		Falla (prom)	
		d (cm)	h (cm)	Masa muestra (g)	Vol. prom (cm)	γ_m (kN/m ³)	γ_d (kN/m ³)	W prom (%)	γ_d prom (kN/m ³)	σ máx (Kpa)	ε (%)	σ máx (Kpa)	ε (%)
323	Los Cues	70.75	143.74	995.00	565.11	17.27	13.97	23.77	13.98	70	0.3	190	1.2
324	Los Cues	70.93	143.75	997.00	568.05	17.22	13.94			170	1.2		
325	Los Cues	70.72	143.85	1001.00	565.06	17.38	14.04			200	1.2		
326	Los Cues	70.77	143.92	1000.32	566.07	17.34	13.96			200	1.1		
238	Terminal Autobuses	70.79	143.76	960.71	565.81	16.66	12.23	36.57	12.21	375	2.9	378	2.9
243	Terminal Autobuses	70.67	143.66	957.24	563.44	16.67	12.18			345	2.9		
244	Terminal Autobuses	70.76	143.67	960.90	564.93	16.69	12.20			415	3.0		
135	La Galera	70.65	143.65	990.20	563.15	17.25	12.93	33.41	12.92	280	4.3	270	5
137	La Galera	70.57	143.53	990.06	561.44	17.30	12.96			260	5.0		
297	Misha	70.86	143.59	989.46	566.20	17.14	13.04	31.65	13.03	255	3.9	257	3.5
298	Misha	70.65	143.61	986.18	562.92	17.19	13.07			255	3.4		
299	Misha	70.86	143.54	989.14	566.13	17.14	12.99			260	3.1		
413	Aeropuerto	70.70	143.62	953.85	563.77	16.60	12.16	36.31	12.19	235	2.8	232	2.6
416	Aeropuerto	70.54	143.78	950.08	561.86	16.59	12.18			240	2.3		
419	Aeropuerto	70.61	143.68	956.04	562.57	16.67	12.24			220	2.7		
393	Comercial Mexicana	70.88	140.64	920.91	554.94	16.28	12.81	28.41	12.69	170	1.2	163	1.4
396	Comercial Mexicana	71.13	140.52	924.72	558.35	16.25	12.68			160	1.5		
397	Comercial Mexicana	70.90	140.35	923.10	554.06	16.34	12.69			160	1.5		

Tabla D.3. Resistencia a la presión no confinada
(Proctor estándar, contenido de agua óptimo)

Especimen No.	Banco de Material	Características de Probeta								Falla		Falla (prom)	
		d (cm)	h (cm)	Masa muestra (g)	Vol. prom (cm)	γ_m (kN/m ³)	γ_d (kN/m ³)	W prom (%)	γ_d prom (kN/m ³)	σ máx (Kpa)	ε (%)	σ máx (Kpa)	ε (%)
151	Jalisco (Negra)	70.83	143.99	988.49	567.36	17.09	12.55	16.98	12.49	340	5.0	310	4.7
152-42	Jalisco (Negra)	70.83	143.99	988.49	567.36	17.09	12.55			280	4.5		
153-44	Jalisco (Negra)	70.92	144.17	976.97	569.51	16.83	12.38			310	4.5		
474	Laderas San Pedro	70.62	143.77	917.77	563.14	15.99	11.50	39.02	11.57	470	1.8	480	1.6
475	Laderas San Pedro	70.64	143.54	919.89	562.56	16.04	11.54			470	1.5		
476	Laderas San Pedro	70.50	143.59	920.21	560.52	16.11	11.61			490	1.5		
477	Laderas San Pedro	70.61	143.57	926.99	562.20	16.18	11.61			490	1.7		
507	Mezcla 1	70.75	143.77	1003.67	565.21	17.42	13.63	27.81	13.63	360	2.2	353	2.0
508	Mezcla 1	70.92	143.60	1004.52	567.26	17.37	13.57			330	1.8		
510	Mezcla 1	70.63	143.56	1002.37	562.47	17.48	13.70			360	2.0		
515	Mezcla 1	70.55	143.50	993.50	560.97	17.37	13.60			360	1.9		
537	Mezcla 2	70.50	143.64	1066.30	560.72	18.66	15.46	20.77	15.39	130	1.9	133	2.1
538	Mezcla 2	70.74	143.66	1070.90	564.62	18.61	15.39			130	2.5		
540	Mezcla 2	70.53	143.70	1058.70	561.43	18.50	15.32			140	1.8		
197-1	Arcilla IMT	70.80	143.70	1017.40	565.74	17.64	13.56	30.08	13.51	280	5.8	276	5.0
198-1	Arcilla IMT	70.70	143.40	1011.00	562.96	17.62	13.55			270	5.0		
199-1	Arcilla IMT	70.80	143.60	1006.80	565.34	17.47	13.42			270	5.0		
200-1	Arcilla IMT	70.80	143.50	1011.90	564.95	17.57	13.52			285	4.0		
357-1	Jalisco (Roja)	70.60	144.00	1056.00	563.72	18.38	14.28	28.95	14.22	210	5.1	215	5.8
358-1	Jalisco (Roja)	70.70	143.90	1059.00	564.92	18.39	14.23			220	6.5		

Tabla D.4. Resistencia a la presión no confinada
(Proctor estándar, 2% arriba)

Especimen No.	Banco de Material	Características de Probeta								Falla		Falla (prom)	
		d (cm)	h (cm)	Masa muestra (g)	Vol. prom (cm)	γ_m (kN/m ³)	γ_d (kN/m ³)	W prom (%)	γ_d prom (kN/m ³)	σ máx (Kpa)	ϵ (%)	σ máx (Kpa)	ϵ (%)
126	La Venta	70.58	143.55	969.45	561.64	16.93	12.47	35.38	12.54	260	2.90	271	3.4
127	La Venta	70.66	143.48	972.95	562.64	16.96			12.54	280	2.90		
130	La Venta	70.66	143.48	972.95	562.64	16.96			12.54	275	4.00		
131	La Venta	70.62	143.44	974.77	561.85	17.02			12.54	270	3.75		
209	Santa Rosa	70.663	143.64	1020.90	563.31	17.78	13.74	29.20	13.75	280	5.00	290	4.8
210	Santa Rosa	70.74	143.55	1021.36	564.19	17.76			13.75	290	4.50		
212	Santa Rosa	70.763	143.57	1022.79	564.65	17.77			13.75	300	5.00		
257	La Cañada	70.55	143.77	992.51	562.01	17.32	13.03	32.85	13.02	325	4.80	350	4.2
258	La Cañada	70.543	143.83	992.00	562.16	17.31			13.02	375	4.00		
259	La Cañada	70.593	143.72	988.70	562.50	17.24			13.02	350	3.90		
354	Pedro Escobedo	70.657	143.63	967.21	563.17	16.85	12.41	35.71	12.44	295	2.00	292	1.8
355	Pedro Escobedo	70.787	143.64	975.60	565.29	16.93			12.44	310	1.90		
356	Pedro Escobedo	70.643	143.50	966.84	562.45	16.86			12.44	270	1.40		
450	Pueblo Nuevo	70.657	143.83	1061.46	563.96	18.46	14.85	24.20	14.88	240	8.00	233	6.7
452	Pueblo Nuevo	70.673	143.80	1060.93	564.09	18.45			14.88	210	4.00		
453	Pueblo Nuevo	70.743	143.58	1066.96	564.37	18.55			14.88	250	8.00		
330	Los Cues	70.62	144.00	998.12	564.04	17.36	13.80	25.59	13.85	160	1.10	160	1.0
333	Los Cues	70.58	143.69	998.70	562.20	17.43			13.85	160	0.80		
334	Los Cues	70.74	143.86	1003.50	565.42	17.41			13.85	160	1.10		

Tabla D.5. Resistencia a la presión no confinada
(Proctor estándar, 2% arriba)

Especimen No.	Banco de Material	Características de Probeta								Falla		Falla (prom)	
		d (cm)	h (cm)	Masa muestra (g)	Vol. prom (cm)	γ_m (kN/m ³)	γ_d (kN/m ³)	W prom (%)	γ_d prom (kN/m ³)	σ máx (Kpa)	ε (%)	σ máx (Kpa)	ε (%)
262	Terminal Autobuses	70.677	143.56	963.88	563.20	16.79	12.15	38.13	12.23	435	3.00	407	3.2
264	Terminal Autobuses	70.593	143.61	969.54	562.09	16.92			12.23	390	3.00		
265	Terminal Autobuses	70.653	143.58	969.81	562.94	16.90			12.23	395	3.50		
156	La Galera	70.61	143.91	994.07	563.58	17.30	12.79	35.51	12.77	305	6.50	278	6.7
157	La Galera	70.63	143.95	993.40	564.07	17.28			12.77	290	5.80		
179	La Galera	70.74	143.65	996.76	564.63	17.32			12.77	240	7.80		
307	Misha	70.98	143.73	998.21	568.78	17.22	12.89	33.70	12.96	270	5.30	258	5.3
308	Misha	70.88	143.97	1001.20	568.09	17.29			12.96	260	5.70		
309	Misha	70.66	143.77	1000.20	563.71	17.41			12.96	260	4.50		
310	Misha	70.62	143.82	997.88	563.29	17.38			12.96	240	5.50		
436	Aeropuerto	70.69	143.70	971.35	563.99	16.90	12.23	38.22	12.22	245	5.00	225	4.6
437	Aeropuerto	70.79	143.78	973.13	565.88	16.87			12.22	205	4.50		
438	Aeropuerto	70.74	143.59	971.46	564.36	16.89			12.22	250	4.50		
439	Aeropuerto	70.72	143.64	973.62	564.21	16.93			12.22	200	4.20		
481	Laderas San Pedro	70.75	143.60	936.31	564.54	16.27	11.54	41.05	11.51	480	2.00	470	1.8
482	Laderas San Pedro	70.73	143.57	932.40	564.11	16.21			11.51	470	1.70		
483	Laderas San Pedro	70.81	143.70	936.31	565.90	16.23			11.51	460	1.75		
511	Mezcla 1	70.60	143.5	1014.65	561.76	17.72	13.60	30.21	13.54	270	4.00	267	4.1
512	Mezcla 1	70.72	143.49	1003.4	563.63	17.46			13.54	260	4.20		
513	Mezcla 1	70.67	143.61	1016.91	563.31	17.71			13.54	270	2.50		

Tabla D.6. Resistencia a la presión no confinada
(Proctor estándar, 2% abajo)

Especimen No.	Banco de Material	Características de Probeta								Falla		Falla (prom)	
		d (cm)	h (cm)	Masa muestra (g)	Vol. prom (cm)	γ_m (kN/m ³)	γ_d (kN/m ³)	W prom (%)	γ_d prom (kN/m ³)	σ máx (Kpa)	ϵ (%)	σ máx (Kpa)	ϵ (%)
33	La Venta	70.66	143.55	944.46	562.91	16.46	12.53	31.19	12.52	340	1.5	343	1.4
34	La Venta	71.03	143.60	946.79	569.02	16.32	12.44			340	1.4		
90	La Venta	70.59	143.59	942.85	561.95	16.46	12.55			330	1.3		
91	La Venta	70.69	143.79	945.90	564.33	16.44	12.55			360	1.4		
203	Santa Rosa	70.63	143.73	992.62	563.18	17.29	13.76	25.50	13.91	350	2.0	374	2.1
205	Santa Rosa	70.67	143.61	1002.41	563.36	17.46	13.91			365	2.0		
206	Santa Rosa	70.66	143.74	1006.70	563.60	17.52	13.97			380	2.3		
207	Santa Rosa	70.64	143.58	1006.32	562.73	17.54	13.99			400	2.3		
253	La Cañada	70.74	143.81	969.50	565.14	16.83	13.07	28.89	13.09	440	2.2	415	2.4
254	La Cañada	70.86	143.74	972.12	566.80	16.83	13.07			390			
255	La Cañada	70.60	143.81	972.35	562.99	16.94	13.11			420	2.5		
256	La Cañada	70.51	143.80	968.21	561.57	16.91	13.13			410	2.4		
348	Pedro Escobedo	70.57	143.55	946.06	561.47	16.53	12.55	31.94	12.52	400	1.1	397	1.3
352	Pedro Escobedo	70.59	143.51	945.55	561.64	16.52	12.54			400	1.4		
353	Pedro Escobedo	70.72	143.58	949.99	564.00	16.52	12.48			390	1.3		
456	Pueblo Nuevo	70.72	143.71	1032.56	564.56	17.94	14.95	20.39	14.87	360	2.2	325	2.2
457	Pueblo Nuevo	70.72	143.74	1028.98	564.55	17.88	14.77			305	2.4		
463	Pueblo Nuevo	70.65	143.65	1025.60	563.13	17.87	14.88			310	2.0		

Tabla D.7. Resistencia a la presión no confinada
(Proctor estándar, 2% abajo)

Especimen No.	Banco de Material	Características de Probeta								Falla		Falla (prom)	
		d (cm)	h (cm)	Masa muestra (g)	Vol. prom (cm)	γ_m (kN/m ³)	γ_d (kN/m ³)	W prom (%)	γ_d prom (kN/m ³)	σ máx (Kpa)	ϵ (%)	σ máx (Kpa)	ϵ (%)
77	San José	70.78	143.55	994.20	564.83	17.27	14.58	18.78	14.57	138	0.7	117	0.8
94	San José	70.71	143.60	998.87	563.91	17.38	14.58			100	0.8		
96	San José	70.79	143.78	994.36	565.89	17.24	14.52			112	0.8		
97	San José	70.60	143.69	993.22	562.51	17.32	14.59			119	0.8		
335	Los Cues	70.70	143.75	970.97	564.34	16.88	13.91	21.21	13.85	150	0.8	160	0.9
336	Los Cues	70.67	143.80	960.00	564.00	16.70	13.79			170	0.9		
240	Terminal Autobuses	70.59	143.65	932.95	562.26	16.28	12.18	34.13	12.11	450	1.6	422	1.8
241	Terminal Autobuses	70.54	143.56	925.00	561.08	16.17	12.04			390	1.9		
245	Terminal Autobuses	70.62	143.72	933.98	562.99	16.27	12.11			425	1.8		
165	La Galera	70.58	143.64	974.38	561.95	17.01	12.90	31.70	12.88	360	2.5	384	2.3
166	La Galera	70.58	143.64	974.38	561.95	17.01	12.94			390	2.2		
168	La Galera	70.63	143.75	973.02	563.29	16.95	12.88			410	2.2		
170	La Galera	70.75	143.64	971.91	564.77	16.88	12.81			375	2.1		
301	Misha	70.84	143.70	957.20	566.32	16.58	12.79	30.00	12.86	350	1.6	320	1.9
302	Misha	70.68	143.74	962.08	564.03	16.73	12.91			300	2.0		
304	Misha	70.81	143.67	962.10	565.79	16.68	12.87			310	2.0		
423	Aeropuerto	70.75	143.56	935.44	564.35	16.26	12.10	34.38	12.16	255	1.5	305	1.8
426	Aeropuerto	70.61	143.75	944.72	562.85	16.47	12.26			340	2.0		
427	Aeropuerto	70.63	143.71	936.07	563.05	16.31	12.13			320	1.9		

Tabla D.8. Resistencia a la presión no confinada
(Proctor estándar, 2% abajo)

Especimen No.	Banco de Material	Características de Probeta								Falla		Falla (prom)	
		d (cm)	h (cm)	Masa muestra (g)	Vol. prom (cm)	γ_m (kN/m ³)	γ_d (kN/m ³)	W prom (%)	γ_d prom (kN/m ³)	σ máx (Kpa)	ϵ (%)	σ máx (Kpa)	ϵ (%)
400	Comercial Mexicana	70.63	143.03	894.64	560.34	15.66	12.37	26.71	12.37	155	1.5	108	1.1
402	Comercial Mexicana	70.55	143.90	899.90	562.48	15.69	12.36			80	0.8		
403	Comercial Mexicana	70.42	143.68	893.28	559.64	15.66	12.37			90	1.0		
486	Laderas San Pedro	70.83	143.71	901.5	566.26	15.62	11.40	37.02	11.47	475	1.25	510	1.4
487	Laderas San Pedro	70.65	143.48	906.86	562.48	15.82	11.54			510	1.40		
491	Laderas San Pedro	70.81	143.62	906.5	565.58	15.72	11.47			525	1.40		
492	Laderas San Pedro	71.00	143.77	909.9	569.21	15.68	11.44			530	1.60		
516	Mezcla 1	70.66	143.5	988.28	562.72	17.23	13.66	26.17	13.63	410	1.60	395	1.6
523	Mezcla 1	70.51	143.65	980.72	560.92	17.15	13.60			380	1.60		
541	Mezcla 2	70.56	143.69	1029.4	561.87	17.96	15.07	18.85	15.35	120	1.3	147	1.1
542	Mezcla 2	70.50	143.54	1022.1	560.33	17.89	15.08			170	1.1		
544	Mezcla 2	70.50	143.65	1032.2	560.76	18.09	15.26			150	1.0		

Tabla D.9. Resistencia a la presión no confinada
(Proctor modificada, óptimo)

Espécimen No.	Banco de Material	Características de Probeta								Falla	
		d prom. (cm)	h prom. (cm)	Masa muestra (g)	Vol. prom (cm)	γ_m (kN/m ³)	γ_d (kN/m ³)	W prom (%)	γ_d prom (kN/m ³)	σ máx (Kpa)	ϵ (%)
106	San José	70.79	142.72	1060.32	561.72	18.52	15.71	17.93	15.67	180	0.3
107	San José	70.69	143.15	1058.26	561.82	18.48	15.65	17.93	15.67	180	1.20
110	San José	70.77	143.19	1058.33	563.25	18.43	15.64	17.93	15.67	220	1
281	La Cañada	70.74	143.72	1043.75	564.80	18.13	14.95	21.34	14.91	2900	1.7
282	La Cañada	70.76	143.77	1041.25	565.41	18.07	14.90	21.34	14.91	3500	1.6
286	La Cañada	70.91	143.54	1047.4	566.90	18.12	14.93	21.34	14.91	3100	2
287	La Cañada	70.82	143.68	1040.11	565.92	18.03	14.85	21.34	14.91	2050	1.7
372	Pedro Escobedo	70.79	143.62	1060.22	565.25	18.40	14.63	25.74	14.62	2500	1.7
373	Pedro Escobedo	70.86	143.52	1054.76	565.93	18.28	14.55	25.74	14.62	2200	1.9
375	Pedro Escobedo	70.64	143.53	1058.7	562.48	18.46	14.68	25.74	14.62	2300	1.7
342	Los Cues	70.99	143.8	1035.75	569.13	17.85	15.06	18.78	15.09	650	1.5
358	Los Cues	70.86	143.63	1038.44	566.46	17.98	15.13	18.78	15.09	410	1.4
359	Los Cues	70.90	143.62	1036.16	566.97	17.93	15.08	18.78	15.09	550	2
267	Terminal Autobuses	70.89	143.77	1023.59	567.47	17.70	14.00	26.52	14.00	2700	1.3
270	Terminal Autobuses	70.76	143.75	1022.24	565.23	17.74	14.01	26.52	14.00	2800	1.2
404	Comercial Mexicana	70.16	143.82	916.27	556.07	16.16	12.77	26.39	12.77	100	1
405	Comercial Mexicana	70.69	143.5	922.95	563.14	16.08	12.75	26.39	12.77	115	1
407	Comercial Mexicana	70.49	143.83	923.07	561.25	16.13	12.76	26.39	12.77	110	0.9
458	Pueblo Nuevo	70.69	143.54	1107	563.37	19.28	16.32	17.74	16.32	770	3
460	Pueblo Nuevo	70.73	143.6	1105.39	564.24	19.22	16.35	17.74	16.32	860	2.7
461	Pueblo Nuevo	70.97	143.67	1110	568.35	19.16	16.30	17.74	16.32	910	2.4

Tabla D.10. Resistencia a la presión no confinada
(Proctor modificada, óptimo)

Especimen No.	Banco de Material	Características de Probeta								Falla	
		d prom. (cm)	h prom. (cm)	Masa muestra (g)	Vol. prom (cm)	γ_m (kN/m ³)	γ_d (kN/m ³)	W prom (%)	γ_d prom (kN/m ³)	σ máx (Kpa)	ϵ (%)
311	Misha	70.88	143.8	1049	567.25	18.13	14.7	23.39	14.67	2900	1.5
312	Misha	70.79	143.7	1045	565.51	18.12	14.66	23.39	14.67	2500	1.5
313	Misha	70.84	143.6	1042	566.14	18.06	14.66	23.39	14.67	2700	1.5
432	Aeropuerto	70.72	143.67	984.5	564.33	17.11	12.92	32.74	12.93	560	2.4
433	Aeropuerto	70.7	143.74	989.3	564.34	17.2	12.95	32.74	12.93	595	2.7
434	Aeropuerto	70.47	143.55	981.6	559.96	17.2	12.94	32.74	12.93	490	2

Tabla D.11. Resistencia a la presión no confinada
(Proctor modificada, 2% arriba)

Espécimen No.	Banco de Material	Características de Probeta								Falla	
		d prom. (cm)	h prom. (cm)	Masa muestra (g)	Vol. prom (cm)	γ_m (kN/m ³)	γ_d (kN/m ³)	W prom (%)	γ_d prom (kN/m ³)	σ máx (Kpa)	ϵ (%)
230	Santa Rosa	70.77	143.70	1109.39	565.22	19.25	15.92	20.65	15.98	2550	2
231	Santa Rosa	70.51	143.65	1105.78	560.98	19.34	15.98	20.65	15.98	2700	2.30
232	Santa Rosa	70.77	143.69	1110.61	565.23	19.28	15.96	20.65	15.98	3400	2.8
233	Santa Rosa	70.81	143.49	1109.78	565.07	19.27	16.07	20.65	15.98	3250	2.7
288	La Cañada	70.78	143.68	1053.04	565.39	18.27	14.79	23.49	14.79	2600	2.2
290	La Cañada	70.86	143.72	1052.46	566.83	18.21	14.75	23.49	14.79	2600	2.4
291	La Cañada	70.68	143.72	1051.53	563.89	18.29	14.82	23.49	14.79	2600	2.4
384	Pedro Escobedo	70.81	143.59	1058.79	565.46	18.37	14.36	27.64	14.30	1800	1.6
385	Pedro Escobedo	70.67	143.71	1050.67	563.66	18.29	14.33	27.64	14.30	1950	1.6
386	Pedro Escobedo	70.71	143.53	1047.9	563.68	18.24	14.31	27.64	14.30	1500	1.4
387	Pedro Escobedo	70.74	143.60	1042.27	564.45	18.11	14.20	27.64	14.30	1750	1.6
378	Los Cues	70.98	144.08	1044.78	570.08	17.98	14.87	21.00	14.92	450	1.4
380	Los Cues	70.91	144.26	1053.21	569.65	18.14	14.97	21.00	14.92	375	2.2
381	Los Cues	70.95	144.00	1046.99	569.39	18.04	14.91	21.00	14.92	425	1.5
277	Terminal Autobuses	70.77	143.86	1035.95	565.87	17.96	13.96	28.52	13.96	2700	1.8
464	Pueblo Nuevo	70.67	143.69	1110.65	563.62	19.33	16.16	19.65	16.20	580	4.1
465	Pueblo Nuevo	70.61	143.67	1113.65	562.52	19.42	16.22	19.65	16.20	550	4.8
466	Pueblo Nuevo	70.63	143.59	1112.63	562.63	19.40	16.23	19.65	16.20	650	4.6

Tabla D.12. Resistencia a la presión no confinada
(Proctor modificada, 2% arriba)

Especimen No.	Banco de Material	Características de Probeta								Falla	
		d prom. (cm)	h prom. (cm)	Masa muestra (g)	Vol. prom (cm)	γ_m (kN/m ³)	γ_d (kN/m ³)	W prom (%)	γ_d prom (kN/m ³)	σ máx (Kpa)	ϵ (%)
315	Misha	70.89	143.60	1051	566.87	18.18	14.56	24.53	14.61	2400	2
316	Misha	70.85	143.90	1053	567.21	18.21	14.56	24.53	14.61	2300	1.8
317	Misha	70.83	143.80	1051	566.61	18.2	14.71	24.53	14.61	2600	1.7
443	Aeropuerto	70.54	143.91	997.5	562.42	17.4	12.93	34.49	12.93	435	3.6
444	Aeropuerto	70.82	143.83	1003	566.58	17.37	12.91	34.49	12.93	490	2.85
445	Aeropuerto	70.68	143.67	999.5	563.72	17.39	12.94	34.49	12.93	565	3.2

Tabla D.13. Resistencia a la presión no confinada
(Proctor modificada, 2% abajo)

Espécimen No.	Banco de Material	Características de Probeta								Falla	
		d prom. (cm)	h prom. (cm)	Masa muestra (g)	Vol. prom (cm)	γ_m (kN/m ³)	γ_d (kN/m ³)	W prom (%)	γ_d prom (kN/m ³)	σ máx (Kpa)	ϵ (%)
114	San José	70.50	143.77	1034.11	561.23	18.08	15.56	16.10	15.47	280	0.8
115	San José	70.86	143.90	1032.35	567.48	17.85	15.40	16.10	15.47	230	0.95
118	San José	70.75	144.26	1038.38	567.14	17.96	15.46	16.10	15.47	280	0.8
225	Santa Rosa	70.74	143.61	1080.94	564.36	18.79	16.06	16.89	16.03	4600	1.3
227	Santa Rosa	70.55	143.60	1067.4	561.41	18.65	15.96	16.89	16.03	4300	1.4
228	Santa Rosa	70.73	143.59	1079.18	564.24	18.76	16.06	16.89	16.03	4500	1.5
292	La Cañada	70.84	143.83	1021.03	566.88	17.67	14.79	19.43	14.73	3050	1.4
294	La Cañada	70.79	143.84	1012.92	566.18	17.55	14.69	19.43	14.73	2600	1.2
295	La Cañada	70.87	143.79	1015.2	567.16	17.56	14.71	19.43	14.73	2800	1.4
389	Pedro Escobedo	70.47	143.69	1018.25	560.45	17.82	14.43	23.37	14.60	1750	1.6
360	Los Cues	70.86	143.93	1017.26	567.56	17.58	15.03	17.00	15.04	575	1.2
361	Los Cues	70.84	143.91	1013.79	567.15	17.54	15.00	17.00	15.04	455	1.1
376	Los Cues	70.78	143.74	1018	565.63	17.66	15.08	17.00	15.04	580	1.3
280	Terminal Autobuses	70.74	143.63	999	564.46	17.36	13.94	24.56	13.95	2450	1
285	Terminal Autobuses	70.96	143.53	1007.14	567.68	17.40	13.97	24.56	13.95	2500	1.1
429	Comercial Mexicana	70.78	143.93	904.6	566.28	15.67	12.55	24.50	12.56	90	1.4
430	Comercial Mexicana	70.63	143.50	902.34	562.20	15.75	12.62	24.50	12.56	100	1.1
470	Pueblo Nuevo	70.85	143.82	1085.86	567.02	18.79	16.22	15.97	16.15	1050	2.2
471	Pueblo Nuevo	70.81	143.72	1079.4	566.02	18.71	16.14	15.97	16.15	1050	1.7
473	Pueblo Nuevo	70.75	143.60	1076	564.36	18.70	16.1	15.97	16.15	950	1.7

Tabla D.14. Resistencia a la presión no confinada
(Proctor modificada, 2% abajo)

Espécimen No.	Banco de Material	Características de Probeta								Falla	
		d prom. (cm)	h prom. (cm)	Masa muestra (g)	Vol. prom (cm)	γ_m (kN/m ³)	γ_d (kN/m ³)	W prom (%)	γ_d prom (kN/m ³)	σ máx (Kpa)	ϵ (%)
319	Misha	70.77	143.80	1021	565.56	17.71	14.58	21.44	14.62	2750	0.9
321	Misha	70.80	143.60	1028	39.37	17.84	14.7	21.44	14.62	2900	1.2
322	Misha	70.94	143.70	1025	568.04	17.69	14.57	21.44	14.62	3200	1.4
435	Aeropuerto	70.78	143.59	963.7	564.98	16.73	12.82	30.51	12.87	590	1.5
440	Aeropuerto	70.58	143.61	962.2	561.89	16.8	12.87	30.51	12.87	580	1.2
441	Aeropuerto	70.52	143.60	960	560.84	16.79	12.87	30.51	12.87	620	1.2
442	Aeropuerto	70.77	143.77	970.7	565.6	16.84	12.9	30.51	12.87	620	1.6

ANEXO E
CORRELACIÓN FARRAR Y TURNER

Tabla E.1. Correlación Farrar y Turner (proctor estándar, óptimo)

Banco de Material	(psi)															
	Módulo de resiliencia (ensayos)															
	$\sigma_3 = 2.03$				$\sigma_3 = 4.06$				$\sigma_3 = 5.95$				$\sigma_3 = 7.98$			
	σ_d 3.92	σ_d 6.96	σ_d 9.86	σ_d 13.78	σ_d 3.92	σ_d 6.96	σ_d 9.86	σ_d 13.78	σ_d 3.92	σ_d 6.96	σ_d 9.86	σ_d 13.78	σ_d 3.92	σ_d 6.96	σ_d 9.86	σ_d 13.78
La Venta	12.07	11.32	10.99	10.63	13.61	12.45	11.88	11.34	14.08	12.94	12.35	11.72	14.42	13.28	12.64	11.99
Santa Rosa	13.00	12.33	12.05	11.65	15.16	14.16	13.58	12.93	16.23	15.15	14.47	13.69	16.98	15.85	15.11	14.25
La Cañada	13.80	13.13	12.53	11.62	15.80	14.77	13.94	12.86	16.90	15.72	14.81	13.66	17.74	16.47	15.52	14.35
Pedro Escobedo	15.03	13.44	13.00	12.62	18.51	15.56	14.74	13.92	19.72	16.63	15.56	14.65	20.40	17.21	16.10	15.03
Jalisco (Negra)	11.49	10.28	9.89	9.33	12.41	10.91	10.24	9.58	12.58	11.13	10.45	9.67	12.63	11.17	10.42	9.72
Jalisco (Roja)	10.40	9.16	7.62	6.24	13.28	11.57	9.61	7.62	15.05	12.97	10.89	8.59	15.85	13.73	11.58	9.24
Laderas San Pedro	15.84	14.75	14.44	14.39	18.76	17.16	16.50	16.09	20.14	18.34	17.53	16.86	21.21	19.12	17.96	17.29
Arcilla IMT	12.00	9.50	8.30	6.98	13.03	10.26	8.82	7.39	13.49	10.59	9.19	7.61	13.65	10.89	9.37	7.83
Aeropuerto	9.02	8.41	7.74	6.76	10.27	9.47	8.62	7.46	11.01	10.10	9.18	7.98	11.55	10.62	9.68	8.49
La Galera	14.80	12.48	11.26	9.97	15.97	13.58	12.22	10.75	16.79	14.23	12.86	11.33	17.34	14.82	13.39	11.89
T. Autobuses	11.00	11.03	10.91	10.56	13.20	12.91	12.49	11.82	14.45	13.99	13.43	12.59	15.34	14.80	14.10	13.05
Misha	7.26	6.88	6.13	5.32	8.36	7.87	7.01	6.01	9.13	8.56	7.73	6.65	9.82	9.22	8.43	7.37
Pueblo Nuevo	9.94	8.85	7.99	6.98	11.77	10.35	9.21	7.92	12.86	11.24	10.06	8.63	13.87	12.12	10.82	9.36
Banco de Material	Módulo de resiliencia (correlación Farrar y Turner)															
	$\sigma_3 = 2.03$				$\sigma_3 = 4.06$				$\sigma_3 = 5.95$				$\sigma_3 = 7.98$			
	σ_d 3.92	σ_d 6.96	σ_d 9.86	σ_d 13.78	σ_d 3.92	σ_d 6.96	σ_d 9.86	σ_d 13.78	σ_d 3.92	σ_d 6.96	σ_d 9.86	σ_d 13.78	σ_d 3.92	σ_d 6.96	σ_d 9.86	σ_d 13.78
	La Venta	12.53	11.54	10.60	9.32	13.01	12.02	11.08	9.81	13.46	12.47	11.52	10.25	13.94	12.95	12.01
Santa Rosa	10.52	9.53	8.59	7.32	11.00	10.01	9.07	7.80	11.45	10.46	9.52	8.25	11.93	10.94	10.00	8.73
La Cañada	9.54	8.55	7.61	6.33	10.02	9.03	8.09	6.81	10.47	9.48	8.53	7.26	10.95	9.96	9.02	7.74
Pedro Escobedo	10.97	9.98	9.03	7.76	11.45	10.46	9.52	8.24	11.89	10.90	9.96	8.69	12.38	11.39	10.44	9.17
Jalisco (Negra)	14.34	13.35	12.41	11.14	14.83	13.84	12.89	11.62	15.27	14.28	13.34	12.07	15.75	14.76	13.82	12.55
Jalisco (Roja)	9.50	8.51	7.57	6.30	9.99	9.00	8.05	6.78	10.43	9.44	8.50	7.23	10.91	9.92	8.98	7.71
Laderas San Pedro	13.97	12.98	12.03	10.76	14.45	13.46	12.52	11.24	14.90	13.91	12.96	11.69	15.38	14.39	13.44	12.17
Arcilla IMT	10.73	9.74	8.79	7.52	11.21	10.22	9.27	8.00	11.65	10.66	9.72	8.45	12.13	11.14	10.20	8.93
Aeropuerto	11.66	10.67	9.73	8.45	12.14	11.15	10.21	8.94	12.59	11.60	10.65	9.38	13.07	12.08	11.14	9.86
La Galera	10.24	9.25	8.30	7.03	10.72	9.73	8.79	7.51	11.16	10.17	9.23	7.96	11.65	10.66	9.71	8.44
T. Autobuses	9.59	8.60	7.65	6.38	10.07	9.08	8.14	6.86	10.52	9.53	8.58	7.31	11.00	10.01	9.06	7.79
Misha	10.44	9.45	8.51	7.24	10.92	9.93	8.99	7.72	11.37	10.38	9.44	8.16	11.85	10.86	9.92	8.65
Pueblo Nuevo	8.95	7.96	7.01	5.74	9.43	8.44	7.50	6.22	9.88	8.89	7.94	6.67	10.36	9.37	8.42	7.15

Tabla E.2. Correlación Farrar y Turner (proctor estándar, 2% abajo)

Banco de Material	(psi)															
	Módulo de resiliencia (ensayos)															
	$\sigma_3 = 2.03$				$\sigma_3 = 4.06$				$\sigma_3 = 5.95$				$\sigma_3 = 7.98$			
	σ_d 3.92	σ_d 6.96	σ_d 9.86	σ_d 13.78	σ_d 3.92	σ_d 6.96	σ_d 9.86	σ_d 13.78	σ_d 3.92	σ_d 6.96	σ_d 9.86	σ_d 13.78	σ_d 3.92	σ_d 6.96	σ_d 9.86	σ_d 13.78
La Venta	13.07	12.85	12.84	12.75	14.75	14.33	14.12	13.80	15.66	15.11	14.80	14.41	16.28	15.66	15.17	14.78
Santa Rosa	12.44	11.83	11.94	12.20	15.53	14.57	14.50	14.53	17.78	16.60	16.30	16.07	19.61	18.13	17.66	17.22
La Cañada	17.90	15.88	15.01	14.30	20.12	17.90	16.82	15.72	21.22	19.03	17.84	16.53	22.04	19.95	18.60	17.17
Pedro Escobedo	15.02	14.19	13.87	13.62	17.13	15.95	15.38	14.92	18.26	16.89	16.23	15.58	18.91	17.57	16.76	16.05
Laderas San Pedro	15.48	15.08	15.00	15.28	17.94	17.13	16.93	16.96	19.30	18.37	18.10	17.86	19.88	19.14	18.75	18.50
Aeropuerto	13.58	11.64	11.05	10.42	15.43	13.34	12.44	11.53	16.66	14.31	13.30	12.24	17.66	15.16	13.99	12.84
La Galera	20.55	15.52	14.22	13.35	23.57	18.53	16.63	15.27	25.75	20.21	18.13	16.51	26.97	21.63	19.31	17.54
T. Autobuses	20.42	17.74	16.52	15.46	22.03	19.23	17.81	16.54	22.93	20.03	18.63	17.22	23.54	20.64	19.19	17.79
Misha	12.31	11.55	10.79	9.72	13.72	12.90	11.99	10.69	14.75	13.76	12.76	11.42	15.60	14.51	13.48	12.16
Pueblo Nuevo	19.80	15.01	13.38	12.11	23.01	17.72	15.54	13.74	24.42	19.27	16.90	14.78	25.51	20.39	17.90	15.63
Banco de Material	Módulo de resiliencia (correlación Farrar y Turner)															
	$\sigma_3 = 2.03$				$\sigma_3 = 4.06$				$\sigma_3 = 5.95$				$\sigma_3 = 7.98$			
	σ_d 3.92	σ_d 6.96	σ_d 9.86	σ_d 13.78	σ_d 3.92	σ_d 6.96	σ_d 9.86	σ_d 13.78	σ_d 3.92	σ_d 6.96	σ_d 9.86	σ_d 13.78	σ_d 3.92	σ_d 6.96	σ_d 9.86	σ_d 13.78
	La Venta	14.27	13.28	12.34	11.07	14.75	13.76	12.82	11.55	15.20	14.21	13.27	11.99	15.68	14.69	13.75
Santa Rosa	12.91	11.92	10.98	9.71	13.40	12.41	11.46	10.19	13.84	12.85	11.91	10.64	14.32	13.33	12.39	11.12
La Cañada	11.78	10.79	9.85	8.57	12.26	11.27	10.33	9.06	12.71	11.72	10.77	9.50	13.19	12.20	11.26	9.98
Pedro Escobedo	13.35	12.36	11.42	10.15	13.84	12.85	11.90	10.63	14.28	13.29	12.35	11.08	14.76	13.77	12.83	11.56
Laderas San Pedro	15.91	14.92	13.98	12.70	16.39	15.40	14.46	13.19	16.84	15.85	14.90	13.63	17.32	16.33	15.39	14.11
Aeropuerto	13.36	12.37	11.42	10.15	13.84	12.85	11.91	10.63	14.29	13.30	12.35	11.08	14.77	13.78	12.83	11.56
La Galera	12.10	11.11	10.17	8.89	12.58	11.59	10.65	9.38	13.03	12.04	11.10	9.82	13.51	12.52	11.58	10.30
T. Autobuses	12.06	11.07	10.13	8.86	12.54	11.55	10.61	9.34	12.99	12.00	11.06	9.78	13.47	12.48	11.54	10.26
Misha	12.99	12.00	11.06	9.79	13.48	12.49	11.54	10.27	13.92	12.93	11.99	10.72	14.40	13.41	12.47	11.20
Pueblo Nuevo	11.44	10.45	9.51	8.24	11.92	10.93	9.99	8.72	12.37	11.38	10.44	9.17	12.85	11.86	10.92	9.65

Tabla E.3. Correlación Farrar y Turner (proctor estándar, 2% arriba)

Banco de Material	(psi)															
	Módulo de resiliencia (ensayos)															
	$\sigma_3 = 2.03$				$\sigma_3 = 4.06$				$\sigma_3 = 5.95$				$\sigma_3 = 7.98$			
	σ_d 3.92	σ_d 6.96	σ_d 9.86	σ_d 13.78	σ_d 3.92	σ_d 6.96	σ_d 9.86	σ_d 13.78	σ_d 3.92	σ_d 6.96	σ_d 9.86	σ_d 13.78	σ_d 3.92	σ_d 6.96	σ_d 9.86	σ_d 13.78
La Venta	9.59	9.13	8.88	8.39	11.12	10.34	9.77	9.04	11.66	10.75	10.11	9.30	11.90	10.99	10.29	9.47
Santa Rosa	13.08	11.90	11.13	10.25	14.28	12.91	11.98	10.98	14.91	13.49	12.54	11.48	15.45	14.01	13.00	11.92
La Cañada	13.82	12.98	12.16	11.11	15.29	14.28	13.32	12.06	16.01	14.93	13.99	12.65	16.56	15.50	14.52	13.17
Pedro Escobedo	21.86	16.27	14.09	12.47	23.00	17.44	14.91	13.03	23.46	17.88	15.29	13.31	23.85	18.34	15.45	13.49
Laderas San Pedro	22.22	17.20	15.33	14.56	24.58	19.15	16.94	15.91	25.87	20.19	17.91	16.68	26.56	20.97	18.52	17.18
Aeropuerto	13.58	11.64	11.05	10.42	15.43	13.34	12.44	11.53	16.66	14.31	13.30	12.24	17.66	15.16	13.99	12.84
La Galera	8.52	7.43	6.59	5.78	9.89	8.53	7.55	6.50	10.92	9.30	8.27	7.08	11.77	10.02	8.95	7.68
T. Autobuses	13.82	12.98	12.16	11.11	15.29	14.28	13.32	12.06	16.01	14.93	13.99	12.65	16.56	15.50	14.52	13.17
Misha	9.79	6.59	5.21	4.20	10.79	7.49	6.03	4.88	11.56	8.23	6.79	5.53	12.40	9.03	7.54	6.25
Pueblo Nuevo	5.32	4.11	3.26	1.97	6.22	4.93	3.97	3.26	7.07	5.68	4.65	3.66	7.97	6.46	5.37	4.29
Banco de Material	Módulo de resiliencia (correlación Farrar y Turner)															
	$\sigma_3 = 2.03$				$\sigma_3 = 4.06$				$\sigma_3 = 5.95$				$\sigma_3 = 7.98$			
	σ_d 3.92	σ_d 6.96	σ_d 9.86	σ_d 13.78	σ_d 3.92	σ_d 6.96	σ_d 9.86	σ_d 13.78	σ_d 3.92	σ_d 6.96	σ_d 9.86	σ_d 13.78	σ_d 3.92	σ_d 6.96	σ_d 9.86	σ_d 13.78
	La Venta	10.40	9.41	8.47	7.20	10.88	9.89	8.95	7.68	11.33	10.34	9.40	8.12	11.81	10.82	9.88
Santa Rosa	9.43	8.44	7.50	6.22	9.91	8.92	7.98	6.70	10.36	9.37	8.42	7.15	10.84	9.85	8.91	7.63
La Cañada	8.25	7.26	6.32	5.05	8.73	7.75	6.80	5.53	9.18	8.19	7.25	5.98	9.66	8.67	7.73	6.46
Pedro Escobedo	10.43	9.44	8.50	7.22	10.91	9.92	8.98	7.70	11.36	10.37	9.42	8.15	11.84	10.85	9.90	8.63
Laderas San Pedro	12.67	11.68	10.74	9.47	13.16	12.17	11.22	9.95	13.60	12.61	11.67	10.40	14.08	13.09	12.15	10.88
Aeropuerto	9.95	8.96	8.02	6.75	10.43	9.44	8.50	7.23	10.88	9.89	8.95	7.67	11.36	10.37	9.43	8.15
La Galera	9.06	8.07	7.13	5.86	9.54	8.55	7.61	6.34	9.99	9.00	8.06	6.79	10.47	9.48	8.54	7.27
T. Autobuses	8.23	7.24	6.30	5.03	8.72	7.73	6.78	5.51	9.16	8.17	7.23	5.96	9.64	8.65	7.71	6.44
Misha	8.89	7.90	6.96	5.69	9.38	8.39	7.44	6.17	9.82	8.83	7.89	6.62	10.30	9.31	8.37	7.10
Pueblo Nuevo	6.42	5.43	4.49	3.22	6.90	5.91	4.97	3.70	7.35	6.36	5.42	4.15	7.83	6.84	5.90	4.63