



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIHUAHUA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO  
MAESTRÍA EN VÍAS TERRESTRES

EVALUACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD, MÓDULO DE  
RESILIENCIA Y PERMEABILIDAD DE UNA SUBBASE  
ESTABILIZADA CON CEMENTO PORTLAND Y ZEOLITA SINTÉTICA.

TESIS

PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA

ING. ELIZABETH PARRA ALVAREZ



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIHUAHUA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
MAESTRÍA EN VÍAS TERRESTRES

EVALUACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD, MÓDULO DE  
RESILIENCIA Y PERMEABILIDAD DE UNA SUBBASE  
ESTABILIZADA CON CEMENTO PORTLAND Y ZEOLITA SINTÉTICA.

TESIS

PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN INGENIERÍA

APROBADO:

Dr. Paul Garnica Anguas, director

Dr. Mario César Rodríguez Ramírez, sinodal

Dr. Gilberto Wenglas Lara, sinodal

M.I. José Antonio Portillo Ocegüera, sinodal

FEBRERO/2016

CHIHUAHUA, CHIH.

Derechos reservados

© Elizabeth Parra Alvarez

Calle Escorza No. 900, Col. Centro, Chihuahua,  
Chihuahua. C.P. 31000.

2016

Copyright ©

por

Elizabeth Parra Alvarez

2016

22 de febrero de 2016.

**ING. ELIZABETH PARRA ALVAREZ**  
**Presente**



En atención a su solicitud relativa al trabajo de investigación para obtener el grado de Maestría en Ingeniería, nos es grato transcribirle el tema aprobado por esta Dirección, propuesto y dirigido por el catedrático Dr. Paul Garnica Anguas, para que lo desarrolle como trabajo de tesis, con el título: **"EVALUACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD, MÓDULO DE RESILIENCIA Y PERMEABILIDAD DE UNA SUBBASE ESTABILIZADA CON CEMENTO PORTLAND Y ZEOLITA SINTÉTICA"**.

Índice

## INTRODUCCIÓN

### I. ANTECEDENTES

1. Introducción
- 1.2. Estabilización de suelos
  - 1.2.1. Estabilización de suelos con cemento Portland
  - 1.2.2 Estabilización de suelos con cemento Portland y zeolita sintética

### 2. MATERIALES Y MÉTODOS DE PRUEBA

- 2.1. Introducción
- 2.2. Muestreo del Material de Subbase
- 2.3. Caracterización de la subbase (N-CMT-4-02-001/11)
  - 2.3.1 Reducción de la muestra (ASTM C 702M-11)
  - 2.3.2. Análisis granulométrico (ASTM C 136-06)
  - 2.3.3. Determinación del límite líquido, límite plástico e Índice de plasticidad Norma ASTM D 4318-10)
- 2.4. Determinación de las características de compactación de un suelo usando energía modificada ( $E_{mod} = 2700 \text{ kN-m/m}^2$ ) (ASTM D 1557-12)
- 2.5. Procedimiento para la elaboración de cilindros
- 2.6. Procedimiento de prueba de módulo de elasticidad E (ASTM, 2001)
  - 2.6.1. Introducción
  - 2.6.2. Procedimiento
- 2.7. Procedimiento de prueba de módulo de resiliencia  $M_r$  (NCHRP 1-28A)
  - 2.7.1. Introducción
  - 2.7.2. Prueba de laboratorio
- 2.8. Procedimiento de prueba de Permeabilidad (ASTM D 5856-95, 2002)
  - 2.8.1. Introducción
  - 2.8.2. Prueba de laboratorio



### 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

- 3.1. Introducción
- 3.2. Granulometría
- 3.3. Contenido óptimo de agua ( $w_{opt}$ ) y peso volumétrico seco máximo ( $V_{max}$ )
- 3.4. Resistencia a la compresión y módulo de elasticidad
  - 3.4.1. Características de especímenes ensayados
  - 3.4.2. Resistencia a la compresión simple
  - 3.4.3. Módulo de elasticidad
- 3.5. Módulo de resiliencia
  - 3.5.1. Características de los especímenes de prueba
  - 3.5.2. Módulo de resiliencia
- 3.6. Permeabilidad

### CONCLUSIONES

Solicitamos a Usted tomar nota de que el título del trabajo se imprima en lugar visible de los ejemplares de las tesis.

ATENTAMENTE  
"naturam subiecit aliis"

EL DIRECTOR

FACULTAD DE INGENIERÍA  
UACH  
EL SECRETARIO DE INVESTIGACIÓN  
Y POSGRADO

M.I. RICARDO RAMÓN TORRES  
KNIGHT



DIRECCIÓN

DR. MARIO CÉSAR RODRÍGUEZ  
RAMÍREZ

## ***Dedicatoria***

### ***A mis abuelos***

*Esperanza Castillo<sup>†</sup> y José Alvarez<sup>†</sup>*

*Por influir en gran medida en todos los aspectos de mi vida.*

### ***A mi madre***

***Esperanza Alvarez Castillo***

*Gracias a tu ejemplo de fe y perseverancia es que eh llegado hasta aquí, mis logros te pertenecen.*

### ***A mi padre***

***Secundino Parra Moreno***

*Por tus consejos y ser para mí, un ejemplo de superación que me ha convencido a creer que todos mis sueños son alcanzables.*

### ***A mi hermano***

***Raúl Carbajal Alvarez***

*Por estar siempre a mi lado y ser una de mis mayores fortalezas.*

## **Agradecimientos**

A mis profesores de la Maestría en Vías Terrestres, por compartir sus conocimientos y consejos. En especial a la M.I. Daphne Espejel García.

Le agradezco al Dr. Garnica Anguas, por recibirme con las puertas abiertas en el Instituto Mexicano del Transporte, a la Dra. Nathalia Pérez por durante un año llevarme de la mano e influir en gran medida en mi crecimiento profesional durante el desarrollo del proyecto de tesis, al Ing. Alfonso Pérez por su apoyo y buenos consejos, a Miguel Cervantes, Guadalupe López y Mario Pérez, por estar presentes cuando más los necesité, a Marcos, Migue, Federico, Pepe y Alvin compañeros que colaboraron en gran medida, y al resto de mis compañeros que hicieron de mi estadía un tiempo agradable, de grandes y nuevas amistades: Lili, Norma, Raquel, Sara, Luis y Pedro.

A mis amigos de Chihuahua, Juan José por ser también mi compañero de clase, a Rubén, Lalo, Ceci y en especial a la Sra. Ceci por haberme recibido y apoyado durante mi estadía en esta ciudad.

A mis amigas de Querétaro, Mariana y Gris por ser grandes compañeras y confidentes. A mis amigos de Morelia, Macario, Paul, Pau, Edgar y Wendy, por siempre echarme porras y estar ahí siempre que los necesito.

A mi extensa familia por creer en mí y ser mi motor para seguir adelante.

A todas esas personas que colaboraron para llegar a la culminación de este sueño, todos ellos influyeron a que cada día despertara con el ánimo y las ganas de trabajar, sin todos ustedes no hubiera podido lograrlo.

**¡GRACIAS!**

## RESUMEN

El mercado de los aditivos para mejorar propiedades de materiales utilizados en la construcción de carreteras se ha incrementado de forma extraordinaria. Para que estos aditivos sean aceptados por los constructores y proyectistas de carreteras, primeramente se tiene que determinar su efectividad. En este trabajo de investigación se llevó a cabo el estudio del comportamiento esfuerzo-deformación de un material de subbase estabilizada con cemento y zeolita sintética. Las propiedades evaluadas fueron la resistencia a compresión sin confinar, el módulo de elasticidad, el módulo de resiliencia y la permeabilidad. Las propiedades de la subbase-cemento-zeolita sintética se compararon con el material de referencia que fue la subbase estabilizada sólo con cemento.

Los resultados del estudio mostraron que la resistencia a compresión simple de la subbase estabilizada con cemento y zeolita sintética sí es mayor a los de la subbase estabilizada sólo con cemento. Con respecto al módulo de elasticidad, este parámetro también es mayor para el material que tiene zeolita sintética, al menos para los primeros días de curado. Con respecto al módulo de resiliencia, la subbase estabilizada con cemento y zeolita sintética sí muestra valores mayores con respecto al material de referencia. Por otro lado, la permeabilidad de la subbase estabilizada con cemento se reduce de forma importante con respecto al suelo natural. De acuerdo con lo anterior se puede aseverar que existen algunas propiedades que sí se mejoran al adicionar la zeolita sintética.

## **ABSTRACT**

The additives market to improve properties of materials used in road construction has increased dramatically. For these additives to be accepted by the road builders and designers, the effectiveness first has to be determined. This research was conducted to study the stress-strain behavior on a sub-base material stabilized with cement and synthetic zeolite. The properties evaluated were: unconfined compressive strength, modulus of elasticity, modulus of resilience, and permeability. The properties of the subbase-cement-synthetic zeolite material were compared to the reference material which was a sub-base stabilized with cement only.

The study results showed that the compressive strength of cement stabilized subbase and synthetic zeolite is greater than the subbase stabilized with cement. As regards to the modulus of elasticity, this parameter is also increased on the material that contains synthetic zeolite, at least for the first few days of curing. As to the modulus of resilience, cement stabilized subbase and synthetic zeolite it does show higher values compared to the reference material. Furthermore, the permeability of the cement stabilized subbase is reduced significantly with respect to the natural ground. According to the above it can be stated that different properties are improved by adding synthetic zeolite.

## **DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA**

La estabilización de suelos para la construcción de caminos ha tenido escaso desarrollo debido fundamentalmente a la abundancia de agregados convencionales, sin embargo, la existencia de zonas con escasez o con altos costos de extracción y/o transporte, especialmente en áreas de desarrollo, pone en evidencia la necesidad de difundir estas técnicas (Solminihaç et al., 1989).

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo general**

Evaluar las propiedades de resistencia, módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con cemento y zeolita sintética. Determinar si estas propiedades son mejores con respecto a las obtenidas en el material de referencia (subbase estabilizada sólo con cemento).

### **Objetivos específicos**

- Llevar a cabo el estudio bibliográfico sobre el uso del cemento como estabilizador de suelos.
- Determinar las características de compactación de los materiales con la prueba Proctor Modificada.
- Preparar los especímenes de prueba, los cuales deben de cumplir con el peso volumétrico y contenido de agua especificados ( $95 \gamma_{dmax}$  y  $\omega_{opt}$ )
- Realizar la caracterización del material de subbase en estudio.

- Ejecutar las pruebas de resistencia a compresión y módulo de resiliencia a diferentes tiempos de curado (1, 7, 28, 60 y 90 días de curado)
- Realizar el análisis de los resultados obtenidos.

## **HIPÓTESIS**

Las propiedades de la subbase estabilizada con cemento y zeolita sintética se mejoran de forma importante con respecto a las de la subbase estabilizada sólo con cemento.

## **JUSTIFICACIÓN**

El presente proyecto de investigación se justifica por los beneficios que, según el fabricante, la zeolita sintética aporta como estabilizador de suelos. De estos beneficios se pueden señalar los siguientes (Robin et al., 2014):

- Se mejoran las propiedades mecánicas aún si se cuenta con considerable contenido de finos (hasta los máximos permitidos por la norma), propiciando una capa más impermeable, monolítica y con propiedades mecánicas superiores al material convencional.
- En comparación con la estabilización tradicional con el cemento, se logran mayores resistencias en un menor tiempo y una mejora significativa en las propiedades de contracción, bajando la temperatura del fraguado, reduciendo la permeabilidad y resistencia a temperaturas extremas.

## ALCANCE

Los resultados de la investigación sólo aplican a la subbase estudiada y a las condiciones de prueba utilizadas.

## PLAN DE TRABAJO

El plan de trabajo de la presente investigación se describe en las siguientes etapas:

**Recepción de material.** Traslado del material de subbase del banco a las instalaciones del Instituto Mexicano del Transporte.

**Caracterización del material.** En esta etapa se determinaron propiedades como: granulometría, límites de consistencia y peso específico relativo de sólidos, etc.

**Elaboración de especímenes de ensaye.** Para la elaboración de cilindros, se prepararon muestras con cemento Portland y con cemento Portland y zeolita sintética, que se almacenaron en un cuarto húmedo (cuarto de curado) hasta que cumplieron con el tiempo de curado para ser ensayados. La Tabla 1.1 muestra el número de muestras y tipo de pruebas realizadas para el material de subbase estabilizado con cemento Portland y el material de subbase estabilizado con cemento Portland y zeolita sintética.

**Tabla 1.1 Ensayos de laboratorio y número de especímenes.**

| Tipo de prueba        | Tiempo de curado (días) | Número de especímenes |
|-----------------------|-------------------------|-----------------------|
|                       |                         |                       |
| Módulo de Elasticidad | 1,7,14,28,60 y 90       | 65                    |
| Módulo de Resiliencia | 1,7,14,28,60 y 90       | 60                    |
| Permeabilidad         | 1,7,14,28,60 y 90       | 24                    |

En la Tabla 1.2 se desglosa de manera más detallada el número de pruebas de módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad.

**Tabla 1.2 Desglose detallado de número de pruebas.**

| Tiempo de curado (días) | Módulo de Elasticidad (E) |                         | Módulo de Resiliencia (Mr) |               |                       | Prueba de Permeabilidad (k) |                       |
|-------------------------|---------------------------|-------------------------|----------------------------|---------------|-----------------------|-----------------------------|-----------------------|
|                         | Suelo-cemento             | Suelo-cemento - zeolita | Suelo                      | Suelo-cemento | Suelo-cemento-zeolita | Suelo-cemento               | Suelo-cemento-zeolita |
| 1                       | 5                         | 5                       | 5                          | 5             | 5                     | 2                           | 2                     |
| 7                       | 5                         | 5                       | -                          | 5             | 5                     | 2                           | 2                     |
| 14                      | 5                         | 5                       | -                          | 5             | 5                     | 2                           | 2                     |
| 28                      | 5                         | 5                       | -                          | 5             | 5                     | 2                           | 2                     |
| 60                      | 5                         | 5                       | -                          | 5             | 5                     | 2                           | 2                     |
| 90                      | 5                         | 5                       | -                          | 5             | 5                     | 2                           | 2                     |

Las pruebas se llevaron a cabo con especímenes compactados con contenido de agua óptimo y 95% del peso volumétrico seco máximo con respecto a la prueba Proctor modificada, por ser las condiciones bajo las cuales se compacta el material en campo.

**Ensayes de módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad.** Se ejecutaron las pruebas una vez que las muestras cumplieron con el tiempo de curado.

**Análisis de resultados.** Al finalizar las pruebas, se realizó el análisis de los resultados para evaluar la efectividad del aditivo.

## Contenido

|                                                                                                                                                        |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| RESUMEN                                                                                                                                                | i   |
| ABSTRACT                                                                                                                                               | iii |
| DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA                                                                                                                               | v   |
| OBJETIVOS                                                                                                                                              | v   |
| Objetivo general                                                                                                                                       | v   |
| Objetivos específicos                                                                                                                                  | vi  |
| HIPÓTESIS                                                                                                                                              | vi  |
| JUSTIFICACIÓN                                                                                                                                          | vi  |
| ALCANCE                                                                                                                                                | vii |
| PLAN DE TRABAJO                                                                                                                                        | vii |
| INTRODUCCIÓN                                                                                                                                           | xvi |
| 1. ANTECEDENTES                                                                                                                                        | 1   |
| 1.1. Introducción                                                                                                                                      | 1   |
| 1.2. Estabilización de suelos                                                                                                                          | 2   |
| 1.2.1. Estabilización de suelos con cemento Pórtland                                                                                                   | 4   |
| 1.2.2. Estabilización de suelos con cemento Pórtland y zeolita sintética                                                                               | 12  |
| 2. MATERIALES Y MÉTODOS DE PRUEBA                                                                                                                      | 19  |
| 2.1. Introducción                                                                                                                                      | 19  |
| 2.2. Muestreo del Material de Subbase                                                                                                                  | 19  |
| 2.3. Caracterización de la subbase (N-CMT-4-02-001/11)                                                                                                 | 20  |
| 2.3.1. Reducción de la muestra (ASTM C 702M-11)                                                                                                        | 21  |
| 2.3.2. Análisis granulométrico (ASTM C 136-06)                                                                                                         | 22  |
| 2.3.3. Determinación del límite líquido, límite plástico e Índice de plasticidad (Norma ASTM D 4318-10)                                                | 25  |
| 2.4. Determinación de las características de compactación de un suelo usando energía modificada ( $E_{mod} = 2700 \text{ kN-m/m}^3$ ) (ASTM D 1557-12) | 28  |
| 2.5. Procedimiento para la elaboración de cilindros                                                                                                    | 31  |
| 2.6. Procedimiento de prueba de módulo de elasticidad E (ASTM, 2001)                                                                                   | 35  |
| 2.6.1. Introducción                                                                                                                                    | 35  |
| 2.6.2. Procedimiento                                                                                                                                   | 36  |
| 2.7. Procedimiento de prueba de módulo de resiliencia $M_r$ (NCHRP 1-28A)                                                                              | 44  |
| 2.7.1. Introducción                                                                                                                                    | 44  |
| 2.7.2. Prueba de laboratorio                                                                                                                           | 47  |
| 2.8. Procedimiento de prueba de Permeabilidad ASTM D 5856-95(2002)                                                                                     | 54  |
| 2.8.1. Introducción                                                                                                                                    | 54  |
| 2.8.2. Prueba de laboratorio                                                                                                                           | 55  |
| 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS                                                                                                                              | 62  |
| 3.1. Introducción                                                                                                                                      | 62  |
| 3.2. Granulometría                                                                                                                                     | 62  |

|        |                                                                                                        |     |
|--------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.3.   | Contenido óptimo de agua ( $\omega_{opt}$ ) y peso volumétrico seco máximo ( $\gamma_{dm\acute{a}x}$ ) | 64  |
| 3.4.   | Resistencia a la compresión y módulo de elasticidad                                                    | 66  |
| 3.4.1. | Características de especímenes ensayados                                                               | 66  |
| 3.4.2. | Resistencia a la compresión simple                                                                     | 67  |
| 3.4.3. | Módulo de elasticidad                                                                                  | 70  |
| 3.5.   | Módulo de resiliencia                                                                                  | 71  |
| 3.5.1. | Características de los especímenes de prueba                                                           | 71  |
| 3.5.2. | Módulo de resiliencia                                                                                  | 72  |
| 3.6.   | Permeabilidad                                                                                          | 77  |
|        | CONCLUSIONES                                                                                           | 80  |
|        | Recomendaciones                                                                                        | 81  |
|        | Referencias y bibliografía                                                                             | 82  |
|        | ANEXO A PRUEBAS DE COMPRESIÓN SIMPLE                                                                   | 86  |
|        | ANEXO A.I MUESTRAS DE 01 DÍAS DE CURADO                                                                | 87  |
|        | ANEXO A.II MUESTRAS DE 07 DÍAS DE CURADO                                                               | 93  |
|        | ANEXO A.III MUESTRAS DE 14 DÍAS DE CURADO                                                              | 100 |
|        | ANEXO A.IV MUESTRAS DE 28 DÍAS DE CURADO                                                               | 108 |
|        | ANEXO A.V MUESTRAS DE 60 DÍAS DE CURADO                                                                | 115 |
|        | ANEXO A.VI MUESTRAS DE 90 DÍAS DE CURADO                                                               | 122 |
|        | ANEXO B PRUEBAS DE COMPRESIÓN TRIAXIAL                                                                 | 130 |
|        | ANEXO B.I MUESTRAS DE 00 DÍAS DE CURADO                                                                | 131 |
|        | ANEXO B.II MUESTRAS DE 07 DÍAS DE CURADO                                                               | 150 |
|        | ANEXO B.III MUESTRAS DE 14 DÍAS DE CURADO                                                              | 166 |
|        | ANEXO B.IV MUESTRAS DE 28 DÍAS DE CURADO                                                               | 180 |
|        | ANEXO B.V MUESTRAS DE 60 DÍAS DE CURADO                                                                | 194 |
|        | ANEXO B.VI MUESTRAS DE 90 DÍAS DE CURADO                                                               | 210 |
|        | ANEXO C. RELACIÓN DEL TOTAL DE MUESTRAS COMPACTADAS                                                    | 224 |

## Contenido de Figuras

|             |                                                                                                                                                                                                                              |    |
|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1.1  | Diagrama de los métodos de mejoramiento de (Rico et al., 1977)                                                                                                                                                               | 2  |
| Figura 1.2  | Partículas de arcilla y arena antes y después de ser mezcladas (Toirac, 2008).                                                                                                                                               | 4  |
| Figura 1.3  | Ensayos de compresión simple (Uddin et al., 1997).                                                                                                                                                                           | 9  |
| Figura 1.4  | Resultados de Arcilla de Ariake mezclada con cemento (Miura et al., 2001).                                                                                                                                                   | 10 |
| Figura 1.5  | Deformación permanente de materiales de base estabilizados y no estabilizados (Mohammad y Saadeh, 2008)                                                                                                                      | 11 |
| Figura 1.6  | Fotos a nivel nano de cristales modificados con zeolita sintética (Robin et al., 2014).                                                                                                                                      | 13 |
| Figura 1.7  | Resistencia a compresión en el tiempo (Gayoso & Rosell, 2003).                                                                                                                                                               | 15 |
| Figura 1.8  | Micrografía de la interface árido-pasta de hormigones a la edad de 1 año; (a) Material suelo-cemento-zeolita; (b) Material suelo-cemento.                                                                                    | 16 |
| Figura 1.9  | Resistencia a compresión de una arcilla estabilizada con cemento y con cemento y zeolita sintética.                                                                                                                          | 17 |
| Figura 1.10 | Módulos de resiliencia a 90 días de curado. (a) Arcilla; (b) Arena.                                                                                                                                                          | 17 |
| Figura 1.11 | (a) Módulos de elasticidad de una arcilla estabilizada con cemento y zeolita sintética; (b) Permeabilidad de la arcilla estabilizada con cemento en comparación con la arcilla estabilizada con cemento y zeolita sintética. | 18 |
| Figura 2.1  | Ubicación geográfica del banco CONIN.                                                                                                                                                                                        | 19 |
| Figura 2.2  | (a) Material de subbase obtenido del banco de material CONIN (b) Traslado del material de subbase al Instituto Mexicano del Transporte.                                                                                      | 20 |
| Figura 2.3  | Cuarteador mecánico: (a) Elementos; (b) Sistema de aberturas.                                                                                                                                                                | 21 |
| Figura 2.4  | Reducción de muestras: (a) Cuarteos consecutivos; (b) Reducción final de material a tamaño de costal.                                                                                                                        | 22 |
| Figura 2.5  | Granulometría método tamizado manual: (a) Material Grueso; (b) Material Fino.                                                                                                                                                | 23 |
| Figura 2.6  | Zonas granulométricas recomendables de los materiales para subbases de pavimentos asfálticos.                                                                                                                                | 24 |
| Figura 2.7  | Letras que designan la clasificación SUCS de la parte granular del suelo.                                                                                                                                                    | 25 |
| Figura 2.8  | Copa de Casagrande (Budhu, 2006).                                                                                                                                                                                            | 26 |
| Figura 2.9  | Equipo de prueba: (a) Material de mezclado, pisón, molde y extractor de muestras; (b) Horno de secado.                                                                                                                       | 29 |
| Figura 2.10 | Proceso de compactación; (a) se aplicaron 25 golpes por capa; (b) Extracción del espécimen; (c) Disgregado de muestra.                                                                                                       | 30 |
| Figura 2.11 | Molde y pisón de compactación.                                                                                                                                                                                               | 31 |
| Figura 2.12 | Mezclado de materiales; (a) Suelo y cemento, (b) Suelo-cemento y agua; (c) masa homogeneizada.                                                                                                                               | 33 |

|             |                                                                                                                                                                                                                                                                                     |    |
|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 2.13 | Determinación del número de golpes; (a) Compactado con determinado número de golpes; (b) Exceso de impactos aplicados por capa (50) (c) Número de golpes no adecuados (25 golpes); (d) Número de golpes adecuados para compactar suelo-cemento y suelo-cemento-zeolita (30 golpes). | 33 |
| Figura 2.14 | (a) Enrase de espécimen; (b) Desmolde; (c) Identificación; (d) Determinación del peso.                                                                                                                                                                                              | 34 |
| Figura 2.15 | Muestras colocadas en el cuarto de curado.                                                                                                                                                                                                                                          | 34 |
| Figura 2.16 | Curva típica de esfuerzo-deformación del concreto (TOPÇU, 2007).                                                                                                                                                                                                                    | 36 |
| Figura 2.17 | Equipo INSTRON.                                                                                                                                                                                                                                                                     | 38 |
| Figura 2.18 | Acercamiento de muestra colocada en el equipo INSTRON                                                                                                                                                                                                                               | 39 |
| Figura 2.19 | Equipo guía para los medidores de deformación.                                                                                                                                                                                                                                      | 40 |
| Figura 2.20 | Colocación de anillos; (a) Centrar con ayuda de una regla; (b) Alinear vástagos pivote; (c) Anillos colocados.                                                                                                                                                                      | 40 |
| Figura 2.21 | Muestra en cabezal inferior del equipo INSTRON; (a) Retirar vástago pivote; (b) Sustituir con vástago pivote corto; (c) Espécimen colocado.                                                                                                                                         | 41 |
| Figura 2.22 | Colocación de LVDTs; (a) Posición ideal para LVDTs, $A_x$ = Axial y $R_d$ = Radial; (b) LVDT radial; (c) LVDT axial y radial.                                                                                                                                                       | 41 |
| Figura 2.23 | (a) Datos del espécimen, (b) Selección de ensayo.                                                                                                                                                                                                                                   | 42 |
| Figura 2.24 | Inicio de prueba (a) Sistema INSTRON, (b) Ventana del software durante la adquisición de datos                                                                                                                                                                                      | 42 |
| Figura 2.25 | Velocidad y desplazamiento de carga.                                                                                                                                                                                                                                                | 43 |
| Figura 2.26 | Curva carga-deformación de una prueba de compresión simple.                                                                                                                                                                                                                         | 43 |
| Figura 2.27 | Esquema de transferencia de cargas en función del inflado de llantas (Vidal, et al., 2002).                                                                                                                                                                                         | 44 |
| Figura 2.28 | Esfuerzos en un elemento de pavimento bajo una carga en movimiento (Brown, 1996).                                                                                                                                                                                                   | 45 |
| Figura 2.29 | Secuencia de carga y descarga (Vidal,. et al., 2002).                                                                                                                                                                                                                               | 46 |
| Figura 2.30 | Elementos que conforman el quipo triaxial.                                                                                                                                                                                                                                          | 47 |
| Figura 2.31 | (a) Celda de carga; (b) LVDT's.                                                                                                                                                                                                                                                     | 48 |
| Figura 2.32 | Colocación de espécimen; (a) Colocación de piedras porosas húmedas y con papel filtro; (b) Expansor de membrana conectado a la máquina de vacío; (c) Muestra cubierta de membrana asegurada con O-rings.                                                                            | 49 |
| Figura 2.33 | (a) Atornillando el pistón de carga al cabezal; (b) Colocación de cubierta de lucita transparente; (c) Sellar cubierta al atornillar anillo de acero.                                                                                                                               | 49 |
| Figura 2.34 | Celda triaxial unida mediante la celda de carga.                                                                                                                                                                                                                                    | 50 |
| Figura 2.35 | LVDT colocado en el cabezal por encima del espécimen.                                                                                                                                                                                                                               | 50 |
| Figura 2.36 | Comportamiento de esfuerzo desviador                                                                                                                                                                                                                                                | 52 |
| Figura 2.37 | Gráfico Esfuerzo desviador vs Módulo de Resiliencia.                                                                                                                                                                                                                                | 53 |
| Figura 2.38 | Gráfico de módulo de resiliencia vs suma de esfuerzos principales ( $\theta$ ).                                                                                                                                                                                                     | 54 |
| Figura 2.39 | Prueba de permeabilidad bajo carga constante (Budhu, 2006).                                                                                                                                                                                                                         | 56 |

|             |                                                                                                                                                                       |    |
|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 2.40 | Sistema de prueba de permeabilidad del Instituto Mexicano del Transporte.                                                                                             | 58 |
| Figura 2.41 | Peso de muestra compactada con todo y molde.                                                                                                                          | 59 |
| Figura 2.42 | Especímenes cubiertos con bolsas plásticas y almacenados en el cuarto de curado.                                                                                      | 59 |
| Figura 2.43 | Colocación de muestra; (a) Papel filtro sobre la piedra porosa inferior; (b) Papel filtro en la parte superior de la muestra; (c) Piedra porosa en la parte superior. | 60 |
| Figura 2.44 | (a) Cabezal superior y colocado dentro resorte; (b) Placa superior.                                                                                                   | 60 |
| Figura 2.45 | Monitoreo; (a) Que la presión permanezca constante; (b) Contenedor de agua abastecido y revisión de fugas.                                                            | 61 |
| Figura 3.1  | Curva granulométrica de la subbase.                                                                                                                                   | 63 |
| Figura 3.2  | Curva de compactación del material de subbase.                                                                                                                        | 64 |
| Figura 3.3  | Curva Esfuerzo-Deformación a 07 días de curado.                                                                                                                       | 67 |
| Figura 3.4  | Curva Esfuerzo-Deformación a 14 días de curado.                                                                                                                       | 67 |
| Figura 3.5  | Curva Esfuerzo-Deformación a 28 días de curado.                                                                                                                       | 68 |
| Figura 3.6  | Curva Esfuerzo-Deformación a 60 días de curado.                                                                                                                       | 68 |
| Figura 3.7  | Curva Esfuerzo-Deformación a 90 días de curado.                                                                                                                       | 69 |
| Figura 3.8  | Curvas comparativas esfuerzo-deformación; (a) Suelo-cemento; (b) suelo-cemento-zeolita.                                                                               | 69 |
| Figura 3.9  | Resultados de módulo de elasticidad                                                                                                                                   | 70 |
| Figura 3.10 | Módulo de resiliencia de la subbase natural                                                                                                                           | 72 |
| Figura 3.11 | Módulo de Resiliencia a 00 días de curado de suelo-cemento (Mr Sc) y suelo-cemento-zeolita (Mr Sc+R)                                                                  | 73 |
| Figura 3.12 | Módulo de resiliencia a 07 días de curado de suelo-cemento (Mr Sc) y suelo-cemento-zeolita (Mr Sc+R).                                                                 | 73 |
| Figura 3.13 | Módulo de resiliencia a 14 días de curado de suelo-cemento (Mr Sc) y suelo-cemento-zeolita (Mr Sc+R).                                                                 | 74 |
| Figura 3.14 | Módulo de Resiliencia a 28 días de curado de suelo-cemento (Mr Sc) y suelo-cemento-zeolita (Mr Sc+R).                                                                 | 74 |
| Figura 3.15 | Módulo de resiliencia a 60 días de curado de suelo-cemento (Mr Sc) y suelo-cemento-zeolita (Mr Sc+R)..                                                                | 75 |
| Figura 3.16 | Módulo de resiliencia a 90 días de curado de suelo-cemento (Mr Sc) y suelo-cemento-zeolita (Mr Sc+R).                                                                 | 75 |
| Figura 3.17 | Módulos de Resiliencia de subbase estabilizada con cemento.                                                                                                           | 76 |
| Figura 3.18 | Módulos de Resiliencia de subbase estabilizada con cemento y zeolitas.                                                                                                | 77 |
| Figura 3.19 | Muestras de suelo cemento (SB-SC-P) con 07 días de curado.                                                                                                            | 78 |
| Figura 3.20 | Muestras de suelo natural (SB SN-P) y suelo-cemento (SB-SC-P) ensayadas a 01 días de curado.                                                                          | 79 |

## Contenido de Tablas

|           |                                                                                                                          |     |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabla 1.1 | Tabla 1.1 Ensayos de laboratorio y número de especímenes.                                                                | vii |
| Tabla 1.2 | Tabla 1.2 Desglose detallado de número de pruebas.                                                                       | vii |
| Tabla 1.3 | Tabla 1.3 Clases resistentes de los cemento Pórtland. Norma N-CMT-2-02-001/02.                                           | 7   |
| Tabla 1.4 | Tabla 1.4 Características especiales de los cementos Pórtland. Norma N-CMT-2-02-001/02.                                  | 7   |
| Tabla 2.1 | Tabla 2.1. Tamaño de la muestra para el ensayo de granulometría                                                          | 23  |
| Tabla 2.2 | Tabla 2.2 Pesos de los materiales a homogeneizar.                                                                        | 32  |
| Tabla 2.3 | Tabla 2.3 Secuencia de prueba para materiales de base/subbase (Witczak, 2003).                                           | 51  |
| Tabla 3.1 | Tabla 3.1 Promedios de porcentaje retenido, Cc y Cu.                                                                     | 64  |
| Tabla 3.2 | Tabla 3.2 Condiciones de control de los especímenes de prueba.                                                           | 65  |
| Tabla 3.3 | Tabla 3.3 Rangos de condiciones de control de los especímenes de prueba                                                  | 65  |
| Tabla 3.4 | Tabla 3.4 Resultados de pesos volumétricos y contenidos de agua inicial y final de muestras ensayadas en equipo INSTRON. | 66  |
| Tabla 3.5 | Tabla 3.5 Resultados de pesos volumétricos y contenidos de agua inicial y final de muestras ensayadas en equipo triaxial | 71  |
| Tabla 3.6 | Tabla 3.6 Cálculo de coeficiente de permeabilidad $k$ .                                                                  | 78  |

## INTRODUCCIÓN

La capa subbase es la capa inferior en la estructura de pavimento, subyacente a la capa de base o capa de rodadura, dependiendo del tipo de pavimento. En general, la subbase se compone de diversos materiales que pueden estar disponibles a nivel local. En algunas ocasiones estos materiales pueden estar constituidos por suelos blandos, de modo que no pueden tener suficiente resistencia/rigidez para soportar la carga de la estructura de pavimento.

Es necesario antes de la construcción del pavimento un buen conocimiento del funcionamiento de los suelos de la subrasante bajo condiciones in situ. Cuanto mejor sea la calidad de la resistencia/rigidez de los materiales, mejor será el rendimiento a largo plazo del camino. Por tanto, el diseño del pavimento se debe centrar en el uso eficiente, más económico y eficaz de los materiales de subrasante existentes para optimizar su rendimiento. En el caso de que se tengan suelos blandos, podría ser necesario un tratamiento adecuado con el fin de hacer que la subrasante sea un buen soporte de las capas superiores. La sustitución del suelo de la subrasante no siempre puede ser la mejor opción debido a los costos asociados acarreo de los materiales excavados, así como los materiales de primera calidad importados. En algunas regiones en vías de desarrollo o incluso en las áreas urbanas, la mala calidad del agregado o la escasez de los materiales de relleno adecuados propician que la sustitución de suelo subbase no sea económicamente viable. En tales condiciones, las propiedades de resistencia/rigidez de los materiales suelo/subrasante de mala calidad existente se pueden mejorar mediante el uso de la técnica de compactación adecuada, así como el uso de algunos estabilizadores químicos como Cemento Pórtland, cal y cenizas volantes que son los tipos más comunes de los estabilizadores químicos utilizados recientemente para mejorar las subbases de mala calidad.

En el pasado, la calidad de resistencia del material subbase utilizado en la construcción de pavimentos había sido determinado por medio de varias pruebas de

laboratorio tales como la capacidad de soporte (CBR), Sin embargo, este método de prueba no tiene en cuenta el efecto de la carga cíclica provocada por la carga vehicular sobre el pavimento. El reciente desarrollo en el diseño de pavimento incluye la introducción de un módulo determinado en condiciones dinámicas (llamado el módulo resiliente). Este módulo de resiliencia se determina con una prueba triaxial de carga repetida bajo diferentes estados de esfuerzos.

A pesar de que los resultados de módulo resiliente pueden simular mejor las condiciones de campo, algunos diseñadores y contratistas prefieren utilizar el CBR debido al bajo costo y menor tiempo de ensaye (Dhakal, 2012).

## 1. ANTECEDENTES

### 1.1. Introducción

El aumento considerable de la intensidad del tránsito pesado en los países industrializados a partir de la década de los cincuenta obligó a emplear en las estructuras de pavimento capas inferiores más resistentes a la deformación y a la fatiga que las granulares empleadas hasta entonces. Se empezó a hablar de bases y subbases con cohesión para destacar que el rozamiento interno del esqueleto mineral de estos materiales había sido complementado con un ligante o conglomerante, que aportaba a la mezcla una cohesión permanentemente apreciable (Kraemer et al., 2004).

Sumado a la intensidad de tránsito, por razones medioambientales y económicas, en obras de infraestructura del transporte (carreteras, ferrocarriles, puertos, aeropuertos, etc.), es recomendable hacer uso de la mayor cantidad posible de suelos presentes en la propia obra, esto sin minimizar la calidad que requiere la misma. Para estos casos, se dispone actualmente de diferentes productos para el tratamiento de los suelos con el objetivo de facilitar e incluso permitir su puesta en obra, reducir su sensibilidad al agua y aumentar en mayor o menor grado su resistencia a la deformación bajo cargas. Los más empleados son los cementos y cales aéreas. Ambos pueden usarse tanto en polvo como en forma de lechada. Se mezclan con el suelo, se compactan y finalmente se curan. También pueden emplearse algunos ligantes bituminosos y ciertos productos químicos (Jofré et al., 2008).

El concepto de mejorar la capacidad de soporte de los suelos a través de su estabilización con aditivos es bastante antiguo; hace 5000 años atrás ya el suelo se estabilizaba con cal o puzolanas. A pesar de ello el verdadero auge de esta técnica y su consecuente desarrollo sólo comenzó a ser realmente significativo a partir de la Segunda Guerra Mundial, a raíz de la imperiosa necesidad de construir carreteras y aeropuertos en zonas con carencia de agregados de buena calidad (Solminihaç et al., 1989).

## 1.2. Estabilización de suelos

La estabilización de un suelo es un proceso que tiene por objetivo el mejoramiento del mismo, dichos métodos pueden ser físicos, químicos, mecánicos y/o la combinación de dos o más de ellos (Ver Figura 1.1). Pueden ser requeridos para aumentar la resistencia a la deformación del suelo y disminuir su sensibilidad al agua, controlar la erosión, cambios de volumen, etc., de tal modo que se puedan aprovechar suelos de baja calidad (Kraemer et al., 2004).

Los más utilizados son el cemento y la cal, pero también se emplean escorias granuladas, cenizas volantes, ligantes hidrocarburos, cloruro sódico, cloruro cálcico, zeolitas sintéticas (este último, motivo de ésta investigación), etc.

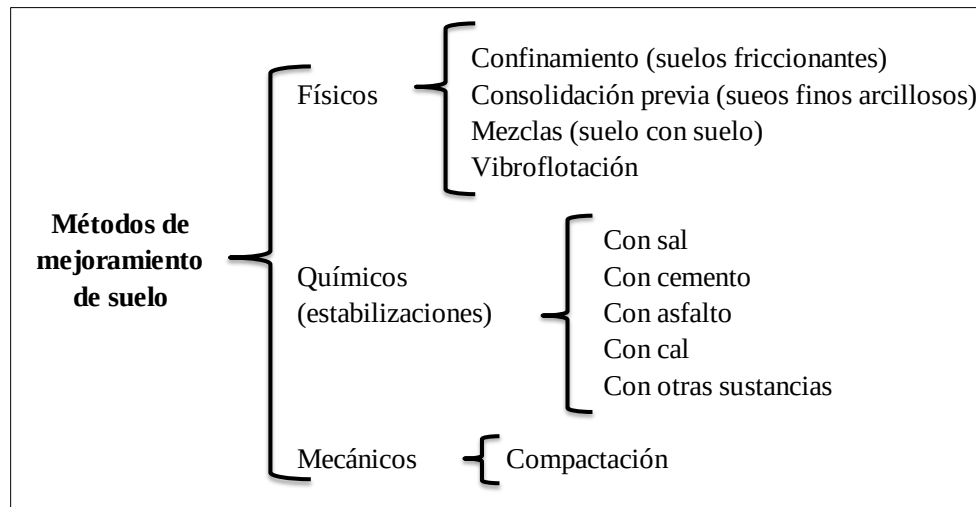


**Figura 1.1 Diagrama de los métodos de mejoramiento de (Rico et al., 1977)**

En el proceso de estabilización con aditivos, el grado de estabilización que puede alcanzarse depende fundamentalmente del tipo de suelo, de la clase y cantidad de aditivo, además de la ejecución.

Cuando se trata únicamente de mejorar ligeramente las propiedades de un suelo por adición de una pequeña cantidad de aditivo, es usual hablar de “**suelo mejorado con...**”; en cambio, la mezcla que ofrece finalmente una resistencia y rigidez apreciables suele designarse como “**suelo estabilizado con...**” (Kraemer et al., 2004).

Las ventajas y limitaciones de los suelos estabilizados son las siguientes:

### ***Ventajas técnicas:***

- Permiten el empleo de suelos ubicados en el lugar, mejorando sus características hasta el grado deseado.
- Proporcionan una elevada resistencia de la capa estabilizada, tanto por su insensibilidad al agua y a la helada, evitando así cambios de volumen por hinchamiento o retracción, como por su resistencia a la erosión.
- Disminuyen las tensiones en capas del firme, aumentando con ello su vida útil.

### ***Ventajas económicas y ambientales:***

- Mayor empleo de suelos y otros materiales existentes en el lugar, a veces de características iniciales inadecuadas, o incluso suelos aprovechables a una distancia no aceptable.
- Ahorro en el transporte de materiales.
- Acortamiento de plazos de ejecución, dado la solución al problema de acarreo de material.
- La obtención de capas de pavimento de mayor cualidad que un suelo natural.

### ***Limitaciones:***

- La estabilización de suelos requiere estudios previos más detallados de las características principales de los suelos a tratar, así como ensayos de laboratorio para determinar la dosificación de suelo natural y del estabilizador de suelo a utilizar, lo cual puede implicar tiempo para el inicio de los trabajos a ejecutar (Jofré et al., 2008).

### 1.2.1 Estabilización de suelos con cemento Pórtland

La adición de cemento Pórtland al suelo produce cambios definidos en las propiedades y la estructura del mismo. Catton (1940) fue uno de los pioneros en explicar este fenómeno, afirmando que las partículas del suelo se aglomeran, y dichas aglomeraciones se unen entre sí en busca de un nuevo material estructural (Kalankamary, 1963).

Catton (1940) explicó este mecanismo de la siguiente manera:

“Cada grano de cemento recoge variado número de granos de suelo (dependiendo del tamaño de grano del suelo) mientras el cemento se hidrata y cristaliza, se produce un nuevo o más grande grano suelo o aglomeración. Cuando más cemento se agrega, más granos del suelo pierden su identidad para convertirse en granos más grandes del suelo o aglomeraciones; y cuando un número suficiente de cemento ha sido añadido para vincular todas las aglomeraciones entre sí y los vacíos son encapsulados, la mezcla se convierte en una material estructural en lugar de un suelo“.

El suelo-cemento difiere del concreto de cemento Portland en varios aspectos; uno de ellos y que es el más significativo es la manera en que los agregados o las partículas de suelo se mantienen unidos. En el concreto, la mezcla contiene la pasta de cemento suficiente para adherirse en una capa al área superficial de todos los agregados y llenar vacíos; en las mezclas suelo-cemento la pasta de cemento es insuficiente para formar una capa sobre todas las partículas, lo que da como resultado una matriz de cemento que aglomera los módulos de material no cementado (Ver Figura 1.2).

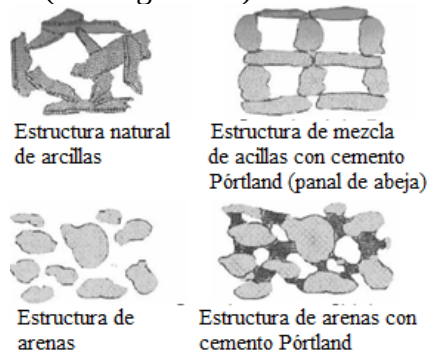


**Figura 1.2 partículas de arcilla y arena antes y después de ser mezcladas (Toirac, 2008).**

## 1. ANTECEDENTES

La combinación del suelo, cemento y agua genera dos reacciones. La primera reacción es la del cemento mismo; la formación de un mortero por hidratación y formación de un esqueleto con el componente arenoso del suelo. La segunda reacción con la arcilla sucede en tres fases:

**Fase I:** la hidratación del cemento provoca la formación de capas de cemento en la superficie de arcilla conglomerada; la cal liberada durante la hidratación del cemento reacciona inmediatamente con la arcilla y se consume rápidamente.

**Fase II:** progresa la hidratación y eso activa la degradación de los aglomerantes de arcilla (en el caso de existir), por lo que penetran en las capas del cemento.

**Fase III:** Los aglomerantes del suelo interpenetran unos con otros y la hidratación persiste pero se vuelve lenta.

De las dos reacciones se obtienen tres tipos de estructuras: una estructura arenosa inerte ligada al cemento, la segunda es de arcilla estabilizada y la tercera es suelo no estabilizado (Arjona, 2008).

Así que, se puede decir que el material denominado **suelo-cemento** se obtiene por la mezcla de un material con cemento Portland y agua, seguida de una compactación y curado adecuado. El material es generalmente una mezcla de gravas y arenas o un suelo de reducida plasticidad. Sus propiedades finales dependen de:

- (a) *Tipo de material granular (especialmente, la proporción y naturaleza de sus finos).*
- (b) *Cemento.*
- (c) *Proceso de ejecución.*
- (d) *Curado y edad de la mezcla compactada.*

Dichas propiedades son descritas más a detalle a continuación:

## 1. ANTECEDENTES

*(a) Tipo de material granular (especialmente, la proporción y naturaleza de sus finos).*

Es el material que no cumple con alguno de los requisitos de calidad establecidos en la Norma N-CTM-4-02-002, o que, por razones estructurales, requieren la incorporación de un producto que modifica alguna de sus características físicas, mejorando su comportamiento mecánico (NOM N-CMT-4-02-003/04).

*(b) Cemento.*

El cemento Portland es un conglomerante hidráulico que al ser hidratado sodifica y endurece. Se obtiene mediante un proceso industrial, pulverizando a un grado de finura determinando una mezcla fría de arcilla y materiales calcáreos, previamente sometida a cocción, se denomina Clinker Pórtland, al cual se le adiciona sulfato de calcio como anhidrita ( $\text{CaSO}_4$ ), yeso ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) o hemihidrato ( $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$ ), para regular el tiempo de fraguado. Según las propiedades que se requieran o para auxiliar la molienda, además se le puede incorporar otros materiales como puzolanas, escoria granulada de alto horno, humo de sílice y caliza.

El cemento en México se clasifica según su composición y según su resistencia a la compresión, como se describe a continuación:

Según su composición:

- **Tipo CPO** (cemento Pórtland ordinario).- Producido mediante la molienda de Clinker Pórtland y sulfato de calcio.
- **Tipo CPP** (cemento Pórtland puzolánico).- Es el que resulta de la molienda conjunta de Clinker Pórtland, puzolanas y sulfato de calcio.
- **Tipo CPEG** (cemento Pórtland con escoria granulada de alto horno).- Producido mediante la molienda conjunta de Clinker Pórtland, escoria granulada de alto horno y sulfato de calcio.
- **Tipo CPC** (cemento Pórtland compuesto).- Es el que resulta de la molienda conjunta de clinker Pórtland, puzolanas, escoria de alto horno, caliza y sulfato de calcio.

## 1. ANTECEDENTES

- **Tipo CPS (cemento Pórtland con humo sílice).**- Es el que resulta de la molienda conjunta de clinker Pórtland, humo sílice y sulfato de calcio.
- **Tipo CEG (cemento Pórtland con escoria granulada de alto horno).**- Es el que resulta de la molienda conjunta de clinker Pórtland, sulfato de calcio y mayoritariamente escoria granulada de alto horno.

Según su resistencia a la compresión (ver Tabla 1.3):

**Tabla 1.3 Clases resistentes de los cemento Pórtland. Norma N-CMT-2-02-001/02.**

Unidades en Mpa (kg/cm<sup>2</sup>)

| Clase resistente | Resistencia a la compresión |                          |             |
|------------------|-----------------------------|--------------------------|-------------|
|                  | A 3 días <sup>[1]</sup>     | A 28 días <sup>[2]</sup> |             |
|                  | mínimo                      | mínimo                   | máximo      |
| 20               | -                           | 20<br>(204)              | 40<br>(408) |
| 30               | -                           | 30<br>(306)              | 50<br>(510) |
| 30R              | 20<br>(204)                 | 30<br>(306)              | 50<br>(510) |
| 40               | -                           | 40<br>(408)              | -           |
| 40R              | 30<br>(306)                 | 40<br>(408)              | -           |

[1] Corresponde a la resistencia inicial del cemento

[2] Corresponde a la resistencia normal del cemento

La Tabla 1.4 muestra que los cementos Pórtland pueden presentar una o más de las características especiales:

**Tabla 1.4 Características especiales de los cementos Pórtland. Norma N-CMT-2-02-001/02.**

| Característica especial          | Nomenclatura |
|----------------------------------|--------------|
| Resistente a los sulfatos        | RS           |
| Baja reactividad álcali-agregado | BRA          |
| Bajo calor de hidratación        | BCH          |
| Blanco                           | B            |

Para identificar un cemento Pórtland, la clase resistente se anota inmediatamente después de la designación del tipo de cemento como por ejemplo:

- **CPC 40 RS**, cemento Portland compuesto con resistencia normal mínima de cuarenta (40) megapascals (408 kg/cm<sup>2</sup>) y cumple con una resistencia inicial mínima de treinta (30) megapascals (306 kg/cm<sup>2</sup>), además que posee la cualidad de ser resistente a los sulfatos (Norma N-CMT-2-02-001/02).

En el caso del agua, ésta tiene dos misiones fundamentales: hidratar el cemento y facilitar la compactación de la mezcla. El contenido más apropiado de agua se determina mediante el ensayo de Proctor. La cantidad de cemento necesaria para obtener un material suficientemente resistente es variable, depende del tipo de material y el uso que se le dé, así como de la interpretación de resultados por medio de criterios establecidos de una secuencia de ensayos con tipo de mezclas específicas o similares al material en uso.

### *(c) Proceso de ejecución.*

El mezclado del suelo con el cemento se puede realizar en sitio o en una central automatizada, también llamada planta.

### *(d) Curado y edad de la mezcla compactada.*

La resistencia del material aumenta con el contenido de cemento, la densidad alcanzada y la edad de la muestra. El tiempo de curado es fundamental para clasificar niveles de calidad de la mezcla en los diferentes tiempos de análisis (Kraemer et al., 2004).

#### **1.2.1.1 Algunos resultados de investigaciones sobre suelo-cemento**

Puesto que el cemento tiene un costo importante, un objetivo claro para los primeros estudios sobre los tratamientos de la arcilla con cemento fue optimizar la formulación de la mezcla. Por ejemplo, Uddin et al. (1997), llevaron a cabo un estudio en el que mezclaron distintas cantidades de cemento con arcilla remoldeada a su humedad natural, ( $\approx 80\%$ ). Posteriormente determinaron propiedades físicas y resistencia a compresión.

De los resultados obtenidos se observó que tanto el tiempo de curado como el contenido en cemento aumentaban la resistencia a compresión simple de las muestras y que a partir de un 25% de cemento éste resultaba menos efectivo (Figura 1.3). El contenido de cemento y el tiempo de curado resultaban también en una respuesta edométrica más rígida y en mayor resistencia triaxial, pero su efecto era difícil de separar.

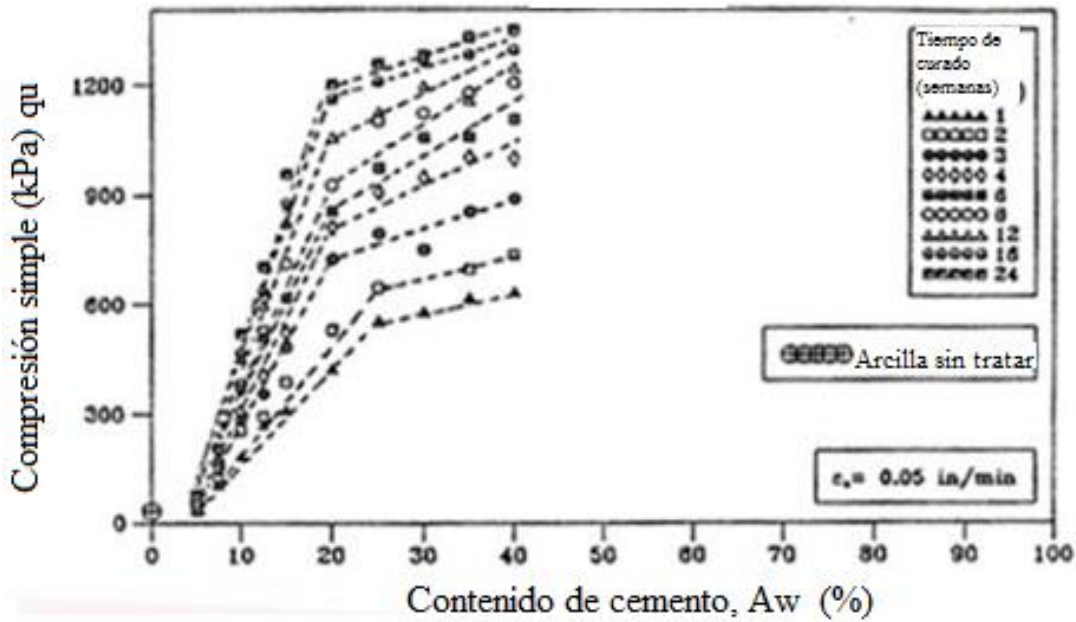


Figura 1. 3 Ensayos de compresión simple (Uddin et al., 1997).

Por otro lado, Miura et al. (2001) observaron que el tiempo de curado y el contenido de cemento no eran suficientes para caracterizar la mezcla. Inspirándose en la ley de Abrams, que establece la resistencia a compresión simple de los morteros de cemento es función de la relación agua/cemento ( $A/C$ ), llegaron a la conclusión que el contenido de agua inicial de la mezcla tenía que influir también en las mezclas suelo-cemento. Estos autores llevaron a cabo ensayos en los cuales mezclaron el cemento en polvo con una arcilla fluidificada (es decir, con agua en proporciones mayores que el límite líquido). La mezcla se dispuso en moldes y se curó en cámara húmeda. Variaron el contenido de agua inicial, que llamaron  $w_c$ , y el de cemento ( $A_w$ ) y observaron que las mezclas que tenían una misma relación  $w_c/A_w$  y se habían curado durante el mismo tiempo, tenían un comportamiento similar en odómetro, compresión simple o triaxial (Figura 1.4).

## 1. ANTECEDENTES

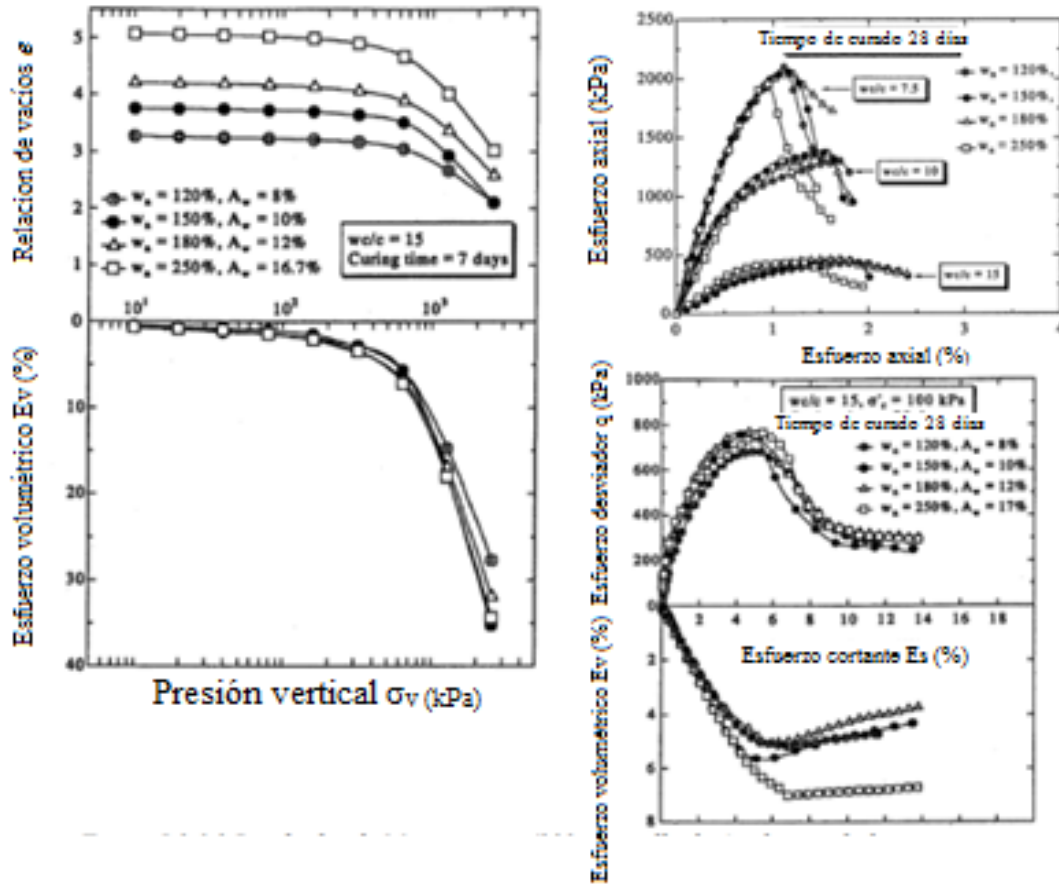


Figura 1.4 Resultados de Arcilla de Ariake mezclada con cemento (Miura et al., 2001).

Por otro lado, muchos investigadores (Puppala et al., 1996; Achampong et al., 1997; Mohammad et al., 1999; Mohammad y Saadeh, 2008; Ling et al, 2008; Solanki et al, 2010) han evaluado suelos de subrasante (estabilizado) bajo carga repetida y han encontrado que se presentan mejoras en las características elásticas del suelo.

Mohammad y Saadeh (2008) llevaron a cabo pruebas de módulo resiliente y de deformación permanente en materiales de base y sub-base tratados con cal/cemento, y observaron un aumento en el módulo resiliente de 1000% a 1500% en suelos estabilizados con cemento, y 225% a 325% de suelo estabilizado con cal en condiciones idénticas de esfuerzo de confinamiento (6psi). Para la subbase que se estabilizó con cal y cemento, se observó una considerable disminución de la deformación permanente (Figura 1.5).

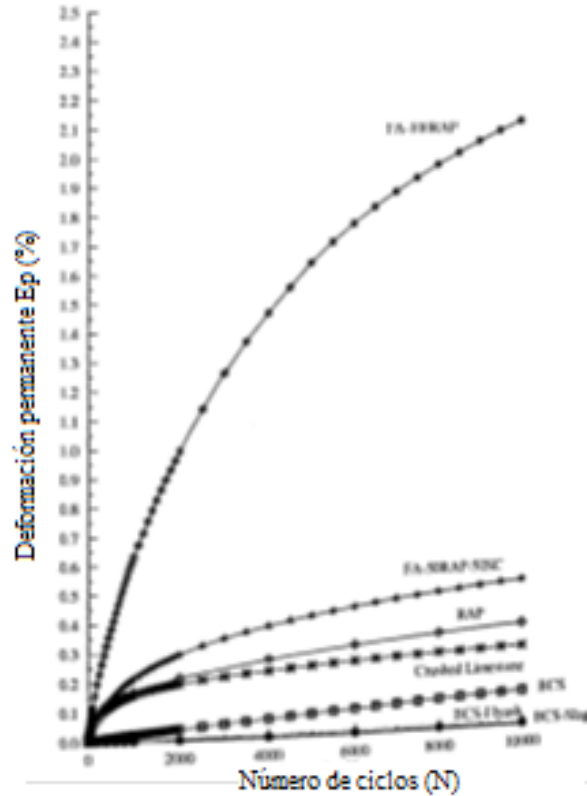


**Figura 1. 5 Deformación permanente de materiales de base estabilizados y no estabilizados (Mohammad y Saadeh, 2008)**

Recientemente Dhakal (2012) concluyó que la correlación de la compresión simple y el módulo de resiliencia en suelos estabilizados con cemento puede ser engañosa, pues encontró que tanto el módulo resiliente como las deformaciones permanentes están en función de la relación agua-cemento; de tal manera que a menor proporción de agua-cemento, se produce un mayor módulo de resiliencia y menor deformación permanente. Además, mencionó que los módulos resilientes observados fueron mayores para las presiones de confinamiento más altos y disminuyen con el aumento de esfuerzo desviador bajo la misma condición de confinamiento. En cuanto a las muestras analizadas después de 28 días de curado, mostraron un módulo ligeramente menor en comparación de las muestras analizadas a 7 días de curado, según dijo, puede deberse a la formación de grietas de contracción durante la hidratación del cemento en el proceso de curado.

### 1.2.2 . Estabilización de suelos con cemento Pórtland y zeolita sintética

Este método de estabilización de suelos es similar al descrito en el apartado 1.2.1., teniendo como única variable la adición de zeolita sintética.

Pese a que las zeolitas se conocen desde 1756, cuando el mineralogista sueco Baron Axel Fredrick Cronstedt descubrió la estilbita, su aplicación industrial sólo comienza en 1950, cuando fue producida por Linde de Union Carbide Corporation en los Estados Unidos para ser utilizadas como intercambiadores iónicos, para luego incrementar sus usos como catalizadores, adsorbentes o detergentes, cualidades que hacen que los productos a los que se les agrega, multipliquen su valor. Y es que desde entonces han tomado un auge inusitado, hasta el punto de que hoy en día se conocen más de diez mil patentes relacionadas con las mismas. Haciendo variar la composición de las soluciones y las condiciones operatorias, es posible sintetizar zeolitas de diferentes estructuras o la misma zeolita con diferentes composiciones químicas (Morante et al., 2005).

La gran variedad de zeolitas sintéticas que se conocen hoy en día, son producto del incremento del conocimiento nanotecnológico, cuyo campo está dominado por desarrollos en la física básica y la investigación química, donde los fenómenos a nivel atómico y molecular son utilizados para proporcionar materiales y estructuras que realizan tareas que no son posibles con dichos materiales en su forma macroscópica típica.

La nanotecnología es una de las áreas más activas en cuanto a investigación se refiere, la cual abarca varias disciplinas incluyendo materiales de ingeniería y construcción civil. Actualmente, las áreas de investigación más activas que se ocupan del cemento y concreto son: comprensión de la hidratación de las partículas de cemento y el uso de ingredientes de nano-tamaño, como son las partículas de alúmina y sílice; los cuales son componentes importantes de la zeolita (Balaguru y Chong, 2006).

## 1. ANTECEDENTES

Los materiales nanotecnológicos pueden ser utilizados para el diseño y los procesos de construcción, ya que, originalmente, los materiales dependen en gran medida de los elementos estructurales y fenómenos que son eficaces en micro y nanoescala; y entonces, la posibilidad de modificar estos elementos a nivel nanoestructural promete ofrecer la optimización de los materiales y el rendimiento necesario para mejorar significativamente el comportamiento mecánico que se reflejan como: estructuras más ligeras, materiales estructuralmente más fuertes, recubrimientos de bajo mantenimiento, mejoras en las propiedades de los materiales cementantes, asfaltos más duraderos etc. (Rana et al., 2009, Birgisson et al., 2012).

Es así que la como zeolita sintética utilizada en este estudio, es el resultado de estudios nanotecnológicos y cuyo distribuidor de la patente lo describe como:

“El conjunto de zeolitas sintéticas, compuestos alcalinos y activadores de patente: Es un aditivo en grano muy fino basado en metales alcalinos, alcalinotérreos y zeolitas sintéticas enriquecidos con un material proactivo complejo que le aporta características únicas al producto final” (Robin et al., 2014).

Este aditivo con características químicas específicas contribuyen unas con otras para que se realicen reacciones químicas proactivas/reactivas al añadirse a las mezclas de cemento, formando agujas cristalinas en todas las direcciones (Ver Figura 1.6); estabilizando los lados y la parte inferior de la superficie, con lo que se incrementa la flexibilidad y la resistencia de las capas de los caminos y mejora el desempeño de la adherencia entre dichas capas.

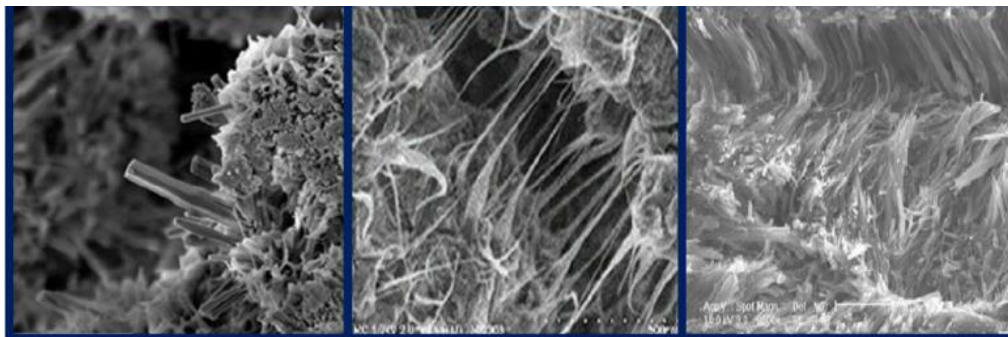


**Figura 1.6 Fotos a nivel nano de cristales modificados con zeolita sintética (Robin et al., 2014).**

A su vez, el aditivo modifica la dinámica y química dentro del proceso de hidratación del cemento, por lo que se puede acelerar o demorar el proceso de hidratación del cemento en caso necesario. Permite así, la unión de casi todos los tipos de materiales en la construcción de caminos, haciendo innecesario, en principio, el acarreo y retiro de materiales (Robin et al., 2014).

### ***1.2.2.1 Investigaciones sobre la zeolita sintética***

En estado natural, la zeolita en la interface cemento-puzolana, favorece el proceso de formación de tobermorita y estimula la cristalización de la variedad secundaria de este mineral. El efecto provocado por la zeolita natural, puede considerarse como un proceso normal y positivo, que permite la coagulación y cristalización completa del cemento Pórtland. La formación de tobermorita aporta estabilidad y resistencia al mortero, así como las diversas estructuras fabricadas con cementos puzolánicos, a su vez, la zeolita es capaz de controlar en la interface cemento-puzolana natural, diversas variables, tales como el pH, la humedad y la velocidad de reacción, y su carácter como intercambiador iónico, ejerce profundas influencias en el equilibrio interno de la pasta (Costafreda, 2008).

En el caso de las zeolitas de México y de Cuba, puede deducirse que a partir de la gran estabilidad de volumen y del tiempo de fraguado; al igual que las resistencias mecánicas elevadas que demostraron las muestras en la prueba de compresión simple. Otro importante descubrimiento fue la evolución del peso de las muestras elaboradas con zeolitas, en referencia a las elaboradas sólo con cemento Pórtland; este hecho puede orientar sobre las ventajas derivadas del empleo de zeolitas naturales en mezclas de morteros y concretos para obtener estructuras sumamente ligeras y duraderas. No obstante, es posible que en otros campos de aplicación, donde se exigen ciertos parámetros en específico, sea inviable el uso global de las especies zeolíticas (Costafreda et al., 2011).

## 1. ANTECEDENTES

En el año 1997 Gayoso y Rosell llegan a la formulación de un aditivo mineral activo para hormigones, denominado SZ, cuya composición es básicamente mineral zeolítico, y cuyo empleo es microscópicamente fundamentado con los estudios y aplicaciones piloto realizadas hasta hoy mediante las mediciones del comportamiento físico mecánico de los hormigones (Gayoso & Rosell, 2003).

En el estudio realizado por Gayoso, se observa que a la edad de 3 días ya hay un incremento discreto de la resistencia a compresión, el incremento más pronunciado de la resistencia a compresión se observa a partir de los 28 días. En la Figura 1.7, se aprecia que el aumento de las resistencias se caracteriza por un modelo exponencial donde, la serie CD (suelo-cemento-zeolita) tiene una mayor pendiente en comparación con la serie DD (suelo-cemento), incrementando en el tiempo las diferencias de resistencias. Esto se debe a la reacción puzolánica que comienza a partir de la formación de la fase portlandita como producto de la hidratación del cemento (Gayoso & Rosell, 2003).

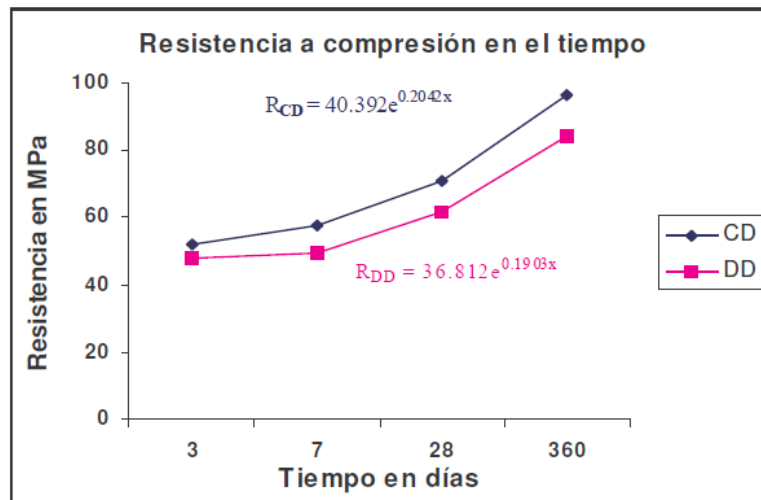


Figura 1.7 Resistencia a compresión en el tiempo (Gayoso & Rosell, 2003).

Una muestra de los hormigones a la edad de un año es analizada por el Lab. CCMA. CSIC. Madrid, observando claramente las diferencias morfológicas en la zona de interface árida pasta, debidas a las transformaciones que tienen lugar por la reacción puzolánica, (Figura 1.8).

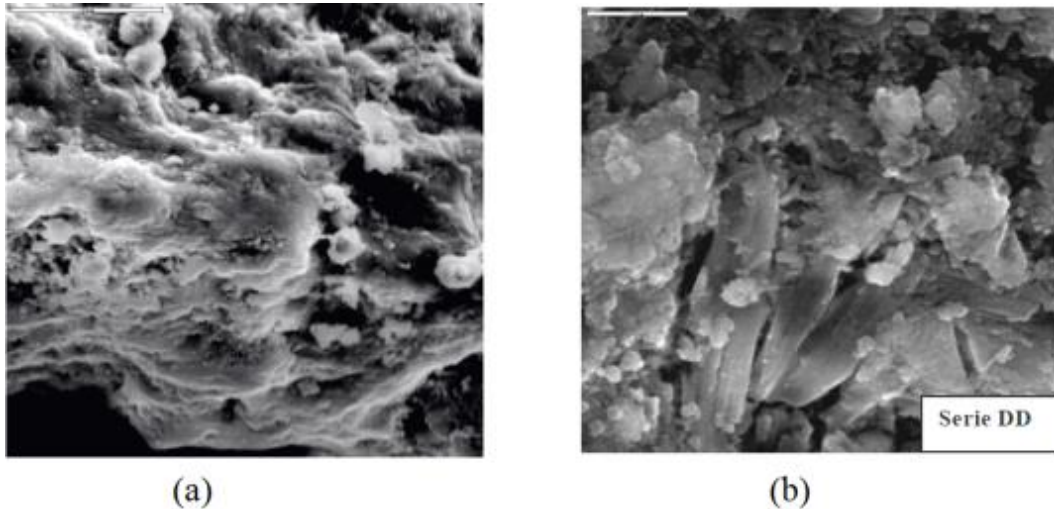


**Figura 1. 8 Micrografía de la interface árido-pasta de hormigones a la edad de 1 año; (a) Material suelo-cemento-zeolita; (b) Material suelo-cemento.**

En los hormigones con adición de zeolita se desarrollaron mayores resistencias a compresión, observando un aumento de este comportamiento en el tiempo, tal y como es característico de las reacciones puzolánicas. El comportamiento de la resistencia lo caracteriza un modelo exponencial que en el caso de adición de zeolita muestra una mayor pendiente (Gayoso & Rosell, 2003).

Cabe señalar que los resultados anteriores corresponden a zeolitas diferentes a las utilizadas en el presente proyecto.

Con respecto a la zeolita sintética utilizada en este proyecto, en el Instituto Mexicano del Transporte se han llevado a cabo estudios desde 2007. Por ejemplo, en el primer proyecto realizado se estudió la resistencia a compresión, el módulo de resiliencia y el valor relativo de soporte de una arcilla y una arena que se estabilizaron con cemento o con cemento y zeolita sintética. Los resultados de la arcilla indicaron que la resistencia a compresión fue ligeramente superior para la arcilla estabilizada con cemento y zeolita sintética (para tiempos de curado de 7, 28, y 56 días). Para 90 días de curado, ambas condiciones (arcilla-cemento y arcilla-cemento-zeolita sintética) presentaron resistencia a compresión simple similar (Ver Figura 1.9) (proyecto I 22/07).

## 1. ANTECEDENTES

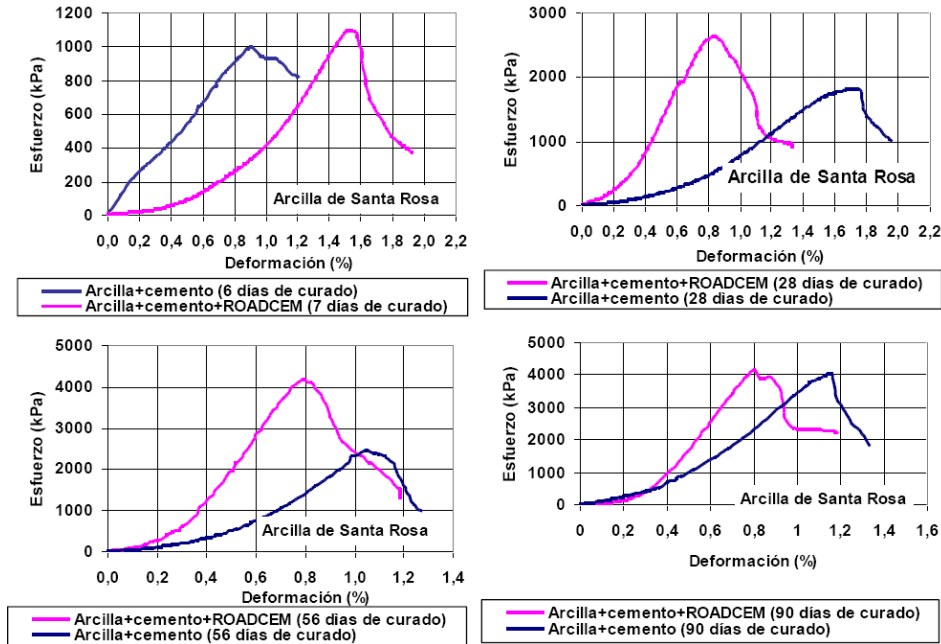


**Figura 1. 9 Resistencia a compresión de una arcilla estabilizada con cemento y con cemento y zeolita sintética.**

En el mismo estudio (I 22/07), también se evaluaron los módulos de resiliencia. Con respecto a este parámetro se encontró que durante los primeros días de curado ambas condiciones si mostraban diferencias, sin embargo, para 90 días de curado, los módulos de resiliencia fueron también similares (Figura 1.10).

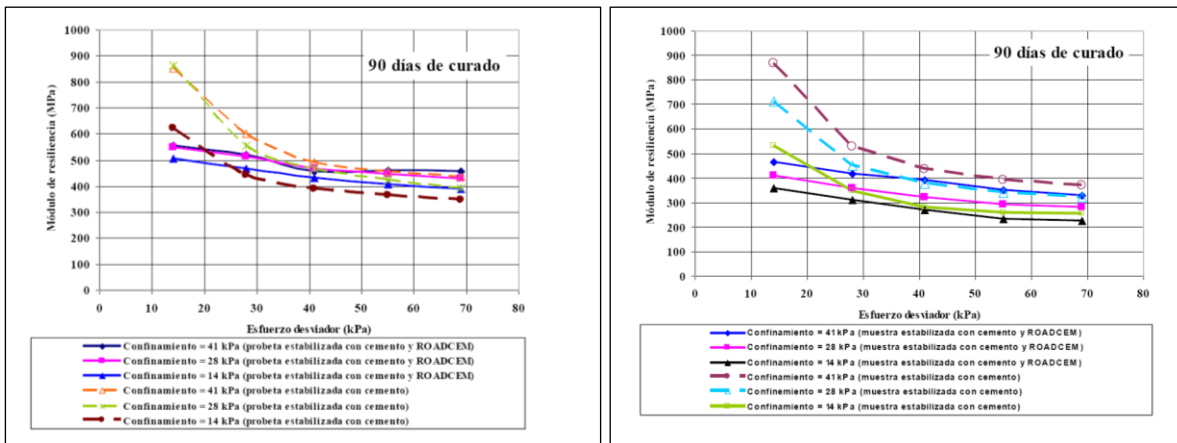


**Figura 1. 10 Módulos de resiliencia a 90 días de curado. (a) Arcilla; (b) Arena.**

## 1. ANTECEDENTES

Posteriormente, en el 2009 se llevó a cabo otro proyecto de investigación. En este se estabilizó arcilla CH de otro sitio de Querétaro. Una de las conclusiones que se obtuvieron de este estudio es que hubo propiedades como la resistencia a la degradación que se mejoran cuando a la arcilla se le estabiliza con cemento y zeolita sintética. De igual manera, las deformaciones observadas en muestras colocadas en el equipo Analizador de pavimentos fueron mínimas. Finalmente, en el 2014, Valencia (2014) presentó otro estudio de estabilización con cemento y la zeolita sintética de este estudio. Valencia encontró que el efecto de la zeolita sintética no se observó en la resistencia pero si en el módulo de elasticidad y en la permeabilidad evaluada a dos tiempos de curado (Figura 1.11).

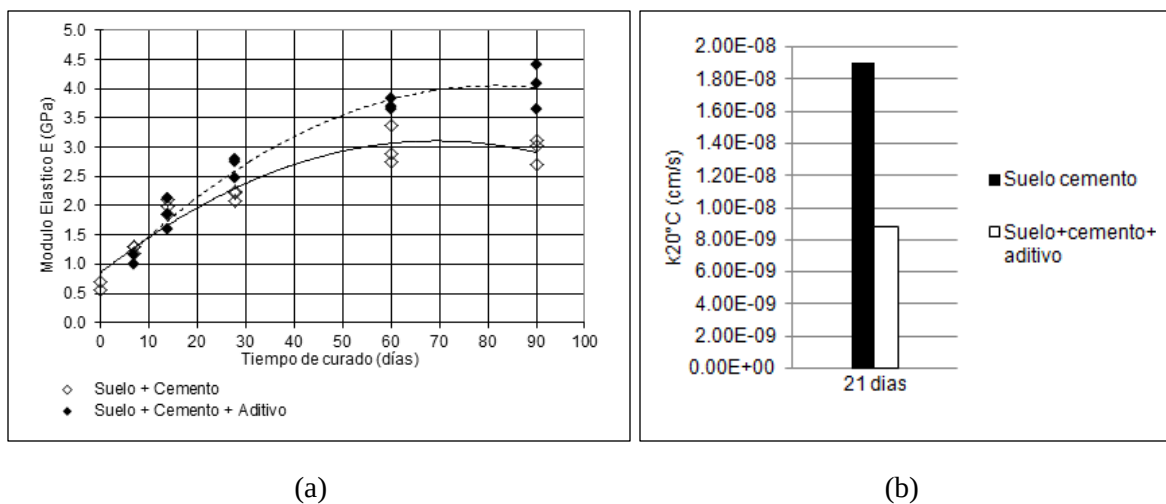


Figura 1. 11 (a) Módulos de elasticidad de una arcilla estabilizada con cemento y zeolita sintética; (b) Permeabilidad de la arcilla estabilizada con cemento en comparación con la arcilla estabilizada con cemento y zeolita sintética.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS DE PRUEBA

### 2.1. Introducción

La correcta caracterización de los materiales y metodología de los equipos utilizados en cualquier proyecto de investigación es la clave para tener la certeza de que los resultados obtenidos son confiables.

En este capítulo se describen los procedimientos para caracterizar el material de subbase y las técnicas utilizadas para la elaboración y ensaye de especímenes.

### 2.2. Muestreo del Material de Subbase

El material de subbase utilizado en el presente proyecto tiene como procedencia el banco de materiales CONIN, ubicado en el Km 202+000 de la autopista México-Querétaro (ver Figura 2.1). En este banco llaman a dicho material “subbase procesada” ya que está formada por grava y una cantidad de arena limosa.



**Figura 2.1. Ubicación geográfica del banco CONIN.**

### 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para el proyecto se suministraron 7 m<sup>3</sup> de material de subbase del banco CONIN (Figura 2.2 (a)), los cuales fueron trasladados al Instituto Mexicano del Transporte, ubicado en el Km 12+000 carretera Querétaro-Galindo, Sanfandila, municipio de Pedro Escobedo, Querétaro, donde se llevaron a cabo la totalidad de los trabajos realizados en esta investigación (Ver Figura 2.2 (b)).



**Figura 2.2 (a) Material de subbase obtenido del banco de material CONIN (b) Traslado del material de subbase al Instituto Mexicano del Transporte.**

#### **2.3. Caracterización de la subbase (N-CMT-4-02-001/11)**

La subbase es la capa de firme situada debajo de la base y sobre el cuerpo de terraplén. Su función es proporcionar a la base un cimiento uniforme y constituir una adecuada plataforma de trabajo para su puesta en obra y compactación. En todo caso, la subbase suele ser una capa de transición necesaria. Se emplean subbases granulares constituidas por arenas naturales, suelos estabilizados con cemento, escorias cristalizadas de horno alto, etc. (Serrano, 2011).

El objetivo de la clasificación de los suelos es aportar unas bases sobre las cuales puedan agruparse los suelos dependiendo de sus propiedades físicas y de su apariencia, con el propósito de comparar diferentes suelos, describir sus propiedades y estimar su

### 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

conveniencia para la utilización en un trabajo de ingeniería específico (Berry & Reid, 1993). Dado que el material en estudio se trata de una mezcla de material de grava y arena, se clasifica de acuerdo a la norma, como Material de Subbase Mezclada.

#### 2.3.1. Reducción de la muestra (ASTM C 702M-11)

La finalidad de la reducción de muestras del agregado es obtener el tamaño de muestra apropiado de tal manera que sea lo más representativa de la muestra integral.

En primera instancia, la subbase se tendió para que perdiera humedad y en los días siguientes se dio inicio al proceso de cuarteo con el Método A. En este método se usa un cuarteador mecánico: el material se introduce en un contenedor base que se vacía a una velocidad uniforme en un sistema de conductos cuyas aberturas tienen como fin distribuir de manera equitativa el material a los contenedores inferiores.

Se repite la operación anterior con cada una de las fracciones de la muestra de los contenedores inferiores, tantas veces sea necesario para reducir la muestra al volumen requerido para cada una de las pruebas (ver Figura 2.3).



**Figura 2.3 Cuarteador mecánico: (a) Elementos; (b) Sistema de aberturas.**

### 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para las pruebas a realizar en este proyecto, se determinó repetir el procedimiento únicamente con la mitad del material trasladado, como se aprecia en la Figura 2.4 (a), así hasta reducir el material a 50 kg aproximadamente, que es lo que estima cabe dentro de los costales utilizados para el almacenamiento del material, teniendo como resultado final los costales que se observan en la Figura 2.4 (b):



Figura 2.4 Reducción de muestras: (a) Cuarteos consecutivos; (b) Reducción final de material a tamaño de costal.

#### 2.3.2. Análisis granulométrico (ASTM C 136-06)

Independientemente del origen del suelo, los tamaños de las partículas que conforman el suelo, varían en un amplio rango. Los suelos en general son llamados grava, arena, limo o arcilla, dependiendo del tamaño predominante de las partículas. Para poder asignar la nomenclatura del suelo en estudio, se realizaron pruebas como la de granulometría que se describe a continuación.

El objetivo de la prueba pretende determinar la distribución de tamaños de los agregados finos y gruesos mediante mallas de diferentes aberturas (Berry & Reid, 1993).

### 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

El primer paso consiste en determinar el tamaño de la muestra de ensayo dependiendo del tamaño máximo nominal (Tabla 2.1)

**Tabla 2.1. Tamaño de la muestra para el ensayo de granulometría**

| Tamaño nominal máximo<br>Aberturas cuadradas |       | Tamaño mínimo del<br>espécimen de ensayo |     |
|----------------------------------------------|-------|------------------------------------------|-----|
| mm                                           | in    | kg                                       | lb  |
| 9.5                                          | 3/8   | 1                                        | 2   |
| 12.5                                         | 1/2   | 2                                        | 4   |
| 19.0                                         | 3/4   | 5                                        | 11  |
| 25.0                                         | 1     | 10                                       | 22  |
| 37.5                                         | 1 1/2 | 15                                       | 33  |
| 50.0                                         | 2     | 20                                       | 44  |
| 63.0                                         | 2 1/2 | 35                                       | 77  |
| 75.0                                         | 3     | 60                                       | 130 |
| 90.0                                         | 3 1/2 | 100                                      | 220 |
| 100.0                                        | 4     | 150                                      | 330 |
| 125.0                                        | 5     | 300                                      | 660 |

Posteriormente la muestra de suelo se hace pasar sucesivamente a través de un juego de tamices con aberturas de tamaño descendentes (ver Figura 2.5); los retenidos en cada malla se pesan y se calculan los porcentajes que representan respecto al peso de muestra total.

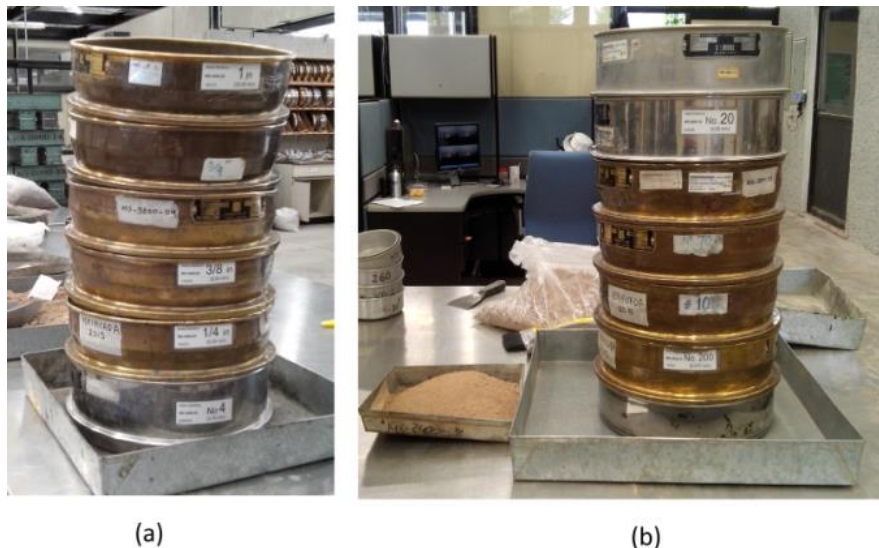


**Figura 2.5 Granulometría método tamizado manual: (a) Material Grueso; (b) Material Fino.**

La gráfica granulométrica suele dibujarse con porcentajes como ordenadas y tamaños de las partículas como abscisas. Las ordenadas se refieren al porcentaje, en peso, de las partículas

### 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

menores que el tamaño correspondiente. La representación es en escala logarítmica (eje de abscisas en escala logarítmica). La forma de la curva da inmediata idea de la distribución granulométrica del suelo (Juárez & Rico, 1975).

En la Figura 2.6 se aprecia las gráficas granulométricas límite recomendada para los materiales de subbase de pavimentos asfálticos, tal y como lo especifica la norma N-CTM-4-02-001/11:

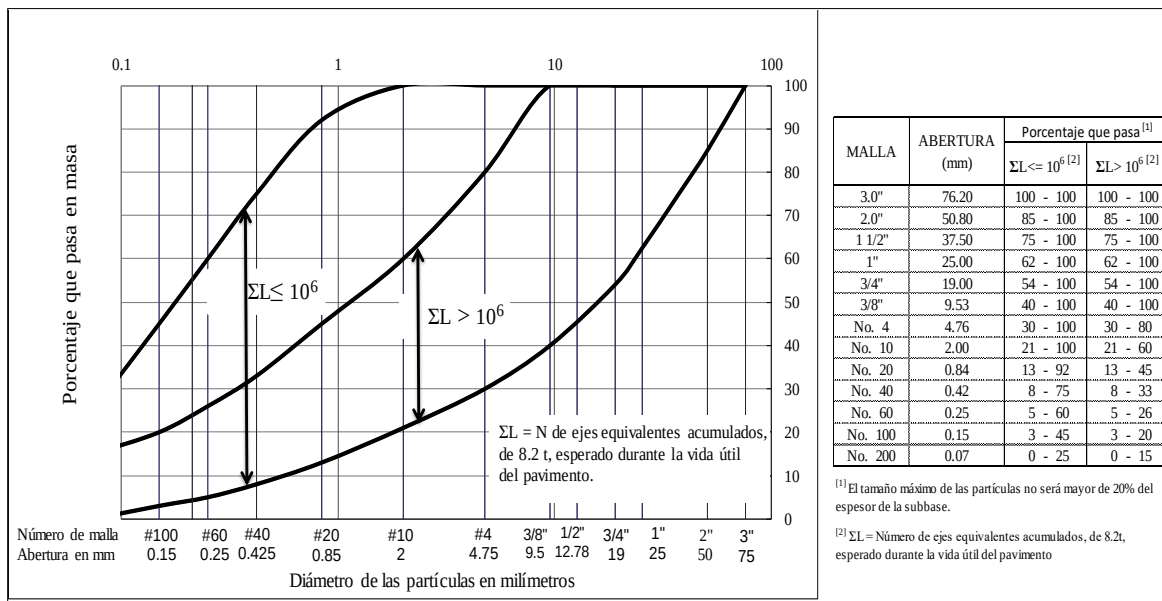


**Figura 2.6. Zonas granulométricas recomendables de los materiales para subbases de pavimentos asfálticos.**

Sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS).- De acuerdo con la distribución de tamaño de las partículas del material que pasa la malla de 75 mm., el suelo se clasifica como suelo granular si más del 50% es retenido en la malla No. 200, o suelo fino si el 50% o más pasa por la malla No. 200. Estos grupos se dividen a su vez en subgrupos a los cuales se le asigna un símbolo formado por una letra prefijo y una sufijo, como se muestra en la Figura 2.7:

### 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

|                |                                                                                                                                                             |
|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Letras prefijo | G- grava, si el 50% o más de la fracción granular es retenida en la malla No. 4.<br>S- arena, si más del 50% de la fracción granular pasa por la malla No.4 |
| Letras sufijo  | W- bien graduado.<br>P- mal graduado.<br>M- limoso.<br>C- arcilloso.                                                                                        |

**Figura 2.7 Letras que designan la clasificación SUCS de la parte granular del suelo.**

La fracción granular entonces se clasifica de acuerdo con su distribución de tamaños de las partículas, en tanto la fracción fina se clasifica de acuerdo con sus características de plasticidad con los parámetros conocidos como límites de Atterberg (Berry & Reid, 1993).

#### **2.3.3. Determinación del límite líquido, límite plástico e Índice de plasticidad (Norma ASTM D 4318-10)**

La plasticidad de un suelo depende de su humedad y de la naturaleza de sus posibles componentes arcillosos. En lo referente al contenido de agua, esto es intuitivo si se consideran dos estados límite: suelo disuelto en agua y suelo totalmente seco. El primero tiene un comportamiento viscoso, mientras que un suelo totalmente seco es frágil y no presenta plasticidad. Entre ambos extremos hay todo un rango de situaciones intermedias. Así, la plasticidad en sí no es una propiedad intrínseca del suelo (al depender de la humedad), pero sí lo son las humedades de las que es preciso dotar este suelo para alcanzar una cierta consistencia.

Cuando la plasticidad se convirtió en una propiedad índice fundamental, Casagrande se dio a la tarea de elaborar un método de prueba para la determinación del límite líquido estandarizado, resultando en la técnica basada en el uso de la Copa de Casagrande (ver Figura 2.8.), que es un recipiente de bronce o latón con un tacón solidario del mismo material; el tacón y la copa giran en torno a un eje definido a la base.

### 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Una excéntrica hace que la copa caiga periódicamente, golpeándose contra la base del dispositivo. La altura de caída de la copa es de 1 cm, medido verticalmente desde el punto de la copa toca la base al caer, hasta la base misma, estando la copa en su punto más alto. La copa es esférica, con un radio de 54 mm, espesor 2 mm y peso  $200 \pm 20$  g incluyendo el tacón.

Sobre la copa se coloca el suelo y se procede a hacerle una ranura con las dimensiones mostradas en la Figura 2.8.:

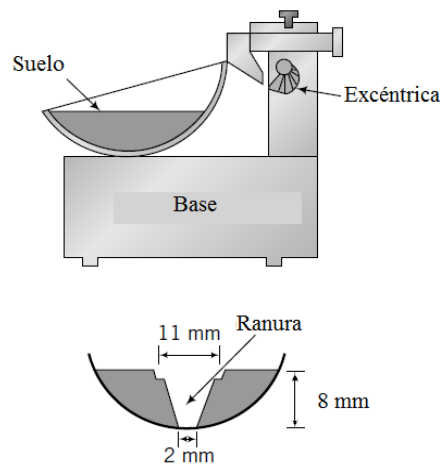


**Figura 2.8. Copa de Casagrande (Budhu, 2006).**

Para hacer la ranura debe usarse el ranurador (ver Figura 2.9.). Los límites de plasticidad deben determinarse en la fracción de suelo menor que la malla No. 40.

El procedimiento consiste en:

- 1- Tomar una cantidad de suelo húmedo y mezclar con la espátula, añadiendo agua hasta que adopte una consistencia suave y uniforme.
- 2- Colocar una porción en la copa de Casagrande y hacer una ranura con el ranurador.

### 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

- 3- Accionar la copa contando el número de golpes necesario para que la parte inferior del talud de la ranura se cierre (la ranura deberá cerrarse por flujo del suelo y no por deslizamiento del mismo respecto a la copa).
- 4- Repetir las etapas 2 y 3. Así se obtiene el número de golpes correspondiente a un cierto contenido de agua de suelo.
- 5- Cuando se ha obtenido un valor consistente del número de golpes, comprendido entre 6 y 35 golpes, se toma 10 g de suelo, de la zona próxima a la ranura cerrada para determinar el contenido de agua.
- 6- Se dibuja una gráfica con los contenidos de agua y números de golpes correspondientes en escala logarítmica. La ordenada correspondiente a los 25 golpes será el límite líquido.

En el caso del límite plástico:

- 1- Se mezcla perfectamente alrededor de 15 g de suelo húmedo.
- 2- Se rola el suelo sobre una placa de vidrio o de metal con la mano, hasta alcanzar un diámetro de 3 mm.
- 3- Se repite la etapa 2 hasta que el cilindro presente señales de desmoronamiento y agrietamiento al alcanzar un diámetro de 3 mm.
- 4- Al llegar al límite señalado en el paso 3, se determina el contenido de agua.
- 5- Se repiten los pasos 2 al 4 dos veces más, para obtener tres valores. El límite plástico del suelo será el promedio de las tres determinaciones.

Y en cuanto al Índice de Plasticidad, se obtiene con la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico (Juárez & Rico, 1975).

#### 2.4. Determinación de las características de compactación de un suelo usando energía modificada ( $E_{\text{mod}} = 2700 \text{ kN-m/m}^3$ ) (ASTM D 1557-12)

Se denomina compactación de suelos al proceso mecánico por el cual se busca mejorar las características de resistencia, compresibilidad y esfuerzo-deformación de los mismos: por lo general el proceso implica una reducción más o menos rápida de los vacíos, como consecuencia de la cual en el suelo ocurren cambios de volumen de importancia, fundamentalmente ligados a pérdida de volumen de aire, pues por lo común no se expulsa agua por los huecos durante el proceso de compactación. No todo el aire sale del suelo, por lo que la condición de un suelo compactado es la de un suelo parcialmente saturado. El objetivo principal de la compactación es obtener un suelo de tal manera estructurado que posea y mantenga un comportamiento mecánico adecuado a través de toda la vida útil de la obra (Rico y Del Castillo, 1977).

La norma establece que el método de prueba se determina de acuerdo a las características del material; en el presente proyecto se utilizó el **método B**, cuyas características son:

|                         |                                                                                                                                                                                  |
|-------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Molde:</b>           | 4 pulgadas (101.6 mm) de diámetro.                                                                                                                                               |
| <b>Material:</b>        | El que pasa la malla 3/8 de pulgada                                                                                                                                              |
| <b>Capas:</b>           | Cinco.                                                                                                                                                                           |
| <b>Golpes por capa:</b> | 25                                                                                                                                                                               |
| <b>Uso:</b>             | Puede ser usada si más de 20 % en peso del material es retenido en la malla No. 4 (4.75 mm) y 20 % o menos en peso del material es retenido en la malla 3/8 de pulgada (9.5 mm). |
| <b>Otro Uso:</b>        | Si no es especificado este procedimiento, los materiales que cumplen con estos requerimientos de granulometría pueden ser probados usando el Método C.                           |

### 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### *I.- Equipo*

Tal y como se describe en el párrafo anterior, para el proceso de compactación se utilizó un molde de diámetro interior promedio de  $4.000 \pm 0.016''$  ( $101.6 \pm 0.4$  mm), una altura de  $4.584 \pm 0.018''$  ( $116.4 \pm 0.5$  mm); un pisón de 10 lbf (44.5 N) y altura de caída de 18'' (457 mm) para producir una energía de compactación de  $56,000 \text{ ft-lb/ft}^3$  ( $2,700 \text{ kN-m/m}^3$ ); un extractor de muestras, balanza, horno de secado, enrasador y utensilios de mezclado (ver Figura 2.9).



**Figura 2.9 Equipo de prueba: (a) Material de mezclado, pisón, molde y extractor de muestras; (b) Horno de secado.**

#### *II.- Método de ensayo*

En primera instancia, se saca el contenido de agua del suelo empleado, y se preparan seis especímenes variando el contenido de agua gradualmente, y esto se logró incrementando 50 ml entre cada muestra (se inició agregando 150 ml, hasta 400 ml).

Una vez homogenizado el material, se deja reposar 24 horas antes de la compactación; en el caso del material mezclado con cemento Pórtland, se omitió la parte del reposo debido al proceso de fraguado del mismo.

### 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Ya engrasado el molde, se procedió a compactar el material en cinco capas aproximadamente iguales con una velocidad de 25 impactos/min y escarificando con el cuchillo entre capas. Una vez concluida la compactación de la última capa, se retiró el collarín, se enrasó y se extrajo para determinar su masa; en el caso de especímenes ya muy saturados, se decidió pesar la muestra más la base.

Se disgregó el material para sacar contenidos de agua, en tres cápsulas (ver Figura 2.10).

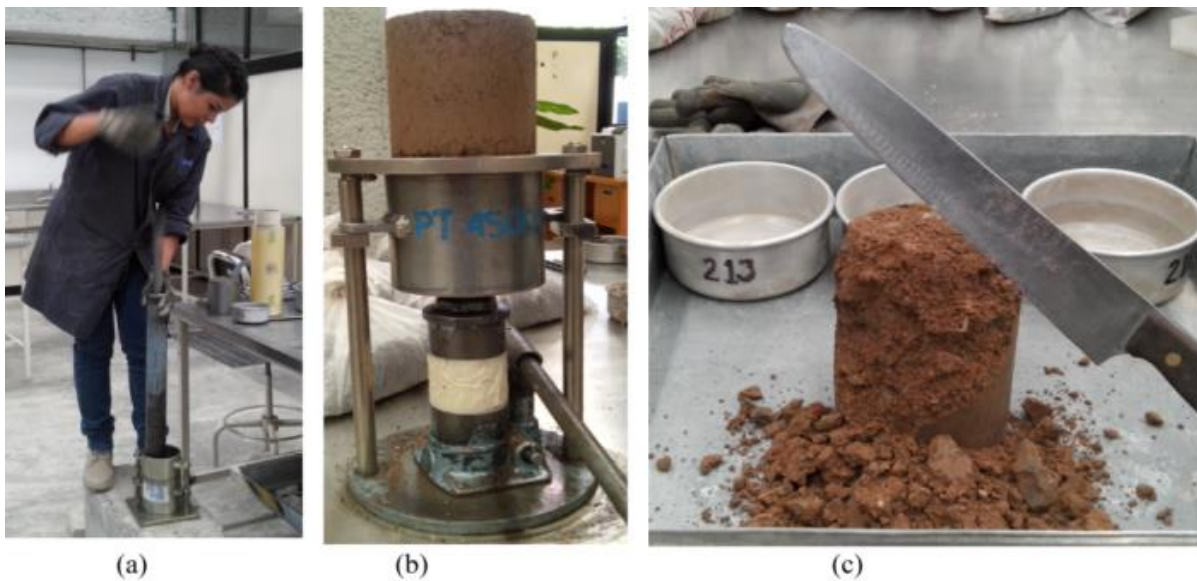


**Figura 2.10 Proceso de compactación; (a) se aplicaron 25 golpes por capa; (b) Extracción del espécimen; (c) Disgregado de muestra.**

El resultado es la determinación del peso volumétrico seco y el contenido de agua. El procedimiento se repite para un número suficiente de contenidos de agua para establecer la relación entre el peso volumétrico seco y el contenido de agua del suelo. Estos datos, cuando son graficados, representan una relación curvilínea conocida como curva de compactación. Los valores de contenido óptimo de agua ( $\omega_{opt}$ ) y peso volumétrico seco máximo modificado ( $\gamma_{dm\acute{a}x}$ ) son obtenidos de dicha curva de compactación.

#### 2.5. Procedimiento para la elaboración de cilindros

Dada las especificaciones de prueba, se elaboraron especímenes de 150 mm de diámetro y 300 mm de altura. El material de subbase utilizado para la realización de dichos especímenes cuenta con un tamaño máximo de partícula de  $\frac{3}{4}$  in (19.05 mm). Para el caso particular de materiales de base/subbase y suelos de subrasante, se pueden elaborar dos tamaños de muestra (Witczak, 2003):

- Muestras con diámetro de 150 mm y 300 mm de altura para todos los materiales con tamaño de partícula mayor a 19 mm (usadas en el presente proyecto).
- Muestras con diámetro de 100 mm y 200 mm de altura para materiales con tamaño de partícula menor a 19 mm.

##### *I.- Equipo*

Se utilizó un molde con las dimensiones requeridas (150 mm de diámetro y 300 mm de altura sin collarín), así como un pisón de 10 lbf (44.5 N) y altura de caída de 18" (457 mm), tal y como se muestra en la Figura 2.11:

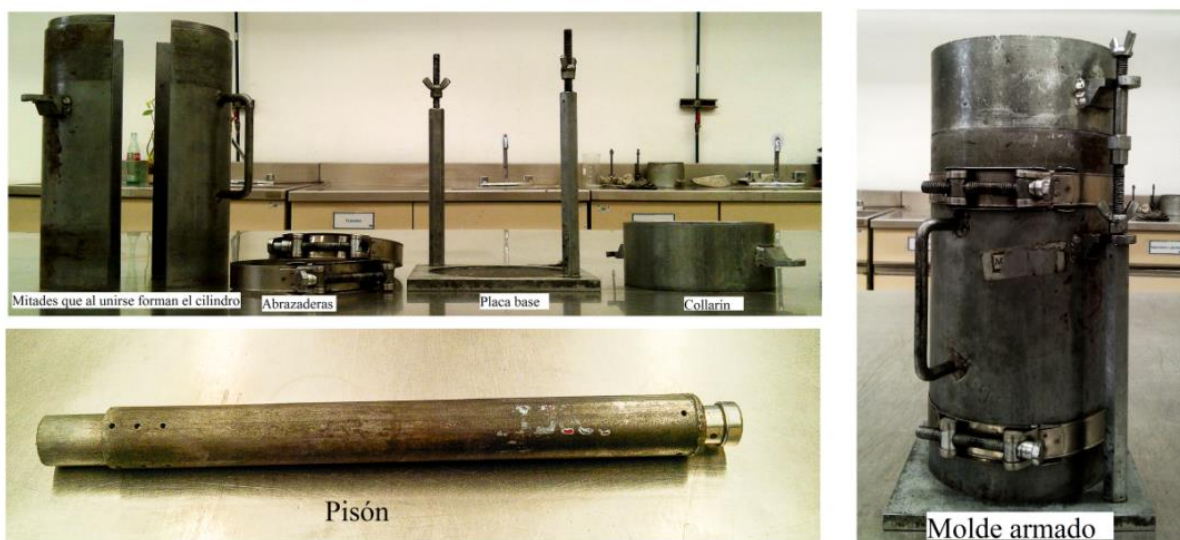


**Figura 2.11 Molde y pisón de compactación.**

### 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### II.- Compactación de espécimen

Primero se calculó el contenido de agua inicial del material ( $\%w_{prom}$ ) para en base a ello obtener las cantidades en pesos, de los materiales que hay que homogeneizar para obtener el material y compactarlo.

Los cálculos realizados para las cantidades de cada material se presentan en la Tabla 2.2:

**Tabla 2.2 Pesos de los materiales a homogeneizar.**

| Espécimen<br>Material      | Suelo Natural                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Suelo-Cemento                                                                                                                                                                                                                                                             | Suelo-Cemento-Zeolita                                                                                           |
|----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Masa Total $W_t$<br>(g)    | $W_t = 95\% \gamma_{dm\acute{a}x} * V$<br>$W_t$ = Masa total requerida para la elaboración de especímenes (g)<br>$\gamma_{dm\acute{a}x}$ = 0.95 del peso específico seco máximo del material ( g/ cm <sup>3</sup> )<br>$V$ = Volúmen del molde (cm <sup>3</sup> ) (aumentando 0.5 cm en la altura para considerar el enrase) |                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                 |
| Masa de Suelo $S_s$<br>(g) | $S_s = \frac{W_t}{1 + \frac{w_{prom}}{100}}$<br>$w_{prom}$ = Contenido de agua inicial del suelo                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                 |
| Agua $W_w$<br>(g)          | $W_w = \left( \frac{\%w_{opt} + F - \%w_{prom}}{100} \right) S_s$<br>$\%w_{opt}$ = Obtenido de curvas de compactación<br>$F$ = Factor de pérdida de humedad por manipulación (entre 2 y 2.5)                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                 |
| Cemento Pórtland<br>(kg)   | ---                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | $Vol (m^3) = \frac{S_s}{(\gamma_{dm\acute{a}x})}$ <div style="display: inline-block; vertical-align: middle;"> <math>\Rightarrow 1m^3 \text{ de mat} \rightarrow 180 \text{ kg de cemento}</math><br/> <math>Vol m^3 \rightarrow X = W_{cemento} \text{ kg}</math> </div> |                                                                                                                 |
| Zeolita sintética<br>(kg)  | ---                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | ---                                                                                                                                                                                                                                                                       | $1m^3 \text{ de mat} \rightarrow 1.8 \text{ kg de zeolita}$<br>$Vol m^3 \rightarrow X = W_{zeolita} \text{ kg}$ |

*Nota.- En el caso de la mezcla que contenía zeolita sintética, a 100 kg de material de subbase se adicionó la zeolita y se dejó reposar por 24 horas antes de ser utilizado en el proceso de compactación.*

### 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Ya obtenidos los pesos de cada material, se llevó a cabo el proceso de mezclado de los mismos, iniciando con los materiales secos, y por último se agregó el agua, hasta tener una masa uniforme, la cual se pesó y se reservó en cinco bolsas (por las cinco capas de compactación) (ver Figura 2.12).

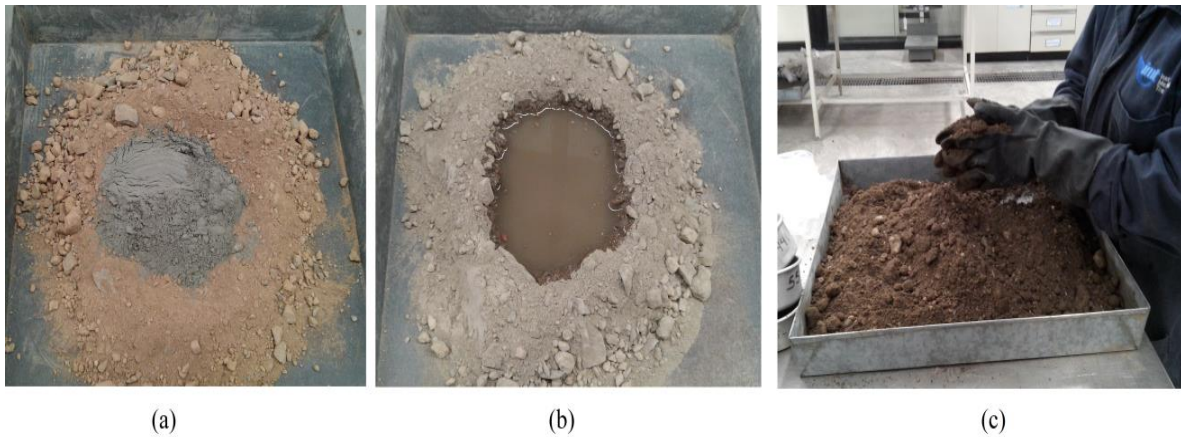


**Figura 2.12 Mezclado de materiales; (a) Suelo y cemento, (b) Suelo-cemento y agua; (c) masa homogeneizada.**

Se procedió a determinar el número de golpes necesarios por capa para lograr los especímenes con el peso volumétrico requerido (ver Figura 2.13).



**Figura 2.13 Determinación del número de golpes; (a) Compactado con determinado número de golpes; (b) Exceso de impactos aplicados por capa (50) (c) Número de golpes no adecuados (25 golpes); (d) Número de golpes adecuados para compactar suelo-cemento y suelo-cemento-zeolita (30 golpes).**

### 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Ya determinados los golpes, se dio inicio a la elaboración de especímenes, los cuales fueron enrasados, pesados y medidos (ver Figura 2.14).

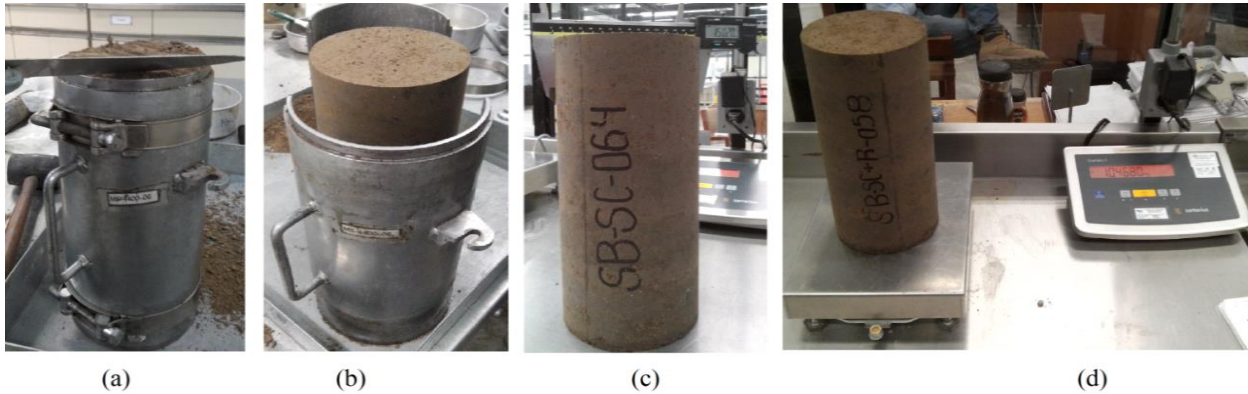


**Figura 2.14 (a) Enrase de espécimen; (b) Desmolde; (c) Identificación; (d) Determinación del peso.**

Para la identificación (ver Figura 2.14 (c)), se utilizó lo siguiente:

- SB: Para material de subbase.
- SB-SC: Subbase con cemento.
- SB-SC+R: Subbase con cemento y zeolita sintética.

Después de la compactación, los cilindros se cubrieron con una bolsa perforada y se almacenaron en el cuarto de curado (ver Figura 2.15) hasta el día de ensayo.



**Figura 2.15 Muestras colocadas en el cuarto de curado.**

Se descartaron los especímenes que no cumplieron con las especificaciones siguientes:

- Contenido de agua:  $w_{opt} \pm 0.5 \%$
- Peso volumétrico seco máximo:  $95\% \gamma_d \pm 1\%$

## **2.6. Procedimiento de prueba de módulo de elasticidad E (ASTM, 2001)**

### **2.6.1 Introducción**

Al tratar con un material de construcción, existe la preocupación de dos aspectos fundamentales, en torno a los que puede decirse giran todos los demás. Éstos son en primer lugar, la resistencia del material a esfuerzos a los que se somete, problema que lleva aparejado el concepto de falla del material. En segundo lugar, preocupa la deformabilidad del material expresada en relación a los esfuerzos que se le apliquen, tanto en lo que se refiere a la intensidad o nivel de los esfuerzos, como a la manera en que se ejerzan, incluyendo su velocidad de aplicación. Ésta última gama de comportamiento es lo que se describe en forma primaria por medio de una relación esfuerzo-deformación.

Para la gran mayoría de los problemas prácticos, el mejor método para conocer las características esfuerzo-deformación es medir directamente en una prueba de laboratorio o de campo las deformaciones que producen los esfuerzos más similares posibles a los que actuarán en la masa de suelo afectada por el problema real que se estudie (Rico & Del Castillo, 1977).

Existen una enorme variedad de maneras de aplicar esfuerzos y de producir, por consiguiente, deformaciones de suelo, siendo las más importantes y usadas la prueba de compresión simple y la prueba triaxial. La prueba de compresión simple es una variante de la prueba triaxial, en la que la presión de confinamiento es nula.

Cuando un material se sujeta a esfuerzos de tensión uniaxial, su comportamiento mecánico está descrito por su relación esfuerzo-deformación, una hipótesis referente a su compresibilidad y un criterio de fluencia. La forma de una curva esfuerzo-deformación depende, naturalmente, de las características del material con que se trabaje (Juárez & Rico, 1975).

### 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Un comportamiento esfuerzo-deformación típico del concreto se muestra en la Figura 2.16, donde se puede apreciar que a medida que el esfuerzo aumenta, la deformación lo hace del mismo modo proporcionalmente. El diagrama tiene un comportamiento lineal hasta el punto A, donde no ocurre la deformación permanente cuando se quita esta carga. Luego, la curva se desvía de su forma lineal con la aplicación de mayor carga sobre la muestra a partir del punto A, y este comportamiento continúa con el aumento de la curvatura hasta el punto M. Rápidamente aparecen micro grietas conforme incrementa el esfuerzo después del punto A, hasta la resistencia del concreto en el punto M, por lo que la falla o fractura ocurre en el punto K.

Y así es como se dice que  $\sigma_k$  y  $\epsilon_k$  representan el esfuerzo y la deformación unitaria respectivamente, exactos en el punto K (TOPÇU, 2007).

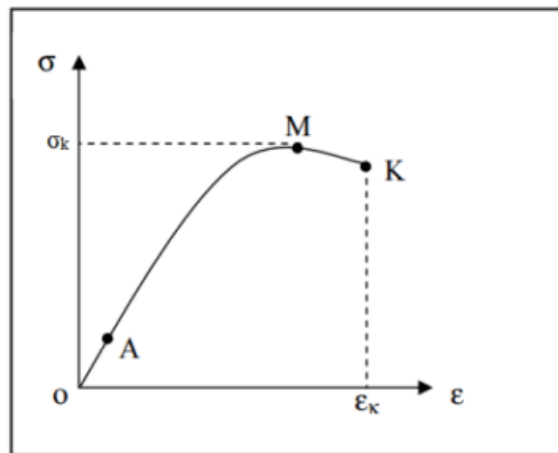


**Figura 2.16. Curva típica de esfuerzo-deformación del concreto (TOPÇU, 2007).**

#### 2.6.2. Procedimiento

La norma ASTM C 469 que se refiere al método de prueba estándar para módulo de elasticidad estático y coeficiente de Poisson de hormigón en compresión, describe el módulo de elasticidad como un esfuerzo contra la deformación unitaria.

### 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Las fórmulas para determinar el módulo de elasticidad y el coeficiente de Poisson según la norma mencionada, son:

$$E = \frac{(S_2 - S_1)}{(\epsilon_2 - 0.000050)} \quad (2.1)$$

Donde:

E= Módulo de elasticidad, MPa (psi)

S<sub>2</sub>= Esfuerzo correspondiente al 40% de la carga última MPa (psi)

S<sub>1</sub>= Esfuerzo correspondiente a la deformación unitaria longitudinal,  $\epsilon_1$ , de 50 millonésimas, en MPa (psi)

$\epsilon_2$  = Deformación unitaria longitudinal producida por el esfuerzo S<sub>2</sub>, en millonésimas:  $\mu\text{m}$  ( $\mu\text{pulg.}$ ), y:

$$\mu = \frac{(\epsilon_{t2} - \epsilon_{t1})}{(\epsilon_{t2} - 0.000050)} \quad (2.2)$$

Donde:

$\mu$  = relación de Poisson.

$\epsilon_{t2}$  = Deformación unitaria transversal en la altura media del espécimen producida por S<sub>2</sub> en millonésimas :  $\mu\text{m}$  ( $\mu\text{pulg.}$ ).

$\epsilon_{t1}$  = Deformación unitaria transversal en la altura media del espécimen producida por S<sub>1</sub> en millonésimas :  $\mu\text{m}$  ( $\mu\text{pulg.}$ ).

A continuación se puntualizan las características de la prueba de compresión simple:

### 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

- *Equipo*

La máquina de ensayo usada debe de ser capaz de aplicar una carga a la velocidad y a la magnitud requerida para la prueba (ver Figura 2.17).

En el IMT, se usan en conjunto los siguientes sistemas de adquisición de datos:

- uno que se usa para ejecutar la prueba: (INSTRON), y
- otro sistema que registra los desplazamientos verticales y radiales del espécimen con LVDTs, además del registro de carga.



Figura 2.17 Equipo INSTRON.

### 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En la Figura 2.17 se aprecian los siguientes elementos:

- 1.- Marco de carga
- 2.- Pistón de carga
- 3.- Celdas de carga (inferior = celda de carga externa; superior = celda de equipo INSTRON).
- 4.- Control de flujo hidráulico (desplazamiento del pistón)
- 5.- Control de flujo hidráulico (desplazamiento del marco de carga)
- 6.- Botón de emergencia y/o seguridad
- 7.- Medidores de deformación axiales
- 8.- Medidores de deformación radial
- 9.- Anillos soporte de LVDTs

En la Figura 2.18 se observan a detalladamente los elementos 2, 3, 4, 7, 8 y 9 descritos en el párrafo anterior.



**Figura 2.18 Acercamiento de muestra colocada en el equipo INSTRON**

### 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

- *Método de ensayo para materiales de base/subbase y suelos de subrasante*

Después del tiempo de curado, los especímenes se midieron y se pesaron para determinar cuánta agua absorbieron. Enseguida se colocó el dispositivo para sujeción de LVDT's (Figura 2.19).

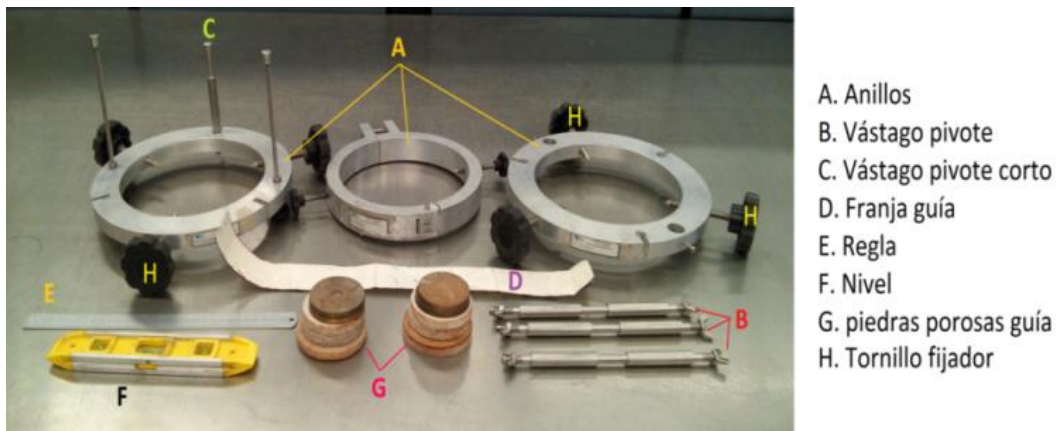


**Figura 2.19** Equipo guía para los medidores de deformación.

El procedimiento de colocación fue el siguiente:

Con ayuda de una regla, se centra el espécimen en el anillo inferior y se ajusta con los tornillos fijadores, cuidando de no perforar de manera deliberada la muestra (Ver Figura 2.20).

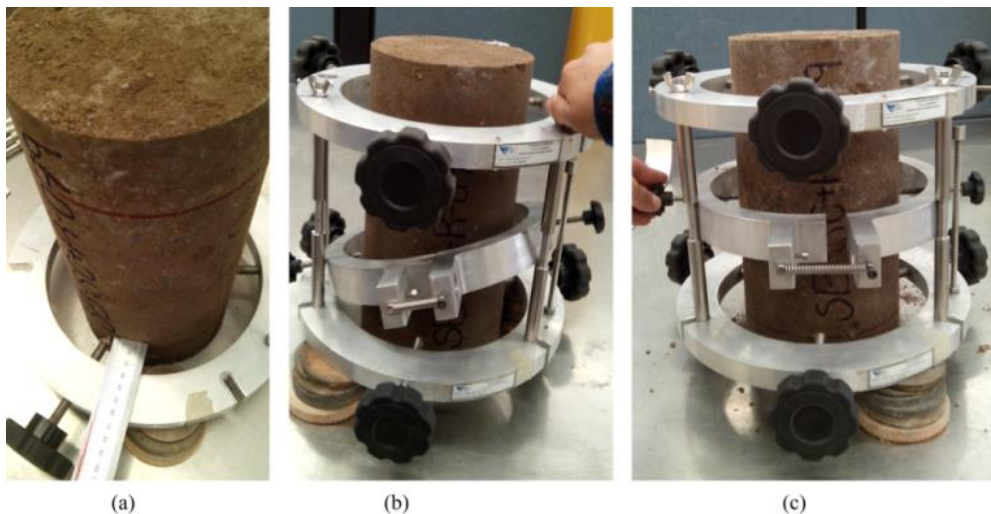


**Figura 2.20** Colocación de anillos; (a) Centrar con ayuda de una regla; (b) Alinear vástagos pivote; (c) Anillos colocados.

### 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se coloca la muestra en el cabezal inferior del equipo INSTRON; se retiran los vástagos pivote posterior y se pone en su lugar el vástago pivote corto para que le dé el soporte necesario al anillo interno (ver Figura 2.21).

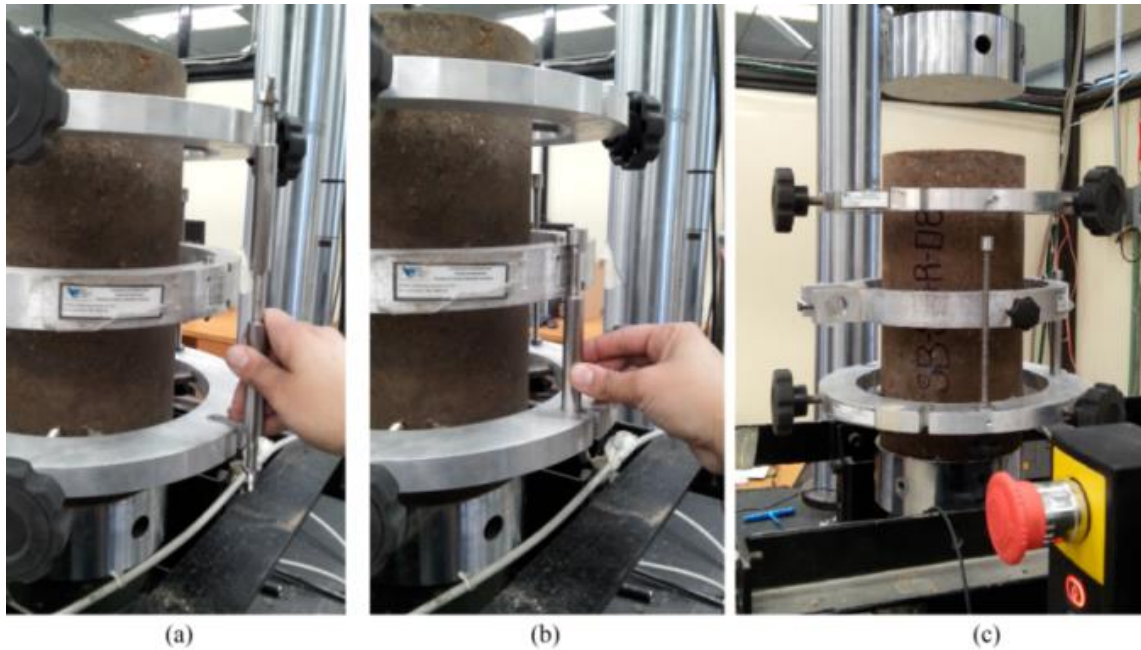


**Figura 2.21** Muestra en cabezal inferior del equipo INSTRON; (a) Retirar vástago pivote; (b) Sustituir con vástago pivote corto; (c) Espécimen colocado.

Se utiliza el software del sistema externo para especificar los rangos de los LVDTs (ver Figura 2.22):

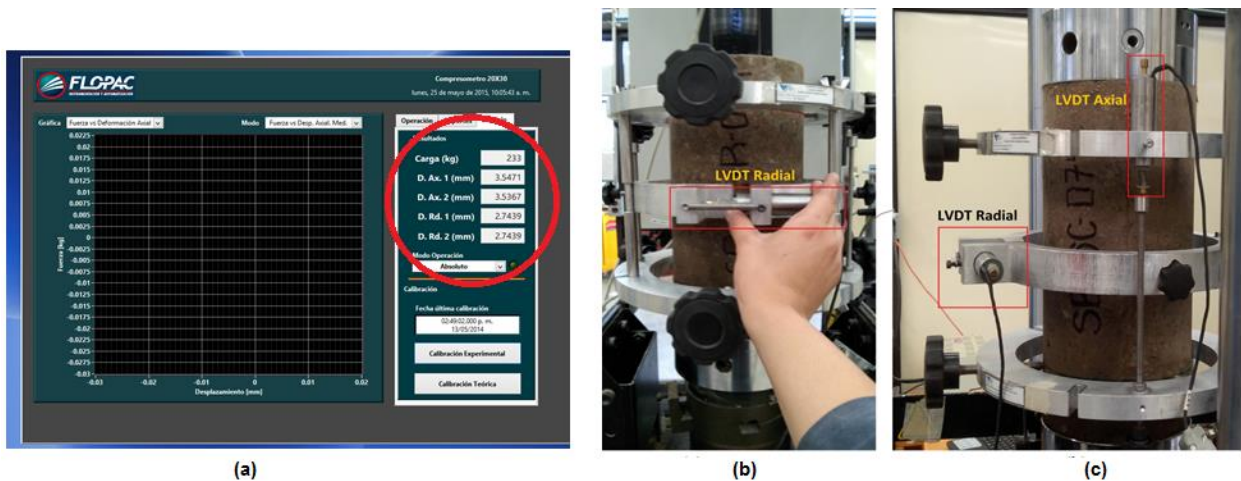


**Figura 2.22** Colocación de LVDTs; (a) Posición ideal para LVDTs, Ax= Axial y Rd= Radial; (b) LVDT radial; (c) LVDT axial y radial.

### 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el quipo INSTRON se programa la prueba, indicando la velocidad de prueba (3.6 mm/min) (ver Figura 2.23).

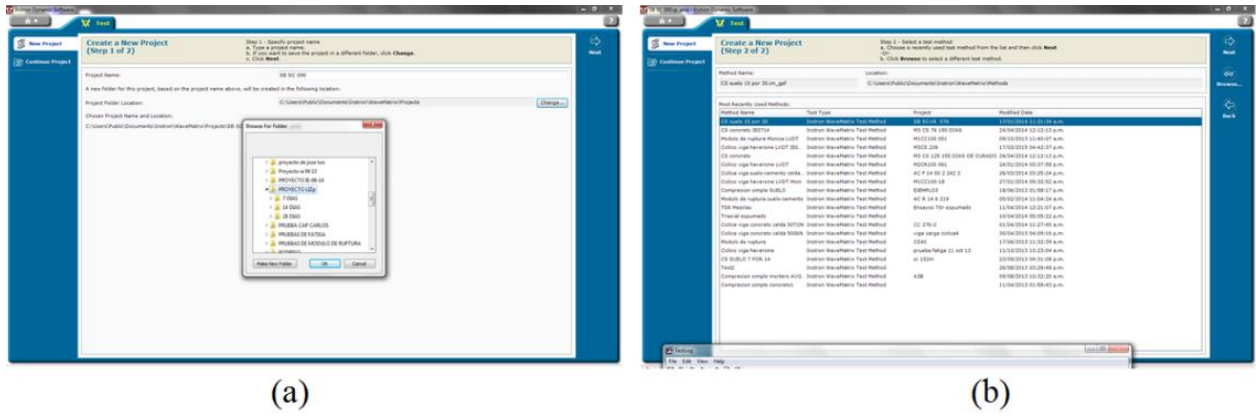


Figura 2.23 (a) Datos del espécimen, (b) Selección de ensayo.

Se ejecuta la prueba en el equipo INSTRON y simultáneamente se indica en el sistema externo que inicie la adquisición de datos (ver Figura 2.24).

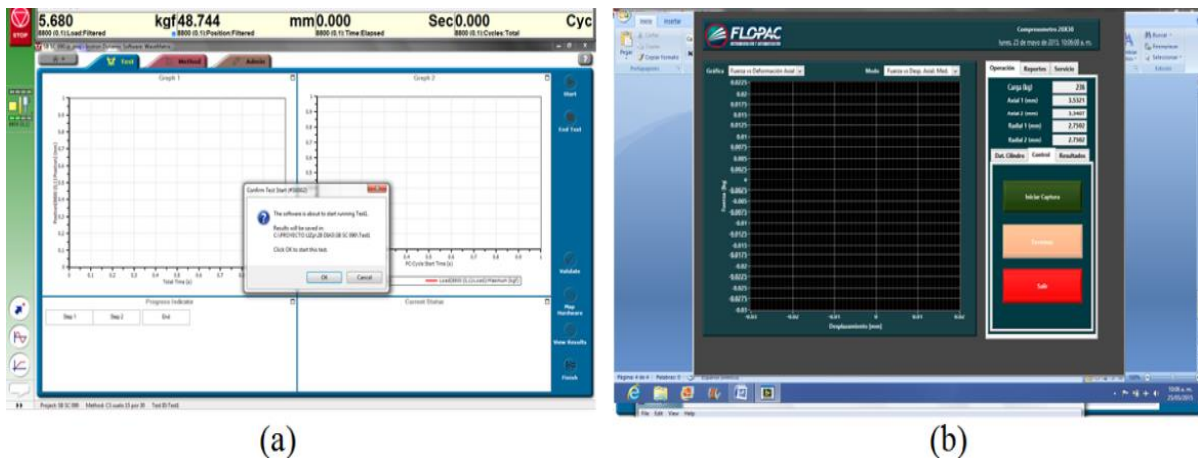


Figura 2.24 Inicio de prueba (a) Sistema INSTRON, (b) Ventana del software durante la adquisición de datos

- *Monitoreo durante el ensayo*

Durante el ensayo debe revirarse que la velocidad de la carga se mantenga constante para descartar toda prueba en la que no suceda así (Figura 2.25).

### 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

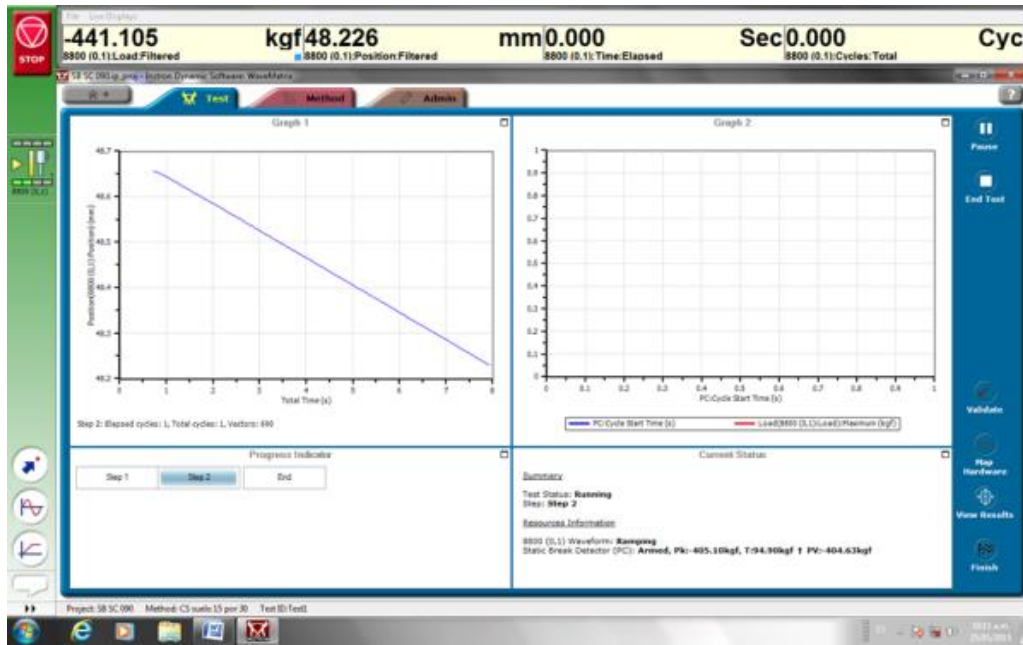


Figura 2.25 Velocidad y desplazamiento de carga.

El equipo externo monitorea el desarrollo de la prueba en tiempo real y muestra la curva carga-deformación (ver Figura 2.26).

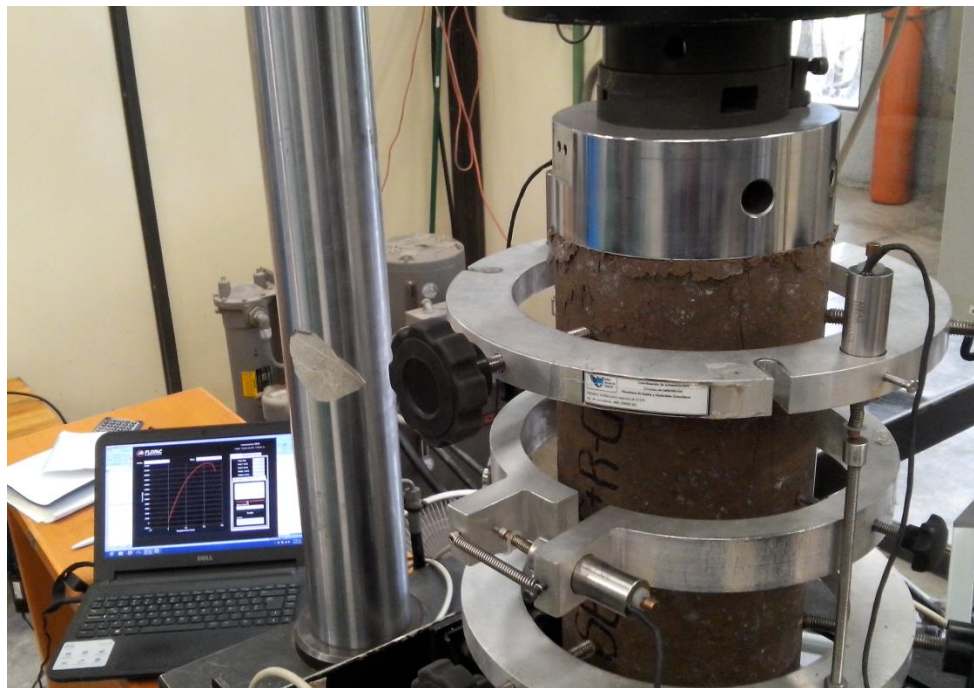


Figura 2.26 Curva carga-deformación de una prueba de compresión simple.

## 2.7. Procedimiento de prueba de módulo de resiliencia $M_r$ (NCHRP 1-28A)

### 2.7.1. Introducción

El módulo de elasticidad y la relación de Poisson no son constantes en el suelo, sino cantidades que, en el mejor de los casos, describen aproximadamente el comportamiento de un suelo para un estado de esfuerzos dado y que cambiarán, quizá radicalmente, si cambia el estado de esfuerzos o si los esfuerzos se aplican de diferente manera.

Las estructuras de los pavimentos para calles, carreteras y autopistas están sometidas a cargas repetitivas impuestas por los vehículos. Este tipo de cargas son dinámicas de corta duración, que llevan a la fatiga a la estructura del pavimento en un periodo de tiempo, el cual también depende de las propiedades geomecánicas y dinámicas de los materiales, además del proceso constructivo.

La transmisión de la carga ( $P$ ) en la superficie de la estructura del pavimento, está en función de inflado de las llantas de los vehículos las cuales oscilan de 1.2 MPa a 0.7 MPa. En la Figura 2.27 se presenta un esquema sobre dicha transferencia de cargas, las cuales disminuyen considerablemente una vez que van llegando a la parte inferior de la estructura, la subrasante (Vidal & Osorio, 2002).

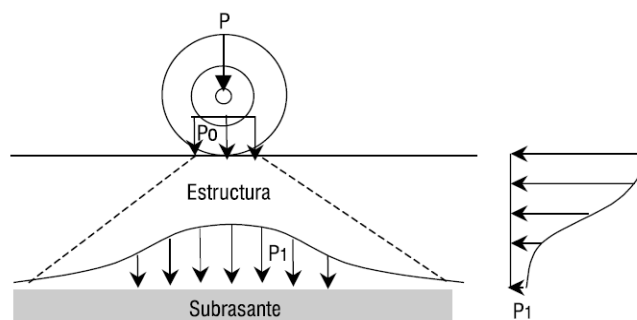


Figura 2.27 Esquema de transferencia de cargas en función del inflado de llantas (Vidal, et al., 2002).

La reacción de un material cuando la carga es retirada, es recuperar parte de la deformación inducida; la capacidad de recuperación de dicho material es lo que comúnmente se denomina la resistencia de los materiales. La relación entre el esfuerzo desviador y la correspondiente deformación unitaria recuperada se denomina módulo resiliente.

### 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

La subrasante está sometida a un estado de esfuerzos variables y por ende a un estado de deformaciones en el momento en que los vehículos aplican las cargas sobre la estructura del pavimento. Debido a la característica de las cargas impuestas por los vehículos, parte de la deformación se recupera cuando la carga es retirada. En la Figura 2.28 se presenta un esquema de esfuerzos de dichas capas, sobre las cuales una carga se mueve a velocidad constante.

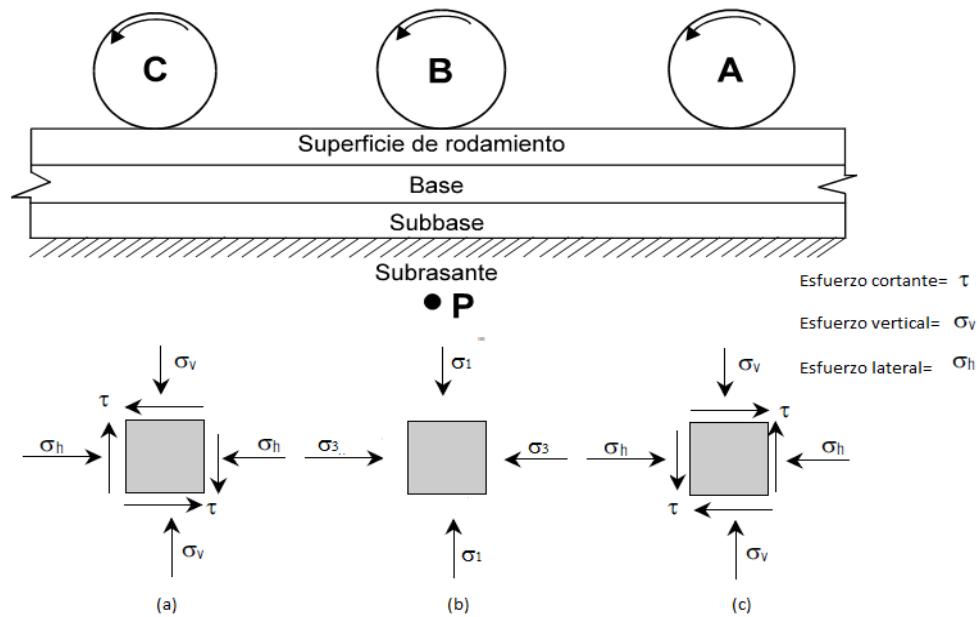


Figura 2.28 Esfuerzos en un elemento de pavimento bajo una carga en movimiento (Brown, 1996).

El estado de esfuerzos experimentado por el punto P –debido a la carga en el punto A– puede observarse en la Figura 2.28 (a); en este punto actúan tanto esfuerzos normales como esfuerzos cortantes.

Cuando la carga se mueve al punto B, los esfuerzos cortantes son nulos y únicamente actúan los esfuerzos normales, como se aprecia en la Figura 2.28 (b); en este punto se tiene un estado triaxial de esfuerzos, debido a que se presentan sólo esfuerzos normales. La dirección de los esfuerzos cortantes originados en el punto C es contraria a la dirección de los esfuerzos originados en el punto A, como se muestra en la Figura 2.28(c).

### 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En laboratorio se realizan pruebas triaxiales representando la condición B, tratando de simular las condiciones más desfavorables. Durante las pruebas debe aplicarse una presión de confinamiento que varíe con el esfuerzo desviador; sin embargo, es difícil controlar en laboratorio dicho cambio, por lo que la presión de confinamiento se mantiene constante y el esfuerzo desviador es el que se aplica en forma repetida (Garnica et al., 2000).

En la Figura 2.29 se muestran los componentes de la deformación de un material experimenta al ser sometido a un esfuerzo vertical repetido, en las primeras aplicaciones de carga. En la figura, el segmento AC representa la deformación unitaria total del material  $\epsilon_T$ , la línea AB indica la magnitud de la deformación permanente o plástica  $\epsilon_P$ , y la línea BC corresponde a la deformación recuperable o elástica  $\epsilon_r$ . El segmento AE del eje vertical indica la magnitud del esfuerzo aplicado al material, el cual le ha provocado las deformaciones descritas.

La Figura 2.29 corresponde a un ciclo de carga-descarga obtenido en una prueba de carga dinámica (en sus primeros ciclos); sin embargo, conforme el número de ciclos se incrementa, la magnitud de la deformación permanente en cada ciclo disminuye hasta que prácticamente desaparece, momento en el cual la deformación que el material experimenta es casi en su totalidad de tipo elástico o recuperable, condición en la cual el material es considerado en estado resiliente, permitiendo, en estas condiciones, determinar un importante parámetro del material denominado **Módulo de Resiliencia** (Vidal, J. et al., 2002).

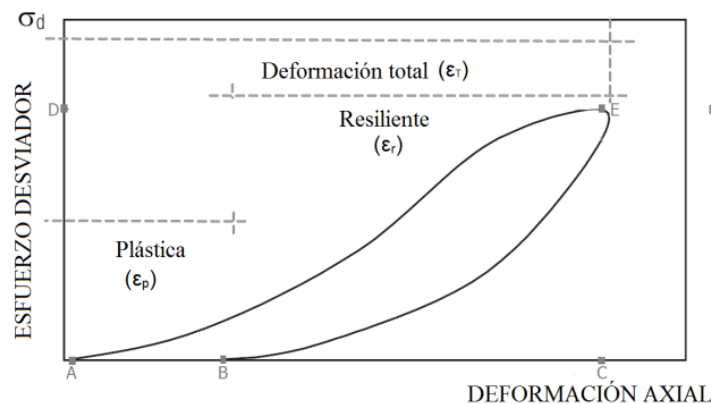


Figura 2.29 Secuencia de carga y descarga (Vidal, et al., 2002).

#### 2.7.2. Prueba de laboratorio

- *Equipo*

Para la determinación del módulo de resiliencia se utiliza un equipo que consta de una cámara triaxial (ver Figura 2.30) para ensayos cíclicos, un marco de carga con un actuador dinámico servocontrolado para producir una onda senoidal media en un periodo y frecuencia determinados, un panel de control y de mediciones de presiones y una unidad de adquisición de datos con software de procesamiento.



1. Vernier.
2. Membrana de látex.
3. O-rings.
4. Expansor de membrana.
5. Fuente de vacío.
6. Piedras porosas (2).
7. Línea de drenaje.
8. Marco de carga.
9. Celda de carga.
10. Pistón de carga.
11. Pistón hidráulico.
12. Viga de reacción.
13. LVDT 3. Para controlar la posición del pistón hidráulico.
14. Unidad de regulación de presión.
15. Unidad de registro de información.

Figura 2.30 Elementos que conforman el quipo triaxial.

### 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

El equipo triaxial requiere diferentes elementos que lleven a cabo la adquisición de datos, como la carga y los desplazamiento. La medición de carga axial se efectúa con una celda de carga localizada entre la parte superior de la cámara triaxial y la viga de reacción; su capacidad es de 10 toneladas (Figura 2.31 (a)).

Los desplazamientos axiales se miden a través de los dos sensores (LVDTs) ubicados sobre la tapa de la cámara y el tercero en la parte superior de la viga de reacción.

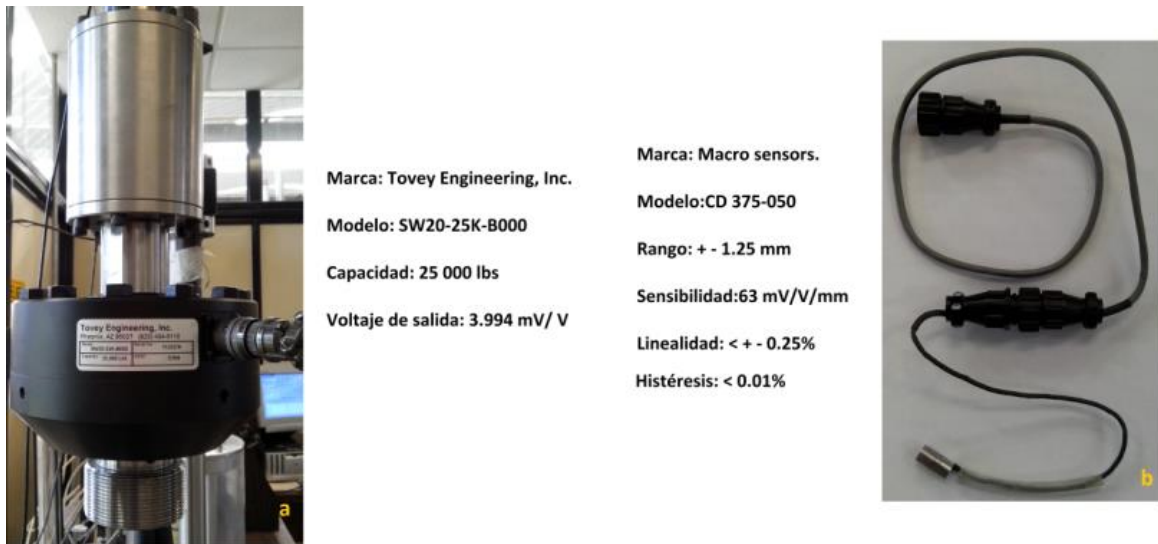


**Figura 2.31 (a) Celda de carga; (b) LVDT's.**

La unidad de regulación de presión, es el sistema conformado por válvulas y reguladores mediante los cuales se administra el flujo de aire.

- *Método de ensayo para materiales de base/subbase y suelos de subrasante*

En esta investigación el procedimiento de prueba que se adoptó es el protocolo NCHRP 1-28, apéndice E.

El procedimiento es como sigue:

Se pesa y se mide el espécimen después de sacarlo del cuarto de curado.

Las piedras porosas que van en el extremo superior e inferior del espécimen se humedecen y se coloca papel filtro sobre éstas (ver Figura 2.32 (a)).

### 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Con ayuda de un expansor de membrana conectado a una fuente de vacío (Figura 2.32 (b)), se cubre el espécimen con cuidado de no golpearlo y se asegura con los O-rings (ver Figura 2.32 (c)).

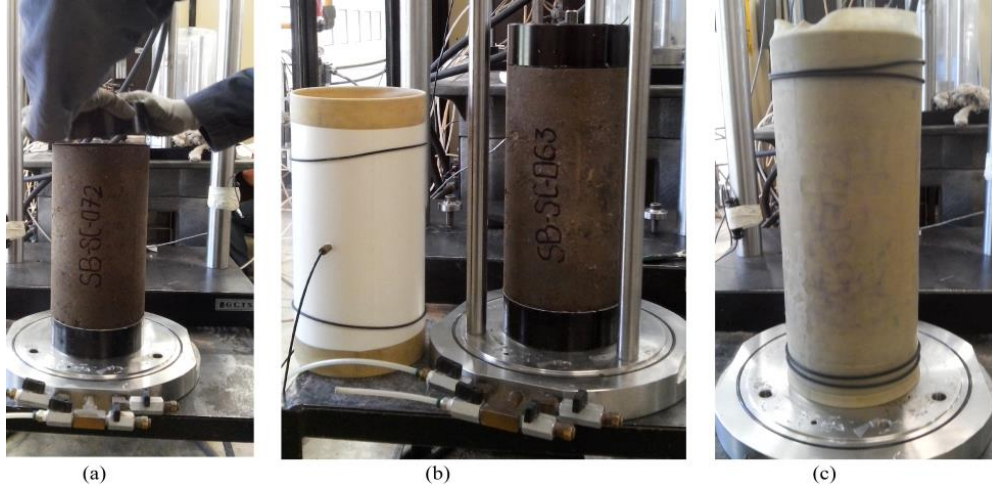


**Figura 2.32 Colocación de espécimen; (a) Colocación de piedras porosas húmedas y con papel filtro; (b) Expansor de membrana conectado a la máquina de vacío; (c) Muestra cubierta de membrana asegurada con O-rings.**

Ya preparado el espécimen, se procede al ensamble del equipo triaxial:

Se atornilla el pistón de carga al cabezal superior (Figura 2.33 (a)), para deslizar luego la cubierta de lucita transparente (ver Figura 2.33 (b)), la cual es sellada al atornillar el anillo de acero inoxidable (ver Figura 2.33 (c)).

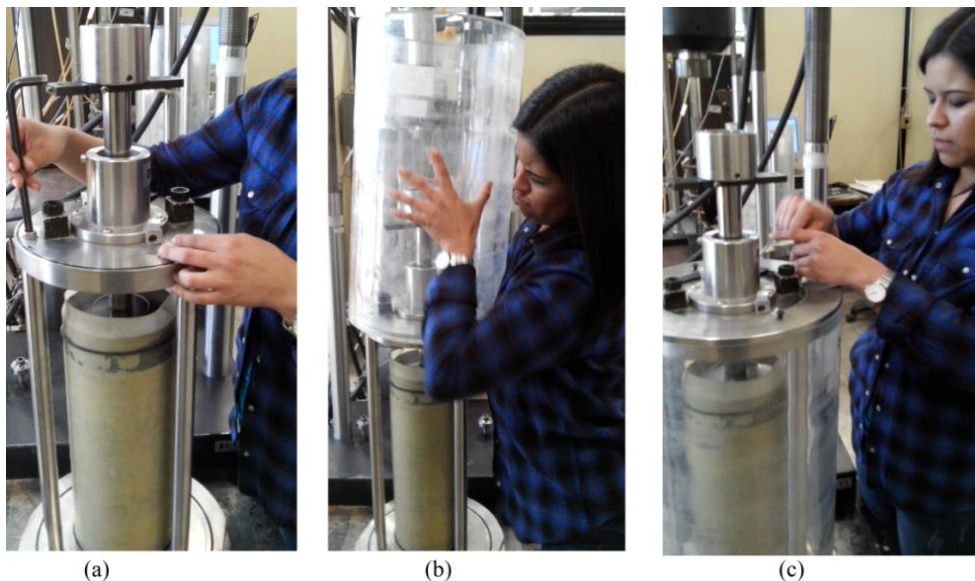


**Figura 2.33 (a) Atornillando el pistón de carga al cabezal; (b) Colocación de cubierta de lucita transparente; (c) Sellar cubierta al atornillar anillo de acero.**

### 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se coloca la celda triaxial bajo el dispositivo de carga y se atornilla con la celda de carga (ver Figura 2.34).



**Figura 2.34** Celda triaxial unida mediante la celda de carga.

Se colocan los LVDTs (Figura 2.35) y en la PC, se establecen los valores iniciales para el comienzo de adquisición de datos.



**Figura 2.35** LVDT colocado en el cabezal por encima del espécimen.

### 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

- *Condición de esfuerzos*

Las muestras a ensayar se deben someter a secuencias de esfuerzos combinados de confinamiento y esfuerzos desviadores. La Tabla 2.3, presenta las secuencias establecidas para materiales de base/subbase:

**Tabla 2.3 Secuencia de prueba para materiales de base/subbase (Witczak, 2003).**

| Secuencia | Presion de<br>confinamiento | Esfuerzo axial<br>Máximo | Presión de<br>Contacto | Esfuerzo<br>cíclico | N° de<br>repeticiones |
|-----------|-----------------------------|--------------------------|------------------------|---------------------|-----------------------|
|           | kPa                         | kPa                      | kPa                    | kPa                 |                       |
| 0         | 103.5                       | 227.7                    | 20.7                   | 207.0               | 1000                  |
| 1         | 20.7                        | 14.5                     | 4.1                    | 10.4                | 100                   |
| 2         | 41.4                        | 29.0                     | 8.3                    | 20.7                | 100                   |
| 3         | 69.0                        | 48.3                     | 13.8                   | 34.5                | 100                   |
| 4         | 103.5                       | 72.5                     | 20.7                   | 51.8                | 100                   |
| 5         | 138.0                       | 96.6                     | 27.6                   | 69.0                | 100                   |
| 6         | 20.7                        | 24.8                     | 4.1                    | 20.7                | 100                   |
| 7         | 41.4                        | 49.7                     | 8.3                    | 41.4                | 100                   |
| 8         | 69.0                        | 82.8                     | 13.8                   | 69.0                | 100                   |
| 9         | 103.5                       | 124.4                    | 20.7                   | 103.5               | 100                   |
| 10        | 138.0                       | 165.6                    | 27.6                   | 138.0               | 100                   |
| 11        | 20.7                        | 45.5                     | 4.1                    | 41.4                | 100                   |
| 12        | 41.4                        | 91.1                     | 8.3                    | 82.8                | 100                   |
| 13        | 69.0                        | 151.8                    | 13.8                   | 138.0               | 100                   |
| 14        | 103.5                       | 227.7                    | 20.7                   | 207.0               | 100                   |
| 15        | 138.0                       | 303.6                    | 27.6                   | 276.0               | 100                   |
| 16        | 20.7                        | 66.2                     | 4.1                    | 62.4                | 100                   |
| 17        | 41.4                        | 132.5                    | 8.3                    | 124.2               | 100                   |
| 18        | 69.0                        | 220.8                    | 13.8                   | 207.0               | 100                   |
| 19        | 103.5                       | 331.2                    | 20.7                   | 310.5               | 100                   |
| 20        | 138.0                       | 441.6                    | 27.6                   | 414.0               | 100                   |
| 21        | 20.7                        | 107.6                    | 4.1                    | 103.5               | 100                   |
| 22        | 41.4                        | 215.3                    | 8.3                    | 207.0               | 100                   |
| 23        | 69.0                        | 358.8                    | 13.8                   | 345.0               | 100                   |
| 24        | 103.5                       | 538.2                    | 20.7                   | 517.5               | 100                   |
| 25        | 138.0                       | 717.6                    | 27.6                   | 690.0               | 100                   |
| 26        | 20.7                        | 149.0                    | 4.1                    | 144.9               | 100                   |
| 27        | 41.4                        | 298.1                    | 8.3                    | 289.8               | 100                   |
| 28        | 69.0                        | 496.8                    | 13.8                   | 483.0               | 100                   |
| 29        | 103.5                       | 745.2                    | 20.7                   | 724.5               | 100                   |
| 30        | 138.0                       | 993.6                    | 27.6                   | 966.0               | 100                   |

### 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

- *Duración y aplicación de cargas.*

Antes de someter las muestras a secuencias de ensayo, se deben someter como mínimo a 1000 ciclos de acondicionamiento, con esfuerzo axial máximo de 227.7 kPa (33 psi) y el esfuerzo cíclico correspondiente a 207 kPa (30 psi) con duración de 0.1 segundo de carga seguida por un periodo de descanso de 0.9 segundo.

Seguido del acondicionamiento, se aplican 30 secuencias de 100 repeticiones cada una, con un tiempo de 0.1 segundo de carga, seguida 0.9 segundo de reposo (Ver tabla 2.3)

- *Monitoreo durante el ensayo.*

Durante el desarrollo de la prueba el equipo muestra el comportamiento del esfuerzo desviador y la deformación axial. Éstos generalmente tienen la forma que se presenta en la Figura 2.36 que corresponde a una onda senosoidal media:

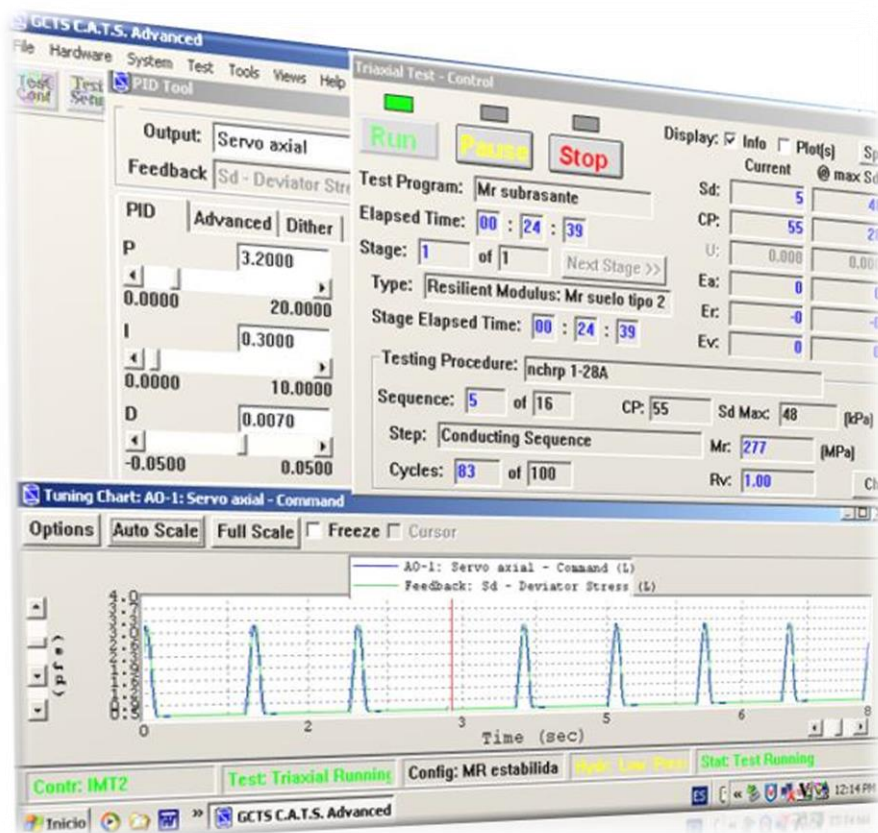


Figura 2.36 Comportamiento de esfuerzo desviador

### 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

- *Resultados.*

Para cada secuencia del ensayo, se calcula el esfuerzo desviador y la deformación recuperada, con el fin de determinar el módulo resiliente. Los valores se relacionan en gráficos con el fin de tener una mejor visión del comportamiento del suelo, los cuales se presentan a continuación.

- Esfuerzo desviador vs módulo de resiliencia para cada presión de confinamiento.

En la Figura 2.37 se aprecian diferentes puntos que conforman los resultados de una prueba, las cuales representan la relación entre el esfuerzo desviador y el módulo de resiliencia para un mismo esfuerzo de confinamiento, a diferentes estados de esfuerzo axial cíclico (20.7 kPa, 41.4 kPa, 69.0 kPa, 103.5 kPa y 138.0 kPa, en el caso del ejemplo de la Figura 2.37).

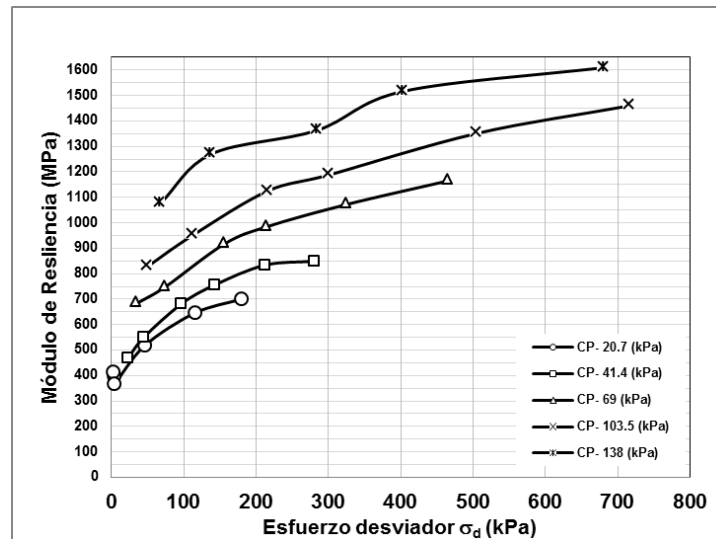


Figura 2.37 Gráfico Esfuerzo desviador vs Módulo de Resiliencia.

- Módulo de Resiliencia vs suma de esfuerzos principales ( $\theta$ ).

La sumatoria de esfuerzos principales ( $\theta$ ) se refiere a la suma del esfuerzo vertical principal ( $\sigma_1$ ) y dos veces el esfuerzo lateral (confinamiento, es decir  $2\sigma_3$ ), el cual se muestra junto con el módulo de resiliencia para cada punto, cuyo conjunto se asimila mejor con una curva de tendencia potencial tal y como se aprecia en la Figura 2.38:

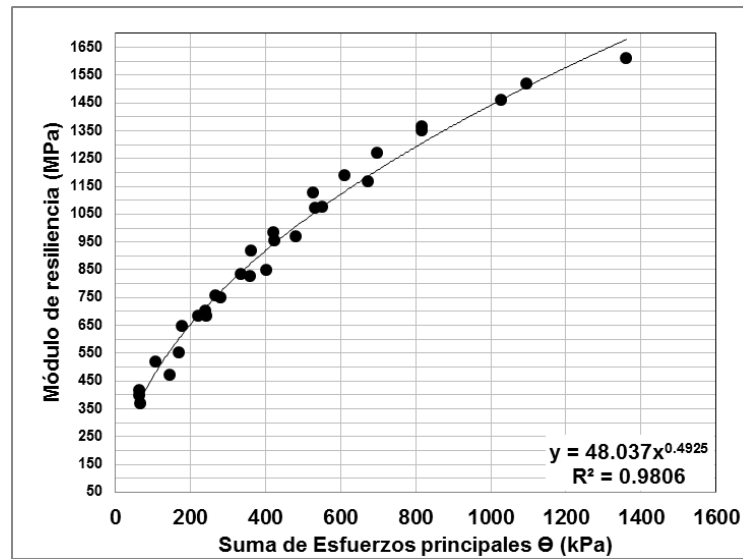


Figura 2.38 Gráfico de módulo de resiliencia vs suma de esfuerzos principales ( $\theta$ ).

## 2.8 Procedimiento de prueba de Permeabilidad ASTM D 5856-95(2002)

### 2.8.1 Introducción

Las mediciones de conductividad hidráulica y de permeabilidad, han sido utilizadas para evaluar el efecto del manejo sobre la estructura del suelo. Mientras la conductividad depende de las características del fluido y del suelo, la permeabilidad es una propiedad exclusiva del material (Bear, 1972). Por lo tanto, la permeabilidad es una característica propia del medio poroso y de la geometría de los poros (Hillel, 1988).

Según Bear (1972), la permeabilidad está estrechamente relacionada con factores geométricos como la porosidad total, la distribución de los poros por tamaño, la forma del sistema poroso, la continuidad y tortuosidad de los poros del suelo. Estos factores geométricos, que pueden ser caracterizados a través de mediciones de permeabilidad, son sensibles a cambios estructurales, por lo tanto, son un buen parámetro para evaluar la calidad física de un suelo (Dorner & Dec, 2007).

### 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se dice que un material es permeable cuando contiene vacíos continuos, estos vacíos existen en todos los suelos, incluyendo las arcillas más compactadas, y en todos los materiales de construcción, incluyendo el granito sano y la pasta de cemento, por lo tanto dichos materiales son permeables. La circulación de agua a través de la masa de esos obedece aproximadamente a leyes idénticas, de modo que la diferencia entre una arena limpia y un granito es, en este concepto, solo una diferencia de magnitud (Juárez et al., 1989).

La permeabilidad de los suelos depende de varios factores: viscosidad del fluido, distribución del tamaño de los poros, distribución granulométrica, relación de vacíos, rugosidad de partículas minerales y grado de saturación del suelo. En los suelos arcillosos, la estructura juega un papel importante en la permeabilidad. Otros factores mayores que afectan la permeabilidad de las arcillas son la concentración iónica y el espesor de las capas de agua adheridas a las partículas de arcilla.

#### **2.8.2 Prueba de laboratorio**

Existen dos pruebas estándar para determinar la permeabilidad hidráulica del suelo en laboratorio: la prueba de carga constante y la prueba de carga variable. La primera se usa principalmente para suelos de grano grueso (como es el caso del presente proyecto). Sin embargo para los de grano fino, las tasas de flujo a través del suelo son muy pequeñas y se prefieren por ello las pruebas de carga variable.

#### **Prueba de carga constante.**

Un mecanismo típico de la prueba de permeabilidad bajo carga constante se muestra en la Figura 2.39. En este tipo de mecanismo, el suministro de agua se ajusta de tal manera que la diferencia de carga entre la entrada y la salida permanece constante durante el periodo de

### 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

prueba. Después que se ha establecido una tasa constante de flujo, el agua es recolectada en una probeta graduada durante cierto tiempo (Das, 2001).

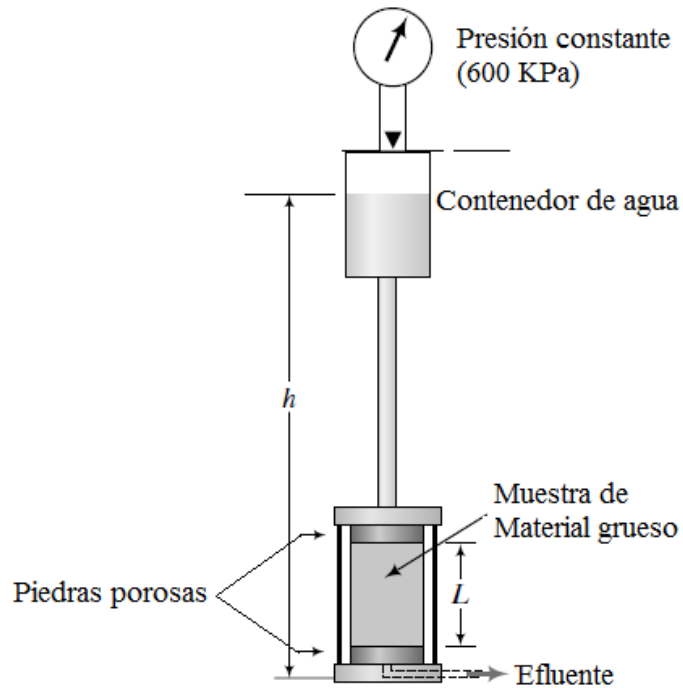


**Figura 2.39 Prueba de permeabilidad bajo carga constante (Budhu, 2006).**

Este método de prueba se basa en la norma ASTM D 5856-95(2002) el "Standard Test Method for Measurement of Hydraulic Conductivity of Porous Material Using a Rigid-Wall, Compaction-Mold Permeameter".

El sistema consiste en medir la cantidad de agua que fluye a través de una muestra de suelo, de dimensiones conocidas, en un tiempo determinado. El agua de salida es almacenada en una probeta graduada y la cantidad de descarga  $Q$  (ecuación 2.4) es medida.

$$Q = A (k i) t \quad (2.4)$$

### 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Donde:

Q = Cantidad de flujo, tomado como el promedio de flujo de entrada y flujo de salida, m<sup>3</sup>.

A = Área de la sección transversal de la muestra de suelo (m<sup>2</sup>)

k = coeficiente de permeabilidad (m/s)

t = duración de la recolección de agua (s)

i = gradiente hidráulico del flujo:

$$i = \frac{h}{L} \quad (2.5)$$

Si sustituimos la ecuación (2.5), en la ecuación (2.4), y a su vez despejamos el valor de k, obtenemos la fórmula del coeficiente de permeabilidad:

$$k = \frac{Q L}{A t h} \quad (2.6)$$

El coeficiente de permeabilidad (k), se expresa como una función de la constante de la permeabilidad del material, la viscosidad y el peso específico del fluido circulante. Expresado en m/s, puede ser considerado como la velocidad a la cual pasa el agua a través de un suelo cuando está sujeta a un gradiente hidráulico unitario.

- *Equipo*

Es el especificado para el método de la prueba de carga constante. El sistema debe ser capaz de mantener una presión hidráulica constante o carga en un  $\pm 5\%$  y deberá incluir medios para medir las presiones hidráulicas o cargas dentro de la tolerancia establecida. Las presiones se medirán por un medidor de presión, transductor de presión electrónico, o cualquier dispositivo de precisión adecuado. La carga del líquido en un tubo vertical se puede medir con una pipeta graduada a escala, o cualquier otro dispositivo o precisión adecuada (ver Figura 2.40).

### 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS



- 1.- Contenedor de agua de la cámara de presión externa.
- 2.- Cabezal que va colocado sobre el molde del espécimen.
- 3.- Placa inferior con piedra porosa integrada.
- 4.- Placa superior.
- 5.- Resorte.
- 6.- Piedra porosa que se coloca en la parte superior del espécimen.
- 7.- Recipiente graduado a escala.
- 8.- Abastecedor de agua.
- 9.- Sistema de presión.

**Figura 2. 40 Sistema de prueba de permeabilidad del Instituto Mexicano del Transporte.**

- *Método de ensayo*

La muestra se obtiene con el método de compactación especificados por la norma ASTM D-1557 usando energía modificada.

Los especímenes no se extrajeron del molde, debido a que la prueba se realiza sobre el mismo; así que para conocer las dimensiones del espécimen, se midió el interior del molde, y se pesó todo el conjunto (ver Figura 2.41).

### 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

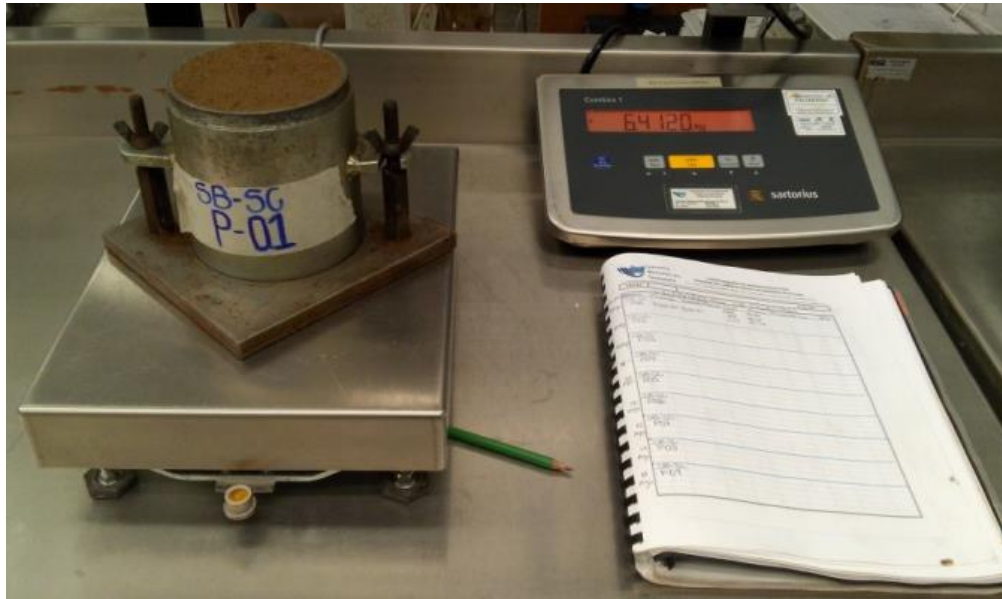


**Figura 2.41** Peso de muestra compactada con todo y molde.

Se procede a cubrirlas con una bolsa plástica y se almacenaron en el cuarto de curado como se aprecia en la Figura 2.42.



**Figura 2. 42** Especímenes cubiertos con bolsas plásticas y almacenados en el cuarto de curado.

Ya cumplido el tiempo de curado para el que fue designado la muestra, se coloca en el sistema de prueba, y para ello se coloca papel filtro sobre la piedra porosa de la base del

### 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

sistema, y otro más en la parte superior del espécimen. Por otro lado, se coloca la piedra porosa en la parte superior de la muestra (ver Figura 2.43).

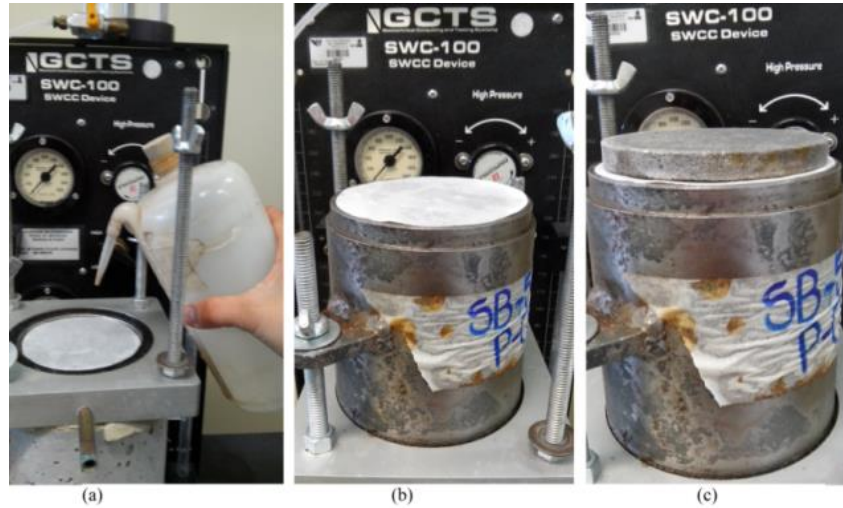


**Figura 2.43 Colocación de muestra; (a) Papel filtro sobre la piedra porosa inferior; (b) Papel filtro en la parte superior de la muestra; (c) Piedra porosa en la parte superior.**

Se coloca el collarín superior del molde y se ajusta verificando que los empaques de neopreno no se desplacen, lo que provocaría fugas. Por encima de la piedra porosa superior, se coloca el resorte que evita que se mueva esta, se procede a colocar la placa superior que de igual modo debe estar bien ajustada (ver Figura 2.44):

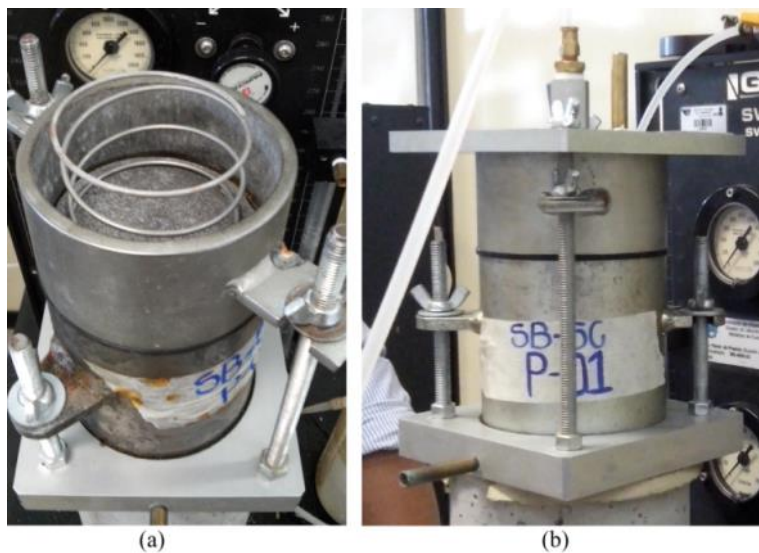


**Figura 2.44 (a) Cabezal superior y colocado dentro resorte; (b) Placa superior.**

### 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para este caso se decidió utilizar en la prueba una presión de 600 kPa, la cual se mantuvo constante durante toda la prueba.

- *Monitoreo durante el ensayo.*

Debe revisarse que la presión se mantenga constante y el agua del contenedor, sea la suficiente para concluir la prueba, así como supervisar periódicamente que no existan fugas (ver Figura 2.45).

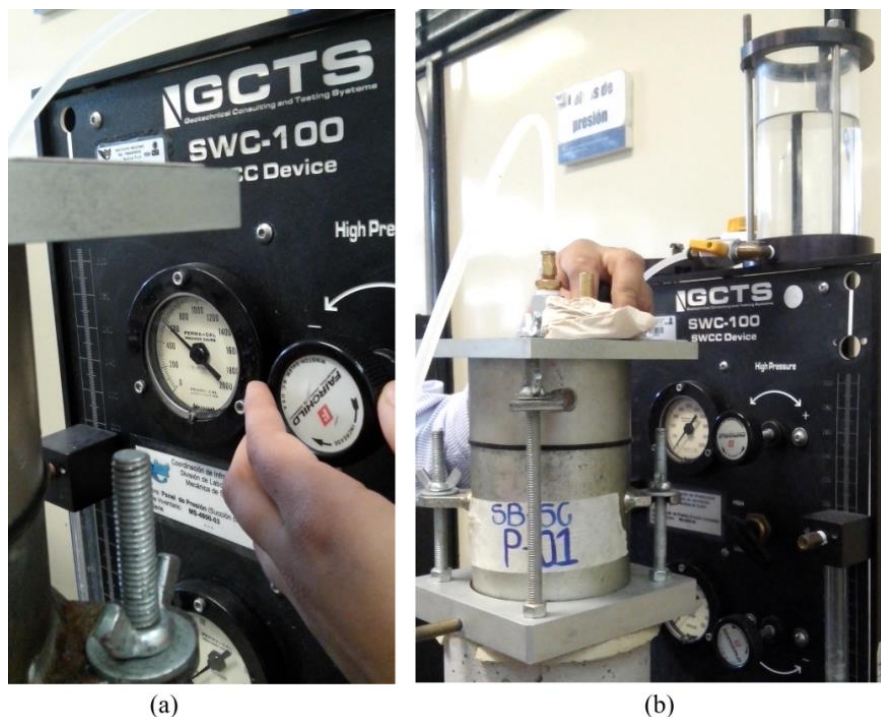


**Figura 2.45 Monitoreo; (a) Que la presión permanezca constante; (b) Contenedor de agua abastecido y revisión de fugas.**

- *Resultados.*

Una vez que el flujo de agua es constante, se toman tres lecturas del flujo del agua en intervalos de tiempo relativamente iguales y cuyos valores obtenidos se sustituyen en la ecuación (2.6), obteniendo la conductividad hidráulica,  $k$ ; que es la velocidad de descarga de agua bajo condiciones de flujo laminar a través de un área de sección transversal de un medio poroso bajo un gradiente hidráulico y condiciones de temperatura estándar (20 °C).

## 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 3.1. Introducción

Los ensayos básicos de identificación dependen únicamente de la naturaleza del suelo, y por tanto, de sus propiedades índice como son la granulometría y los límites de Atterberg. Los complementarios por su parte, se refieren a características relativas al estado natural del suelo: densidad, contenido de materia orgánica, entre otros. Por último, los ensayos de caracterización de comportamiento tienen por objetivo indicar las propiedades que el suelo puede alcanzar tras su tratamiento. En carreteras, el tratamiento más usual es la compactación, pero en ocasiones puede realizarse otros, de los más habituales son la mejora o modificación de las propiedades mediante la adición de otros materiales y/o aditivos.

En cualquier caso, el número de ensayos es crucial, que si bien se podría recurrir a una estadística muestral, pero es muy difícil generalizar los tipos de suelo, y por tanto, comparase o igualarse a otro suelo afín, por lo que es importante contar siempre con un número mínimo de cuatro o cinco ensayos para cuantificar una propiedad determinada. Deben calcularse las variables estadísticas de la serie y comprobar que los valores que indican la dispersión de resultados sean razonables (Kraemer et al., 2004).

En este capítulo se presentan y discuten los resultados obtenidos en la investigación. Se pone énfasis en los resultados de las propiedades mecánicas.

### 3.2. Granulometría

En la Figura 3.1 se muestran las gráficas granulométricas de la subbase en estudio y los límites granulométricos que estipula la norma N-CTM-4-02-001/11, en la cual se aprecia que el material cumple con los requisitos de tamaño de partículas para material de subbase.

### 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

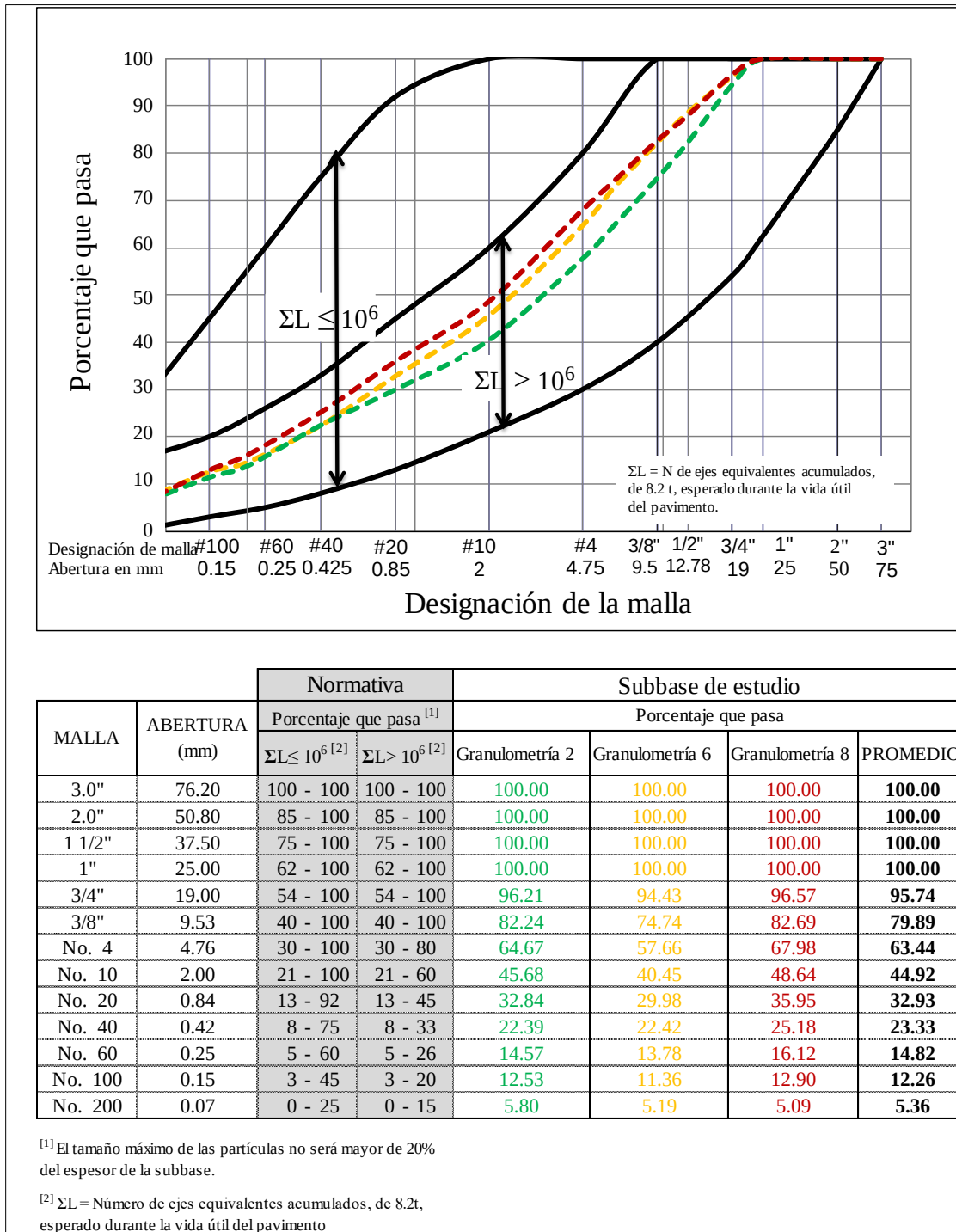


**Figura 3.1 Curva granulométrica de la subbase.**

De acuerdo a los porcentajes retenidos y de los coeficientes de uniformidad y curvatura (ver Tabla 3.1), se concluye que el material es una arena bien graduada con limo (SW-SM).

### 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

**Tabla 3.1 Promedios de porcentaje retenido, Cc y Cu.**

N-CTM-4-02-001/11

| Subbase de estudio             |        |        |        |          |
|--------------------------------|--------|--------|--------|----------|
| Grmulometría                   | 2      | 6      | 8      | PROMEDIO |
| Porcentaje retenido            |        |        |        |          |
| Grava                          | 35.331 | 42.342 | 32.015 | 36.56    |
| Arena                          | 58.867 | 52.472 | 62.899 | 58.08    |
| Finos                          | 5.803  | 5.186  | 5.086  | 5.36     |
|                                |        |        |        |          |
| Coefficiente de uniformidad Cu | 33.780 | 38.770 | 29.800 | 34.117   |
|                                |        |        |        |          |
| Coefficiente de curvatura Cc   | 1.070  | 1.040  | 0.840  | 0.983    |

En cuanto a los límites de consistencia, se determinó que el materiales no plástio, debido a que los valores de límite liquido e índice plástico, fueron cero (0)

#### 3.3 Contenido óptimo de agua ( $\omega_{opt}$ ) y peso volumétrico seco máximo ( $\gamma_{dm\acute{a}x}$ )

En la Figura 3.2 se aprecia el  $\gamma_{dm\acute{a}x} = 18.93 \text{ kN/m}^3$  y  $\omega_{opt} = 10.89 \%$  que corresponde al material de subbase sin cementante y los valores de  $\gamma_{dm\acute{a}x} = 18.86 \text{ kN/m}^3$  y  $\omega_{opt} = 10.02 \%$  que corresponde al material de subbase mejorado con cemento Pórtland.

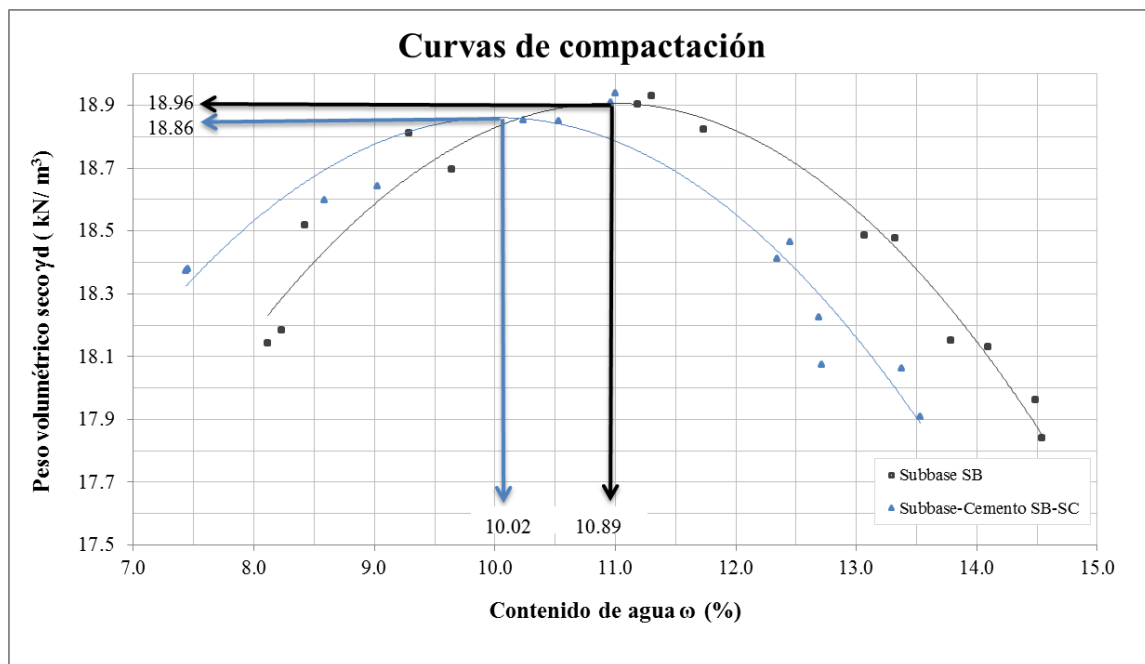


**Figura 3.2 Curva de compactación del material de subbase.**

### 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

*NOTA.- De acuerdo con lo obtenido en los proyectos anteriores realizados en el IMT con zeolita sintética, se asume que los contenidos de agua y peso volumétrico del material de subbase estabilizada con cemento Pórtland y zeolita sintética, son los mismos que el material de subbase estabilizada sólo con cemento Pórtland.*

De acuerdo con los resultados de  $\gamma_{dm\acute{a}x}$  y humedad óptima del suelo estabilizado, las condiciones de compactación de los especímenes fueron los que se presentan en la Tabla 3.2.

**Tabla 3.2 Condiciones de control de los especímenes de prueba.**

| Tipo de espécimen         | $\gamma_{dm\acute{a}x}$ (kN/m <sup>3</sup> ) | 95 % $\gamma_{dm\acute{a}x}$ (kN/m <sup>3</sup> ) | 95 % $\gamma_{dm\acute{a}x}$ (kg/m <sup>3</sup> ) | $\omega_{opt}$ ( % ) |
|---------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------------------------|---------------------------------------------------|----------------------|
| Suelo                     | 18.93                                        | 17.98                                             | 1 833.18                                          | 10.89                |
| Suelo – cemento           | 18.86                                        | 17.92                                             | 1 826.40                                          | 10.02                |
| Suelo – cemento - zeolita | 18.86                                        | 17.92                                             | 1 826.40                                          | 10.02                |

El rango de variación del contenido de agua se estableció como  $\omega \pm 0.5$ , y el de  $\gamma_{dm\acute{a}x} \pm 1\%$ ; quedando los rangos de control como lo muestra en la Tabla 3.3.

**Tabla 3.3 Rangos de condiciones de control de los especímenes de prueba**

| Tipo de espécimen          | 95 % $\gamma_{dm\acute{a}x}$ (kg/m <sup>3</sup> ) | $\omega_{opt}$ ( % ) |
|----------------------------|---------------------------------------------------|----------------------|
| Suelo                      | 1 649.862 – 2 016.498                             | 10.78 – 11.00        |
| Suelo – cemento            | 1 644.67 – 2 008.13                               | 9.52 – 10.52         |
| Suelo – cemento – zeolitas | 1 644.67 – 2 008.13                               | 9.52 – 10.52         |

### 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### 3.4. Resistencia a la compresión y módulo de elasticidad

Como ya se mencionó en capítulos anteriores, la resistencia a compresión simple y el módulo de elasticidad han sido dos de los parámetros para determinar la calidad de un material estabilizado. En este inciso se muestran los resultados de estas propiedades.

##### 3.4.1. Características de especímenes ensayados

En la Tabla 3.5 se muestran el resumen de las características de compactación de las muestras ensayadas en el equipo INSTRON, donde se puede observar que dichas muestras cumplen con las condiciones descritas con anterioridad en el inciso 3.3.

**Tabla 3.4 Resultados de pesos volumétricos y contenidos de agua inicial y final de muestras ensayadas en equipo INSTRON.**

| Muestra     | Tiempo de curado (días) | Masa inicial (g) | % Contenido de agua | Altura (cm) | Diámetro (cm) | $\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> ) | Masa final (g) | % de masa de agua adquirida |
|-------------|-------------------------|------------------|---------------------|-------------|---------------|---------------------------------|----------------|-----------------------------|
| SB-SC-028   | 90                      | 10492.00         | 9.54                | 29.979      | 15.041        | 17.640                          | 11134.5        | 6.124                       |
| SB-SC-029   | 90                      | 10514.00         | 9.55                | 29.972      | 15.079        | 17.591                          | 11161.0        | 6.154                       |
| SB-SC-030   | 90                      | 10607.50         | 9.81                | 29.982      | 15.043        | 17.784                          | 11286.5        | 6.401                       |
| SB-SC-032   | 90                      | 10335.50         | 9.93                | 29.913      | 15.076        | 17.274                          | 10868.5        | 5.157                       |
| SB-SC+R-036 | 90                      | 10528.00         | 10.00               | 29.954      | 15.033        | 17.659                          | 11007.5        | 4.555                       |
| SB-SC+R-038 | 90                      | 10582.50         | 9.56                | 29.968      | 15.037        | 17.804                          | 11093.5        | 4.829                       |
| SB-SC+R-039 | 90                      | 10652.00         | 10.03               | 30.064      | 15.044        | 17.771                          | 11166.0        | 4.825                       |
| SB-SC+R-042 | 60                      | 10648.50         | 10.07               | 30.002      | 15.052        | 17.776                          | 10820.0        | 1.611                       |
| SB-SC-045   | 60                      | 10657.50         | 9.54                | 29.991      | 15.018        | 17.965                          | 11047.0        | 3.655                       |
| SB-SC-047   | 60                      | 10476.50         | 9.66                | 30.003      | 15.024        | 17.620                          | 10605.0        | 1.227                       |
| SB-SC-049   | 60                      | 10688.50         | 10.44               | 30.074      | 15.069        | 17.701                          | 10820.5        | 1.235                       |
| SB-SC-050   | 60                      | 10688.00         | 9.68                | 30.020      | 15.034        | 17.939                          | 10906.5        | 2.044                       |
| SB-SC-051   | 60                      | 10603.00         | 10.31               | 29.965      | 15.025        | 17.749                          | 11035.5        | 4.079                       |
| SB-SC-052   | 60                      | 10541.00         | 9.53                | 30.031      | 15.043        | 17.724                          | 10917.5        | 3.572                       |
| SB-SC+R-055 | 60                      | 10666.50         | 9.53                | 30.016      | 15.055        | 17.881                          | 10739.5        | 0.684                       |
| SB-SC+R-056 | 60                      | 10574.50         | 9.57                | 30.012      | 15.018        | 17.807                          | 10880.0        | 2.889                       |
| SB-SC+R-057 | 60                      | 10646.00         | 9.55                | 30.022      | 15.037        | 17.882                          | 10701.5        | 0.521                       |
| SB-SC+R-061 | 60                      | 10670.00         | 9.87                | 30.036      | 15.037        | 17.860                          | 10921.5        | 2.357                       |
| SB-SC-063   | 28                      | 10573.50         | 9.69                | 30.003      | 15.031        | 17.763                          | 11047.5        | 4.483                       |
| SB-SC-066   | 28                      | 10476.00         | 9.80                | 30.059      | 15.039        | 17.530                          | 10920.0        | 4.238                       |
| SB-SC-072   | 14                      | 10580.00         | 9.89                | 30.008      | 15.027        | 17.749                          | 10634.0        | 0.510                       |
| SB-SC+R-078 | 28                      | 10529.00         | 10.12               | 30.019      | 15.046        | 17.575                          | 10737.0        | 1.975                       |
| SB-SC+R-082 | 28                      | 10372.00         | 9.55                | 29.977      | 15.029        | 17.471                          | 10505.5        | 1.287                       |
| SB-SC-088   | 14                      | 10587.00         | 10.08               | 30.028      | 15.039        | 17.686                          | 10786.0        | 1.880                       |
| SB-SC-090   | 28                      | 10512.00         | 9.68                | 29.949      | 15.063        | 17.617                          | 10519.0        | 0.067                       |
| SB-SC+R-096 | 7                       | 10587.00         | 10.51               | 30.010      | 15.045        | 17.604                          | 10627.0        | 0.378                       |
| SB-SC+R-098 | 7                       | 10574.50         | 10.35               | 29.683      | 15.028        | 17.854                          | 10619.0        | 0.421                       |
| SB-SC-103   | 14                      | 10555.50         | 10.11               | 30.030      | 15.036        | 17.636                          | 10680.0        | 1.179                       |
| SB-SC+R-106 | 14                      | 10601.50         | 9.97                | 30.017      | 15.028        | 17.764                          | 10656.5        | 0.519                       |
| SB-SC+R-107 | 28                      | 10422.00         | 10.29               | 30.064      | 15.034        | 17.370                          | 10715.5        | 2.816                       |
| SB-SC+R-110 | 14                      | 10524.50         | 10.32               | 29.968      | 15.032        | 17.598                          | 10802.5        | 2.641                       |
| SB-SC+R-111 | 14                      | 10475.00         | 9.83                | 30.024      | 15.042        | 17.537                          | 10590.0        | 1.098                       |
| SB-SC+R-112 | 14                      | 10585.50         | 9.76                | 30.026      | 15.036        | 17.745                          | 10856.5        | 2.560                       |
| SB-SC-118   | 7                       | 10633.50         | 10.00               | 30.034      | 15.039        | 17.774                          | 10696.0        | 0.588                       |
| SB-SC-120   | 7                       | 10586.50         | 10.38               | 30.087      | 15.007        | 17.679                          | 10648.0        | 0.581                       |
| SB-SC+R-123 | 7                       | 10513.50         | 9.85                | 30.027      | 15.046        | 17.587                          | 10655.5        | 1.351                       |
| SB-SC-133   | 7                       | 10510.00         | 9.69                | 30.025      | 15.039        | 17.624                          | 10735.5        | 2.146                       |
| SB-SC+R-155 | 1                       | 10646.50         | 10.05               | 30.011      | 15.016        | 17.858                          | 10646.5        | 0.000                       |
| SB-SC+R-157 | 1                       | 10706.5          | 10.04               | 30.037      | 15.027        | 17.896                          | 10706.5        | 0.000                       |

### 3.4.2. Resistencia a la compresión simple

En las Figuras 3.3, 3.4, 3.5, 3.6 y 3.7, se comparan las curvas esfuerzo-deformación de las mezclas suelo-cemento y suelo-cemento-zeolita sintética por tiempo de curado.

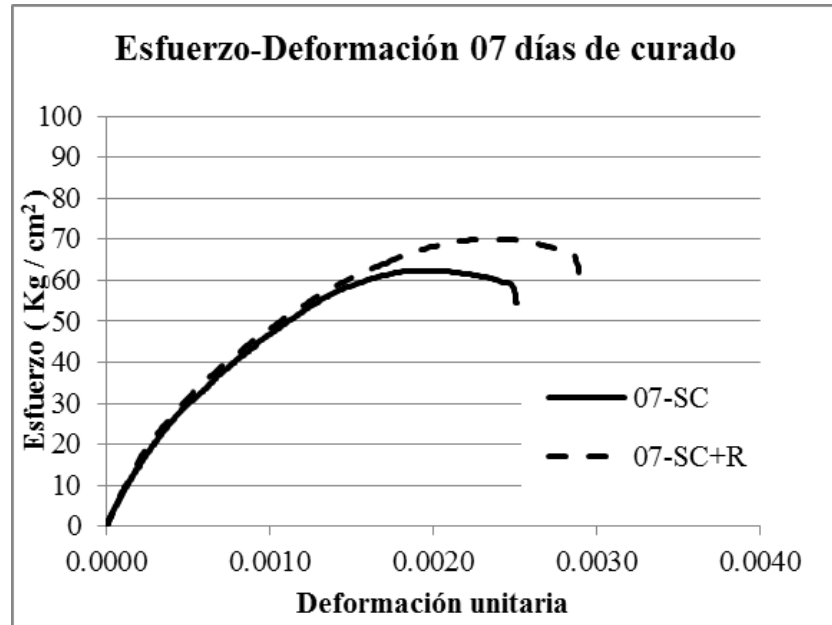


Figura 3.3 Curva Esfuerzo-Deformación a 07 días de curado.

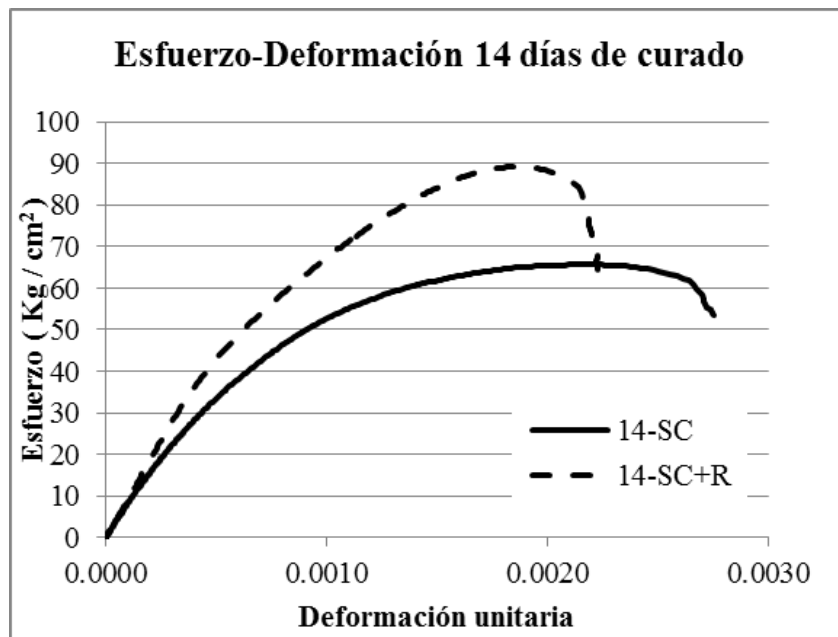


Figura 3.4 Curva Esfuerzo-Deformación a 14 días de curado.

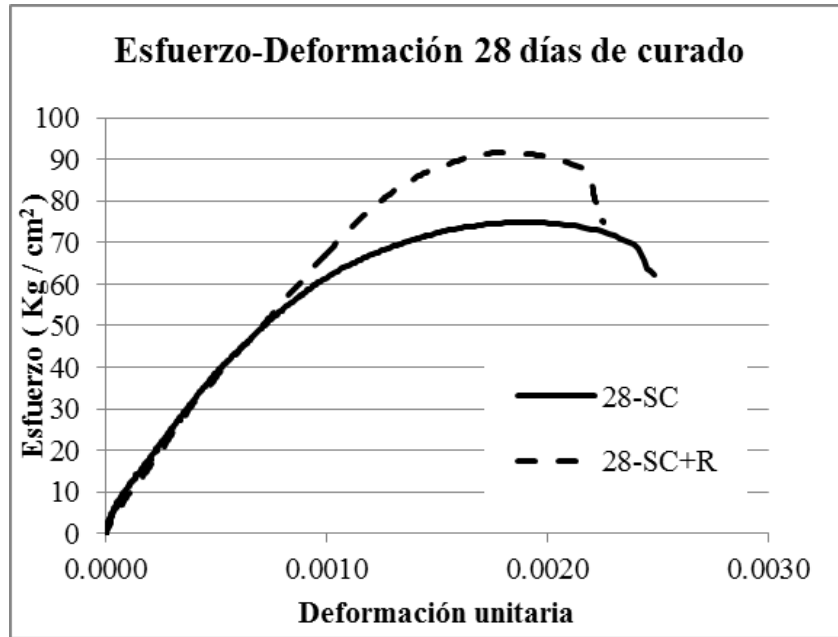


Figura 3.5 Curva Esfuerzo-Deformación a 28 días de curado.

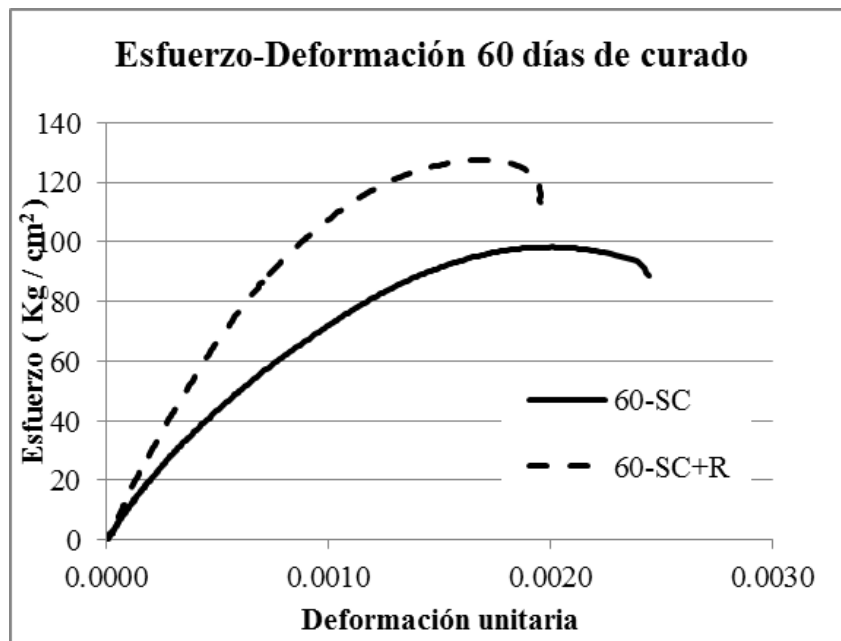


Figura 3.6 Curva Esfuerzo-Deformación a 60 días de curado.

### 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

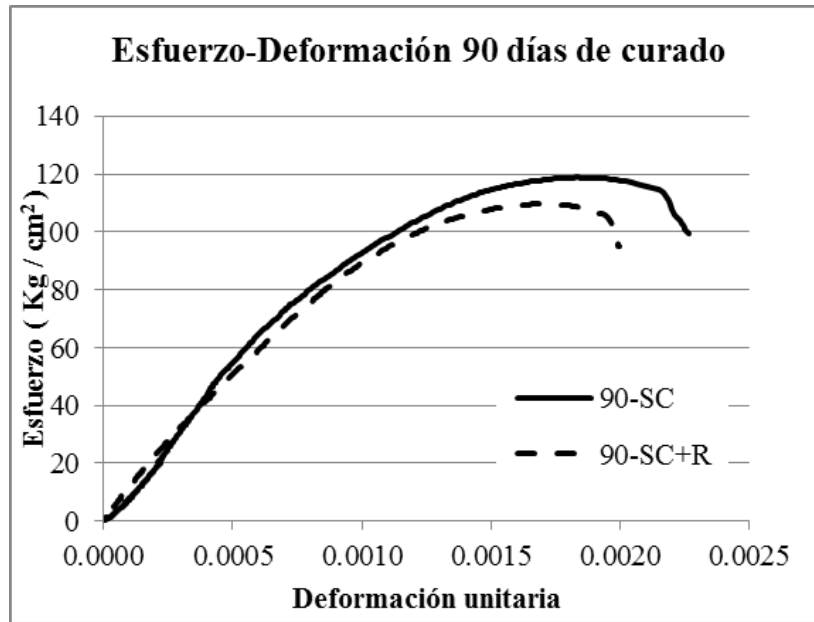


Figura 3.7 Curva Esfuerzo-Deformación a 90 días de curado.

En la Figura 3.8, se resumen todas las gráficas anteriores, para apreciar mejor los resultados, los cuales pueden resumirse como sigue:

- Como se había ya encontrado en la literatura, a medida que el tiempo de curado se incrementa, la resistencia se incrementa.
- Es notable que para tiempos de curado de 7, 14, 28 y 60 días, la subbase estabilizada con cemento y zeolita sintética muestra una resistencia a la compresión mayor que la que sólo se estabilizó con cemento.
- Para un tiempo de curado de 90 días, la subbase estabilizada con cemento y zeolita sintética parece reducir su resistencia, efecto que ya se había observado en estudios anteriores. Sin embargo, es interesante notar que no pasa lo mismo en la subbase estabilizada sólo con cemento.

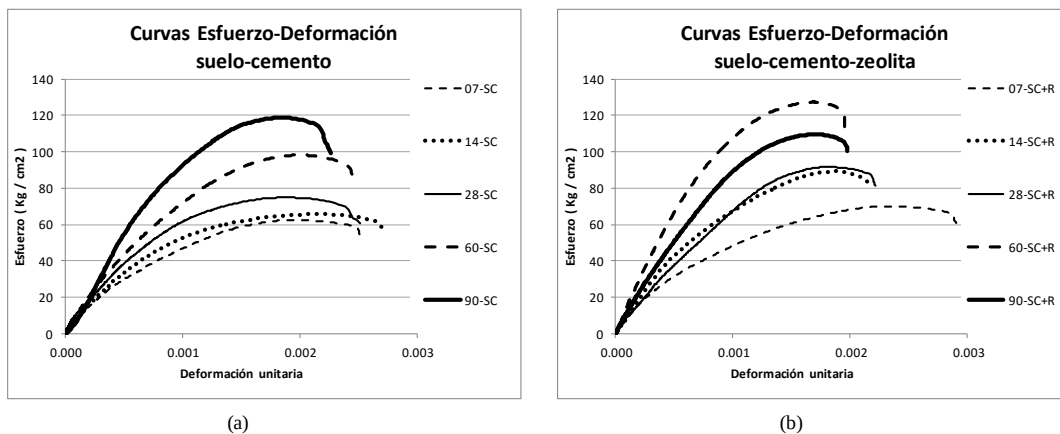


Figura 3.8 Curvas comparativas esfuerzo-deformación; (a) Suelo-cemento; (b) suelo-cemento-zeolita.

### 3.4.3. Módulo de elasticidad

De todos los especímenes ensayados en compresión simple se obtuvo el módulo de elasticidad como ya se describió en incisos capítulos anteriores. La Figura 3.9 muestra el comportamiento del módulo de elasticidad con respecto al tiempo de curado para la subbase con cemento y subbase con cemento y zeolita sintética.

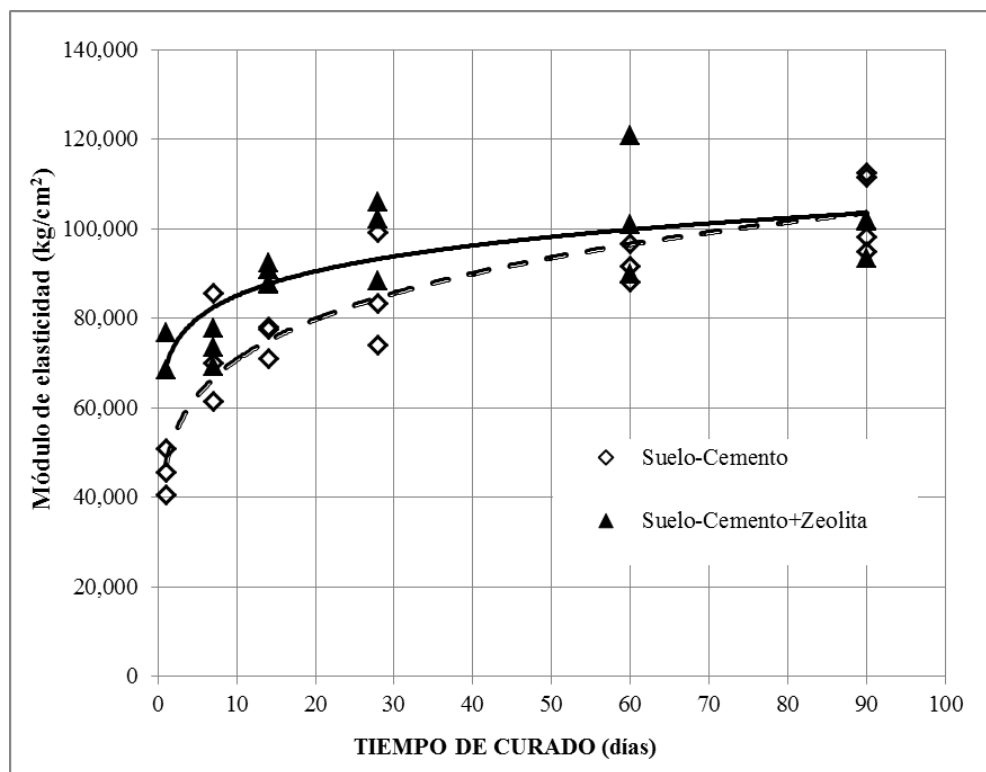


**Figura 3.9 Resultados de módulo de elasticidad**

Lo primero que se observa de la gráfica es que para algunos tiempos de curado, la dispersión de resultados en muestras similares es importante (tiempo de curado de 60 días para la subbase estabilizada con cemento y con zeolita sintética). Por otro lado, los módulos de elasticidad son mayores en el material que tiene zeolita sintética, para tiempos de curado hasta 28 días. Para 60 y 90 días de curado, ambas mezclas parecen tender al mismo valor de módulo de elasticidad.

### 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### 3.5. Módulo de resiliencia

##### 3.5.1. Características de los especímenes de prueba

En la Tabla 3.5 se muestran el resumen de las características de compactación de las muestras ensayadas. Cabe resaltar que por tiempo de curado se ensayaron cuando menos cinco muestras. Los resultados se muestran como curvas promedio de tres o más especímenes.

**Tabla 3.5 Resultados de pesos volumétricos y contenidos de agua inicial y final de muestras ensayadas en equipo triaxial**

| Muestra     | Tiempo de curado (días) | Masa inicial (g) | % Contenido de agua | Altura (cm) | Diámetro (cm) | $\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> ) | Masa final (g) | % de masa de agua adquirida |
|-------------|-------------------------|------------------|---------------------|-------------|---------------|---------------------------------|----------------|-----------------------------|
| SB-SC+R-016 | 90                      | 10602.50         | 10.14               | 29.929      | 15.025        | 17.795                          | 11120.0        | 4.881                       |
| SB-SC+R-018 | 90                      | 10638.50         | 9.67                | 29.927      | 15.061        | 17.849                          | 11135.0        | 4.667                       |
| SB-SC-026   | 90                      | 10597.00         | 9.54                | 29.986      | 15.099        | 17.677                          | 10988.5        | 3.694                       |
| SB-SC-028   | 90                      | 10492.00         | 9.54                | 29.979      | 15.041        | 17.640                          | 11134.5        | 6.124                       |
| SB-SC-046   | 60                      | 10647.50         | 9.75                | 29.981      | 15.043        | 17.862                          | 10835.0        | 1.761                       |
| SB-SC-047   | 60                      | 10476.50         | 9.66                | 30.003      | 15.024        | 17.620                          | 10605.0        | 1.227                       |
| SB-SC-048   | 60                      | 10641.50         | 10.06               | 30.001      | 15.039        | 17.797                          | 10750.5        | 1.024                       |
| SB-SC+R-058 | 60                      | 10468.50         | 9.55                | 30.008      | 15.042        | 17.579                          | 10767.5        | 2.856                       |
| SB-SC+R-059 | 60                      | 10668.00         | 9.72                | 30.002      | 15.034        | 17.910                          | 10884.0        | 2.025                       |
| SB-SC+R-060 | 60                      | 10615.00         | 10.08               | 30.008      | 15.047        | 17.728                          | 10900.5        | 2.690                       |
| SB-SC+R-062 | 28                      | 10695.00         | 9.80                | 30.237      | 15.047        | 17.772                          | 10792.5        | 0.912                       |
| SB-SC-064   | 28                      | 10475.50         | 9.88                | 30.026      | 15.017        | 17.585                          | 10674.5        | 1.900                       |
| SB-SC-066   | 28                      | 10476.00         | 9.80                | 30.059      | 15.039        | 17.530                          | 10920.0        | 4.238                       |
| SB-SC-071   | 28                      | 10422.50         | 9.79                | 30.019      | 15.034        | 17.476                          | 10773.0        | 3.363                       |
| SB-SC-072   | 14                      | 10580.00         | 9.89                | 30.008      | 15.027        | 17.749                          | 10634.0        | 0.510                       |
| SB-SC-073   | 14                      | 10476.50         | 9.69                | 30.024      | 15.045        | 17.553                          | 10699.5        | 2.129                       |
| SB-SC+R-078 | 28                      | 10529.00         | 10.12               | 30.019      | 15.046        | 17.575                          | 10737.0        | 1.975                       |
| SB-SC+R-079 | 28                      | 10522.50         | 10.37               | 30.015      | 15.033        | 17.556                          | 10639.0        | 1.107                       |
| SB-SC+R-085 | 14                      | 10477.50         | 9.76                | 30.029      | 15.027        | 17.584                          | 10598.5        | 1.155                       |
| SB-SC+R-086 | 14                      | 10537.00         | 9.56                | 29.975      | 15.032        | 17.735                          | 10626.5        | 0.849                       |
| SB-SC-087   | 14                      | 10703.00         | 10.23               | 30.004      | 15.027        | 17.899                          | 10840.0        | 1.280                       |
| SB-SC+R-094 | 7                       | 10495.00         | 10.42               | 29.980      | 15.054        | 17.475                          | 10598.0        | 0.981                       |
| SB-SC+R-095 | 7                       | 10379.00         | 10.51               | 30.023      | 15.041        | 17.271                          | 10605.0        | 2.177                       |
| SB-SC+R-105 | 14                      | 10485.50         | 9.89                | 29.973      | 15.032        | 17.597                          | 10685.5        | 1.907                       |
| SB-SC-114   | 90                      | 10415.00         | 10.02               | 30.013      | 15.074        | 17.337                          | 11029.5        | 5.900                       |
| SB-SC+R-124 | 7                       | 10634.00         | 9.76                | 30.009      | 15.060        | 17.780                          | 10700.0        | 0.621                       |
| SB-SC+R-125 | 7                       | 10653.50         | 9.85                | 30.014      | 15.043        | 17.836                          | 10690.0        | 0.343                       |
| SB-SC+R-128 | 90                      | 10486.00         | 10.06               | 30.023      | 15.040        | 17.523                          | 11102.0        | 5.874                       |
| SB-SC+R-130 | 60                      | 10485.00         | 9.87                | 30.044      | 15.037        | 17.547                          | 11113.5        | 5.994                       |
| SB-SC-133   | 7                       | 10510.00         | 9.69                | 30.025      | 15.039        | 17.624                          | 10735.5        | 2.146                       |
| SB-SC-134   | 7                       | 10562.00         | 10.35               | 30.007      | 15.037        | 17.621                          | 10758.0        | 1.856                       |
| SB-SC-135   | 7                       | 10601.50         | 10.12               | 30.045      | 15.046        | 17.679                          | 10706.5        | 0.990                       |
| SB-SC+R-137 | 0                       | 10540.50         | 9.62                | 30.011      | 15.029        | 17.717                          | 10540.5        | 0.000                       |
| SB-SC+R-138 | 0                       | 10547.00         | 10.04               | 30.027      | 15.018        | 17.678                          | 10547.0        | 0.000                       |
| SB-SC+R-141 | 0                       | 10600.50         | 9.55                | 30.012      | 15.012        | 17.871                          | 10600.5        | 0.000                       |
| SB-SC-143   | 0                       | 10490.50         | 9.52                | 30.010      | 15.013        | 17.688                          | 10490.5        | 0.000                       |
| SB-SC-145   | 0                       | 10652.00         | 9.61                | 30.019      | 15.018        | 17.930                          | 10652.0        | 0.000                       |
| SB-SC-146   | 0                       | 10550.00         | 9.53                | 30.016      | 15.018        | 17.771                          | 10550.0        | 0.000                       |
| SB-164      | 0                       | 11238.00         | 11.00               | 30.000      | 15.000        | 18.735                          | 11238.0        | 63.030                      |
| SB-166      | 0                       | 11078.50         | 11.19               | 30.000      | 15.000        | 18.438                          | 11078.5        | 55.030                      |
| SB-167      | 0                       | 11560.00         | 10.61               | 30.000      | 15.000        | 19.340                          | 11560.0        | 55.360                      |

### 3.5.2. Módulo de resiliencia

En este tipo de prueba se ensayaron la subbase natural, la subbase con cemento y la subbase con cemento y zeolita sintética. La Figura 3.10 son los resultados de módulo para el suelo natural. Se observa que el rango de módulos de resiliencia se encuentran entre 50 y 270 MPa aproximadamente. También es importante notar que no existe tanta variabilidad en el módulo para todos los niveles de esfuerzo volumétrico.

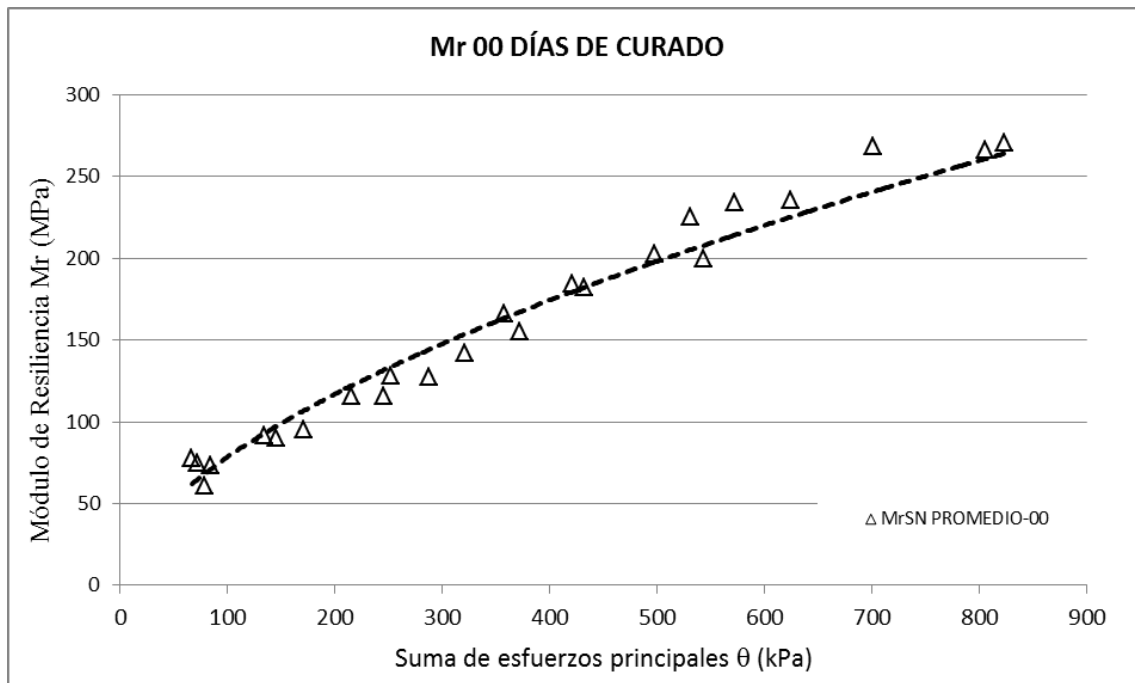


Figura 3.10 Módulo de resiliencia de la subbase natural

La Figura 3.11 compara los resultados de módulo para la mezcla subbase-cemento y subbase-cemento-zeolita sintética para muestras que se ensayaron inmediatamente después de haber sido compactadas. De esta gráfica se observa primeramente que los módulos se incrementan de forma importante con respecto a los del suelo natural. Luego, que en este caso, los resultados presentan una mayor dispersión. Al parecer en este caso las muestras de suelo cemento indican mayores módulos de resiliencia para esfuerzos volumétricos menores a 700 kPa. Para esfuerzos volumétricos mayores, la tendencia se revierte.

### 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

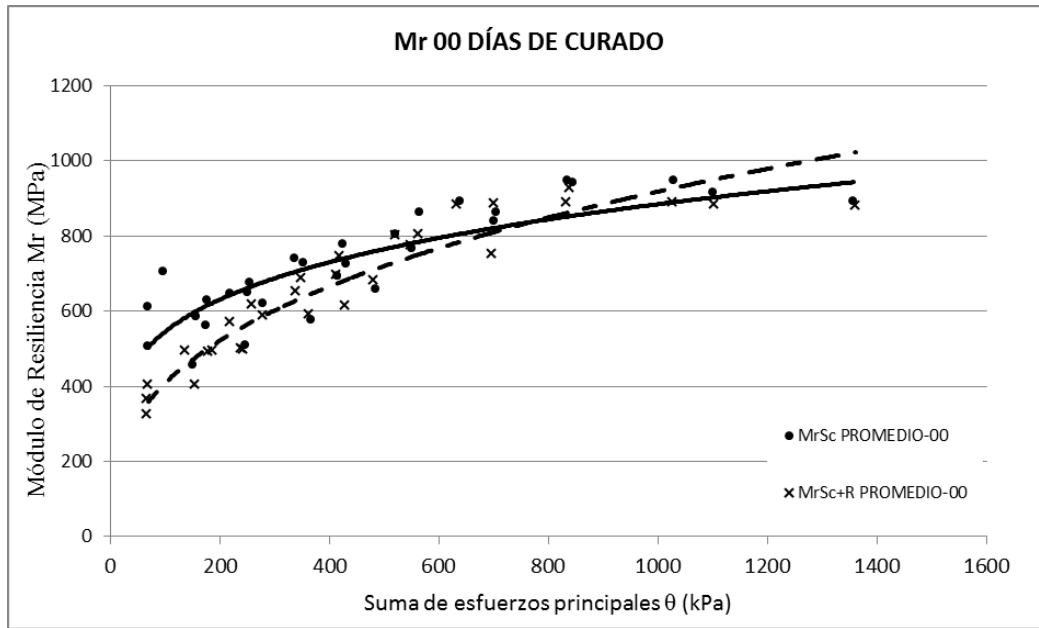


**Figura 3. 11 Módulo de Resiliencia a 00 días de curado de suelo-cemento (Mr Sc) y suelo-cemento-zeolita (Mr Sc+R)**

Para tiempos de curado de 7, 14, 28, 60 y 90 días de curado, la subbase estabilizada con cemento y zeolita sintética sí presenta valores de módulo de resiliencia mayores (Figuras 3.12 a 3.16). Por lo tanto, se puede aseverar que al menos para este parámetro, adicionar la zeolita sintética pareciera recomendable.

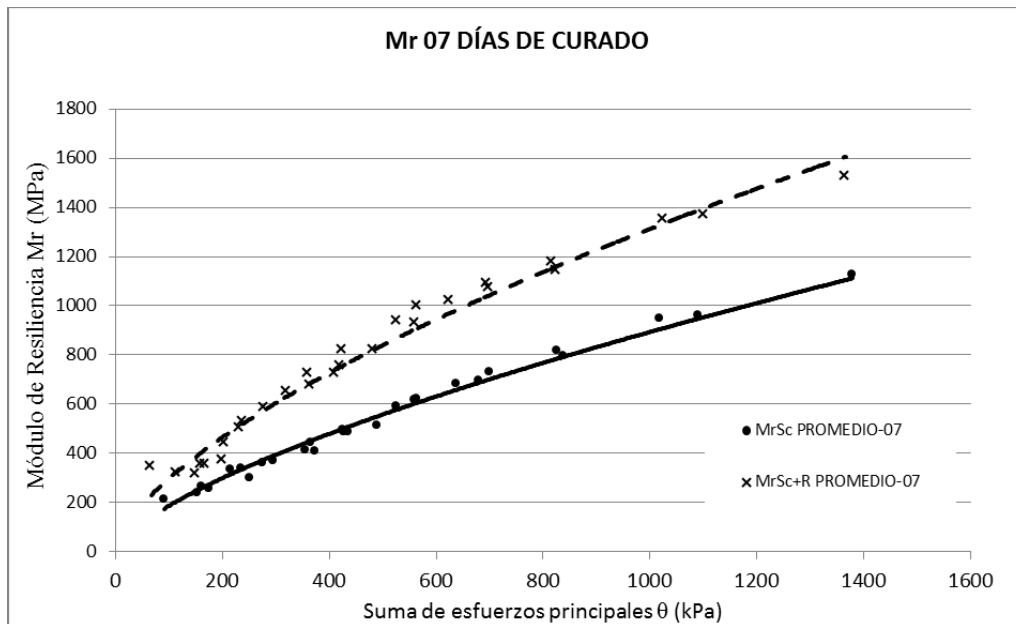


**Figura 3.12 Módulo de resiliencia a 07 días de curado de suelo-cemento (Mr Sc) y suelo-cemento-zeolita (Mr Sc+R).**

### 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

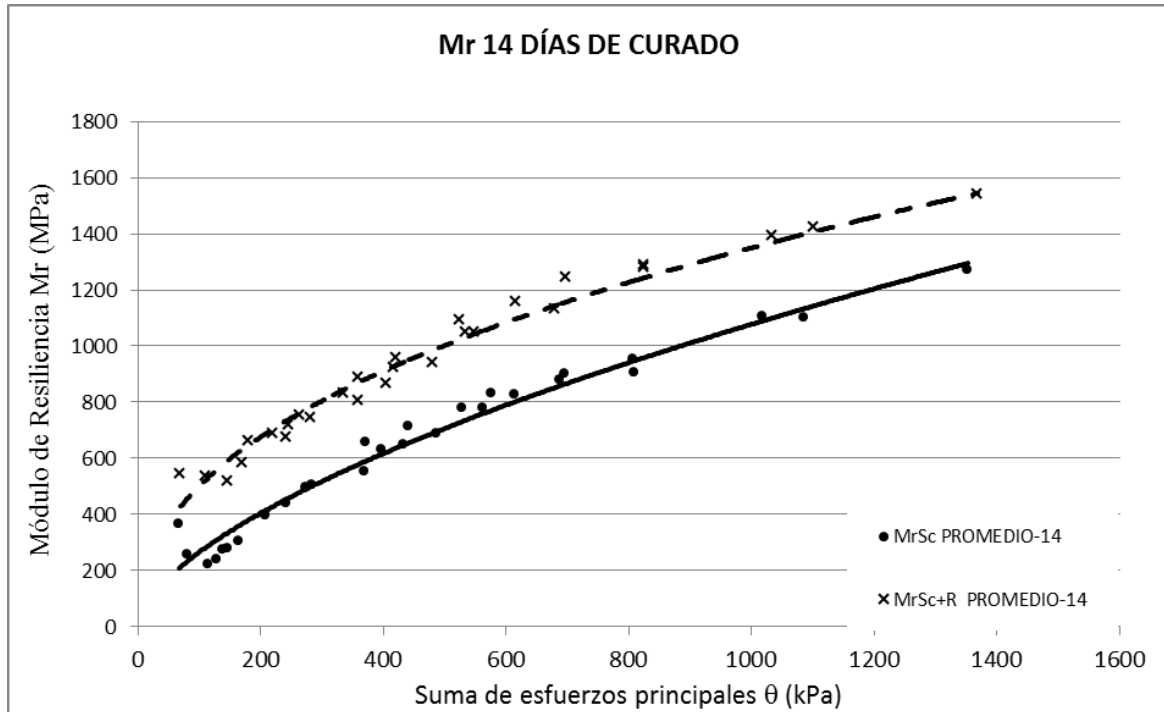


**Figura 3.13** Módulo de resiliencia a 14 días de curado de suelo-cemento (Mr Sc) y suelo-cemento-zeolita (Mr Sc+R).

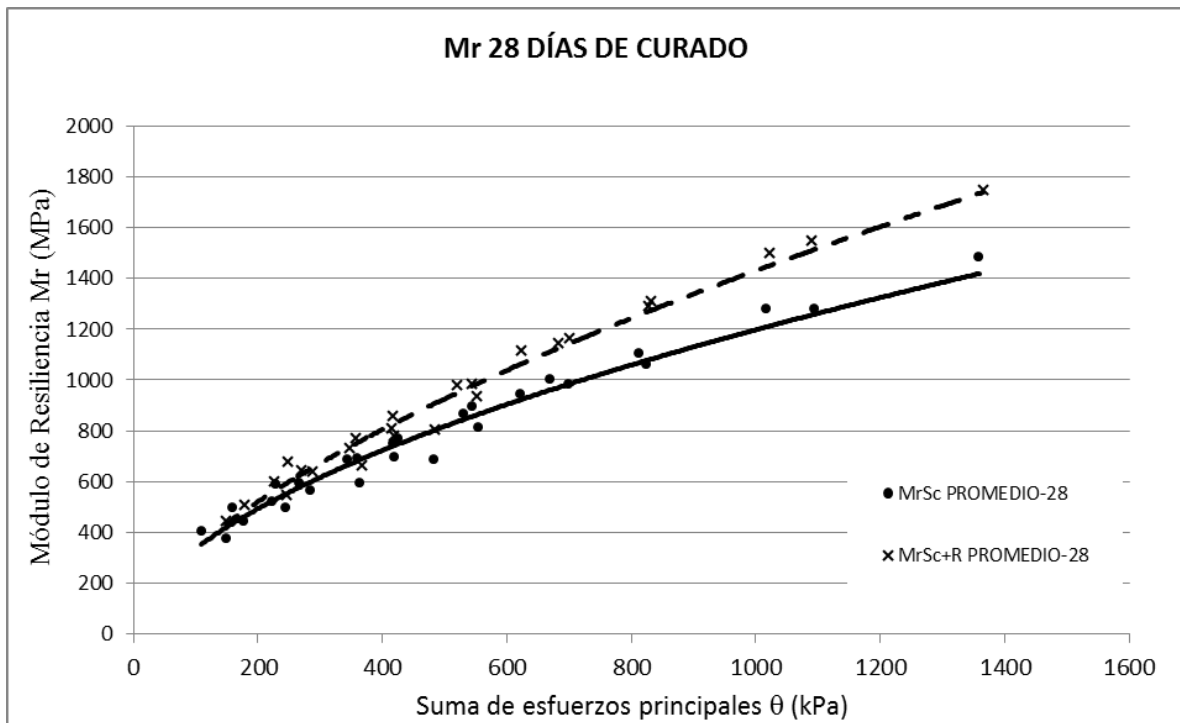


**Figura 3.14** Módulo de Resiliencia a 28 días de curado de suelo-cemento (Mr Sc) y suelo-cemento-zeolita (Mr Sc+R).

### 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

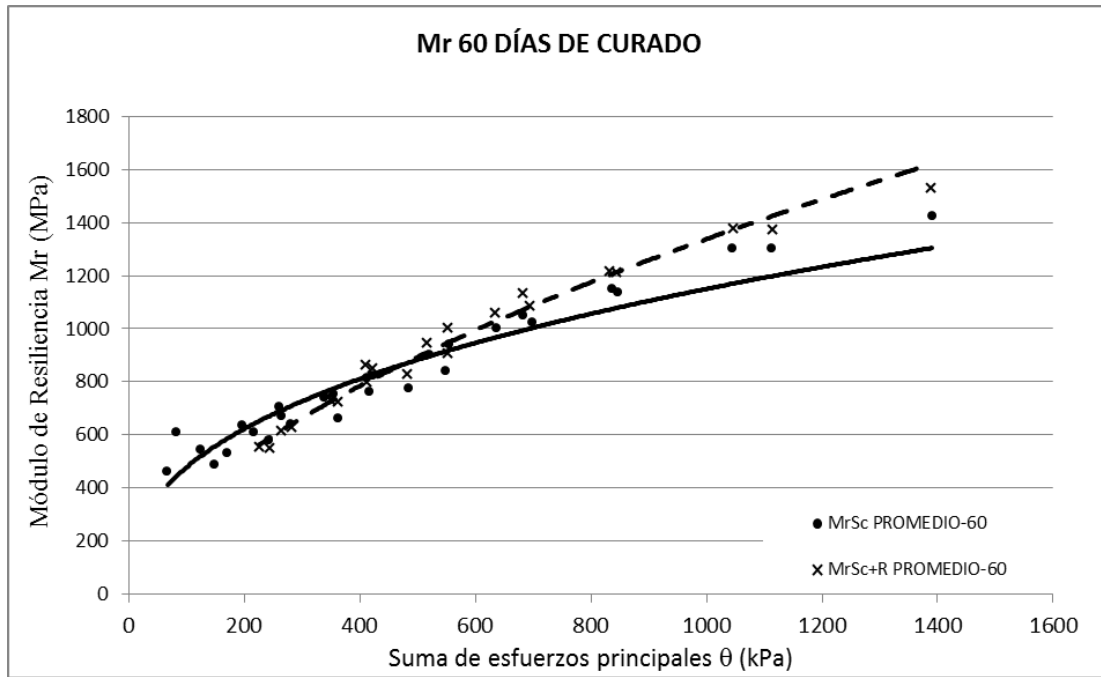


**Figura 3.15** Módulo de resiliencia a 60 días de curado de suelo-cemento (Mr Sc) y suelo-cemento-zeolita (Mr Sc+R)..

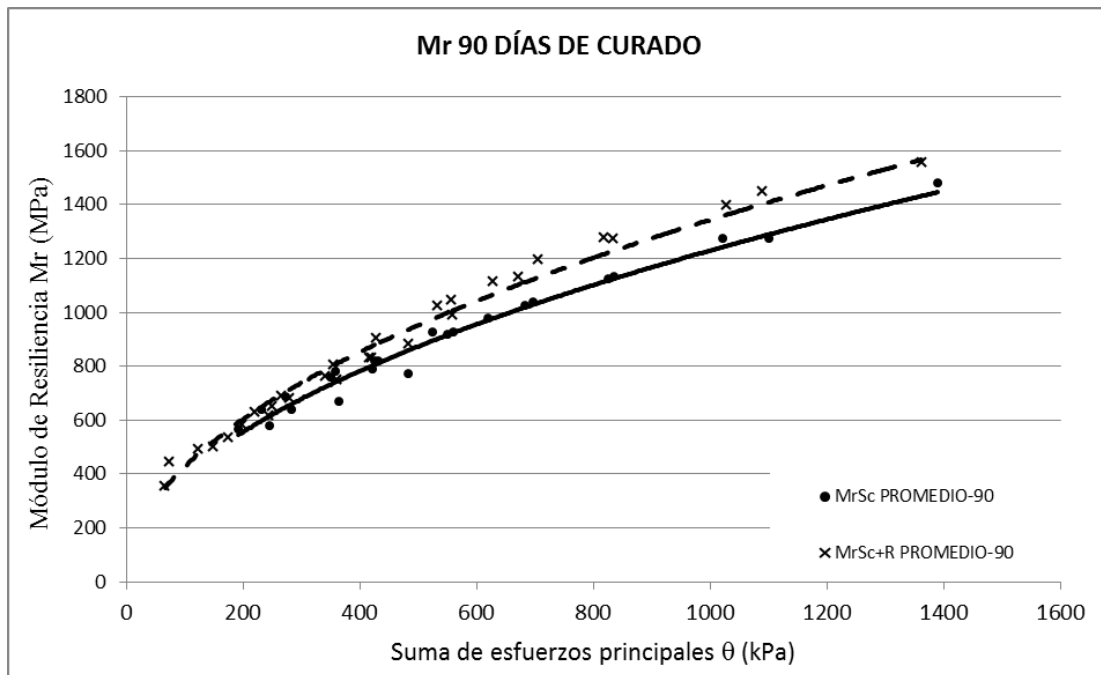


**Figura 3.16** Módulo de resiliencia a 90 días de curado de suelo-cemento (Mr Sc) y suelo-cemento-zeolita (Mr Sc+R).

### 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En las Figuras 3.17 y 3.18 se grafican las curvas de módulo de resiliencia para todos los tiempos de curado de la subbase estabilizada con cemento y la estabilizada con cemento y zeolita sintética. Además se coloca la curva de módulo de resiliencia obtenida para muestras ensayadas inmediatamente después de compactarse.

En la gráfica que corresponde a suelo-cemento un aspecto que llama la atención es que a medida que el tiempo de curado se incrementa hasta 28 días, los módulos de resiliencia se incrementan, sin embargo, parece ser que para tiempos de curados mayores, los módulos ya no experimentan cambios importantes. Por otro lado, en esta gráfica también es importante notar que las muestras ensayadas inmediatamente indican valores mayores a los obtenidos para 7 días de curado. Esto tendría que verificarse para asegurar que no haya sido un error de la prueba.

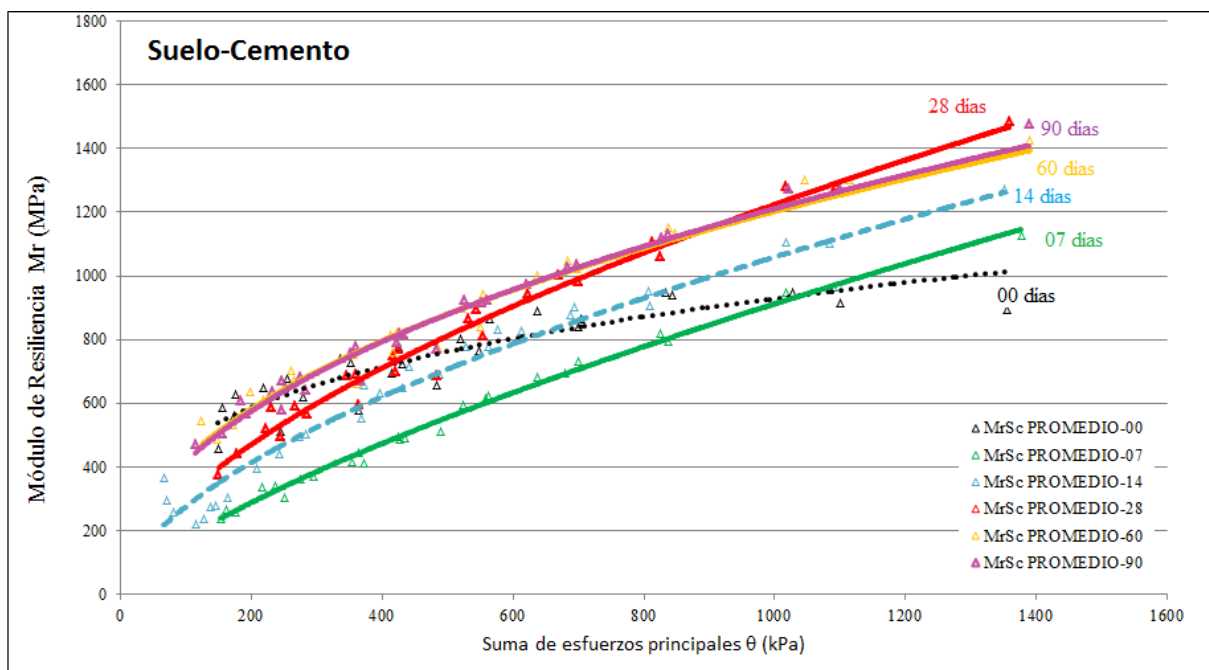


**Figura 3.17 Módulos de Resiliencia de subbase estabilizada con cemento.**

Para el caso de la subbase-cemento-zeolita sintética se observa primeramente que los especímenes ensayados inmediatamente sí proporcionan valores inferiores a los de las muestras que contienen zeolita. Al parecer, la zeolita muestra un efecto más rápido. En este caso nuevamente se ve el efecto que a mayor tiempo de curado, los módulos se incrementan, sin embargo, para tiempos de curado mayores a 28 días, parece que ya no presentan variaciones.

### 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

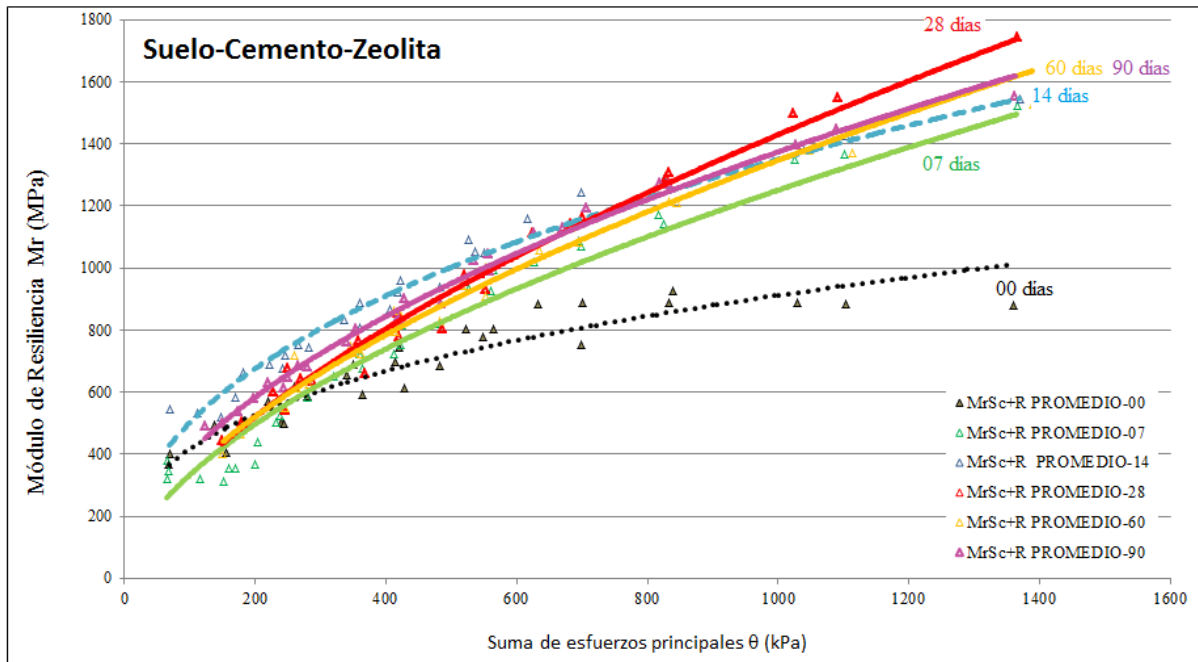


Figura 3. 18 Módulos de Resiliencia de subbase estabilizada con cemento y zeolitas.

#### 3.6 Permeabilidad

Al inicio del proyecto se tenía contemplado realizar pruebas de permeabilidad para diferentes tiempos de curado, pero al llevar a cabo un par de pruebas colocando muestras de suelo-cemento (SB-SC-P) de 07 días de curado, se observó que pese a la presión que se le aplica al agua para que esta pase a través de la muestra, esta no fluyó, aún y cuando se permitió que dicha presión actuara durante un mes.

Una vez confirmado que no se produjo flujo de agua, se desensambló la celda y se extrajo la muestra del molde, para después partir esta última por la mitad y observar por qué el agua no fluyó. La Figura 3.19 muestra el cilindro partido, en los cuales se observa que una pequeña longitud de la parte superior del espécimen estaba húmeda. A partir de esto, se decidió sólo hacer pruebas de permeabilidad para un día de curado y sólo para suelo natural (SC-P) y suelo cemento (SC-SC-P).

### 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS



**Figura 3.19 Muestras de suelo cemento (SB-SC-P) con 07 días de curado.**

En la Tabla 3.6 se muestra los resultados obtenidos de las pruebas.

Los resultados de la Tabla 3.6 indican claramente la reducción del coeficiente de permeabilidad cuando al suelo se le agrega cemento. Por otro lado, también es importante señalar que los resultados de ambas pruebas fueron muy similares, lo que indica que las muestras se prepararon de forma similar.

**Tabla 3.6 Cálculo de coeficiente de permeabilidad k.**

| Muestra   | tiempo de curado (días) | Q (cm <sup>3</sup> ) | L     | A (cm <sup>2</sup> ) | t segundos | h (presión cm+L+h') (cm) | k= QL/Ath (cm/seg) | Promedio  |
|-----------|-------------------------|----------------------|-------|----------------------|------------|--------------------------|--------------------|-----------|
| SB-P13    | 1                       | 388.49               | 11.64 | 81.073               | 7200       | 6195.589                 | 1.250E-06          | 1.207E-06 |
|           | 1                       | 352.43               |       |                      | 7200       |                          | 1.134E-06          |           |
|           | 1                       | 384.39               |       |                      | 7200       |                          | 1.237E-06          |           |
| SB-P15    | 1                       | 348.1                | 11.64 | 81.233               | 7200       | 6195.6153                | 1.120E-06          | 1.160E-06 |
|           | 1                       | 353.87               |       |                      | 7200       |                          | 1.139E-06          |           |
|           | 1                       | 284.17               |       |                      | 5400       |                          | 1.219E-06          |           |
| SB-SC-P01 | 1                       | 23.44                | 11.29 | 80.277               | 10800      | 6195.239                 | 5.030E-08          | 4.461E-08 |
|           | 1                       | 15.95                |       |                      | 9000       |                          | 4.107E-08          |           |
|           | 1                       | 13.19                |       |                      | 7200       |                          | 4.245E-08          |           |
| SB-SC-P06 | 1                       | 11.8                 | 11.3  | 80.277               | 5400       | 6195.249                 | 5.064E-08          | 4.982E-08 |
|           | 1                       | 8.01                 |       |                      | 3600       |                          | 5.156E-08          |           |
|           | 1                       | 3.67                 |       |                      | 1800       |                          | 4.725E-08          |           |

### 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Uno de los aspectos de los que se tenía duda durante la prueba, era de sí el agua no estaba fluyendo por las paredes del molde. Una vez que se observó detalladamente que el agua no fluyó en un mes, se obtuvo mayor confianza en los resultados que se obtuvieron con las muestras de 1 día de curado (Ver Figura 3.20).



**Figura 3.20 Muestras de suelo natural (SB SN-P) y suelo-cemento (SB-SC-P) ensayadas a 01 días de curado.**

## CONCLUSIONES

A continuación se enlistan las conclusiones obtenidas en este proyecto:

- El material de subbase en estudio cumple con las características especificadas en la normativa para fungir como tal.
- En las características de compactación, al agregar cemento, la subbase muestra un  $\omega_{opt}$  menor y un  $\gamma_{dm\acute{a}x}$  ligeramente por debajo del suelo natural.
- De las pruebas de resistencia a compresión simple se observó que la subbase estabilizada con cemento y zeolita sintética si muestra valores superiores, excepto para 90 días de curado.
- La evolución del módulo de elasticidad respecto al tiempo tiende a ser muy similar entre las muestras de suelo-cemento y suelo-cemento+zeolita, aunque a corto y mediano plazo (1,7,14,28 días de curado), las muestras de suelocemento+zeolita mostraron mejor desempeño que las muestras suelo-cemento.
- Existieron algunos tiempos de curado para los cuales se presentó dispersión importante en los resultados de módulo de elasticidad.
- Los módulos de resiliencia de la subbase estabilizada con cemento o con cemento y zeolita sintética son muy altos con respecto a los de suelo natural.
- Los valores de módulo de resiliencia para 7, 14, 28, 60 y 90 días si son mayores en la subbase estabilizada con cemento y con zeolita sintética.
- La permeabilidad se reduce de forma importante cuando a la subbase se le agrega cemento.
- La permeabilidad no se pudo medir en muestras de subbase con cemento para muestras a las que se permitió tiempo de curado ya que el agua no fluyó aunque se permitió que el agua a presión estuviera aplicada durante un mes.

## Recomendaciones

- Realizar pruebas de permeabilidad con el material suelo-cemento-zeolita, para corroborar la similitud con el material suelo-cemento.
- Llevar a cabo el estudio con otros materiales para generalizar el comportamiento obtenido en esta investigación.
- Debido a que se han realizado pruebas de resistencia a compresión simple, módulos de elasticidad, módulos de resiliencia y permeabilidad, ahora se propone hacer pruebas de agrietamiento, debido a la preocupación que genera el uso de gran contenido de cemento.
- Durante la investigación se observó un patrón en las fallas de los especímenes durante las pruebas de compresión simple, pues generalmente se iniciaron en la posición dónde se introducen los tornillos pertenecientes a los anillos soporte de los LVDT's, por lo que se recomienda utilizar otro sistema para sujetar los LVDT's.

## Referencias y bibliografía

ACI Committee 230. (1990). State-of-the-art report on soil-cement. ACI Materials Journal, 87(4).

Arjona, M. D. L. P. (2002). Estabilización de sahcah con cemento Pórtland Tipo I para la construcción de pisos en viviendas rurales. Ingeniería, 6(2), 33-45.

Astm, C. (2001). 469. Standard test method for static modulus of elasticity and Poisson's ratio of concrete in compression. West Conshohochen: American Society for Testing and Materials.

ASTM-C-39 (1999) Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens, Libro anual, EUA.

ASTM-C-469 (1994) Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression, Libro anual, EUA.

Bear, J. (2013). Dynamics of fluids in porous media. Courier Corporation.

Berry, P. L., & Reid, D. (1993). Mecánica de suelos. McGraw-Hill.

Budhu,(2006) M. Soil Mechanics and Foundations.

Carlos Jofré (IECA), Carlos Kreamer (U.P.V.).(2008). Asociación Nacional de Fabricantes de Cales y Derivados de España. Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones (IECA).

Catton, M. D. (1962). Research on the physical relations of soil and soil-cement mixtures. Highway Researc Board Proceedings 20:821-825.

Das, B. M. (2001). Fundamentos de ingeniería geotécnica. Cengage Learning Latin America.

Dhakal, S. K. (2012). Stabilization of Very Weak Subgrade Soil with Cementitious Stabilizers (Doctoral dissertation, Faculty of the Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in Civil Engineering in The Department of Civil and Environmental Engineering by Sanjay Kumar Dhakal BS, Tribhuvan University).

Dorner, J., & Dec, D. (2007). La permeabilidad del aire y conductividad hidráulica saturada como herramienta para la caracterización funcional de los poros del suelo. Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal, 7(2), 1-13.

Garnica Anguas, P., Pérez García, N., & Gómez López, J. A. (2000). MODULOS DE RESILENCIA EN SUELOS FINOS Y MATERIALES GRANULARES. Publicación Técnica, (142).

GARNICA ANGUASD, P., & Gómez López, J. A. (2001). Deformaciones Permanentes en Materiales Granulares para la Sección Estructural de Carreteras. Publicación Técnica, (176).

Gayoso R. Rosell M. Zeolita utilizada como aditivo mineral activo para hormigones. V Conferencia Internacional de zeolita. Universidad de la Habana, Marzo 2003.

HILLEL, D. 1998. Environmental Soil Physics. Academic press, London, p. 771.

Jan R. Prusinski and Sankar Bhattacharja. (1999). "Effectiveness of Portland cement and lime in stabilizing clay soils". Transportation Research Record. Issue-1652, pp 215-227.

Juárez Badillo, & EULALIO, Y. R. R. (1989). Mecánica de Suelos, Tomo III. Flujo de Agua en Suelos. Editorial Limusa, Noriega Editores. México.

Juárez Badillo, E., & Rico Rodríguez, A. (1975). Mecánica de suelos, tomo I, fundamentos de la mecánica de suelos. México: Limusa.

Kalankamary Pily, George (1963). "Base course mix design criteria for cement-treated loess " Retrospective Theses and Dissertations. Paper 2961.

Kraemer, C., Pardillo, J. M., Rocci, S., Romana, M., & Sánchez, V. (2004). y del Val, MA, Ingeniería de Carreteras. Vol. II. Editorial McGraw Hill

Miura, N., Horpibulsuk, S., Nagaraj, T.S. (2001) "Engineering behavior of cement stabilized clay at high water content", Soils and foundations, Vol.41, N°5, 33-45, Oct. 2001 Japanese Geotechnical Society

Morante, F., Ramos, V., Montalván, J., & Guerrero, J. (2005). Obtención de zeolita sintética clinoptilolita en condiciones de laboratorio. Revista Tecnológica-ESPOL, 18(1).

NMX-C-128-ONNCCE-1997 (1997). Determinación del módulo de elasticidad estático y relación de Poisson. Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y la Edificación, S.C., México, México.

NOM (2002). Norma N-CMT-2-02-001/02: CMT. Características de los materiales, 2. MATERIALES PARA ESTRUCTURAS, 02. Materiales para Concreto Hidráulico, 001. Calidad del Cemento Portland. NIT.SCT.

Rabilero A. Las puzolanas. Cinetica de las reacciones. Editorial Oriente. Santiago de Cuba. 1988.

- Rana, A. K., Rana, S. B., Kumari, A., & Kiran, V. (2009). Significance of nanotechnology in construction engineering. *International Journal of Recent Trends in Engineering*, 1(4), 46-48.
- Rico, A., & Del Castillo, H. (1977). *La ingeniería de suelos en las vías terrestres*. Ed. Limusa, SA.
- Robin de La Roij & Christophe Erik Gustaaf Egyed. (2014). *Manual de la Nano-tecnología en Pavimentos del Concreto Zeolítico Sintético: Transformación de suelos en un Concreto Zeolítico Sintético, con el uso de Zeolitas Sintéticas, Compuestos Alcalinos y Activadores de Patente*. Asociación Mexicana de Ingeniería de Vías Terrestres, A.C. NUR-código: 956. NUR-descripción: Ingeniería Civil.
- Rosell, M., Gayoso, R., & Calvo, B. (2006). Zeolita como aditivo mineral activo en hormigones de altas prestaciones. *Boletín Geológico y Minero*, 117(4), 783-792.
- Saxena, S. C., & Seksena, S. L. (1989). A self-compensated smart LVDT transducer. *Instrumentation and Measurement, IEEE Transactions on*, 38(3), 748-753.
- SCT N-CMT-4-02-001-11 “Características de los materiales, 4 Materiales para pavimentos, 02 Materiales para Subbase y Base, 001 Materiales para Subbase” emitida por la Normativa de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.
- SCT N-MMP-2-02-058/04 (2004) “Métodos de muestreo y prueba de materiales 2. Materiales para estructuras 02. Materiales para concreto hidráulico 058. Resistencia a la compresión simple de cilindros de concreto.”
- Seed, H.B. et al (1967). “Prediction of Flexible Pavement Deflections from Laboratory Repeated-Load Test”. Highway Research Board. Report 35.
- SERRANO, J. (2011). *Especialidad Gestión del Tráfico y Movilidad*. (Tema 6). Madrid, España: Dirección General de Tráfico.
- Solminihaç T, H., Echeverría G, G., & Thenoux Z, G. (2012). Estabilización Química de Suelos: Aplicaciones en la construcción de estructuras de pavimentos. *Revista Ingeniería de Construcción*, (6), 53-78.
- Toirac Corral, J. (2008). *El suelo-cemento como material de construcción. ciencia y sociedad*.
- TOPÇU, İ. B., & UĞURLU, A. (2007). Elasticity theory of concrete and prediction of Static E-modulus for dam Concrete using composite models. *Teknik Dergi*, 18(1), 4055-4067.

## REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

Uddin, K., Balasubramaniam, A.S., Bergado, D.T. (1997) "Engineering behaviour of cement-treated Bangkok soft clay", *Geotech. Engrg. J.*, 28 (1), 89-119

Vidal, J., & Osorio, R. (2002). Módulo Resiliente de Suelos Finogranulares. *Revista Universidad EAFIT*, (125), 63-71.

Vieytes, A. M., Rayas, J. A., & Rodríguez-Vera, E. (2003). Medición del modulo de young en el hule latex usando ESPI. *Revista mexicana de física*, 49(6), 555-564.

Witczak, M. W. (2003). NCHRP 1-28A: Harmonized Test Method for Laboratory Determination of Resilient Modulus for Flexible Pavement Design.

# **ANEXO A PRUEBAS DE COMPRESIÓN SIMPLE**

(EQUIPO INSTRON)

## **ANEXO A.I MUESTRAS DE 01 DÍAS DE CURADO**



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 2015-10-15

Clave de proyecto/Servicio: IE 08/14

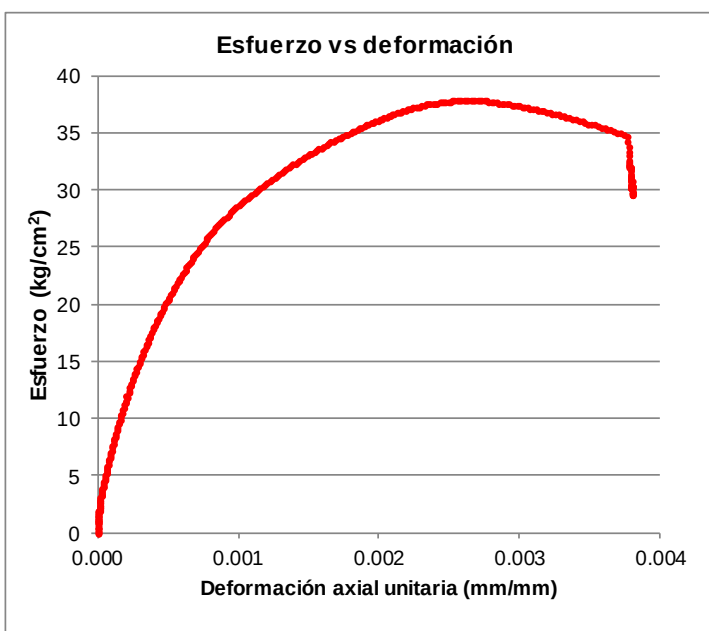
Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con cemento Portland y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

Descripción de la muestra: Subbase adicionada con cemento Portland.

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

|                         |           |                   |         |                                  |        |
|-------------------------|-----------|-------------------|---------|----------------------------------|--------|
| Muestra No.:            | SB SC 149 | Diámetro (cm):    | 15.00   | $\omega$ (%):                    | 10.010 |
| No. de capas:           | 5         | Altura (cm):      | 30.01   | $\gamma_m$ (kN/m <sup>3</sup> ): | 19.299 |
| No. de golpes por capa: | 30        | Masa muestra (g): | 10438.0 | $\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> ): | 17.572 |



|                                                |             |
|------------------------------------------------|-------------|
| <b>Esfuerzo máximo (kg/cm²)</b>                | 37.8509     |
| <b>Deformación unitaria a la falla (mm/mm)</b> | 0.0027      |
| <b>Módulo de elasticidad (kg/cm²)</b>          | 40,685.4441 |
| <b>Módulo de Poisson</b>                       | 0.2985      |

**Observaciones:**

Fecha de compactación: 2015-10-14

Días de curado: 1

Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

**Realizó:** Elizabeth Parra Alvarez.

**Cálculo:** Elizabeth Parra Alvarez.

**Revisó:** Dra. Natalia Pérez García.

**Figura A.I.1 Muestra suelo-cemento 149 a 01 días de curado.**



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 2015-10-16

Clave de proyecto/Servicio: IE 08/14

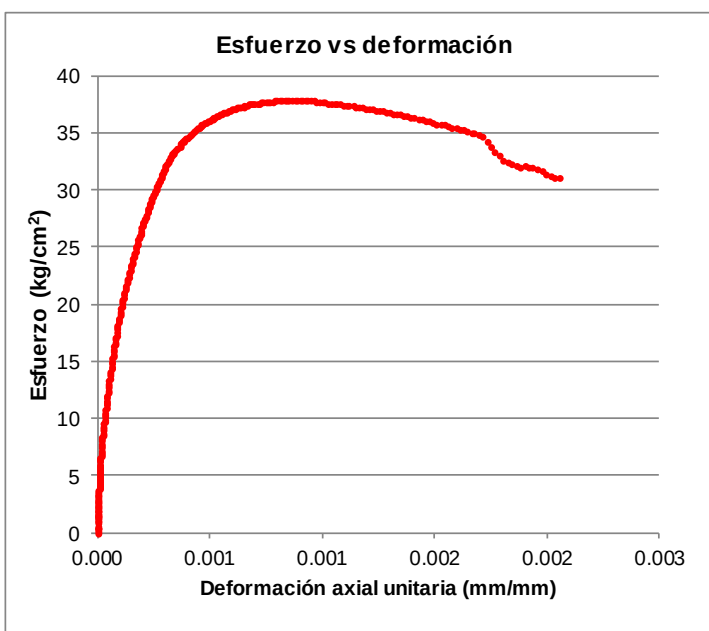
Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con cemento Portland y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

Descripción de la muestra: Subbase adicionada con cemento Portland.

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

|                         |           |                   |         |                                  |        |
|-------------------------|-----------|-------------------|---------|----------------------------------|--------|
| Muestra No.:            | SB SC 151 | Diámetro (cm):    | 15.01   | $\omega$ (%):                    | 10.000 |
| No. de capas:           | 5         | Altura (cm):      | 30.08   | $\gamma_m$ (kN/m <sup>3</sup> ): | 19.547 |
| No. de golpes por capa: | 30        | Masa muestra (g): | 10586.5 | $\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> ): | 17.768 |



|                                                |             |
|------------------------------------------------|-------------|
| <b>Esfuerzo máximo (kg/cm²)</b>                | 40.4315     |
| <b>Deformación unitaria a la falla (mm/mm)</b> | 0.0029      |
| <b>Módulo de elasticidad (kg/cm²)</b>          | 50,904.4336 |
| <b>Módulo de Poisson</b>                       | 0.4265      |

**Observaciones:**

Fecha de compactación: 2015-10-15

Días de curado: 1

Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

**Realizó:** Elizabeth Parra Alvarez.

**Cálculo:** Elizabeth Parra Alvarez.

**Revisó:** Dra. Natalia Pérez García.

**Figura A.I.2 Muestra suelo-cemento 151 a 01 días de curado.**



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 2015-10-16

Clave de proyecto/Servicio: IE 08/14

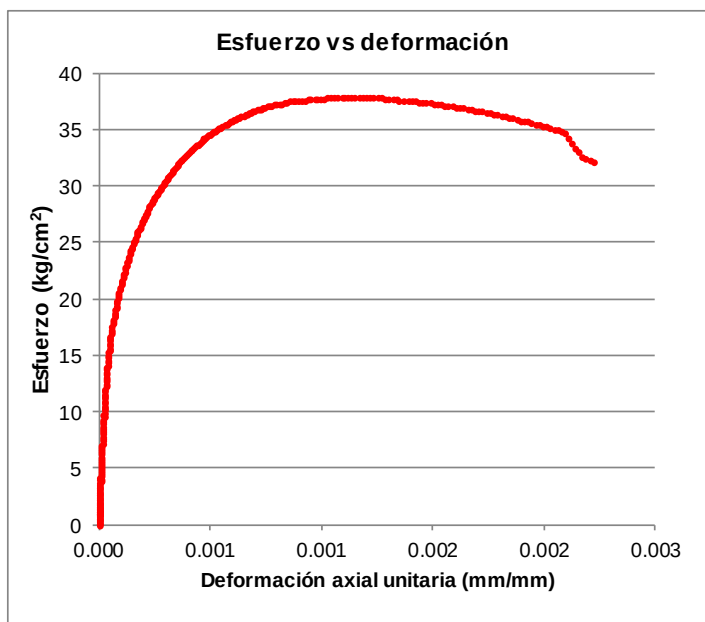
Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con cemento Portland y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

Descripción de la muestra: Subbase adicionada con cemento Portland.

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

|                         |           |                   |         |                                  |        |
|-------------------------|-----------|-------------------|---------|----------------------------------|--------|
| Muestra No.:            | SB SC 152 | Diámetro (cm):    | 15.01   | $\omega$ (%):                    | 10.000 |
| No. de capas:           | 5         | Altura (cm):      | 30.01   | $\gamma_m$ (kN/m <sup>3</sup> ): | 19.608 |
| No. de golpes por capa: | 30        | Masa muestra (g): | 10619.0 | $\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> ): | 17.826 |



|                                                |             |
|------------------------------------------------|-------------|
| <b>Esfuerzo máximo (kg/cm²)</b>                | 38.3526     |
| <b>Deformación unitaria a la falla (mm/mm)</b> | 0.0028      |
| <b>Módulo de elasticidad (kg/cm²)</b>          | 45,580.3620 |
| <b>Módulo de Poisson</b>                       | 0.2593      |

**Observaciones:**

Fecha de compactación: 2015-10-15

Días de curado: 1

Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

**Realizó:** Elizabeth Parra Alvarez.

**Cálculo:** Elizabeth Parra Alvarez.

**Revisó:** Dra. Natalia Pérez García.

**Figura A.I.3 Muestra suelo-cemento 152 a 01 días de curado.**



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 2015-10-22

Clave de proyecto/Servicio: IE 08/14

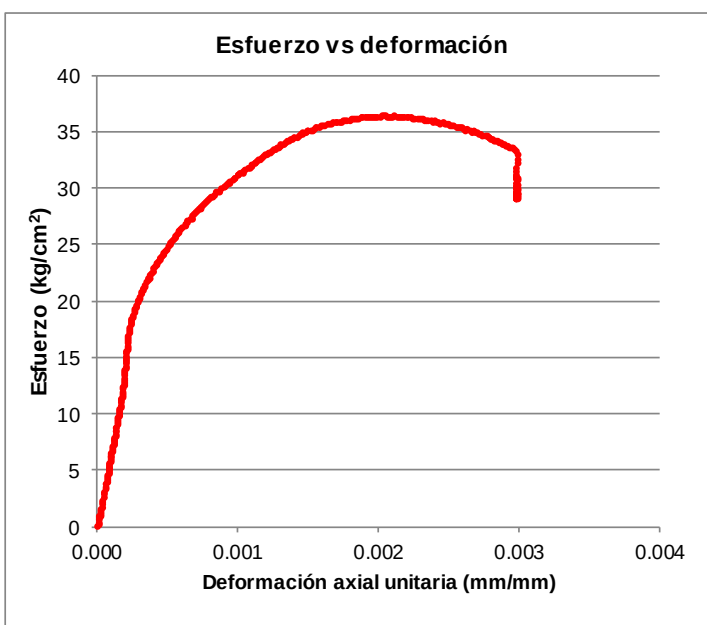
Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con cemento Portland y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

Descripción de la muestra: Subbase adicionada con cemento Portland y zeolita sintética.

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

|                         |             |                   |         |                                  |        |
|-------------------------|-------------|-------------------|---------|----------------------------------|--------|
| Muestra No.:            | SB SC+R 155 | Diámetro (cm):    | 15.02   | $\omega$ (%):                    | 10.050 |
| No. de capas:           | 5           | Altura (cm):      | 30.01   | $\gamma_m$ (kN/m <sup>3</sup> ): | 19.652 |
| No. de golpes por capa: | 30          | Masa muestra (g): | 10618.0 | $\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> ): | 17.858 |



|                                                |             |
|------------------------------------------------|-------------|
| <b>Esfuerzo máximo (kg/cm²)</b>                | 36.4386     |
| <b>Deformación unitaria a la falla (mm/mm)</b> | 0.0020      |
| <b>Módulo de elasticidad (kg/cm²)</b>          | 76,827.4625 |
| <b>Módulo de Poisson</b>                       | 0.5440      |

**Observaciones:**

Fecha de compactación: 2015-10-21

Días de curado: 1

Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

**Realizó:** Elizabeth Parra Alvarez.

**Cálculo:** Elizabeth Parra Alvarez.

**Revisó:** Dra. Natalia Pérez García.

**Figura A.I.4 Muestra suelo-cemento-zeolita 155 a 01 días de curado.**



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 2015-10-23

Clave de proyecto/Servicio: IE 08/14

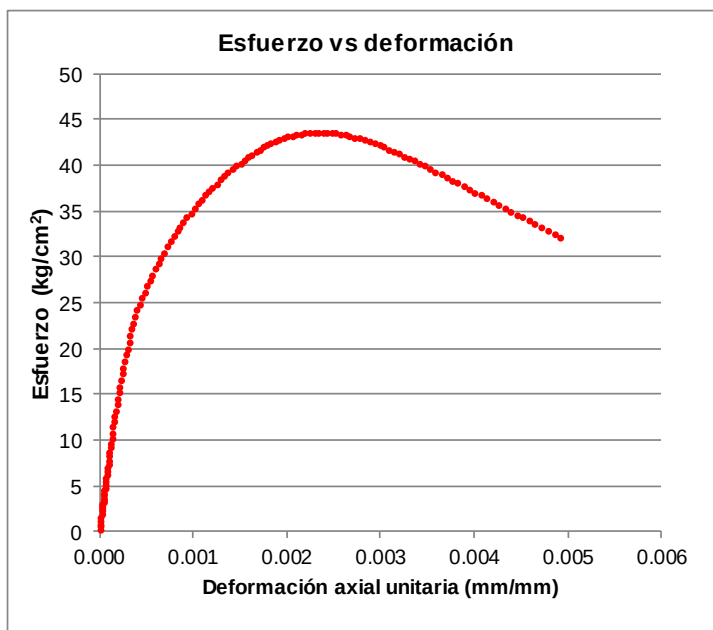
Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con cemento Portland y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

Descripción de la muestra: Subbase adicionada con cemento Portland y zeolita sintética.

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

|                         |             |                   |         |                                  |        |
|-------------------------|-------------|-------------------|---------|----------------------------------|--------|
| Muestra No.:            | SB SC+R 157 | Diámetro (cm):    | 15.03   | $\omega$ (%):                    | 10.040 |
| No. de capas:           | 5           | Altura (cm):      | 30.07   | $\gamma_m$ (kN/m <sup>3</sup> ): | 19.694 |
| No. de golpes por capa: | 30          | Masa muestra (g): | 10706.0 | $\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> ): | 17.896 |



|                                                |             |
|------------------------------------------------|-------------|
| <b>Esfuerzo máximo (kg/cm²)</b>                | 43.6174     |
| <b>Deformación unitaria a la falla (mm/mm)</b> | 0.0024      |
| <b>Módulo de elasticidad (kg/cm²)</b>          | 68,563.4533 |
| <b>Módulo de Poisson</b>                       | 0.4387      |

**Observaciones:**

Fecha de compactación: 2015-10-22

Días de curado: 1

Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

Realizó: Elizabeth Parra Alvarez.

Cálculo: Elizabeth Parra Alvarez.

Revisó: Dra. Natalia Pérez García.

**Figura A.I.5 Muestra suelo-cemento-zeolita 157 a 01 días de curado.**

## **ANEXO A.II MUESTRAS DE 07 DÍAS DE CURADO**



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 2015-06-11

Clave de proyecto/Servicio: IE 08/14

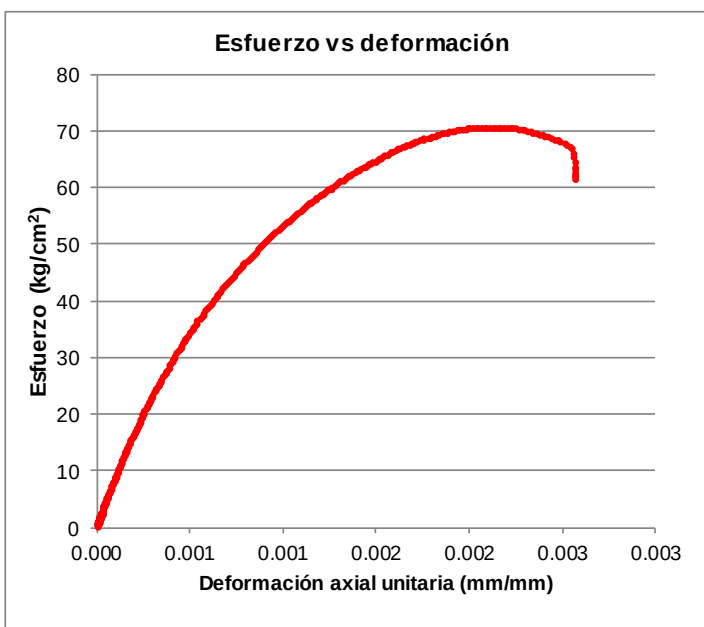
Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con cemento Portland y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

Descripción de la muestra: Subbase adicionada con cemento Portland.

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

|                         |           |                   |         |                                  |        |
|-------------------------|-----------|-------------------|---------|----------------------------------|--------|
| Muestra No.:            | SB SC 118 | Diámetro (cm):    | 15.05   | $\omega$ (%):                    | 10.000 |
| No. de capas:           | 5         | Altura (cm):      | 30.07   | $\gamma_m$ (kN/m <sup>3</sup> ): | 19.552 |
| No. de golpes por capa: | 30        | Masa muestra (g): | 10696.0 | $\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> ): | 17.774 |



|                                                |           |
|------------------------------------------------|-----------|
| <b>Esfuerzo máximo (kg/cm²)</b>                | 70.7278   |
| <b>Deformación unitaria a la falla (mm/mm)</b> | 0.0021    |
| <b>Módulo de elasticidad (kg/cm²)</b>          | 70,092.11 |
| <b>Módulo de Poisson</b>                       | 0.0450    |

**Observaciones:**

Fecha de compactación: 2015-06-04

Días de curado: 7

Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

**Realizó:** Elizabeth Parra Alvarez.

**Cálculo:** Elizabeth Parra Alvarez.

**Revisó:** Dra. Natalia Pérez García.

**Figura A.II.1 Muestra suelo-cemento 118 a 07 días de curado.**



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 2015-06-11

Clave de proyecto/Servicio: IE 08/14

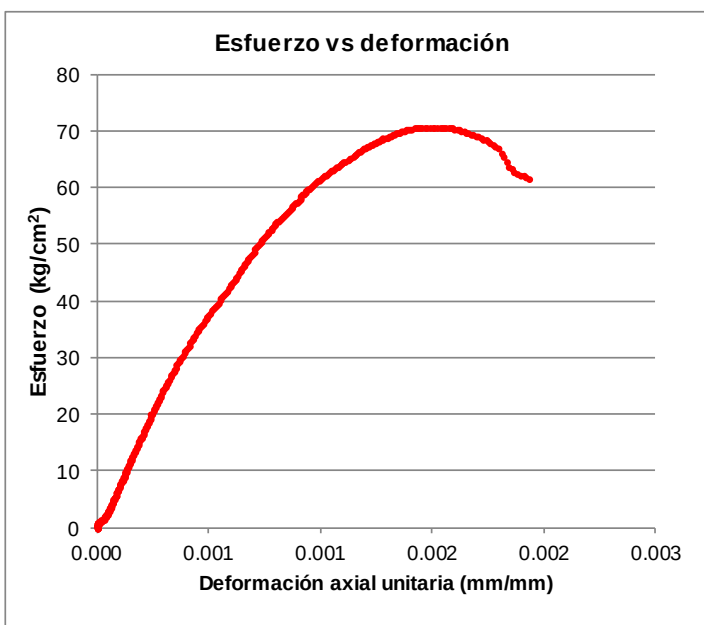
Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con cemento Portland y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

Descripción de la muestra: Subbase adicionada con cemento Portland.

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

|                         |           |                   |         |                                  |        |
|-------------------------|-----------|-------------------|---------|----------------------------------|--------|
| Muestra No.:            | SB SC 120 | Diámetro (cm):    | 15.05   | $\omega$ (%):                    | 10.380 |
| No. de capas:           | 5         | Altura (cm):      | 30.13   | $\gamma_m$ (kN/m <sup>3</sup> ): | 19.914 |
| No. de golpes por capa: | 30        | Masa muestra (g): | 10648.0 | $\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> ): | 17.679 |



|                                                |           |
|------------------------------------------------|-----------|
| <b>Esfuerzo máximo (kg/cm²)</b>                | 62.4297   |
| <b>Deformación unitaria a la falla (mm/mm)</b> | 0.0019    |
| <b>Módulo de elasticidad (kg/cm²)</b>          | 61,544.66 |
| <b>Módulo de Poisson</b>                       | 0.2782    |

**Observaciones:**

Fecha de compactación: 2015-06-04

Días de curado: 7

Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

**Realizó:** Elizabeth Parra Alvarez.

**Cálculo:** Elizabeth Parra Alvarez.

**Revisó:** Dra. Natalia Pérez García.

**Figura A.II.2 Muestra suelo-cemento 120 a 07 días de curado.**



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 2015-07-09

Clave de proyecto/Servicio: IE 08/14

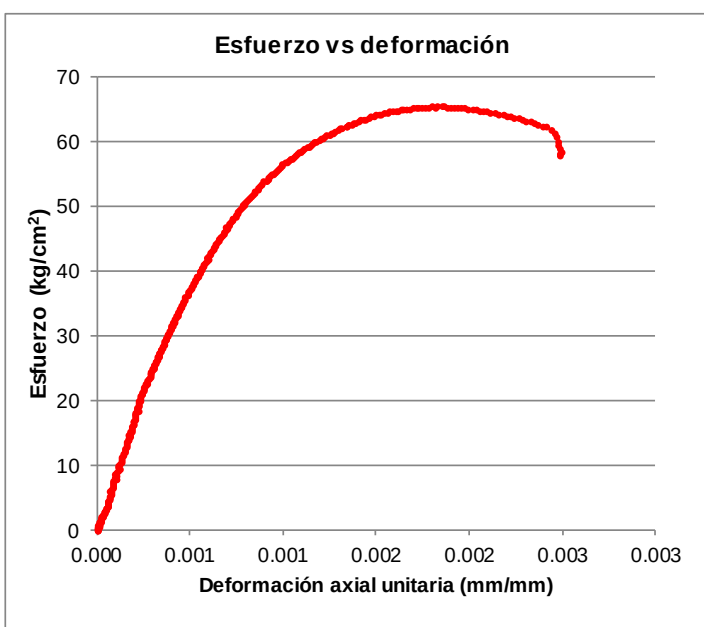
Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con cemento Portland y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

Descripción de la muestra: Subbase adicionada con cemento Portland.

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

|                         |           |                   |         |                                  |        |
|-------------------------|-----------|-------------------|---------|----------------------------------|--------|
| Muestra No.:            | SB SC 133 | Diámetro (cm):    | 15.05   | $\omega$ (%):                    | 9.690  |
| No. de capas:           | 5         | Altura (cm):      | 30.10   | $\gamma_m$ (kN/m <sup>3</sup> ): | 19.332 |
| No. de golpes por capa: | 30        | Masa muestra (g): | 10735.5 | $\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> ): | 17.624 |



|                                             |           |
|---------------------------------------------|-----------|
| Esfuerzo máximo (kg/cm <sup>2</sup> )       | 65.3461   |
| Deformación unitaria a la falla (mm/mm)     | 0.0018    |
| Módulo de elasticidad (kg/cm <sup>2</sup> ) | 85,624.35 |
| Módulo de Poisson                           | 0.3381    |

**Observaciones:**

Fecha de compactación: 2015-07-02

Días de curado: 7

Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

**Realizó:** Elizabeth Parra Alvarez.

**Cálculo:** Elizabeth Parra Alvarez.

**Revisó:** Dra. Natalia Pérez García.

**Figura A.II.4 Muestra suelo-cemento 133 a 07 días de curado.**



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 2015-05-06

Clave de proyecto/Servicio: IE 08/14

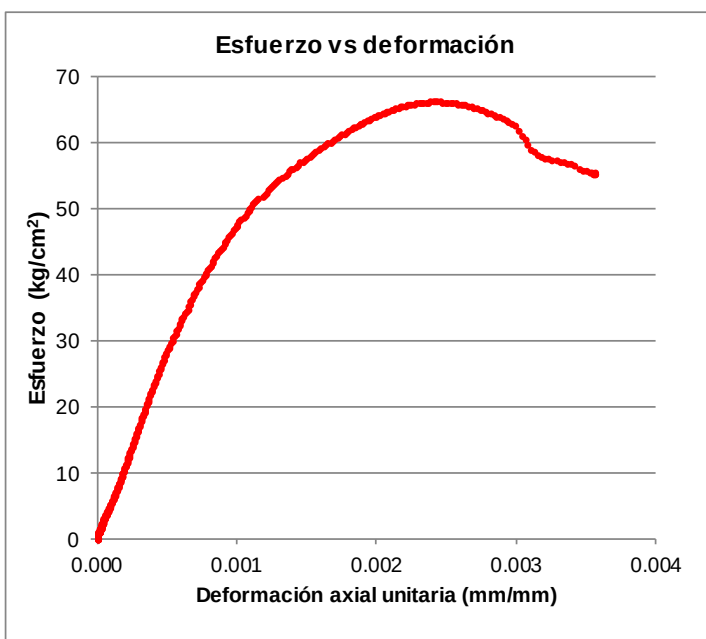
Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con cemento Portland y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

Descripción de la muestra: Subbase adicionada con cemento Portland y zeolita sintética.

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

|                         |             |                   |         |                                  |        |
|-------------------------|-------------|-------------------|---------|----------------------------------|--------|
| Muestra No.:            | SB-SC+R-096 | Diámetro (cm):    | 15.06   | $\omega$ (%):                    | 10.580 |
| No. de capas:           | 5           | Altura (cm):      | 30.15   | $\gamma_m$ (kN/m <sup>3</sup> ): | 19.466 |
| No. de golpes por capa: | 30          | Masa muestra (g): | 10627.0 | $\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> ): | 17.604 |



|                                                |             |
|------------------------------------------------|-------------|
| <b>Esfuerzo máximo (kg/cm²)</b>                | 72.2431     |
| <b>Deformación unitaria a la falla (mm/mm)</b> | 0.0029      |
| <b>Módulo de elasticidad (kg/cm²)</b>          | 69,216.9568 |
| <b>Módulo de Poisson</b>                       | 0.3609      |

**Observaciones:**

Fecha de compactación: 2015-04-29

Días de curado: 7

Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

**Realizó:** Elizabeth Parra Alvarez.

**Cálculo:** Elizabeth Parra Alvarez.

**Revisó:** Dra. Natalia Pérez García.

**Figura A.II.5 Muestra suelo-cemento-zeolita 096 a 07 días de curado.**



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 2015-05-06

Clave de proyecto/Servicio: IE 08/14

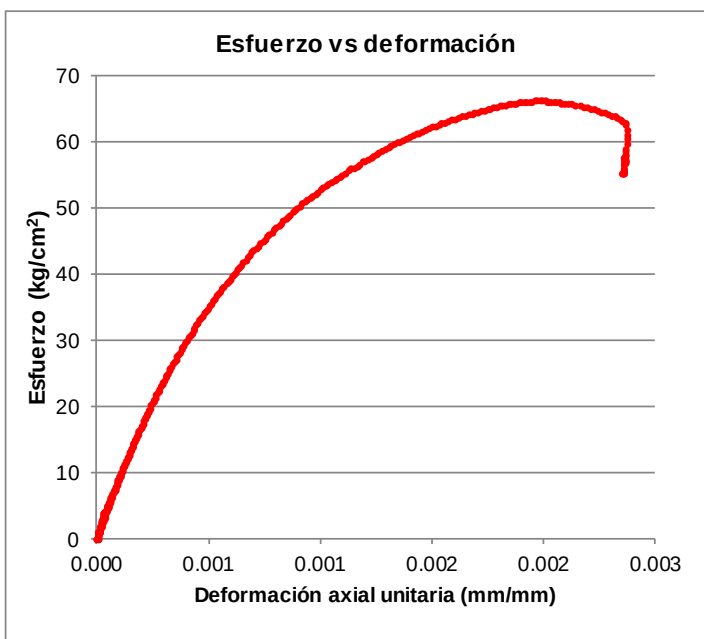
Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con cemento Portland y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

Descripción de la muestra: Subbase adicionada con cemento Portland y zeolita sintética.

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

|                         |             |                   |         |                                  |        |
|-------------------------|-------------|-------------------|---------|----------------------------------|--------|
| Muestra No.:            | SB-SC+R-098 | Diámetro (cm):    | 15.05   | $\omega$ (%):                    | 10.350 |
| No. de capas:           | 5           | Altura (cm):      | 30.08   | $\gamma_m$ (kN/m <sup>3</sup> ): | 19.702 |
| No. de golpes por capa: | 30          | Masa muestra (g): | 10619.0 | $\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> ): | 17.854 |



|                                                |             |
|------------------------------------------------|-------------|
| <b>Esfuerzo máximo (kg/cm²)</b>                | 66.1716     |
| <b>Deformación unitaria a la falla (mm/mm)</b> | 0.0020      |
| <b>Módulo de elasticidad (kg/cm²)</b>          | 73,534.9019 |
| <b>Módulo de Poisson</b>                       | 0.3346      |

**Observaciones:**

Fecha de compactación: 2015-04-29

Días de curado: 7

Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

**Realizó:** Elizabeth Parra Alvarez.

**Cálculo:** Elizabeth Parra Alvarez.

**Revisó:** Dra. Natalia Pérez García.

**Figura A.II.6 Muestra suelo-cemento-zeolita 098 a 07 días de curado.**



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 2015-07-09

Clave de proyecto/Servicio: IE.08/14

Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con cemento Portland y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

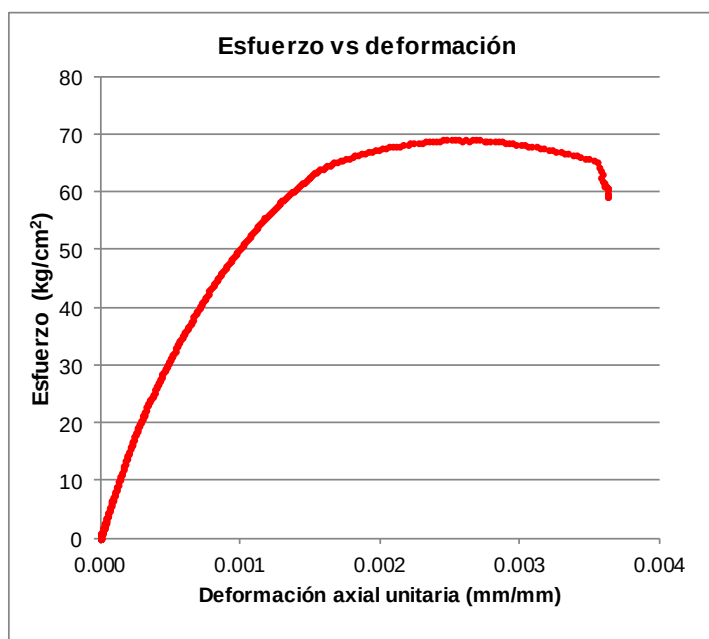
Descripción de la muestra: Subbase adicionada con cemento Portland y zeolita sintética.

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

Muestra No.: SB SC+R 123      Diámetro (cm): 15.04       $\omega$  (%): 9.850

No. de capas: 5      Altura (cm): 30.05       $\gamma_m$  (kN/m<sup>3</sup>): 19.320

No. de golpes por capa: 30      Masa muestra (g): 10521.0       $\gamma_d$  (kN/m<sup>3</sup>): 17.658



|                                                  |             |
|--------------------------------------------------|-------------|
| <b>Esfuerzo máximo (kg/cm<sup>2</sup>)</b>       | 68.9810     |
| <b>Deformación unitaria a la falla (mm/mm)</b>   | 0.0026      |
| <b>Módulo de elasticidad (kg/cm<sup>2</sup>)</b> | 63,390.2188 |
| <b>Módulo de Poisson</b>                         | 0.2591      |

**Observaciones:**

Fecha de compactación: 2015-07-02

Días de curado: 7

Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

**Realizó:** Elizabeth Parra Alvarez.

**Cálculo:** Elizabeth Parra Alvarez.

**Revisó:** Dra. Natalia Pérez García.

**Figura A.II.7 Muestra suelo-cemento-zeolita 123 a 07 días de curado.**

## **ANEXO A.III MUESTRAS DE 14 DÍAS DE CURADO**



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 2015-05-27

Clave de proyecto/Servicio: IE 08/14

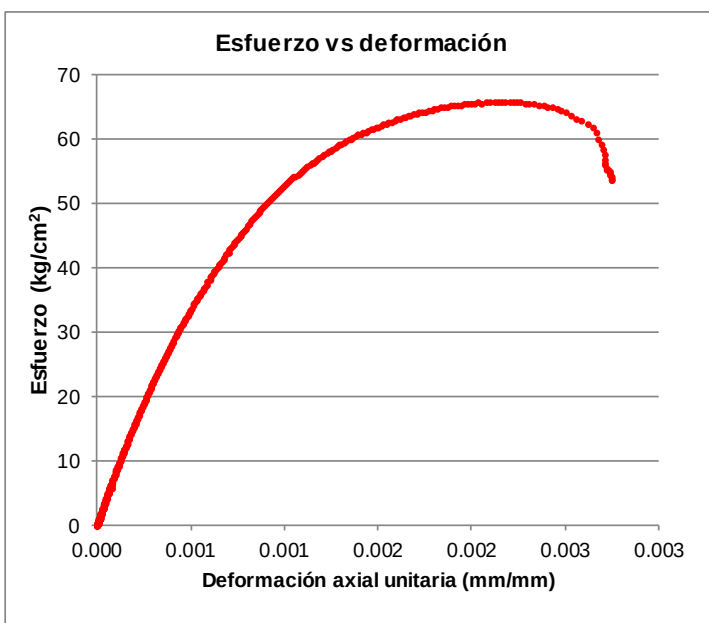
Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con cemento Portland y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

Descripción de la muestra: Subbase adicionada con cemento Portland.

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

|                         |           |                   |         |                                  |        |
|-------------------------|-----------|-------------------|---------|----------------------------------|--------|
| Muestra No.:            | SB SC 103 | Diámetro (cm):    | 15.05   | $\omega$ (%):                    | 10.110 |
| No. de capas:           | 5         | Altura (cm):      | 30.09   | $\gamma_m$ (kN/m <sup>3</sup> ): | 19.419 |
| No. de golpes por capa: | 30        | Masa muestra (g): | 10680.0 | $\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> ): | 17.636 |



|                                                |             |
|------------------------------------------------|-------------|
| <b>Esfuerzo máximo (kg/cm²)</b>                | 65.7332     |
| <b>Deformación unitaria a la falla (mm/mm)</b> | 0.0012      |
| <b>Módulo de elasticidad (kg/cm²)</b>          | 77,575.7048 |
| <b>Módulo de Poisson</b>                       | 0.3133      |

**Observaciones:**

Fecha de compactación: 2015-05-13

Días de curado: 14

Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

**Realizó:** Elizabeth Parra Alvarez.

**Cálculo:** Elizabeth Parra Alvarez.

**Revisó:** Dra. Natalia Pérez García.

**Figura A.III.1 Muestra suelo-cemento 103 a 14 días de curado.**



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 2015-05-06

Clave de proyecto/Servicio: IE 08/14

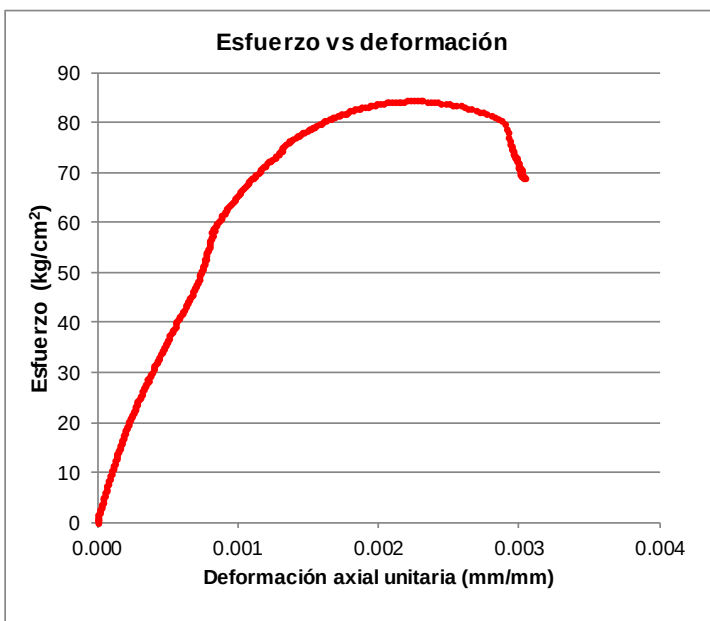
Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con cemento Portland y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

Descripción de la muestra: Subbase adicionada con cemento Portland.

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

|                         |           |                   |         |                                  |        |
|-------------------------|-----------|-------------------|---------|----------------------------------|--------|
| Muestra No.:            | SB-SC-072 | Diámetro (cm):    | 15.04   | $\omega$ (%):                    | 9.890  |
| No. de capas:           | 5         | Altura (cm):      | 30.06   | $\gamma_m$ (kN/m <sup>3</sup> ): | 19.503 |
| No. de golpes por capa: | 30        | Masa muestra (g): | 10634.0 | $\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> ): | 17.749 |



|                                                |             |
|------------------------------------------------|-------------|
| <b>Esfuerzo máximo (kg/cm²)</b>                | 84.3844     |
| <b>Deformación unitaria a la falla (mm/mm)</b> | 0.0023      |
| <b>Módulo de elasticidad (kg/cm²)</b>          | 71,041.5532 |
| <b>Módulo de Poisson</b>                       | 0.2735      |

**Observaciones:**

Fecha de compactación: 2015-04-21

Días de curado: 15

Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

**Realizó:** Elizabeth Parra Alvarez.

**Cálculo:** Elizabeth Parra Alvarez.

**Revisó:** Dra. Natalia Pérez García.

**Figura A.III.2 Muestra suelo-cemento 072 a 14 días de curado.**



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 2015-05-08

Clave de proyecto/Servicio: 23/0

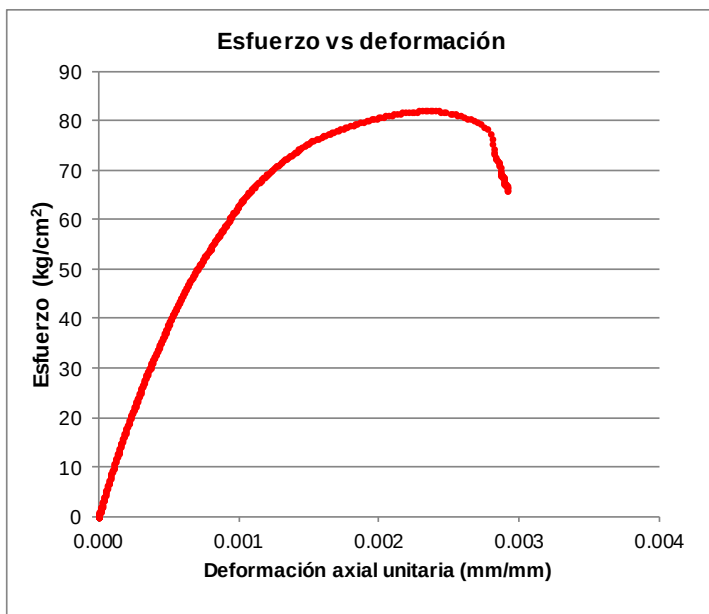
Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con cemento Portland y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

Descripción de la muestra: Subbase adicionada con cemento Portland.

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

|                         |           |                   |         |                                  |        |
|-------------------------|-----------|-------------------|---------|----------------------------------|--------|
| Muestra No.:            | SB SC 088 | Diámetro (cm):    | 15.05   | $\omega$ (%):                    | 10.080 |
| No. de capas:           | 5         | Altura (cm):      | 30.07   | $\gamma_m$ (kN/m <sup>3</sup> ): | 19.470 |
| No. de golpes por capa: | 30        | Masa muestra (g): | 10786.0 | $\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> ): | 17.686 |



|                                                |             |
|------------------------------------------------|-------------|
| <b>Esfuerzo máximo (kg/cm²)</b>                | 82.0220     |
| <b>Deformación unitaria a la falla (mm/mm)</b> | 0.0024      |
| <b>Módulo de elasticidad (kg/cm²)</b>          | 77,963.5685 |
| <b>Módulo de Poisson</b>                       | 0.2650      |

**Observaciones:**

Fecha de compactación: 2015-04-23

Días de curado: 15

Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

**Realizó:** Elizabeth Parra Alvarez.

**Cálculo:** Elizabeth Parra Alvarez.

**Revisó:** Dra. Natalia Pérez García.

**Figura A.III.3 Muestra suelo-cemento 088 a 14 días de curado.**



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 2015-06-11

Clave de proyecto/Servicio: IE 08/14

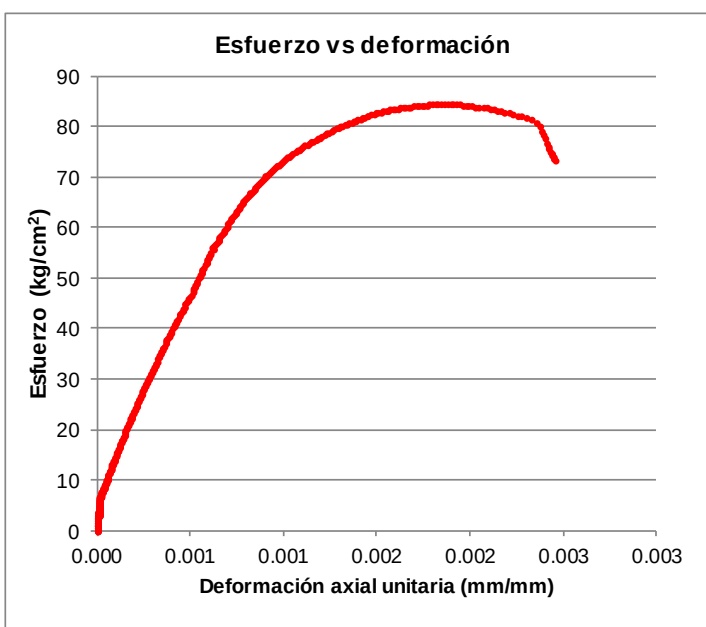
Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con cemento Portland y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

Descripción de la muestra: Subbase adicionada con Cemento Portland y zeolita sintética.

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

|                         |             |                   |         |                                  |        |
|-------------------------|-------------|-------------------|---------|----------------------------------|--------|
| Muestra No.:            | SB SC+R 110 | Diámetro (cm):    | 15.02   | $\omega$ (%):                    | 10.320 |
| No. de capas:           | 5           | Altura (cm):      | 30.09   | $\gamma_m$ (kN/m <sup>3</sup> ): | 19.414 |
| No. de golpes por capa: | 30          | Masa muestra (g): | 10802.5 | $\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> ): | 17.598 |



|                                                |             |
|------------------------------------------------|-------------|
| <b>Esfuerzo máximo (kg/cm²)</b>                | 84.4231     |
| <b>Deformación unitaria a la falla (mm/mm)</b> | 0.0019      |
| <b>Módulo de elasticidad (kg/cm²)</b>          | 87,689.7307 |
| <b>Módulo de Poisson</b>                       | 0.2844      |

**Observaciones:**

Fecha de compactación: 2015-05-28

Días de curado: 14

Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

**Realizó:** Elizabeth Parra Alvarez.

**Cálculo:** Elizabeth Parra Alvarez.

**Revisó:** Dra. Natalia Pérez García.

**Figura A.III.4 Muestra suelo-cemento-zeolita 110 a 14 días de curado.**



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 2015-06-11

Clave de proyecto/Servicio: IE 08/14

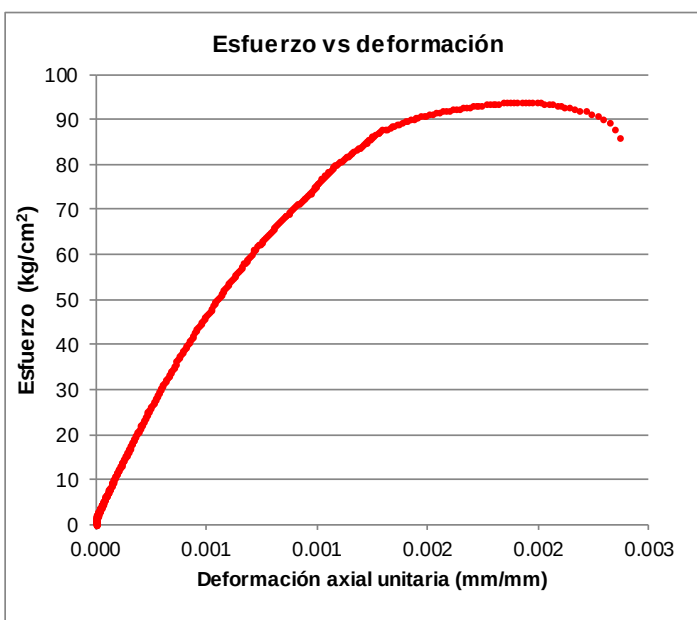
Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con cemento Portland y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

Descripción de la muestra: Subbase adicionada con Cemento Portland y zeolita sintética.

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

|                         |             |                   |         |                                  |        |
|-------------------------|-------------|-------------------|---------|----------------------------------|--------|
| Muestra No.:            | SB SC+R 111 | Diámetro (cm):    | 15.07   | $\omega$ (%):                    | 9.830  |
| No. de capas:           | 5           | Altura (cm):      | 30.13   | $\gamma_m$ (kN/m <sup>3</sup> ): | 19.260 |
| No. de golpes por capa: | 30          | Masa muestra (g): | 10859.0 | $\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> ): | 17.537 |



|                                                |             |
|------------------------------------------------|-------------|
| <b>Esfuerzo máximo (kg/cm²)</b>                | 93.8390     |
| <b>Deformación unitaria a la falla (mm/mm)</b> | 0.0020      |
| <b>Módulo de elasticidad (kg/cm²)</b>          | 92,332.1640 |
| <b>Módulo de Poisson</b>                       | 0.4038      |

**Observaciones:**

Fecha de compactación: 2015-05-28

Días de curado: 14

Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

**Realizó:** Elizabeth Parra Alvarez.

**Cálculo:** Elizabeth Parra Alvarez.

**Revisó:** Dra. Natalia Pérez García.

**Figura A.III.5 Muestra suelo-cemento-zeolita 111 a 14 días de curado.**



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 2015-06-11

Clave de proyecto/Servicio: IE 08/14

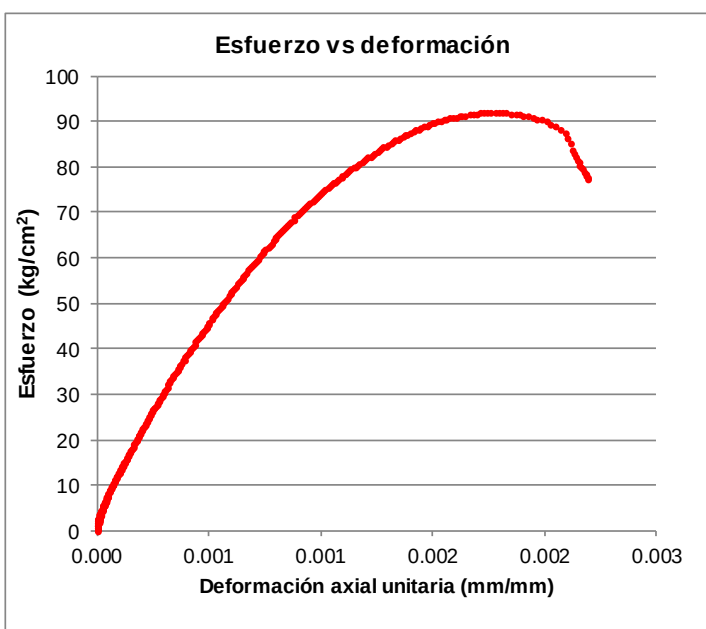
Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con cemento Portland y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

Descripción de la muestra: Subbase adicionada con Cemento Portland y zeolita sintética.

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

|                         |             |                   |         |                                  |        |
|-------------------------|-------------|-------------------|---------|----------------------------------|--------|
| Muestra No.:            | SB SC+R 112 | Diámetro (cm):    | 15.03   | $\omega$ (%):                    | 9.760  |
| No. de capas:           | 5           | Altura (cm):      | 30.17   | $\gamma_m$ (kN/m <sup>3</sup> ): | 19.477 |
| No. de golpes por capa: | 30          | Masa muestra (g): | 10856.5 | $\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> ): | 17.745 |



|                                                |             |
|------------------------------------------------|-------------|
| <b>Esfuerzo máximo (kg/cm²)</b>                | 91.9903     |
| <b>Deformación unitaria a la falla (mm/mm)</b> | 0.0018      |
| <b>Módulo de elasticidad (kg/cm²)</b>          | 87,790.0370 |
| <b>Módulo de Poisson</b>                       | 0.4796      |

**Observaciones:**

Fecha de compactación: 2015-05-28

Días de curado: 14

Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

**Realizó:** Elizabeth Parra Alvarez.

**Cálculo:** Elizabeth Parra Alvarez.

**Revisó:** Dra. Natalia Pérez García.

**Figura A.III.6 Muestra suelo-cemento-zeolita 112 a 14 días de curado.**



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 2015-06-14

Clave de proyecto/Servicio: IE 08/14

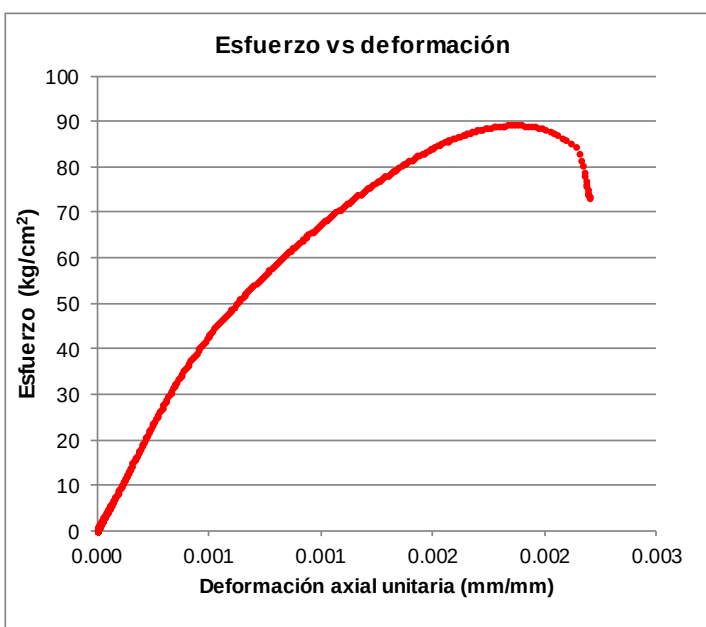
Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con cemento Portland.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

Descripción de la muestra: Subbase adicionada con Cemento Portland y zeolita sintética.

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

|                         |             |                   |         |                                  |        |
|-------------------------|-------------|-------------------|---------|----------------------------------|--------|
| Muestra No.:            | SB SC+R 106 | Diámetro (cm):    | 15.02   | $\omega$ (%):                    | 9.970  |
| No. de capas:           | 5           | Altura (cm):      | 30.05   | $\gamma_m$ (kN/m <sup>3</sup> ): | 19.584 |
| No. de golpes por capa: | 30          | Masa muestra (g): | 10692.0 | $\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> ): | 17.764 |



|                                                |             |
|------------------------------------------------|-------------|
| <b>Esfuerzo máximo (kg/cm²)</b>                | 89.2339     |
| <b>Deformación unitaria a la falla (mm/mm)</b> | 0.0019      |
| <b>Módulo de elasticidad (kg/cm²)</b>          | 90,933.2605 |
| <b>Módulo de Poisson</b>                       | 0.3816      |

**Observaciones:**

Fecha de compactación: 2015-05-29

Días de curado: 16

Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

**Realizó:** Elizabeth Parra Alvarez.

**Cálculo:** Elizabeth Parra Alvarez.

**Revisó:** Dra. Natalia Pérez García.

**Figura A.III.7 Muestra suelo-cemento-zeolita 106 a 14 días de curado.**

## **ANEXO A.IV MUESTRAS DE 28 DÍAS DE CURADO**



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 2015-05-25

Clave de proyecto/Servicio: IE 08/14

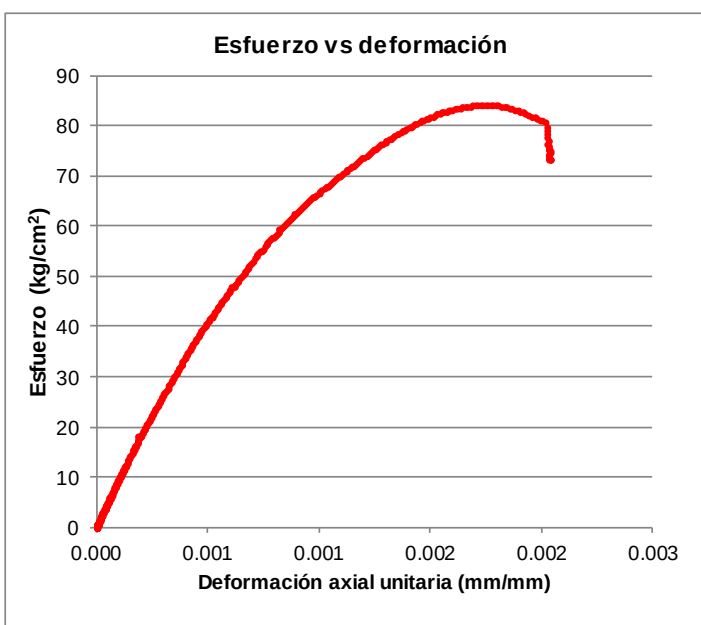
Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con cemento Portland y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

Descripción de la muestra: Subbase adicionada con cemento Portland.

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

|                         |           |                   |         |                                  |        |
|-------------------------|-----------|-------------------|---------|----------------------------------|--------|
| Muestra No.:            | SB SC 090 | Diámetro (cm):    | 15.04   | $\omega$ (%):                    | 9.680  |
| No. de capas:           | 5         | Altura (cm):      | 30.07   | $\gamma_m$ (kN/m <sup>3</sup> ): | 19.322 |
| No. de golpes por capa: | 30        | Masa muestra (g): | 10519.0 | $\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> ): | 17.617 |



|                                                |             |
|------------------------------------------------|-------------|
| <b>Esfuerzo máximo (kg/cm²)</b>                | 84.1914     |
| <b>Deformación unitaria a la falla (mm/mm)</b> | 0.0018      |
| <b>Módulo de elasticidad (kg/cm²)</b>          | 83,285.8399 |
| <b>Módulo de Poisson</b>                       | 0.3083      |

**Observaciones:**

Fecha de compactación: 2015-04-27

Días de curado: 28

Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

**Realizó:** Elizabeth Parra Alvarez.

**Cálculo:** Elizabeth Parra Alvarez.

**Revisó:** Dra. Natalia Pérez García.

**Figura A.IV.1 Muestra suelo-cemento 090 a 28 días de curado.**



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 2015-05-16

Clave de proyecto/Servicio: IE 08/14

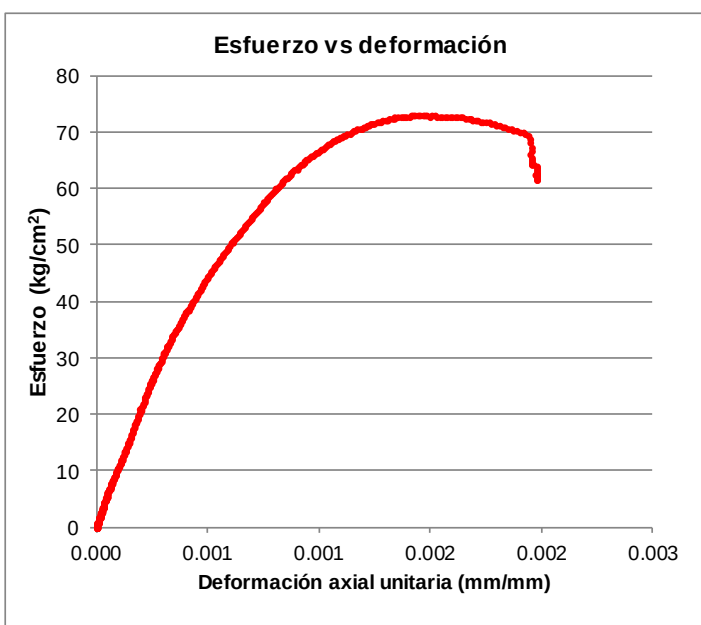
Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con cemento Portland y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

Descripción de la muestra: Subbase adicionada con cemento Portland.

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

|                         |           |                   |         |                                  |        |
|-------------------------|-----------|-------------------|---------|----------------------------------|--------|
| Muestra No.:            | SB SC 063 | Diámetro (cm):    | 15.06   | $\omega$ (%):                    | 9.690  |
| No. de capas:           | 5         | Altura (cm):      | 30.07   | $\gamma_m$ (kN/m <sup>3</sup> ): | 19.484 |
| No. de golpes por capa: | 30        | Masa muestra (g): | 11475.0 | $\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> ): | 17.763 |



|                                                |             |
|------------------------------------------------|-------------|
| <b>Esfuerzo máximo (kg/cm²)</b>                | 72.9026     |
| <b>Deformación unitaria a la falla (mm/mm)</b> | 0.0015      |
| <b>Módulo de elasticidad (kg/cm²)</b>          | 99,062.4143 |
| <b>Módulo de Poisson</b>                       | 0.3176      |

**Observaciones:**

Fecha de compactación: 2015-04-17

Días de curado: 29

Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

**Realizó:** Elizabeth Parra Alvarez.

**Cálculo:** Elizabeth Parra Alvarez.

**Revisó:** Dra. Natalia Pérez García.

**Figura A.IV.2 Muestra suelo-cemento 063 a 28 días de curado.**



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 2015-05-16

Clave de proyecto/Servicio: 17/04/2015

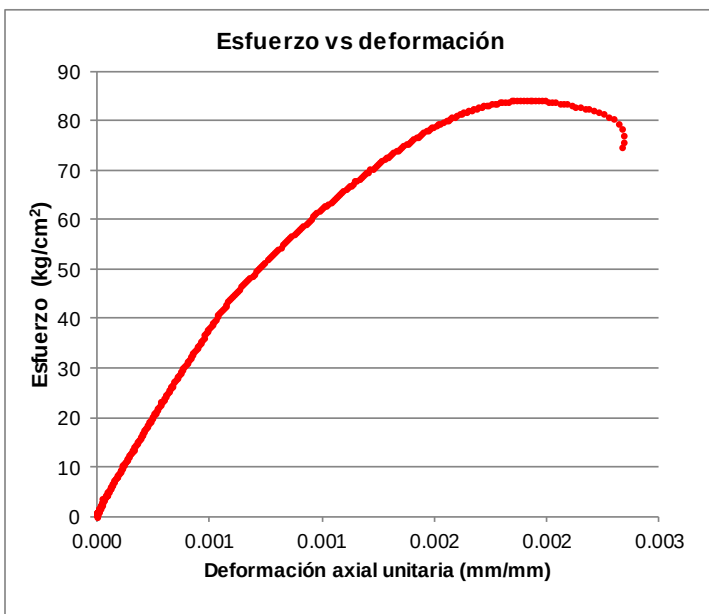
Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con cemento Portland y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

Descripción de la muestra: Subbase adicionada con cemento Portland.

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

|                         |           |                   |         |                                  |        |
|-------------------------|-----------|-------------------|---------|----------------------------------|--------|
| Muestra No.:            | SB SC 066 | Diámetro (cm):    | 15.03   | $\omega$ (%):                    | 9.800  |
| No. de capas:           | 5         | Altura (cm):      | 30.09   | $\gamma_m$ (kN/m <sup>3</sup> ): | 19.247 |
| No. de golpes por capa: | 30        | Masa muestra (g): | 10920.0 | $\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> ): | 17.530 |



|                                                |             |
|------------------------------------------------|-------------|
| <b>Esfuerzo máximo (kg/cm²)</b>                | 84.2437     |
| <b>Deformación unitaria a la falla (mm/mm)</b> | 0.0019      |
| <b>Módulo de elasticidad (kg/cm²)</b>          | 73,967.2045 |
| <b>Módulo de Poisson</b>                       | 0.2900      |

**Observaciones:**

Fecha de compactación: 2015-04-18

Días de curado: 28

Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

**Realizó:** Elizabeth Parra Alvarez.

**Cálculo:** Elizabeth Parra Alvarez.

**Revisó:** Dra. Natalia Pérez García.

**Figura A.IV.3 Muestra suelo-cemento 066 a 28 días de curado.**



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 2015-05-21

Clave de proyecto/Servicio: IE 08/14

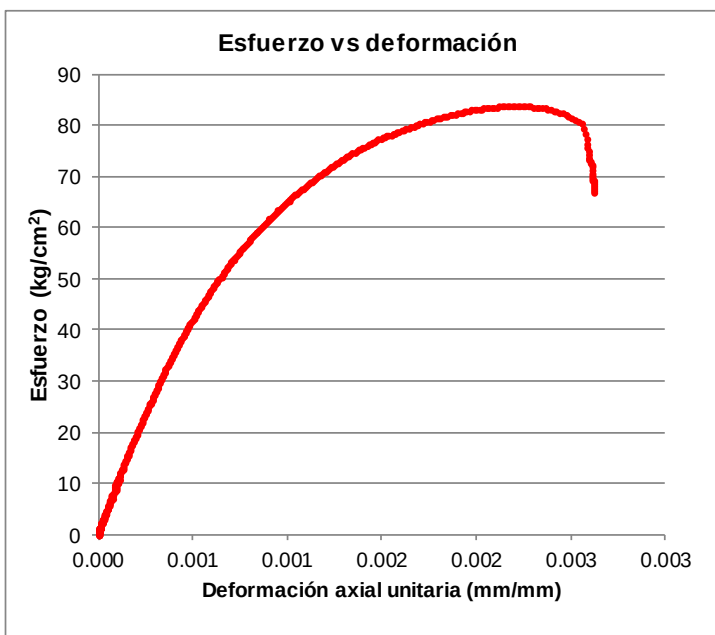
Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con cemento Portland y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

Descripción de la muestra: Subbase adicionada con cemento Portland y zeolita sintética.

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

|                         |             |                   |        |                                  |        |
|-------------------------|-------------|-------------------|--------|----------------------------------|--------|
| Muestra No.:            | SB SC+R 082 | Diámetro (cm):    | 15.07  | $\omega$ (%):                    | 9.510  |
| No. de capas:           | 5           | Altura (cm):      | 30.12  | $\gamma_m$ (kN/m <sup>3</sup> ): | 19.132 |
| No. de golpes por capa: | 30          | Masa muestra (g): | 1050.6 | $\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> ): | 17.471 |



|                                                |             |
|------------------------------------------------|-------------|
| <b>Esfuerzo máximo (kg/cm²)</b>                | 83.8358     |
| <b>Deformación unitaria a la falla (mm/mm)</b> | 0.0022      |
| <b>Módulo de elasticidad (kg/cm²)</b>          | 88,350.6784 |
| <b>Módulo de Poisson</b>                       | 0.3824      |

**Observaciones:**

Fecha de compactación: 2015-04-23

Días de curado: 28

Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

**Realizó:** Elizabeth Parra Alvarez.

**Cálculo:** Elizabeth Parra Alvarez.

**Revisó:** Dra. Natalia Pérez García.

**Figura A.IV.4 Muestra suelo-cemento-zeolita 082 a 28 días de curado.**



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 2015-05-20

Clave de proyecto/Servicio: IE 08/14

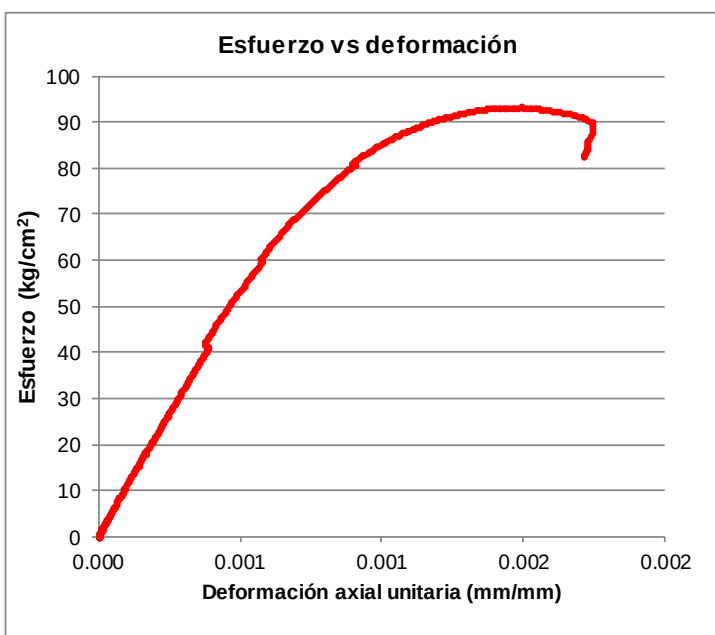
Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con cemento Portland y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

Descripción de la muestra: Subbase adicionada con cemento Portland y zeolita sintética.

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

|                         |             |                   |        |                                  |        |
|-------------------------|-------------|-------------------|--------|----------------------------------|--------|
| Muestra No.:            | SB SC+R 078 | Diámetro (cm):    | 15.07  | $\omega$ (%):                    | 10.120 |
| No. de capas:           | 5           | Altura (cm):      | 30.07  | $\gamma_m$ (kN/m <sup>3</sup> ): | 19.553 |
| No. de golpes por capa: | 30          | Masa muestra (g): | 1073.7 | $\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> ): | 17.575 |



|                                                |              |
|------------------------------------------------|--------------|
| <b>Esfuerzo máximo (kg/cm²)</b>                | 93.3084      |
| <b>Deformación unitaria a la falla (mm/mm)</b> | 0.0015       |
| <b>Módulo de elasticidad (kg/cm²)</b>          | 106,021.0106 |
| <b>Módulo de Poisson</b>                       | 0.4276       |

**Observaciones:**

Fecha de compactación: 2015-04-22

Días de curado: 28

Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

**Realizó:** Elizabeth Parra Alvarez.

**Cálculo:** Elizabeth Parra Alvarez.

**Revisó:** Dra. Natalia Pérez García.

**Figura AIV.5 Muestra suelo-cemento-zeolita 078 a 28 días de curado.**



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 2015-06-26

Clave de proyecto/Servicio: IE 08/14

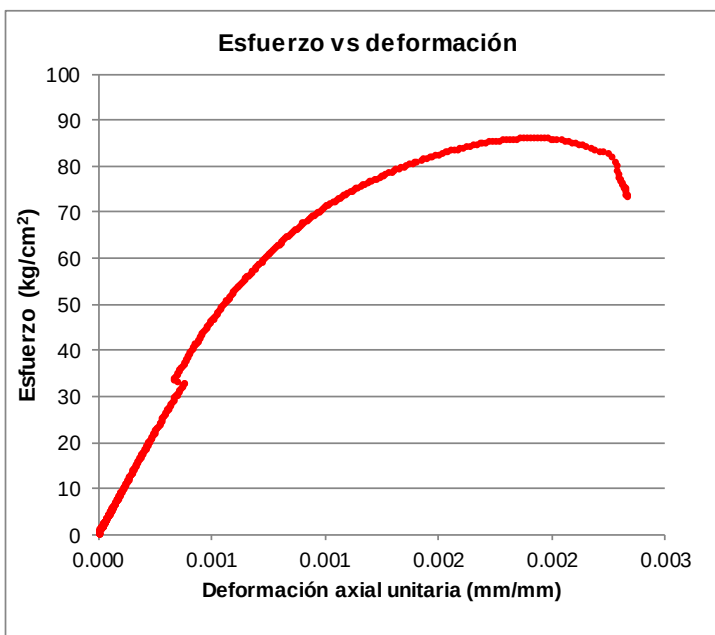
Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con cemento Portland y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

Descripción de la muestra: Subbase adicionada con cemento Portland y zeolita sintética.

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

|                         |             |                   |        |                                  |        |
|-------------------------|-------------|-------------------|--------|----------------------------------|--------|
| Muestra No.:            | SB SC+R 107 | Diámetro (cm):    | 15.04  | $\omega$ (%):                    | 10.290 |
| No. de capas:           | 5           | Altura (cm):      | 30.12  | $\gamma_m$ (kN/m <sup>3</sup> ): | 19.158 |
| No. de golpes por capa: | 30          | Masa muestra (g): | 1050.6 | $\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> ): | 17.370 |



|                                                |              |
|------------------------------------------------|--------------|
| <b>Esfuerzo máximo (kg/cm²)</b>                | 86.3155      |
| <b>Deformación unitaria a la falla (mm/mm)</b> | 0.0019       |
| <b>Módulo de elasticidad (kg/cm²)</b>          | 102,318.0381 |
| <b>Módulo de Poisson</b>                       | 0.3876       |

**Observaciones:**

Fecha de compactación: 2015-05-29

Días de curado: 28

Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

**Realizó:** Elizabeth Parra Alvarez.

**Cálculo:** Elizabeth Parra Alvarez.

**Revisó:** Dra. Natalia Pérez García.

**Figura A.IV.6 Muestra suelo-cemento-zeolita 107 a 28 días de curado.**

## **ANEXO A.V MUESTRAS DE 60 DÍAS DE CURADO**



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 2015-06-13

Clave de proyecto/Servicio: IE 08/14

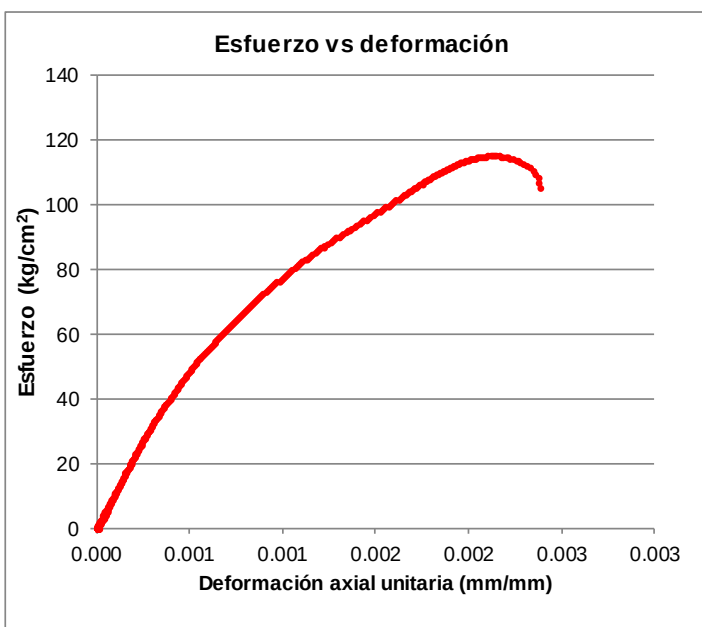
Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con cemento Portland y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

Descripción de la muestra: Subbase adicionada con cemento Portland.

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

|                         |           |                   |         |                                  |        |
|-------------------------|-----------|-------------------|---------|----------------------------------|--------|
| Muestra No.:            | SB SC 050 | Diámetro (cm):    | 15.04   | $\omega$ (%):                    | 10.440 |
| No. de capas:           | 5         | Altura (cm):      | 30.03   | $\gamma_m$ (kN/m <sup>3</sup> ): | 19.550 |
| No. de golpes por capa: | 30        | Masa muestra (g): | 10906.5 | $\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> ): | 17.707 |



|                                                |             |
|------------------------------------------------|-------------|
| <b>Esfuerzo máximo (kg/cm²)</b>                | 114.9217    |
| <b>Deformación unitaria a la falla (mm/mm)</b> | 0.0021      |
| <b>Módulo de elasticidad (kg/cm²)</b>          | 96,741.8263 |
| <b>Módulo de Poisson</b>                       | 0.3067      |

**Observaciones:**

Fecha de compactación: 2015-04-14

Días de curado: 60

Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

**Realizó:** Elizabeth Parra Alvarez.

**Cálculo:** Elizabeth Parra Alvarez.

**Revisó:** Dra. Natalia Pérez García.

**Figura A.V.1 Muestra suelo-cemento 050 a 60 días de curado.**



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 2015-06-09

Clave de proyecto/Servicio: IE 08/14

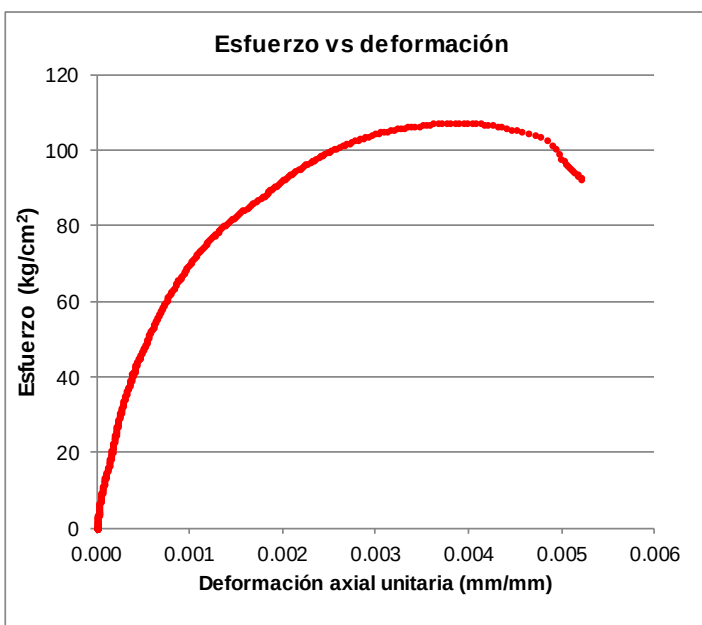
Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con cemento Portland y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

Descripción de la muestra: Subbase adicionada con cemento Portland.

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

|                         |           |                   |         |                                  |        |
|-------------------------|-----------|-------------------|---------|----------------------------------|--------|
| Muestra No.:            | SB SC 045 | Diámetro (cm):    | 15.06   | $\omega$ (%):                    | 9.540  |
| No. de capas:           | 5         | Altura (cm):      | 30.03   | $\gamma_m$ (kN/m <sup>3</sup> ): | 19.680 |
| No. de golpes por capa: | 30        | Masa muestra (g): | 11041.0 | $\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> ): | 17.965 |



|                                                |             |
|------------------------------------------------|-------------|
| <b>Esfuerzo máximo (kg/cm²)</b>                | 107.3319    |
| <b>Deformación unitaria a la falla (mm/mm)</b> | 0.0039      |
| <b>Módulo de elasticidad (kg/cm²)</b>          | 91,634.6859 |
| <b>Módulo de Poisson</b>                       | 0.2984      |

**Observaciones:**

Fecha de compactación: 2015-04-10

Días de curado: 60

Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

**Realizó:** Elizabeth Parra Alvarez.

**Cálculo:** Elizabeth Parra Alvarez.

**Revisó:** Dra. Natalia Pérez García.

**Figura A.V.2 Muestra suelo-cemento 045 a 60 días de curado.**



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 2015-06-09

Clave de proyecto/Servicio: IE 08/14

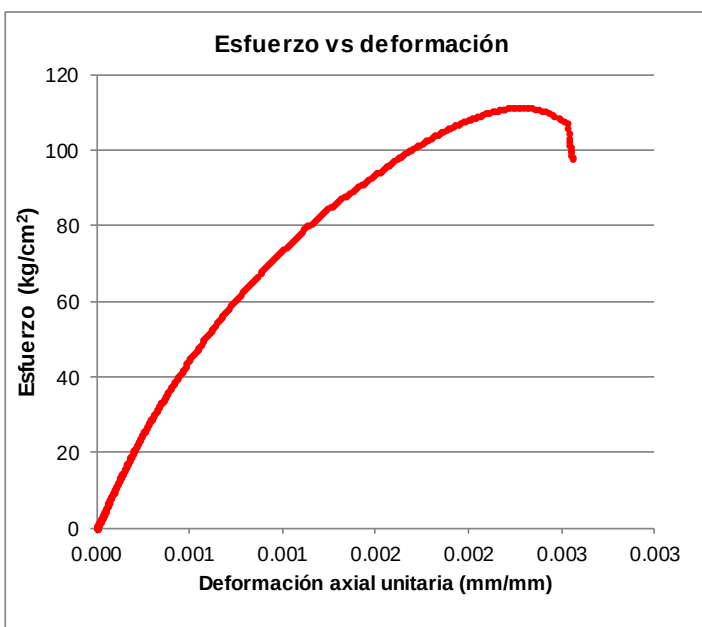
Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con cemento Portland y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

Descripción de la muestra: Subbase adicionada con cemento Portland.

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

|                         |           |                   |         |                                  |        |
|-------------------------|-----------|-------------------|---------|----------------------------------|--------|
| Muestra No.:            | SB SC 047 | Diámetro (cm):    | 15.06   | $\omega$ (%):                    | 9.660  |
| No. de capas:           | 5         | Altura (cm):      | 30.05   | $\gamma_m$ (kN/m <sup>3</sup> ): | 19.322 |
| No. de golpes por capa: | 30        | Masa muestra (g): | 10740.0 | $\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> ): | 19.620 |



|                                                |             |
|------------------------------------------------|-------------|
| <b>Esfuerzo máximo (kg/cm²)</b>                | 111.4026    |
| <b>Deformación unitaria a la falla (mm/mm)</b> | 0.0023      |
| <b>Módulo de elasticidad (kg/cm²)</b>          | 88,006.0854 |
| <b>Módulo de Poisson</b>                       | 0.3129      |

**Observaciones:**

Fecha de compactación: 2015-04-10

Días de curado: 60

Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

**Realizó:** Elizabeth Parra Alvarez.

**Cálculo:** Elizabeth Parra Alvarez.

**Revisó:** Dra. Natalia Pérez García.

**Figura A.V.3 Muestra suelo-cemento 047 a 60 días de curado.**



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 2015-06-08

Clave de proyecto/Servicio: IE 08/14

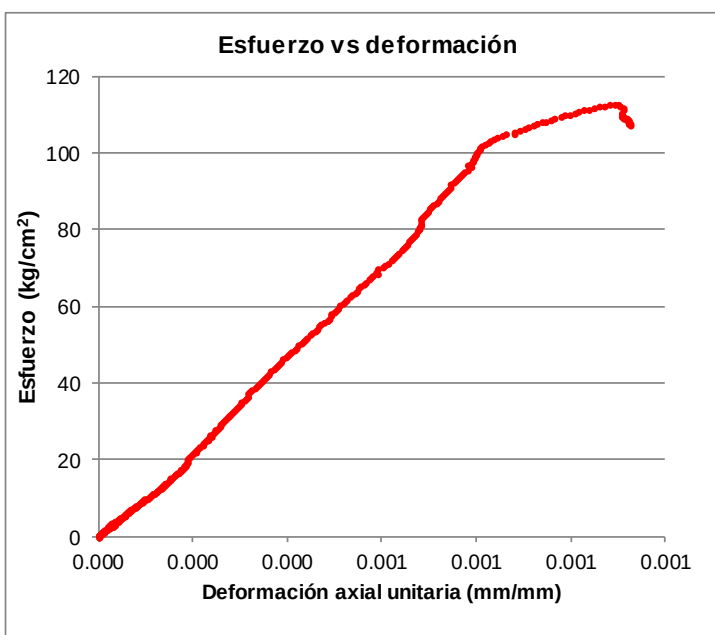
Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con cemento Portland y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

Descripción de la muestra: Subbase adicionada con Cemento Portland y zeolita sintética.

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

|                         |             |                   |        |                                  |        |
|-------------------------|-------------|-------------------|--------|----------------------------------|--------|
| Muestra No.:            | SB SC+R 042 | Diámetro (cm):    | 15.08  | $\omega$ (%):                    | 10.070 |
| No. de capas:           | 5           | Altura (cm):      | 30.10  | $\gamma_m$ (kN/m <sup>3</sup> ): | 19.566 |
| No. de golpes por capa: | 30          | Masa muestra (g): | 1082.0 | $\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> ): | 17.776 |



|                                                  |              |
|--------------------------------------------------|--------------|
| <b>Esfuerzo máximo (kg/cm<sup>2</sup>)</b>       | 112.8224     |
| <b>Deformación unitaria a la falla (mm/mm)</b>   | 0.0011       |
| <b>Módulo de elasticidad (kg/cm<sup>2</sup>)</b> | 120,780.3332 |
| <b>Módulo de Poisson</b>                         | 0.4276       |

**Observaciones:**

Fecha de compactación: 2015-04-09

Días de curado: 60

Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

**Realizó:** Elizabeth Parra Alvarez.

**Cálculo:** Elizabeth Parra Alvarez.

**Revisó:** Dra. Natalia Pérez García.

**Figura A.V.4 Muestra suelo-cemento-zeolita 042 a 60 días de curado.**



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 2015-06-14

Clave de proyecto/Servicio: IE 08/14

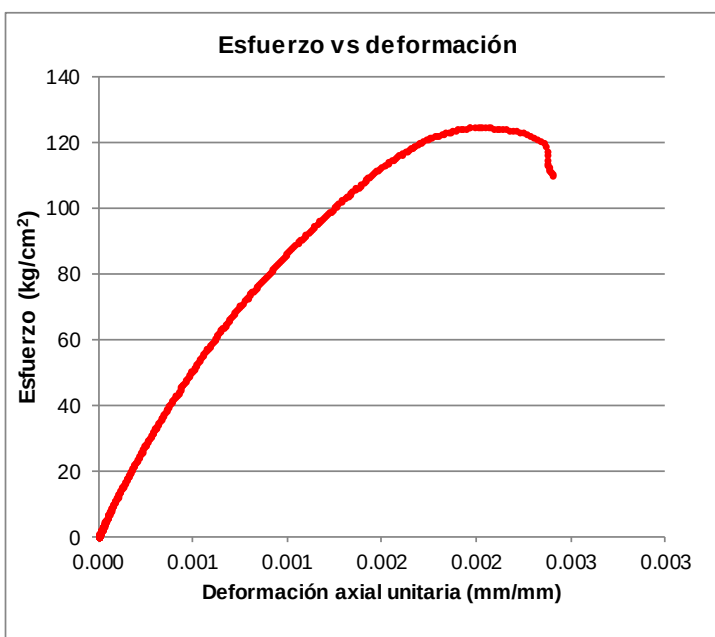
Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con cemento Portland y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

Descripción de la muestra: Subbase adicionada con Cemento Portland y zeolita sintética.

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

|                         |             |                   |        |                                  |        |
|-------------------------|-------------|-------------------|--------|----------------------------------|--------|
| Muestra No.:            | SB SC+R 056 | Diámetro (cm):    | 15.05  | $\omega$ (%):                    | 9.570  |
| No. de capas:           | 5           | Altura (cm):      | 30.09  | $\gamma_m$ (kN/m <sup>3</sup> ): | 19.512 |
| No. de golpes por capa: | 30          | Masa muestra (g): | 1088.0 | $\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> ): | 17.807 |



|                                                |              |
|------------------------------------------------|--------------|
| <b>Esfuerzo máximo (kg/cm²)</b>                | 124.5892     |
| <b>Deformación unitaria a la falla (mm/mm)</b> | 0.0020       |
| <b>Módulo de elasticidad (kg/cm²)</b>          | 100,941.5397 |
| <b>Módulo de Poisson</b>                       | 0.1788       |

**Observaciones:**

Fecha de compactación: 2015-04-15

Días de curado: 60

Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

**Realizó:** Elizabeth Parra Alvarez.

**Cálculo:** Elizabeth Parra Alvarez.

**Revisó:** Dra. Natalia Pérez García.

**Figura A.V.5 Muestra suelo-cemento-zeolita 056 a 60 días de curado.**



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 2015-06-17

Clave de proyecto/Servicio: IE 08/14

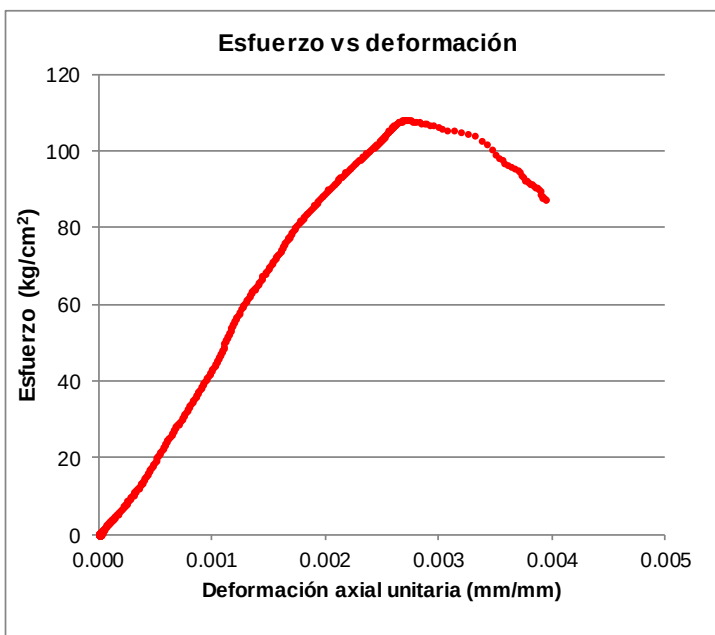
Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con cemento Portland y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

Descripción de la muestra: Subbase adicionada con Cemento Portland y zeolita sintética.

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

|                         |             |                   |        |                                  |        |
|-------------------------|-------------|-------------------|--------|----------------------------------|--------|
| Muestra No.:            | SB SC+R 061 | Diámetro (cm):    | 15.05  | $\omega$ (%):                    | 9.870  |
| No. de capas:           | 5           | Altura (cm):      | 30.09  | $\gamma_m$ (kN/m <sup>3</sup> ): | 19.623 |
| No. de golpes por capa: | 30          | Masa muestra (g): | 1092.2 | $\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> ): | 17.860 |



|                                                |             |
|------------------------------------------------|-------------|
| <b>Esfuerzo máximo (kg/cm²)</b>                | 108.1007    |
| <b>Deformación unitaria a la falla (mm/mm)</b> | 0.0027      |
| <b>Módulo de elasticidad (kg/cm²)</b>          | 43,809.3848 |
| <b>Módulo de Poisson</b>                       | 0.1293      |

**Observaciones:**

Fecha de compactación: 2015-04-16

Días de curado: 62

Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

**Realizó:** Elizabeth Parra Alvarez.

**Cálculo:** Elizabeth Parra Alvarez.

**Revisó:** Dra. Natalia Pérez García.

**Figura A.V.6 Muestra suelo-cemento-zeolita 061 a 60 días de curado.**

## **ANEXO A.VI MUESTRAS DE 90 DÍAS DE CURADO**



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 2015-07-06

Clave de proyecto/Servicio: IE 08/14

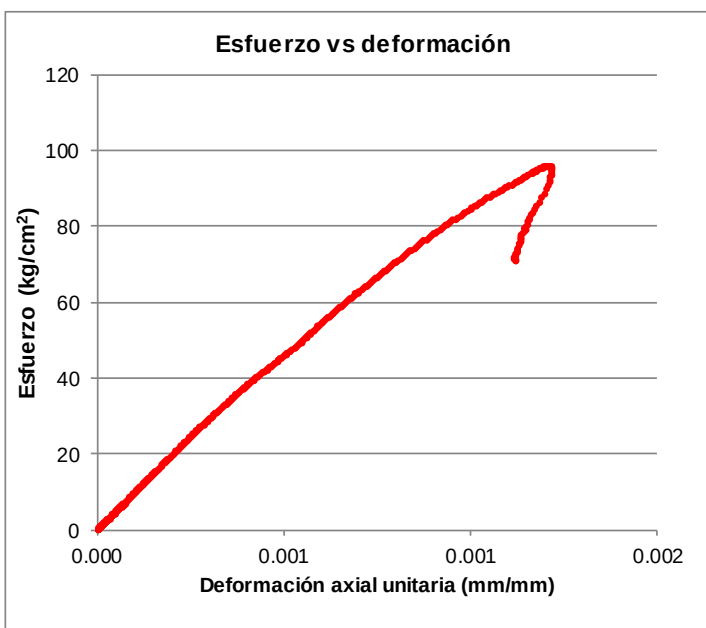
Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con cemento Portland y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

Descripción de la muestra: Subbase adicionada con cemento Portland.

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

|                         |           |                   |         |                                  |        |
|-------------------------|-----------|-------------------|---------|----------------------------------|--------|
| Muestra No.:            | SB SC 032 | Diámetro (cm):    | 15.08   | $\omega$ (%):                    | 9.930  |
| No. de capas:           | 5         | Altura (cm):      | 30.06   | $\gamma_m$ (kN/m <sup>3</sup> ): | 18.989 |
| No. de golpes por capa: | 30        | Masa muestra (g): | 10868.5 | $\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> ): | 17.274 |



|                                                |             |
|------------------------------------------------|-------------|
| <b>Esfuerzo máximo (kg/cm²)</b>                | 96.0853     |
| <b>Deformación unitaria a la falla (mm/mm)</b> | 0.0012      |
| <b>Módulo de elasticidad (kg/cm²)</b>          | 94,795.8014 |
| <b>Módulo de Poisson</b>                       | 0.4219      |

**Observaciones:**

Fecha de compactación: 2015-04-07

Días de curado: 90

Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

**Realizó:** Elizabeth Parra Alvarez.

**Cálculo:** Elizabeth Parra Alvarez.

**Revisó:** Dra. Natalia Pérez García.

**Figura A.VI.1 Muestra suelo-cemento 032 a 90 días de curado.**



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 2015-07-02

Clave de proyecto/Servicio: IE 08/14

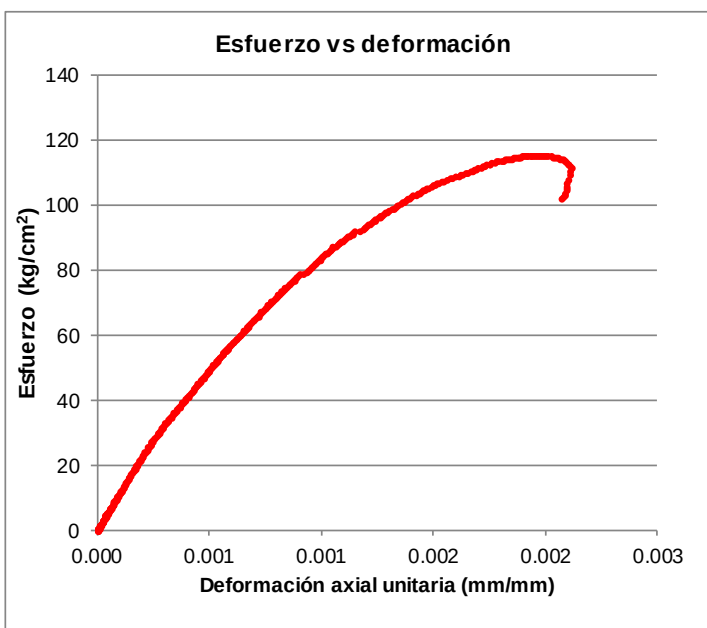
Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con cemento Portland y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

Descripción de la muestra: Subbase adicionada con cemento Portland.

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

|                         |           |                   |         |                                  |        |
|-------------------------|-----------|-------------------|---------|----------------------------------|--------|
| Muestra No.:            | SB SC 028 | Diámetro (cm):    | 15.05   | $\omega$ (%):                    | 9.540  |
| No. de capas:           | 5         | Altura (cm):      | 30.03   | $\gamma_m$ (kN/m <sup>3</sup> ): | 19.322 |
| No. de golpes por capa: | 30        | Masa muestra (g): | 11134.5 | $\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> ): | 17.591 |



|                                                |             |
|------------------------------------------------|-------------|
| <b>Esfuerzo máximo (kg/cm²)</b>                | 115.2497    |
| <b>Deformación unitaria a la falla (mm/mm)</b> | 0.0019      |
| <b>Módulo de elasticidad (kg/cm²)</b>          | 98,219.2144 |
| <b>Módulo de Poisson</b>                       | 0.3587      |

**Observaciones:**

Fecha de compactación: 2015-03-30

Días de curado: 94

Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

**Realizó:** Elizabeth Parra Alvarez.

**Cálculo:** Elizabeth Parra Alvarez.

**Revisó:** Dra. Natalia Pérez García.

**Figura A.VI.2 Muestra suelo-cemento 028 a 90 días de curado.**



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 2015-07-02

Clave de proyecto/Servicio: IE 08/14

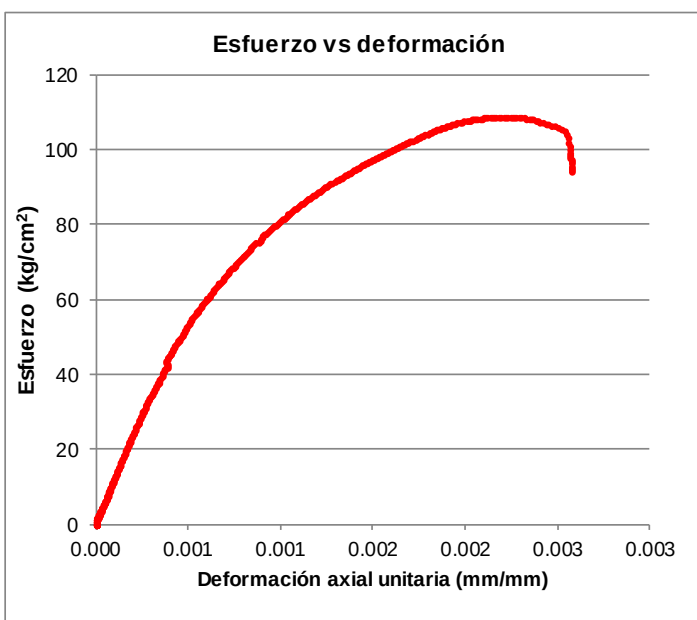
Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con cemento Portland y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

Descripción de la muestra: Subbase adicionada con cemento Portland.

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

|                         |           |                   |         |                                  |        |
|-------------------------|-----------|-------------------|---------|----------------------------------|--------|
| Muestra No.:            | SB SC 029 | Diámetro (cm):    | 15.05   | $\omega$ (%):                    | 9.550  |
| No. de capas:           | 5         | Altura (cm):      | 30.03   | $\gamma_m$ (kN/m <sup>3</sup> ): | 19.271 |
| No. de golpes por capa: | 30        | Masa muestra (g): | 11161.0 | $\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> ): | 17.591 |



|                                                |              |
|------------------------------------------------|--------------|
| <b>Esfuerzo máximo (kg/cm²)</b>                | 108.7863     |
| <b>Deformación unitaria a la falla (mm/mm)</b> | 0.0022       |
| <b>Módulo de elasticidad (kg/cm²)</b>          | 111,425.0258 |
| <b>Módulo de Poisson</b>                       | 0.4665       |

**Observaciones:**

Fecha de compactación: 2015-03-31

Días de curado: 93

Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

**Realizó:** Elizabeth Parra Alvarez.

**Cálculo:** Elizabeth Parra Alvarez.

**Revisó:** Dra. Natalia Pérez García.

**Figura A.VI.3 Muestra suelo-cemento 029 a 90 días de curado.**



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 2015-07-02

Clave de proyecto/Servicio: 31/

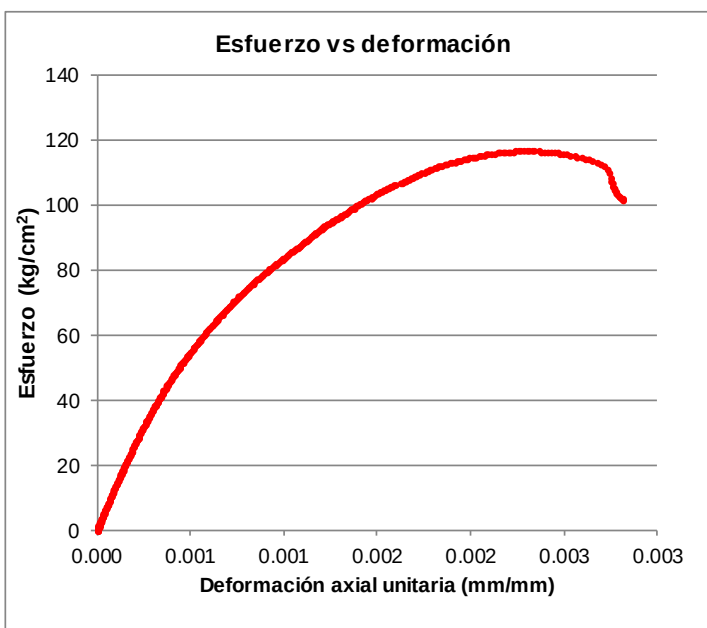
Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con cemento Portland y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

Descripción de la muestra: Subbase adicionada con cemento Portland.

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

|                         |           |                   |         |                                  |        |
|-------------------------|-----------|-------------------|---------|----------------------------------|--------|
| Muestra No.:            | SB SC 030 | Diámetro (cm):    | 15.03   | $\omega$ (%):                    | 9.810  |
| No. de capas:           | 5         | Altura (cm):      | 30.04   | $\gamma_m$ (kN/m <sup>3</sup> ): | 19.528 |
| No. de golpes por capa: | 30        | Masa muestra (g): | 11286.5 | $\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> ): | 17.184 |



|                                                |              |
|------------------------------------------------|--------------|
| <b>Esfuerzo máximo (kg/cm²)</b>                | 116.5252     |
| <b>Deformación unitaria a la falla (mm/mm)</b> | 0.0023       |
| <b>Módulo de elasticidad (kg/cm²)</b>          | 112,603.4247 |
| <b>Módulo de Poisson</b>                       | 0.3900       |

**Observaciones:**

Fecha de compactación: 2015-03-31

Días de curado: 93

Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

**Realizó:** Elizabeth Parra Alvarez.

**Cálculo:** Elizabeth Parra Alvarez.

**Revisó:** Dra. Natalia Pérez García.

**Figura A.VI.4 Muestra suelo-cemento 030 a 90 días de curado.**



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 2015-07-07

Clave de proyecto/Servicio: IE 08/14

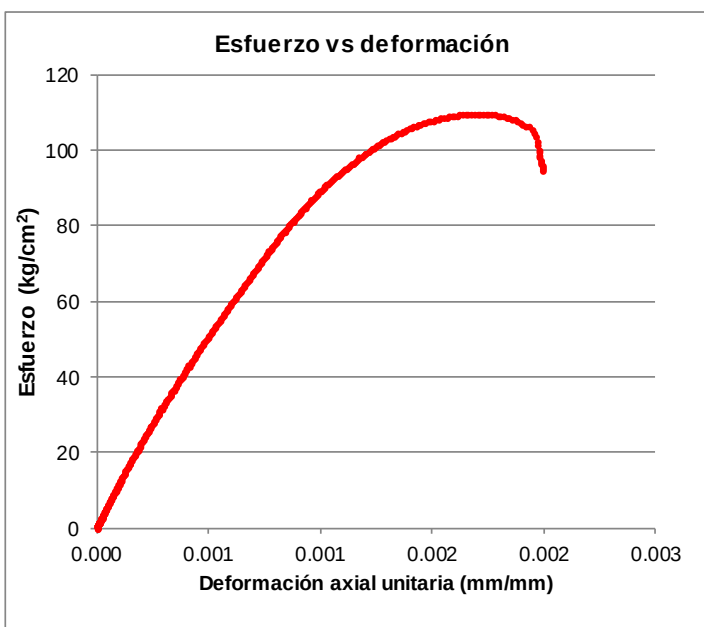
Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con cemento Portland y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

Descripción de la muestra: Subbase adicionada con cemento Portland y zeolita sintética.

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

|                         |             |                   |         |                                  |        |
|-------------------------|-------------|-------------------|---------|----------------------------------|--------|
| Muestra No.:            | SB SC+R 036 | Diámetro (cm):    | 15.04   | $\omega$ (%):                    | 10.000 |
| No. de capas:           | 5           | Altura (cm):      | 30.04   | $\gamma_m$ (kN/m <sup>3</sup> ): | 19.426 |
| No. de golpes por capa: | 30          | Masa muestra (g): | 11007.5 | $\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> ): | 17.659 |



|                                                |              |
|------------------------------------------------|--------------|
| <b>Esfuerzo máximo (kg/cm²)</b>                | 109.6116     |
| <b>Deformación unitaria a la falla (mm/mm)</b> | 0.0017       |
| <b>Módulo de elasticidad (kg/cm²)</b>          | 103,055.3441 |
| <b>Módulo de Poisson</b>                       | 0.0163       |

**Observaciones:**

Fecha de compactación: 2015-04-08

Días de curado: 90

Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

**Realizó:** Elizabeth Parra Alvarez.

**Cálculo:** Elizabeth Parra Alvarez.

**Revisó:** Dra. Natalia Pérez García.

**Figura A.VI.5 Muestra suelo-cemento-zeolita 036 a 90 días de curado.**



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 2015-07-07

Clave de proyecto/Servicio: IE 08/14

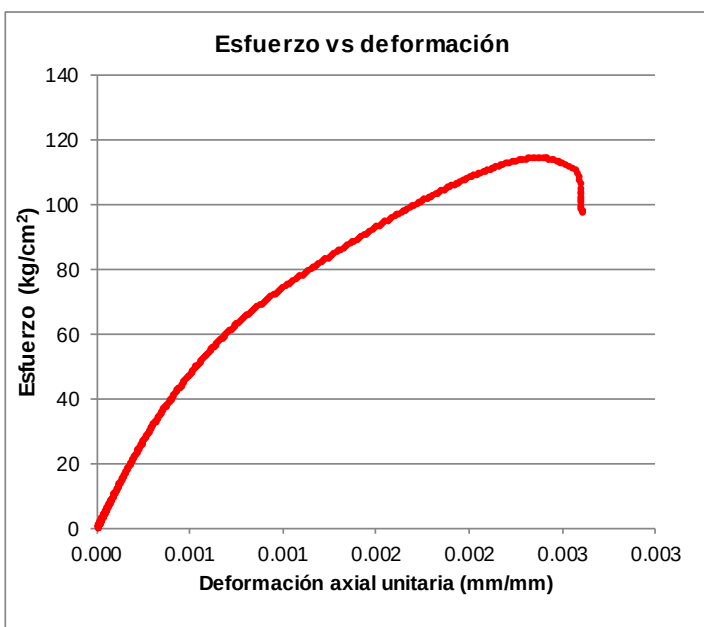
Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con cemento Portland y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

Descripción de la muestra: Subbase adicionada con cemento Portland y zeolita sintética.

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

|                         |             |                   |         |                                  |        |
|-------------------------|-------------|-------------------|---------|----------------------------------|--------|
| Muestra No.:            | SB SC+R 038 | Diámetro (cm):    | 15.04   | $\omega$ (%):                    | 9.560  |
| No. de capas:           | 5           | Altura (cm):      | 30.12   | $\gamma_m$ (kN/m <sup>3</sup> ): | 19.506 |
| No. de golpes por capa: | 30          | Masa muestra (g): | 11093.5 | $\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> ): | 17.804 |



|                                                |             |
|------------------------------------------------|-------------|
| <b>Esfuerzo máximo (kg/cm²)</b>                | 114.6563    |
| <b>Deformación unitaria a la falla (mm/mm)</b> | 0.0024      |
| <b>Módulo de elasticidad (kg/cm²)</b>          | 93,413.4896 |
| <b>Módulo de Poisson</b>                       | 0.1866      |

**Observaciones:**

Fecha de compactación: 2015-04-08

Días de curado: 90

Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

**Realizó:** Elizabeth Parra Alvarez.

**Cálculo:** Elizabeth Parra Alvarez.

**Revisó:** Dra. Natalia Pérez García.

**Figura A.VI.6 Muestra suelo-cemento-zeolita 038 a 90 días de curado.**



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 2015-07-07

Clave de proyecto/Servicio: IE 08/14

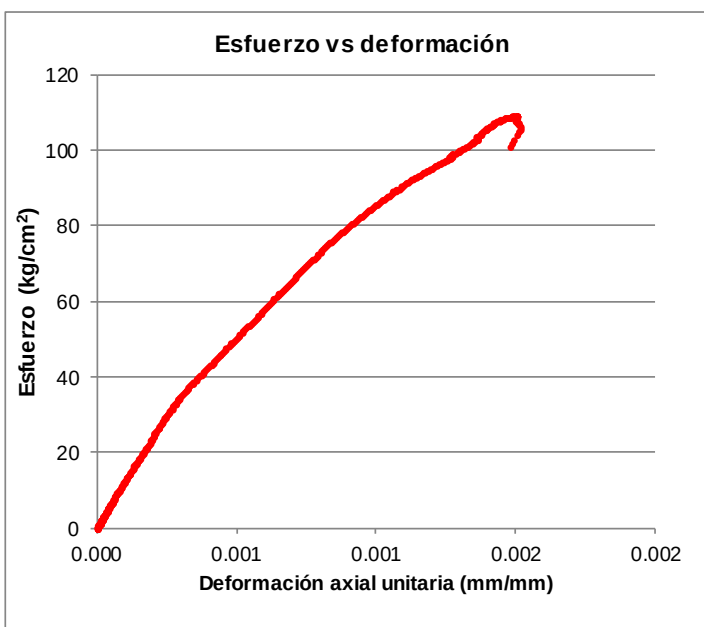
Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con cemento Portland y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

Descripción de la muestra: Subbase adicionada con cemento Portland y zeolita sintética.

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

|                         |             |                   |         |                                  |        |
|-------------------------|-------------|-------------------|---------|----------------------------------|--------|
| Muestra No.:            | SB SC+R 039 | Diámetro (cm):    | 15.06   | $\omega$ (%):                    | 10.030 |
| No. de capas:           | 5           | Altura (cm):      | 30.17   | $\gamma_m$ (kN/m <sup>3</sup> ): | 19.553 |
| No. de golpes por capa: | 30          | Masa muestra (g): | 11166.0 | $\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> ): | 17.771 |



|                                                |              |
|------------------------------------------------|--------------|
| <b>Esfuerzo máximo (kg/cm²)</b>                | 109.1789     |
| <b>Deformación unitaria a la falla (mm/mm)</b> | 0.0015       |
| <b>Módulo de elasticidad (kg/cm²)</b>          | 101,928.2828 |
| <b>Módulo de Poisson</b>                       | 0.3206       |

**Observaciones:**

Fecha de compactación: 2015-04-08

Días de curado: 90

Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

**Realizó:** Elizabeth Parra Alvarez.

**Cálculo:** Elizabeth Parra Alvarez.

**Revisó:** Dra. Natalia Pérez García.

**Figura A.VI.7 Muestra suelo-cemento-zeolita 039 a 90 días de curado.**

# **ANEXO B PRUEBAS DE COMPRESIÓN TRIAXIAL**

(EQUIPO TRIAXIAL)

## **ANEXO B.I MUESTRAS DE 00 DÍAS DE CURADO**



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 20150929

Clave de proyecto/Servicio: IE-08/14

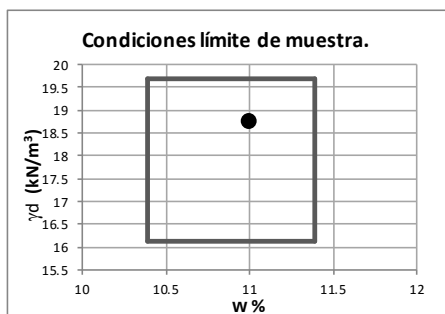
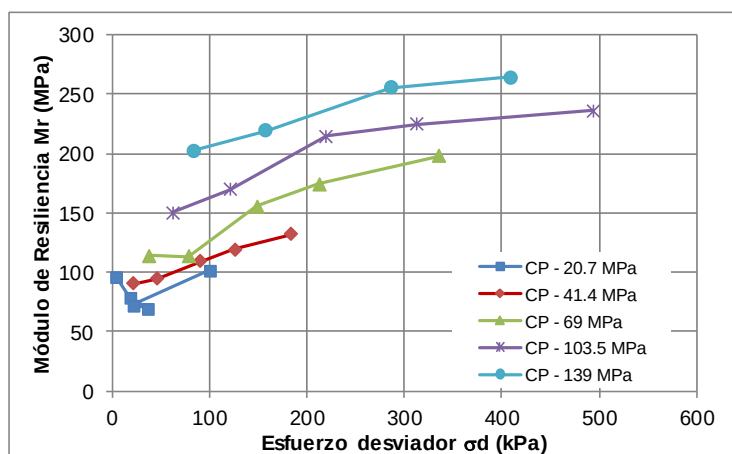
Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con cemento portland y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

Descripción de la muestra: Material de Subbase

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

Muestra No.: SB 164      Diámetro (cm): 150       $\omega$  (%): 11.000  
No. de capas: 5      Altura (cm): 300       $\gamma_m$  (kN/m<sup>3</sup>): 20.795  
No. de golpes por capa: 30      Masa muestra (g): 11238       $\gamma_d$  (kN/m<sup>3</sup>): 18.735



**OBSERVACIONES:**

\* Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

\* Fecha de compactación : 20150929

\* Días de curado: 0

\* El contenido de humedad (w%) y el peso específico ( $\gamma_d$ ) de la muestra debe estar dentro del recuadro de la gráfica de condiciones límite de muestra.

| $\sigma_3$ (kPa) | $\sigma_1$ (kPa) | $\theta$ (kPa) | $M_r$ (MPa) |
|------------------|------------------|----------------|-------------|
| 20.7             | 3.784            | 65.884         | 95.957      |
| 20.7             | 18.133           | 80.233         | 79.232      |
| 20.7             | 35.444           | 97.544         | 69.528      |
| 20.7             | 20.793           | 82.893         | 72.515      |
| 20.7             | 100.129          | 162.229        | 101.867     |
| 41.4             | 21.759           | 145.959        | 90.257      |
| 41.4             | 45.759           | 169.959        | 94.625      |
| 41.4             | 90.685           | 214.885        | 109.413     |
| 41.4             | 125.496          | 249.696        | 119.273     |
| 41.4             | 183.575          | 307.775        | 131.788     |
| 69               | 38.550           | 245.550        | 114.038     |
| 69               | 78.229           | 285.229        | 113.127     |
| 69               | 148.882          | 355.882        | 155.671     |
| 69               | 212.442          | 419.442        | 174.114     |
| 69               | 335.520          | 542.520        | 197.996     |
| 103.5            | 61.620           | 372.120        | 150.014     |
| 103.5            | 121.096          | 431.596        | 169.500     |
| 103.5            | 219.929          | 530.429        | 214.343     |
| 103.5            | 311.866          | 622.366        | 224.485     |
| 103.5            | 494.036          | 804.536        | 236.247     |
| 138              | 83.601           | 497.602        | 202.550     |
| 138              | 157.543          | 571.543        | 219.303     |
| 138              | 285.938          | 699.938        | 255.377     |
| 138              | 408.563          | 822.563        | 264.151     |

Realizó: Elizabeth Parra Alvarez.

Cálculo: Elizabeth Parra Alvarez.

Revisó: Dra. Natalia Pérez García.

Figura B.I.1 Gráfica  $M_r$  vs Esfuerzo desviador, muestra subbase 164, ensaye 1.



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 20150929

Clave de proyecto/Servicio: IE-08/14

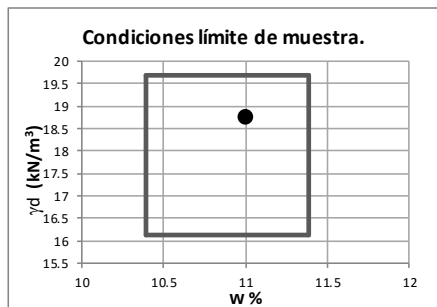
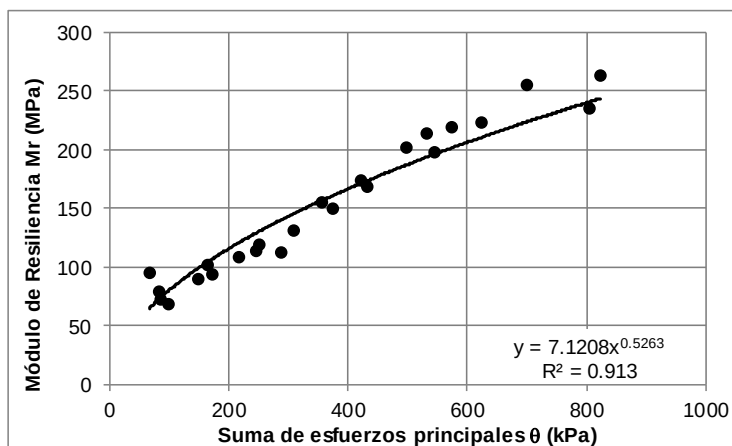
Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con cemento portland y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

Descripción de la muestra: Material de Subbase

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

|                         |        |                   |       |                                  |        |
|-------------------------|--------|-------------------|-------|----------------------------------|--------|
| Muestra No.:            | SB 164 | Diámetro (cm):    | 150   | $\omega$ (%):                    | 11.000 |
| No. de capas:           | 5      | Altura (cm):      | 300   | $\gamma_m$ (kN/m <sup>3</sup> ): | 20.795 |
| No. de golpes por capa: | 30     | Masa muestra (g): | 11238 | $\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> ): | 18.735 |



**OBSERVACIONES:**

\* Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

\* Fecha de compactación : 20150929

\* Días de curado: 0

\* El contenido de humedad (w%) y el peso específico (gd) de la muestra debe estar dentro del recuadro de la gráfica de condiciones límite de muestra.

| $\sigma_3$ (kPa) | $\sigma_d$ (kPa) | $\theta$ (kPa) | $M_r$ (MPa) |
|------------------|------------------|----------------|-------------|
| 20.7             | 3.784            | 65.884         | 95.957      |
| 20.7             | 18.133           | 80.233         | 79.232      |
| 20.7             | 35.444           | 97.544         | 69.528      |
| 20.7             | 20.793           | 82.893         | 72.515      |
| 20.7             | 100.129          | 162.229        | 101.867     |
| 41.4             | 21.759           | 145.959        | 90.257      |
| 41.4             | 45.759           | 169.959        | 94.625      |
| 41.4             | 90.685           | 214.885        | 109.413     |
| 41.4             | 125.496          | 249.696        | 119.273     |
| 41.4             | 183.575          | 307.775        | 131.788     |
| 69               | 38.550           | 245.550        | 114.038     |
| 69               | 78.229           | 285.229        | 113.127     |
| 69               | 148.882          | 355.882        | 155.671     |
| 69               | 212.442          | 419.442        | 174.114     |
| 69               | 335.520          | 542.520        | 197.996     |
| 103.5            | 61.620           | 372.120        | 150.014     |
| 103.5            | 121.096          | 431.596        | 169.500     |
| 103.5            | 219.929          | 530.429        | 214.343     |
| 103.5            | 311.866          | 622.366        | 224.485     |
| 103.5            | 494.036          | 804.536        | 236.247     |
| 138              | 83.601           | 497.602        | 202.550     |
| 138              | 157.543          | 571.543        | 219.303     |
| 138              | 285.938          | 699.938        | 255.377     |
| 138              | 408.563          | 822.563        | 264.151     |

Realizó: Elizabeth Parra Alvarez.

Cálculo: Elizabeth Parra Alvarez.

Revisó: Dra. Natalia Pérez García.

Figura B.I.2 Gráfica  $M_r$  vs Esfuerzos totales, muestra subbase 164, ensaye 1.



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 20150929

Clave de proyecto/Servicio: IE-08/14

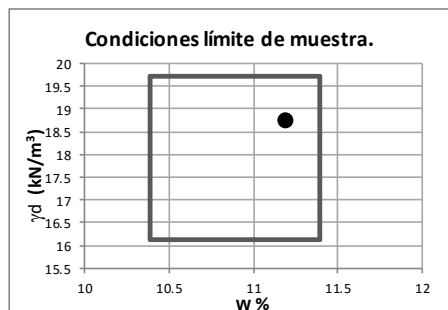
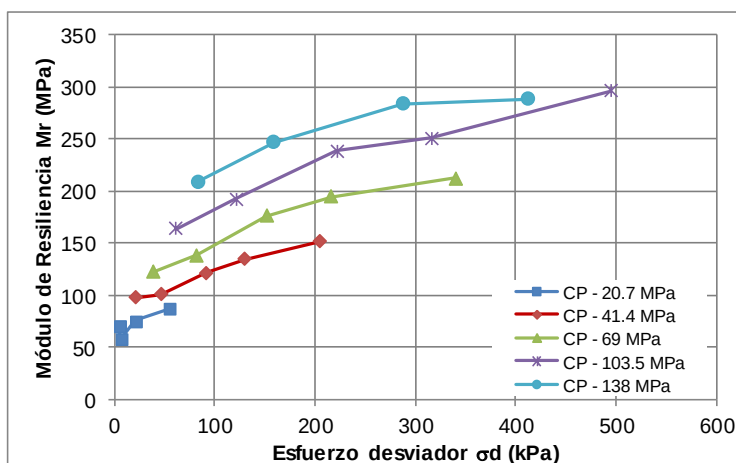
Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con cemento portland y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

Descripción de la muestra: Material de Subbase

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

Muestra No.: SB 166      Diámetro (cm): 150       $\omega$  (%): 11.19  
No. de capas: 5      Altura (cm): 300       $\gamma_m$  (kN/m<sup>3</sup>): 20.5  
No. de golpes por capa: 30      Masa muestra (g): 11307.5       $\gamma_d$  (kN/m<sup>3</sup>): 18.438



**OBSERVACIONES:**

\* Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

\* Fecha de compactación : 20150929

\* Días de curado: 0  
\* El contenido de humedad (w %) y el peso específico ( $\gamma_d$ ) de la muestra debe estar dentro del recuadro de la gráfica de condiciones límite de muestra.

| $\sigma_d$ (kPa) | $\sigma_d$ (kPa) | $\theta$ (kPa) | $M_r$ (MPa) |
|------------------|------------------|----------------|-------------|
| 20.7             | 4.889            | 66.989         | 71.066      |
| 20.7             | 5.075            | 67.175         | 70.501      |
| 20.7             | 6.306            | 68.406         | 58.227      |
| 20.7             | 21.221           | 83.321         | 75.574      |
| 20.7             | 54.702           | 116.802        | 87.078      |
| 41.4             | 21.172           | 145.372        | 98.272      |
| 41.4             | 46.687           | 170.887        | 101.102     |
| 41.4             | 92.225           | 216.425        | 121.944     |
| 41.4             | 129.981          | 254.181        | 135.189     |
| 41.4             | 204.875          | 329.075        | 152.061     |
| 69               | 38.391           | 245.391        | 122.456     |
| 69               | 82.118           | 289.118        | 138.810     |
| 69               | 152.218          | 359.218        | 176.111     |
| 69               | 216.510          | 423.510        | 194.961     |
| 69               | 340.230          | 547.230        | 212.818     |
| 103.5            | 61.580           | 372.080        | 164.143     |
| 103.5            | 121.884          | 432.384        | 192.409     |
| 103.5            | 222.144          | 532.644        | 238.593     |
| 103.5            | 315.895          | 626.395        | 251.131     |
| 103.5            | 494.872          | 805.372        | 295.984     |
| 138              | 83.763           | 497.763        | 209.134     |
| 138              | 159.105          | 573.105        | 247.222     |
| 138              | 287.625          | 701.625        | 283.990     |
| 138              | 412.015          | 826.015        | 288.771     |

Realizó: Elizabeth Parra Alvarez.

Cálculo: Elizabeth Parra Alvarez.

Revisó: Dra. Natalia Pérez García.

Figura B.I.3 Gráfica  $M_r$  vs Esfuerzo desviador, muestra subbase 166, ensaye 3.



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 20150929

Clave de proyecto/Servicio: IE-08/14

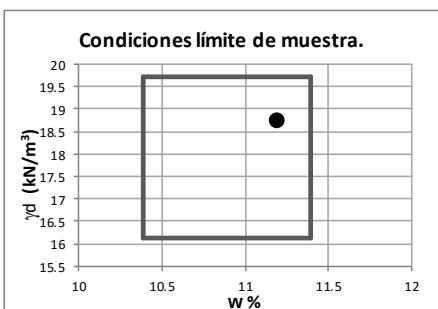
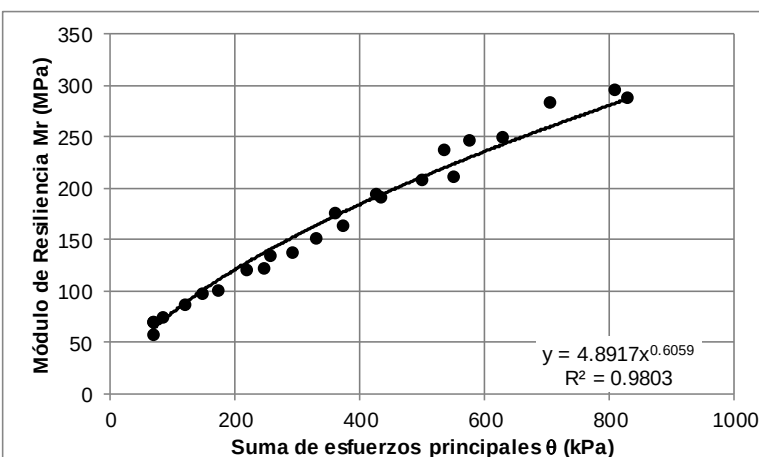
Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con cemento portland y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

Descripción de la muestra: Material de Subbase

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

Muestra No.: SB 166      Diámetro (cm): 150       $\omega$  (%): 11.19  
No. de capas: 5      Altura (cm): 300       $\gamma_m$  (kN/m³): 20.5  
No. de golpes por capa: 30      Masa muestra (g): 11307.5       $\gamma_d$  (kN/m³): 18.438



**OBSERVACIONES:**

\* Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

\* Fecha de compactación:

20150929

\* Días de curado: 0

\* El contenido de humedad ( $w$  %) y el peso específico ( $\gamma_d$ ) de la muestra debe estar dentro del recuadro de la gráfica de condiciones límite de muestra.

| $\sigma_3$ (kPa) | $\sigma_d$ (kPa) | $\theta$ (kPa) | $M_r$ (MPa) |
|------------------|------------------|----------------|-------------|
| 20.7             | 4.889            | 66.989         | 71.066      |
| 20.7             | 5.075            | 67.175         | 70.501      |
| 20.7             | 6.306            | 68.406         | 58.227      |
| 20.7             | 21.221           | 83.321         | 75.574      |
| 20.7             | 54.702           | 116.802        | 87.078      |
| 41.4             | 21.172           | 145.372        | 98.272      |
| 41.4             | 46.687           | 170.887        | 101.102     |
| 41.4             | 92.225           | 216.425        | 121.944     |
| 41.4             | 129.981          | 254.181        | 135.189     |
| 41.4             | 204.875          | 329.075        | 152.061     |
| 69               | 38.391           | 245.391        | 122.456     |
| 69               | 82.118           | 289.118        | 138.810     |
| 69               | 152.218          | 359.218        | 176.111     |
| 69               | 216.510          | 423.510        | 194.961     |
| 69               | 340.230          | 547.230        | 212.818     |
| 103.5            | 61.580           | 372.080        | 164.143     |
| 103.5            | 121.884          | 432.384        | 192.409     |
| 103.5            | 222.144          | 532.644        | 238.593     |
| 103.5            | 315.895          | 626.395        | 251.131     |
| 103.5            | 494.872          | 805.372        | 295.984     |
| 138              | 83.763           | 497.763        | 209.134     |
| 138              | 159.105          | 573.105        | 247.222     |
| 138              | 287.625          | 701.625        | 283.990     |
| 138              | 412.015          | 826.015        | 288.771     |

Realizó: Elizabeth Parra Alvarez.

Cálculo: Elizabeth Parra Alvarez.

Revisó: Dra. Natalia Pérez García.

Figura B.I.4 Gráfica  $M_r$  vs Esfuerzos totales, muestra subbase 166, ensaye 3.



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 20150930

Clave de proyecto/Servicio: IE-08/14

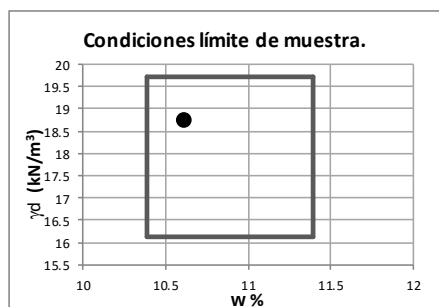
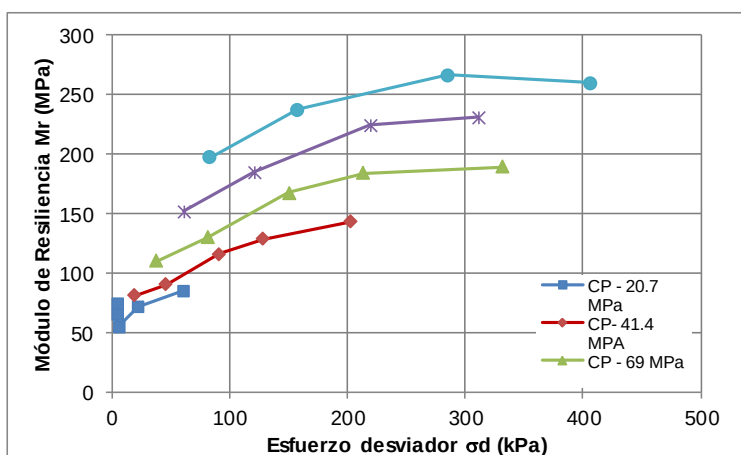
Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con cemento portland y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

Descripción de la muestra: Material de Subbase

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

|                         |        |                   |         |                                  |        |
|-------------------------|--------|-------------------|---------|----------------------------------|--------|
| Muestra No.:            | SB 167 | Diámetro (cm):    | 150     | $\omega$ (%):                    | 10.61  |
| No. de capas:           | 5      | Altura (cm):      | 300     | $\gamma_m$ (kN/m <sup>3</sup> ): | 21.391 |
| No. de golpes por capa: | 30     | Masa muestra (g): | 11307.5 | $\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> ): | 19.34  |



**OBSERVACIONES:**

\* Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

\* Fecha de compactación :  
20150930

\* Días de curado: 0

\* El contenido de humedad ( $w$  %) y el peso específico ( $\gamma_d$ ) de la muestra debe estar dentro del recuadro de la gráfica de condiciones límite de muestra.

Realizó: Elizabeth Parra Alvarez.

Cálculo: Elizabeth Parra Alvarez.

Revisó: Dra. Natalia Pérez García.

| $\sigma_3$ (kPa) | $\sigma_1$ (kPa) | $\theta$ (kPa) | $M_r$ (MPa) |
|------------------|------------------|----------------|-------------|
| 20.7             | 4.084            | 66.184         | 65.878      |
| 20.7             | 4.242            | 66.342         | 75.316      |
| 20.7             | 5.517            | 67.617         | 54.792      |
| 20.7             | 22.469           | 84.569         | 72.489      |
| 20.7             | 60.231           | 122.331        | 85.363      |
| 41.4             | 19.630           | 143.830        | 81.401      |
| 41.4             | 46.270           | 170.470        | 90.606      |
| 41.4             | 91.136           | 215.336        | 116.391     |
| 41.4             | 128.581          | 252.781        | 129.051     |
| 41.4             | 202.344          | 326.544        | 143.049     |
| 69               | 38.064           | 245.064        | 110.214     |
| 69               | 81.520           | 288.520        | 129.808     |
| 69               | 150.532          | 357.532        | 167.737     |
| 69               | 213.581          | 420.581        | 183.939     |
| 69               | 331.836          | 538.836        | 189.121     |
| 103.5            | 61.618           | 372.118        | 151.901     |
| 103.5            | 121.545          | 432.045        | 184.678     |
| 103.5            | 219.663          | 530.163        | 224.460     |
| 103.5            | 311.500          | 622.000        | 230.578     |
| 138              | 83.338           | 497.338        | 197.429     |
| 138              | 157.593          | 571.593        | 237.268     |
| 138              | 285.152          | 699.152        | 266.133     |
| 138              | 406.302          | 820.302        | 259.607     |

Figura B.I.5 Gráfica  $M_r$  vs Esfuerzo desviador, muestra subbase 167, ensaye 4.



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 20150930

Clave de proyecto/Servicio: IE-08/14

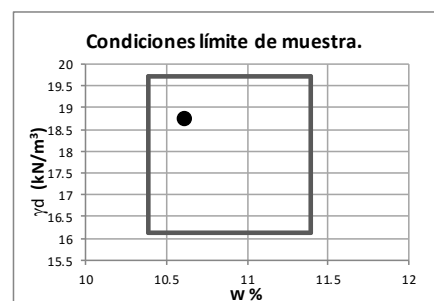
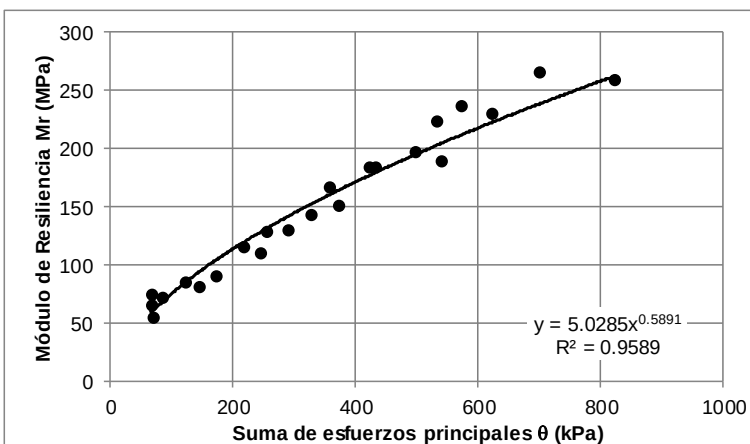
Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con cemento portland y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

Descripción de la muestra: Material de Subbase

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

|                         |        |                   |         |                                  |        |
|-------------------------|--------|-------------------|---------|----------------------------------|--------|
| Muestra No.:            | SB 167 | Diámetro (cm):    | 150     | $\omega$ (%):                    | 10.61  |
| No. de capas:           | 5      | Altura (cm):      | 300     | $\gamma_m$ (kN/m <sup>3</sup> ): | 21.391 |
| No. de golpes por capa: | 30     | Masa muestra (g): | 11307.5 | $\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> ): | 19.34  |



**OBSERVACIONES:**

\* Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

\* Fecha de compactación : 20150930

\* Días de curado: 0

\* El contenido de humedad ( $w$  %) y el peso específico ( $\gamma_d$ ) de la muestra debe estar dentro del recuadro de la gráfica de condiciones límite de muestra.

| $\sigma_3$ (kPa) | $\sigma_1$ (kPa) | $\theta$ (kPa) | $M_r$ (MPa) |
|------------------|------------------|----------------|-------------|
| 20.7             | 4.084            | 66.184         | 65.878      |
| 20.7             | 4.242            | 66.342         | 75.316      |
| 20.7             | 5.517            | 67.617         | 54.792      |
| 20.7             | 22.469           | 84.569         | 72.489      |
| 20.7             | 60.231           | 122.331        | 85.363      |
| 41.4             | 19.630           | 143.830        | 81.401      |
| 41.4             | 46.270           | 170.470        | 90.606      |
| 41.4             | 91.136           | 215.336        | 116.391     |
| 41.4             | 128.581          | 252.781        | 129.051     |
| 41.4             | 202.344          | 326.544        | 143.049     |
| 69               | 38.064           | 245.064        | 110.214     |
| 69               | 81.520           | 288.520        | 129.808     |
| 69               | 150.532          | 357.532        | 167.737     |
| 69               | 213.581          | 420.581        | 183.939     |
| 69               | 331.836          | 538.836        | 189.121     |
| 103.5            | 61.618           | 372.118        | 151.901     |
| 103.5            | 121.545          | 432.045        | 184.678     |
| 103.5            | 219.663          | 530.163        | 224.460     |
| 103.5            | 311.500          | 622.000        | 230.578     |
| 138              | 83.338           | 497.338        | 197.429     |
| 138              | 157.593          | 571.593        | 237.268     |
| 138              | 285.152          | 699.152        | 266.133     |
| 138              | 406.302          | 820.302        | 259.607     |

Realizó: Elizabeth Parra Alvarez.

Cálculo: Elizabeth Parra Alvarez.

Revisó: Dra. Natalia Pérez García.

**Figura B.I.6 Gráfica  $M_r$  vs Esfuerzos totales, muestra subbase 167, ensaye 4.**



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 20150929

Clave de proyecto/Servicio: IE-08/14

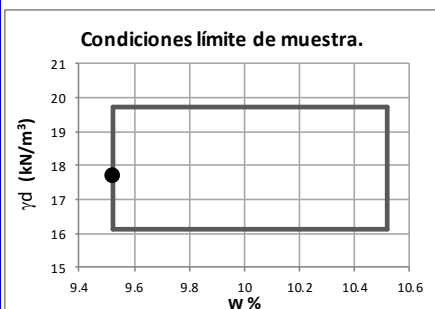
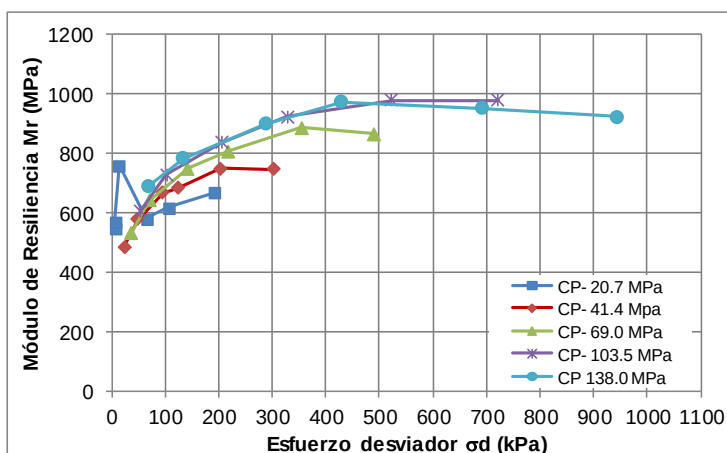
Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con cemento portland y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

Descripción de la muestra: Subbase adicionada con cemento Portland.

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

Muestra No.: SB SC 143      Diámetro (cm): 15.013       $\omega$  (%): 9.52  
No. de capas: 5      Altura (cm): 30.01       $\gamma_m$  (kN/m<sup>3</sup>): 19.372  
No. de golpes por capa: 30      Masa muestra (g): 10490.5       $\gamma_d$  (kN/m<sup>3</sup>): 17.688



**OBSERVACIONES:**

\* Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

\* Fecha de compactación : 20150929

\* Días de curado: 0

\* El contenido de humedad (w %) y el peso específico ( $\gamma_d$ ) de la muestra debe estar dentro del recuadro de la gráfica de condiciones límite de muestra.

Realizó: Elizabeth Parra Alvarez.

Cálculo: Elizabeth Parra Alvarez.

Revisó: Dra. Natalia Pérez García.

| $\sigma_d$ (kPa) | $\sigma_u$ (kPa) | $\theta$ (kPa) | $M_r$ (MPa) |
|------------------|------------------|----------------|-------------|
| 20.7             | 5.852            | 67.952         | 546.750     |
| 20.7             | 5.852            | 67.952         | 570.699     |
| 20.7             | 13.635           | 75.735         | 761.228     |
| 20.7             | 64.267           | 126.367        | 580.467     |
| 20.7             | 105.433          | 167.533        | 619.240     |
| 20.7             | 190.419          | 252.519        | 666.899     |
| 41.4             | 24.264           | 148.464        | 486.964     |
| 41.4             | 48.215           | 172.415        | 579.746     |
| 41.4             | 94.950           | 219.150        | 667.458     |
| 41.4             | 123.331          | 247.531        | 683.032     |
| 41.4             | 203.336          | 327.536        | 750.227     |
| 41.4             | 302.895          | 427.095        | 747.176     |
| 69               | 36.574           | 243.574        | 533.767     |
| 69               | 71.306           | 278.306        | 641.173     |
| 69               | 141.999          | 348.999        | 750.807     |
| 69               | 219.041          | 426.041        | 807.380     |
| 69               | 354.869          | 561.869        | 886.318     |
| 69               | 490.407          | 697.407        | 865.879     |
| 103.5            | 53.074           | 363.574        | 603.879     |
| 103.5            | 103.375          | 413.875        | 728.039     |
| 103.5            | 205.631          | 516.131        | 835.418     |
| 103.5            | 327.560          | 638.060        | 922.301     |
| 103.5            | 522.112          | 832.612        | 978.141     |
| 103.5            | 721.300          | 1031.800       | 977.814     |
| 138              | 67.794           | 481.794        | 688.184     |
| 138              | 133.640          | 547.640        | 783.585     |
| 138              | 287.227          | 701.227        | 898.699     |
| 138              | 428.899          | 842.899        | 972.712     |
| 138              | 690.259          | 1104.259       | 951.434     |
| 138              | 944.454          | 1358.454       | 922.757     |

Figura B.I.7 Gráfica Mr vs Esfuerzo desviador, muestra subbase-cemento 143, ensaye 2.



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVSIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 20150929

Clave de proyecto/Servicio: IE-08/14

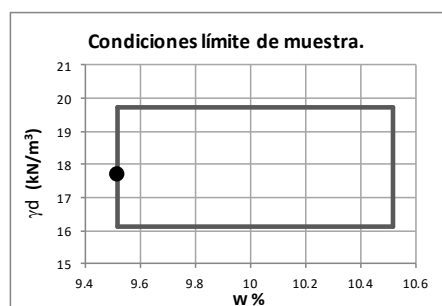
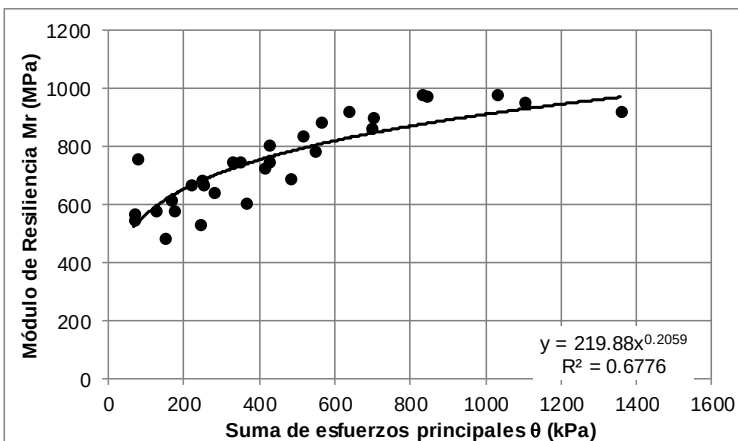
Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con cemento portland y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

Descripción de la muestra: Subbase adicionada con cemento Portland.

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

Muestra No.: SB SC 143      Diámetro (cm): 15.013       $\omega$  (%): 9.52  
No. de capas: 5      Altura (cm): 30.01       $\gamma_m$  (kN/m<sup>3</sup>): 19.372  
No. de golpes por capa: 30      Masa muestra (g): 10491       $\gamma_d$  (kN/m<sup>3</sup>): 17.688



**OBSERVACIONES:**

\* Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

\* Fecha de compactación: 20150929

\* Días de curado: 0  
\*El contenido de humedad (w %) y el peso específico ( $\gamma_d$ ) de la muestra debe estar dentro del recuadro de la gráfica de condiciones límite de muestra.

Realizó: Elizabeth Parra Alvarez.

Cálculo: Elizabeth Parra Alvarez.

Revisó: Dra. Natalia Pérez García.

| $\sigma_3$ (kPa) | $\sigma_d$ (kPa) | $\theta$ (kPa) | $M_r$ (MPa) |
|------------------|------------------|----------------|-------------|
| 20.7             | 5.852            | 67.952         | 546.750     |
| 20.7             | 5.852            | 67.952         | 570.699     |
| 20.7             | 13.635           | 75.735         | 761.228     |
| 20.7             | 64.267           | 126.367        | 580.467     |
| 20.7             | 105.433          | 167.533        | 619.240     |
| 20.7             | 190.419          | 252.519        | 666.899     |
| 41.4             | 24.264           | 148.464        | 486.964     |
| 41.4             | 48.215           | 172.415        | 579.746     |
| 41.4             | 94.950           | 219.150        | 667.458     |
| 41.4             | 123.331          | 247.531        | 683.032     |
| 41.4             | 203.336          | 327.536        | 750.227     |
| 41.4             | 302.895          | 427.095        | 747.176     |
| 69               | 36.574           | 243.574        | 533.767     |
| 69               | 71.306           | 278.306        | 641.173     |
| 69               | 141.999          | 348.999        | 750.807     |
| 69               | 219.041          | 426.041        | 807.380     |
| 69               | 354.869          | 561.869        | 886.318     |
| 69               | 490.407          | 697.407        | 865.879     |
| 103.5            | 53.074           | 363.574        | 603.879     |
| 103.5            | 103.375          | 413.875        | 728.039     |
| 103.5            | 205.631          | 516.131        | 835.418     |
| 103.5            | 327.560          | 638.060        | 922.301     |
| 103.5            | 522.112          | 832.612        | 978.141     |
| 103.5            | 721.300          | 1031.800       | 977.814     |
| 138              | 67.794           | 481.794        | 688.184     |
| 138              | 133.640          | 547.640        | 783.585     |
| 138              | 287.227          | 701.227        | 898.699     |
| 138              | 428.899          | 842.899        | 972.712     |
| 138              | 690.259          | 1104.259       | 951.434     |
| 138              | 944.454          | 1358.454       | 922.757     |

Figura B.I.8 Gráfica  $M_r$  vs Esfuerzos totales, muestra subbase-cemento 143, ensaye 2.



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 20150930

Clave de proyecto/Servicio: IE-08/14

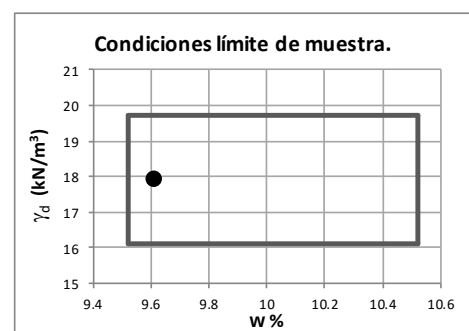
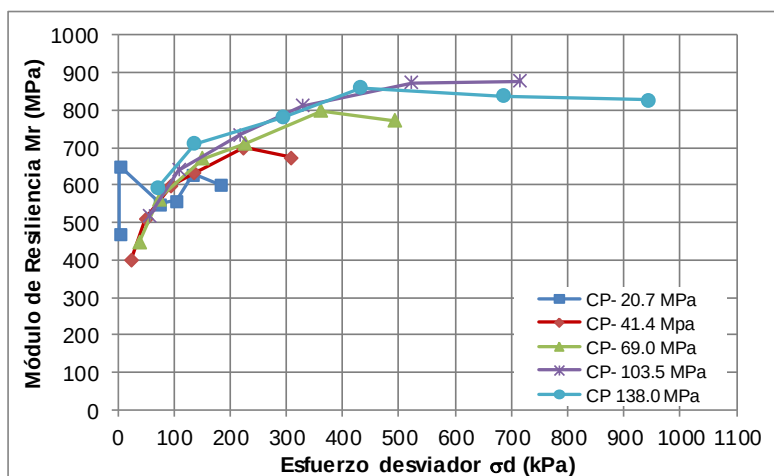
Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con cemento portland y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

Descripción de la muestra: Subbase adicionada con cemento Portland.

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

Muestra No.: SB SC 145      Diámetro (cm): 15.018       $\omega$  (%): 9.61  
No. de capas: 5      Altura (cm): 30.019       $\gamma_m$  (kN/m<sup>3</sup>): 9.652  
No. de golpes por capa: 30      Masa muestra (g): 10652       $\gamma_d$  (kN/m<sup>3</sup>): 17.93



**OBSERVACIONES:**

\* Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

\* Fecha de compactación : 20150929

\* Días de curado: 1  
\* El contenido de humedad (w%) y el peso específico ( $\gamma_d$ ) de la muestra debe estar dentro del recuadro de la gráfica de condiciones límite de muestra.

| $\sigma_3$ (kPa) | $\sigma_d$ (kPa) | $\theta$ (kPa) | $M_r$ (MPa) |
|------------------|------------------|----------------|-------------|
| 20.7             | 3.776            | 65.876         | 472.135     |
| 20.7             | 3.648            | 65.748         | 650.280     |
| 20.7             | 75.519           | 137.619        | 549.101     |
| 20.7             | 104.025          | 166.125        | 557.982     |
| 20.7             | 133.070          | 195.170        | 628.942     |
| 20.7             | 182.846          | 244.946        | 600.543     |
| 41.4             | 24.224           | 148.424        | 397.909     |
| 41.4             | 50.999           | 175.199        | 510.487     |
| 41.4             | 96.307           | 220.507        | 599.072     |
| 41.4             | 135.803          | 260.003        | 632.281     |
| 41.4             | 224.619          | 348.819        | 699.597     |
| 41.4             | 309.277          | 433.477        | 672.097     |
| 69               | 38.776           | 245.776        | 446.749     |
| 69               | 73.617           | 280.617        | 563.869     |
| 69               | 151.768          | 358.768        | 670.060     |
| 69               | 225.502          | 432.502        | 710.748     |
| 69               | 361.458          | 568.458        | 797.565     |
| 69               | 493.600          | 700.600        | 772.670     |
| 103.5            | 55.632           | 366.132        | 516.405     |
| 103.5            | 109.160          | 419.660        | 639.301     |
| 103.5            | 217.939          | 528.439        | 733.958     |
| 103.5            | 328.784          | 639.284        | 811.896     |
| 103.5            | 522.723          | 833.223        | 872.597     |
| 103.5            | 716.488          | 1026.988       | 877.844     |
| 138              | 71.110           | 485.111        | 591.933     |
| 138              | 137.173          | 551.173        | 710.824     |
| 138              | 292.664          | 706.664        | 779.504     |
| 138              | 431.380          | 845.380        | 859.341     |
| 138              | 684.352          | 1098.352       | 836.633     |
| 138              | 943.971          | 1357.971       | 827.721     |

Realizó: Elizabeth Parra Alvarez.

Cálculo: Elizabeth Parra Alvarez.

Revisó: Dra. Natalia Pérez García.

Figura B.I.9 Gráfica Mr vs Esfuerzo desviador, muestra subbase-cemento 145, ensaye 4.



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.:

Fecha: 20150930

Clave de proyecto/Servicio: IE-08/14

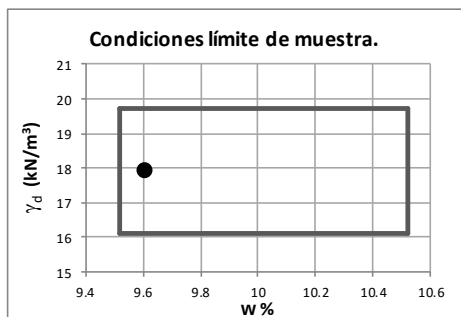
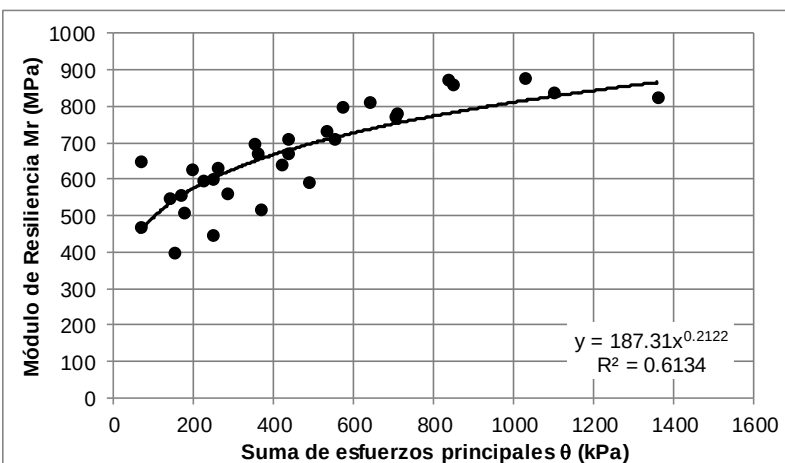
Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con cemento portland y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

Descripción de la muestra: Subbase adicionada con cemento Portland.

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

|                         |           |                   |        |                                  |       |
|-------------------------|-----------|-------------------|--------|----------------------------------|-------|
| Muestra No.:            | SB SC 145 | Diámetro (cm):    | 15.018 | $\omega$ (%):                    | 9.61  |
| No. de capas:           | 5         | Altura (cm):      | 30.019 | $\gamma_m$ (kN/m <sup>3</sup> ): | 9.652 |
| No. de golpes por capa: | 30        | Masa muestra (g): | 10652  | $\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> ): | 17.93 |



**OBSERVACIONES:**

\* Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

\* Fecha de compactación :  
20150929

\* Días de curado: 1  
\*El contenido de humedad (w %) y el peso específico ( $\gamma_d$ ) de la muestra debe estar dentro del recuadro de la gráfica de condiciones límite de muestra.

| $\sigma_3$ (kPa) | $\sigma_1$ (kPa) | $\theta$ (kPa) | $M_r$ (MPa) |
|------------------|------------------|----------------|-------------|
| 20.7             | 3.776            | 65.876         | 472.135     |
| 20.7             | 3.648            | 65.748         | 650.280     |
| 20.7             | 75.519           | 137.619        | 549.101     |
| 20.7             | 104.025          | 166.125        | 557.982     |
| 20.7             | 133.070          | 195.170        | 628.942     |
| 20.7             | 182.846          | 244.946        | 600.543     |
| 41.4             | 24.224           | 148.424        | 397.909     |
| 41.4             | 50.999           | 175.199        | 510.487     |
| 41.4             | 96.307           | 220.507        | 599.072     |
| 41.4             | 135.803          | 260.003        | 632.281     |
| 41.4             | 224.619          | 348.819        | 699.597     |
| 41.4             | 309.277          | 433.477        | 672.097     |
| 69               | 38.776           | 245.776        | 446.749     |
| 69               | 73.617           | 280.617        | 563.869     |
| 69               | 151.768          | 358.768        | 670.060     |
| 69               | 225.502          | 432.502        | 710.748     |
| 69               | 361.458          | 568.458        | 797.565     |
| 69               | 493.600          | 700.600        | 772.670     |
| 103.5            | 55.632           | 366.132        | 516.405     |
| 103.5            | 109.160          | 419.660        | 639.301     |
| 103.5            | 217.939          | 528.439        | 733.958     |
| 103.5            | 328.784          | 639.284        | 811.896     |
| 103.5            | 522.723          | 833.223        | 872.597     |
| 103.5            | 716.488          | 1026.988       | 877.844     |
| 138              | 71.110           | 485.111        | 591.933     |
| 138              | 137.173          | 551.173        | 710.824     |
| 138              | 292.664          | 706.664        | 779.504     |
| 138              | 431.380          | 845.380        | 859.341     |
| 138              | 684.352          | 1098.352       | 836.633     |
| 138              | 943.971          | 1357.971       | 827.721     |

Realizó: Elizabeth Parra Alvarez.

Cálculo: Elizabeth Parra Alvarez.

Revisó: Dra. Natalia Pérez García.

Figura B.I.10 Gráfica  $M_r$  vs Esfuerzos totales, muestra subbase-cemento 145, ensaye 4.



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 20150930

Clave de proyecto/Servicio: IE-08/14

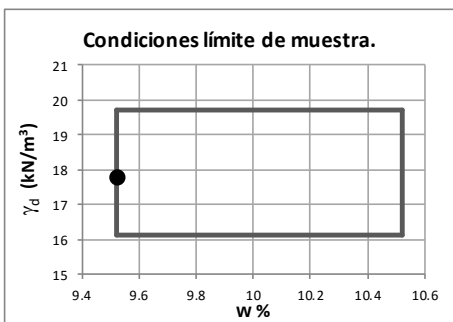
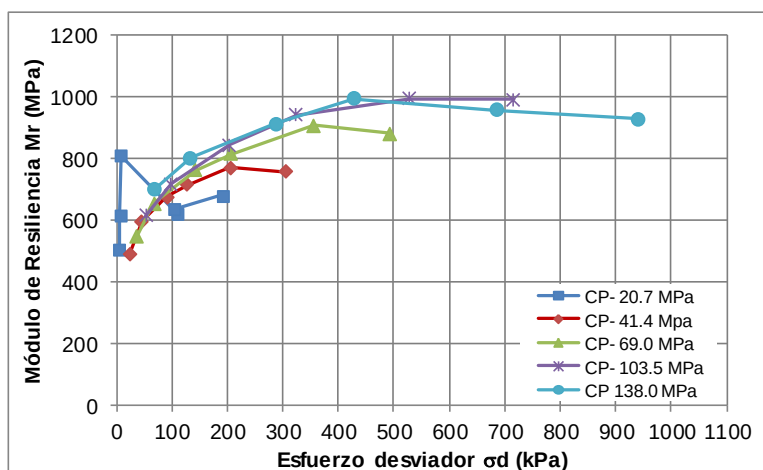
Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con cemento portland y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

Descripción de la muestra: Subbase adicionada con cemento Portland.

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

Muestra No.: SB SC 146      Diámetro (cm): 15.018       $\omega$  (%): 9.53  
No. de capas: 5      Altura (cm): 30.016       $\gamma_m$  (kN/m<sup>3</sup>): 19.464  
No. de golpes por capa: 30      Masa muestra (g): 10550       $\gamma_d$  (kN/m<sup>3</sup>): 17.771



**OBSERVACIONES:**

\* Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

\* Fecha de compactación : 20150929

\* Días de curado: 1

\* El contenido de humedad (w %) y el peso específico ( $\gamma_d$ ) de la muestra debe estar dentro del recuadro de la gráfica de condiciones límite de muestra.

Realizó: Elizabeth Parra Alvarez.

Cálculo: Elizabeth Parra Alvarez.

Revisó: Dra. Natalia Pérez García.

| $\sigma_3$ (kPa) | $\sigma_d$ (kPa) | $\theta$ (kPa) | $M_r$ (MPa) |
|------------------|------------------|----------------|-------------|
| 20.7             | 5.649            | 67.749         | 504.193     |
| 20.7             | 5.848            | 67.948         | 616.393     |
| 20.7             | 8.408            | 70.508         | 810.276     |
| 20.7             | 109.446          | 171.546        | 623.495     |
| 20.7             | 103.065          | 165.165        | 636.694     |
| 20.7             | 190.197          | 252.297        | 680.305     |
| 41.4             | 23.533           | 147.733        | 488.458     |
| 41.4             | 46.381           | 170.581        | 596.592     |
| 41.4             | 90.773           | 214.973        | 674.945     |
| 41.4             | 128.354          | 252.554        | 716.570     |
| 41.4             | 205.954          | 330.154        | 771.720     |
| 41.4             | 305.712          | 429.912        | 758.582     |
| 69               | 36.619           | 243.619        | 550.428     |
| 69               | 68.583           | 275.583        | 653.785     |
| 69               | 142.090          | 349.090        | 763.005     |
| 69               | 206.418          | 413.418        | 816.333     |
| 69               | 355.864          | 562.864        | 907.032     |
| 69               | 493.222          | 700.222        | 881.480     |
| 103.5            | 52.889           | 363.389        | 614.823     |
| 103.5            | 98.783           | 409.283        | 719.328     |
| 103.5            | 203.695          | 514.195        | 845.483     |
| 103.5            | 323.992          | 634.492        | 941.755     |
| 103.5            | 526.553          | 837.053        | 993.654     |
| 103.5            | 715.628          | 1026.128       | 991.921     |
| 138              | 67.456           | 481.456        | 698.420     |
| 138              | 133.658          | 547.658        | 803.296     |
| 138              | 286.797          | 700.797        | 912.016     |
| 138              | 428.201          | 842.201        | 994.165     |
| 138              | 684.508          | 1098.508       | 958.230     |
| 138              | 939.194          | 1353.194       | 928.313     |

Figura B.I.11 Gráfica  $M_r$  vs Esfuerzo desviador, muestra subbase-cemento 146, ensaye 5.



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 20150930

Clave de proyecto/Servicio: IE-08/14

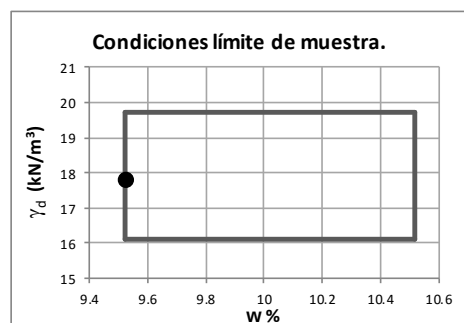
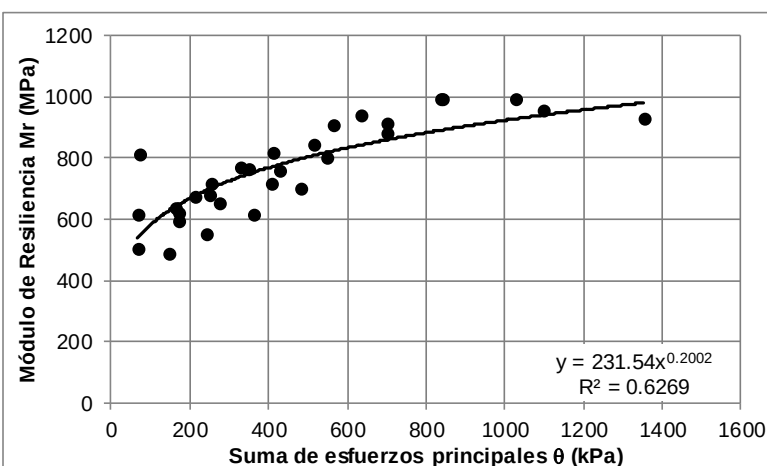
Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con cemento portland y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

Descripción de la muestra: Subbase adicionada con cemento Portland.

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

Muestra No.: SB SC 146      Diámetro (cm): 15.018       $\omega$  (%): 9.53  
No. de capas: 5      Altura (cm): 30.016       $\gamma_m$  (kN/m<sup>3</sup>): 19.464  
No. de golpes por capa: 30      Masa muestra (g): 10550       $\gamma_d$  (kN/m<sup>3</sup>): 17.771



**OBSERVACIONES:**

\* Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

\* Fecha de compactación : 20150929

\* Días de curado: 1

\* El contenido de humedad (w %) y el peso específico ( $\gamma_d$ ) de la muestra debe estar dentro del recuadro de la gráfica de condiciones límite de muestra.

| $\sigma_3$ (kPa) | $\sigma_1$ (kPa) | $\theta$ (kPa) | $M_r$ (MPa) |
|------------------|------------------|----------------|-------------|
| 20.7             | 5.649            | 67.749         | 504.193     |
| 20.7             | 5.848            | 67.948         | 616.393     |
| 20.7             | 8.408            | 70.508         | 810.276     |
| 20.7             | 109.446          | 171.546        | 623.495     |
| 20.7             | 103.065          | 165.165        | 636.694     |
| 20.7             | 190.197          | 252.297        | 680.305     |
| 41.4             | 23.533           | 147.733        | 488.458     |
| 41.4             | 46.381           | 170.581        | 596.592     |
| 41.4             | 90.773           | 214.973        | 674.945     |
| 41.4             | 128.354          | 252.554        | 716.570     |
| 41.4             | 205.954          | 330.154        | 771.720     |
| 41.4             | 305.712          | 429.912        | 758.582     |
| 69               | 36.619           | 243.619        | 550.428     |
| 69               | 68.583           | 275.583        | 653.785     |
| 69               | 142.090          | 349.090        | 763.005     |
| 69               | 206.418          | 413.418        | 816.333     |
| 69               | 355.864          | 562.864        | 907.032     |
| 69               | 493.222          | 700.222        | 881.480     |
| 103.5            | 52.889           | 363.389        | 614.823     |
| 103.5            | 98.783           | 409.283        | 719.328     |
| 103.5            | 203.695          | 514.195        | 845.483     |
| 103.5            | 323.992          | 634.492        | 941.755     |
| 103.5            | 526.553          | 837.053        | 993.654     |
| 103.5            | 715.628          | 1026.128       | 991.921     |
| 138              | 67.456           | 481.456        | 698.420     |
| 138              | 133.658          | 547.658        | 803.296     |
| 138              | 286.797          | 700.797        | 912.016     |
| 138              | 428.201          | 842.201        | 994.165     |
| 138              | 684.508          | 1098.508       | 958.230     |
| 138              | 939.194          | 1353.194       | 928.313     |

Realizó: Elizabeth Parra Alvarez.

Cálculo: Elizabeth Parra Alvarez.

Revisó: Dra. Natalia Pérez García.

Figura B.I.12 Gráfica  $M_r$  vs Esfuerzos totales, muestra subbase-cemento 146, ensaye 5.



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 20150924

Clave de proyecto/Servicio: IE-08/14

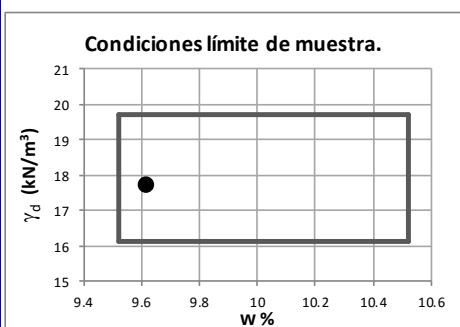
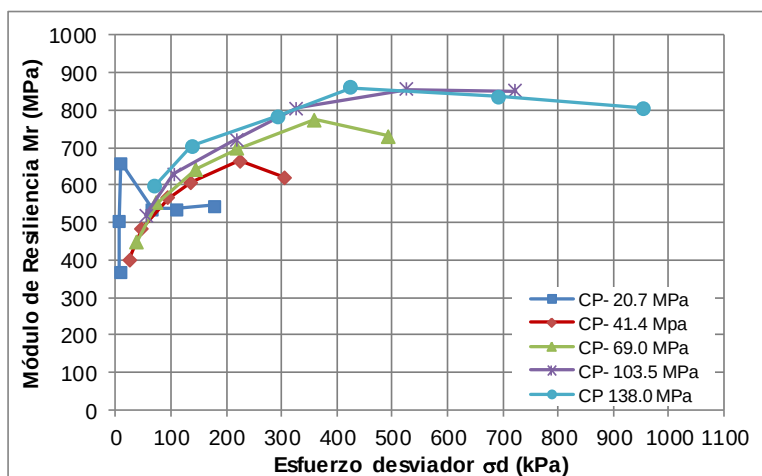
Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con cemento portland y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

Descripción de la muestra: Subbase adicionada con cemento Portland y zeolita sintética.

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

Muestra No.: SB SC+R 137      Diámetro (cm): 15.029       $\omega$  (%): 9.62  
No. de capas: 5      Altura (cm): 30.008       $\gamma_m$  (kN/m<sup>3</sup>): 19.421  
No. de golpes por capa: 30      Masa muestra (g): 10540.5       $\gamma_d$  (kN/m<sup>3</sup>): 17.717



**OBSERVACIONES:**

\* Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

\* Fecha de compactación : 20150924

\* Días de curado: 0  
\*El contenido de humedad (w%) y el peso específico ( $\gamma_d$ ) de la muestra debe estar dentro del recuadro de la gráfica de condiciones límite de muestra.

| $\sigma_3$ (kPa) | $\sigma_d$ (kPa) | $\theta$ (kPa) | $M_r$ (MPa) |
|------------------|------------------|----------------|-------------|
| 20.7             | 6.339            | 68.439         | 369.564     |
| 20.7             | 6.139            | 68.239         | 503.441     |
| 20.7             | 8.824            | 70.924         | 659.096     |
| 20.7             | 64.666           | 126.766        | 537.735     |
| 20.7             | 109.514          | 171.614        | 536.241     |
| 20.7             | 176.643          | 238.743        | 544.690     |
| 41.4             | 24.245           | 148.445        | 400.181     |
| 41.4             | 47.547           | 171.747        | 484.135     |
| 41.4             | 94.113           | 218.313        | 565.379     |
| 41.4             | 136.607          | 260.807        | 608.002     |
| 41.4             | 223.738          | 347.938        | 664.638     |
| 41.4             | 304.143          | 428.343        | 620.697     |
| 69               | 37.735           | 244.735        | 450.175     |
| 69               | 74.040           | 281.040        | 551.610     |
| 69               | 145.157          | 352.157        | 643.260     |
| 69               | 219.330          | 426.330        | 696.784     |
| 69               | 359.799          | 566.799        | 773.500     |
| 69               | 493.285          | 700.285        | 730.498     |
| 103.5            | 55.026           | 365.526        | 519.479     |
| 103.5            | 105.579          | 416.079        | 629.194     |
| 103.5            | 218.045          | 528.545        | 722.349     |
| 103.5            | 326.360          | 636.860        | 805.421     |
| 103.5            | 525.794          | 836.294        | 855.177     |
| 103.5            | 722.384          | 1032.884       | 851.659     |
| 138              | 70.610           | 484.610        | 599.130     |
| 138              | 137.435          | 551.435        | 704.134     |
| 138              | 293.064          | 707.064        | 782.924     |
| 138              | 425.552          | 839.552        | 860.103     |
| 138              | 692.406          | 1106.406       | 835.226     |
| 138              | 953.335          | 1367.335       | 804.835     |

Realizó: Elizabeth Parra Alvarez.

Cálculo: Elizabeth Parra Alvarez.

Revisó: Dra. Natalia Pérez García.

Figura B.I.13 Gráfica  $M_r$  vs Esfuerzo desviador, muestra subbase-cemento-zeolita 137, ensaye 1.



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 20150924

Clave de proyecto/Servicio: IE-08/14

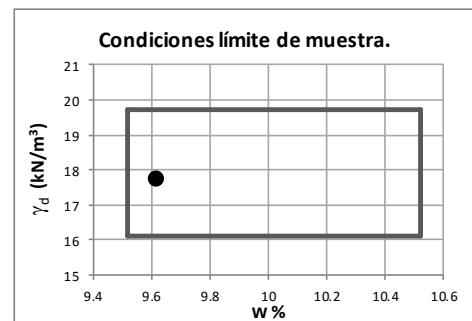
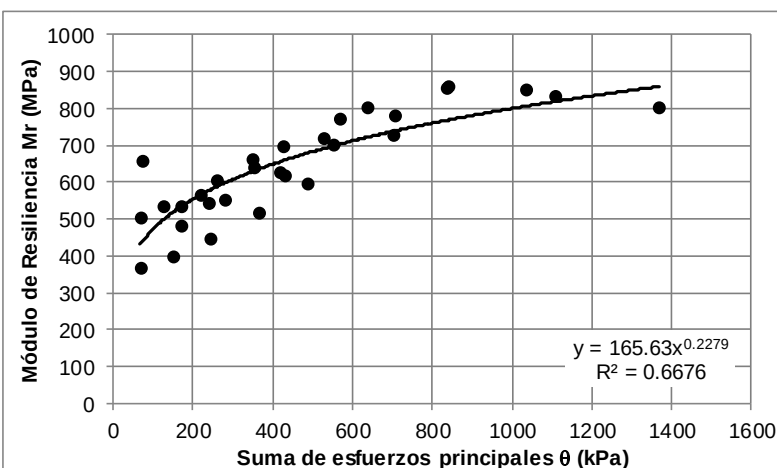
Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con cemento portland y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

Descripción de la muestra: Subbase adicionada con cemento Portland y zeolita sintética.

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

Muestra No.: SB SC+R 137      Diámetro (cm): 15.029       $\omega$  (%): 9.62  
No. de capas: 5      Altura (cm): 30.008       $\gamma_m$  (kN/m<sup>3</sup>): 19.421  
No. de golpes por capa: 30      Masa muestra (g): 10540.5       $\gamma_d$  (kN/m<sup>3</sup>): 17.717



**OBSERVACIONES:**

\* Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

\* Fecha de compactación : 20150924

\* Días de curado: 0

\* El contenido de humedad (w %) y el peso específico ( $\gamma_d$ ) de la muestra debe estar dentro del recuadro de la gráfica de condiciones límite de muestra.

| $\sigma_3$ (kPa) | $\sigma_1$ (kPa) | $\theta$ (kPa) | $M_r$ (MPa) |
|------------------|------------------|----------------|-------------|
| 20.7             | 6.339            | 68.439         | 369.564     |
| 20.7             | 6.139            | 68.239         | 503.441     |
| 20.7             | 8.824            | 70.924         | 659.096     |
| 20.7             | 64.666           | 126.766        | 537.735     |
| 20.7             | 109.514          | 171.614        | 536.241     |
| 20.7             | 176.643          | 238.743        | 544.690     |
| 41.4             | 24.245           | 148.445        | 400.181     |
| 41.4             | 47.547           | 171.747        | 484.135     |
| 41.4             | 94.113           | 218.313        | 565.379     |
| 41.4             | 136.607          | 260.807        | 608.002     |
| 41.4             | 223.738          | 347.938        | 664.638     |
| 41.4             | 304.143          | 428.343        | 620.697     |
| 69               | 37.735           | 244.735        | 450.175     |
| 69               | 74.040           | 281.040        | 551.610     |
| 69               | 145.157          | 352.157        | 643.260     |
| 69               | 219.330          | 426.330        | 696.784     |
| 69               | 359.799          | 566.799        | 773.500     |
| 69               | 493.285          | 700.285        | 730.498     |
| 103.5            | 55.026           | 365.526        | 519.479     |
| 103.5            | 105.579          | 416.079        | 629.194     |
| 103.5            | 218.045          | 528.545        | 722.349     |
| 103.5            | 326.360          | 636.860        | 805.421     |
| 103.5            | 525.794          | 836.294        | 855.177     |
| 103.5            | 722.384          | 1032.884       | 851.659     |
| 138              | 70.610           | 484.610        | 599.130     |
| 138              | 137.435          | 551.435        | 704.134     |
| 138              | 293.064          | 707.064        | 782.924     |
| 138              | 425.552          | 839.552        | 860.103     |
| 138              | 692.406          | 1106.406       | 835.226     |
| 138              | 953.335          | 1367.335       | 804.835     |

Realizó: Elizabeth Parra Alvarez.

Cálculo: Elizabeth Parra Alvarez.

Revisó: Dra. Natalia Pérez García.

Figura B.I.14 Gráfica  $M_r$  vs Esfuerzos totales, muestra subbase-cemento-zeolita 137, ensaye 1.



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 20150924

Clave de proyecto/Servicio: IE-08/14

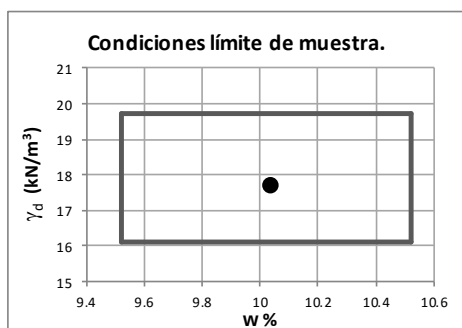
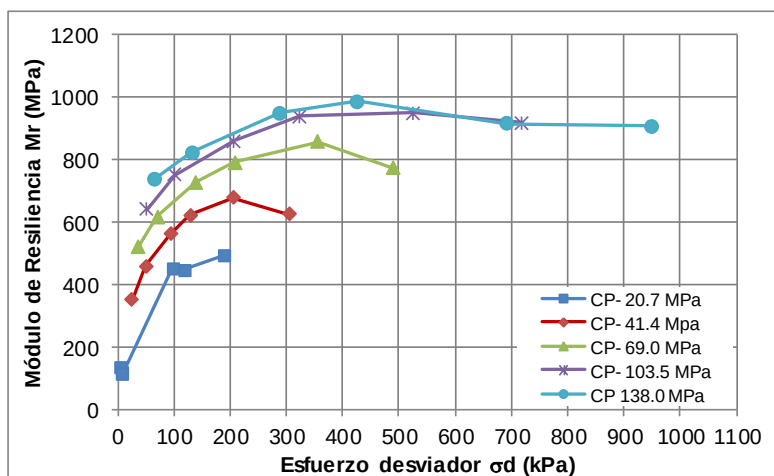
Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con cemento portland y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

Descripción de la muestra: Subbase adicionada con cemento Portland y zeolita sintética.

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

Muestra No.: SB SC++R 138      Diámetro (cm): 15.017       $\omega$  (%): 10.04  
No. de capas: 5      Altura (cm): 30.021       $\gamma_m$  (kN/m<sup>3</sup>): 19.453  
No. de golpes por capa: 30      Masa muestra (g): 10547       $\gamma_d$  (kN/m<sup>3</sup>): 17.678



**OBSERVACIONES:**

\* Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

\* Fecha de compactación : 20150924

\* Días de curado: 0  
\* El contenido de humedad (w%) y el peso específico ( $\gamma_d$ ) de la muestra debe estar dentro del recuadro de la gráfica de condiciones límite de muestra.

| $\sigma_3$ (kPa) | $\sigma_d$ (kPa) | $\theta$ (kPa) | $M_r$ (MPa) |
|------------------|------------------|----------------|-------------|
| 20.7             | 5.491            | 67.591         | 138.028     |
| 20.7             | 6.522            | 68.622         | 122.377     |
| 20.7             | 7.193            | 69.293         | 113.885     |
| 20.7             | 97.436           | 159.536        | 452.707     |
| 20.7             | 119.188          | 181.288        | 448.854     |
| 20.7             | 187.421          | 249.521        | 493.784     |
| 41.4             | 24.925           | 149.125        | 351.654     |
| 41.4             | 49.634           | 173.834        | 458.637     |
| 41.4             | 94.017           | 218.217        | 563.845     |
| 41.4             | 129.131          | 253.331        | 622.172     |
| 41.4             | 205.456          | 329.656        | 678.154     |
| 41.4             | 304.937          | 429.137        | 625.754     |
| 69               | 37.193           | 244.193        | 522.501     |
| 69               | 71.135           | 278.135        | 618.555     |
| 69               | 138.971          | 345.971        | 728.378     |
| 69               | 208.425          | 415.425        | 791.530     |
| 69               | 356.319          | 563.319        | 858.616     |
| 69               | 490.531          | 697.531        | 773.811     |
| 103.5            | 52.423           | 362.923        | 640.828     |
| 103.5            | 102.041          | 412.541        | 751.123     |
| 103.5            | 207.326          | 517.826        | 859.714     |
| 103.5            | 323.503          | 634.003        | 938.994     |
| 103.5            | 525.984          | 836.484        | 951.106     |
| 103.5            | 719.298          | 1029.798       | 917.262     |
| 138              | 66.489           | 480.489        | 739.922     |
| 138              | 132.148          | 546.148        | 822.214     |
| 138              | 288.230          | 702.230        | 950.507     |
| 138              | 426.590          | 840.590        | 986.200     |
| 138              | 691.658          | 1105.658       | 915.018     |
| 138              | 948.558          | 1362.558       | 907.626     |

Realizó: Elizabeth Parra Alvarez.

Cálculo: Elizabeth Parra Alvarez.

Revisó: Dra. Natalia Pérez García.

Figura B.I.15 Gráfica Mr vs Esfuerzo desviador, muestra subbase-cemento-zeolita 138, ensaye 2.



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 20150924

Clave de proyecto/Servicio: IE-08/14

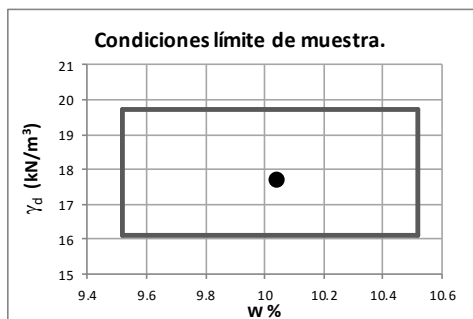
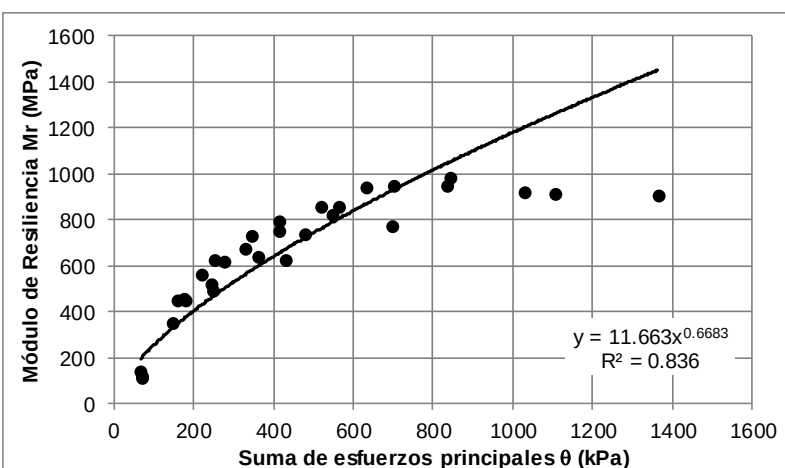
Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con cemento portland y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

Descripción de la muestra: Subbase adicionada con cemento Portland y zeolita sintética.

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

Muestra No.: SB SC++R 138      Diámetro (cm): 15.017       $\omega$  (%): 10.04  
No. de capas: 5      Altura (cm): 30.021       $\gamma_m$  (kN/m<sup>3</sup>): 19.453  
No. de golpes por capa: 30      Masa muestra (g): 10547       $\gamma_d$  (kN/m<sup>3</sup>): 17.678



**OBSERVACIONES:**

\* Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

\* Fecha de compactación : 20150924

\* Días de curado: 0

\*El contenido de humedad (w%) y el peso específico ( $\gamma_d$ ) de la muestra debe estar dentro del recuadro de la gráfica de condiciones límite de muestra.

| $\sigma_3$ (kPa) | $\sigma_d$ (kPa) | $\theta$ (kPa) | $M_r$ (MPa) |
|------------------|------------------|----------------|-------------|
| 20.7             | 5.491            | 67.591         | 138.028     |
| 20.7             | 6.522            | 68.622         | 122.377     |
| 20.7             | 7.193            | 69.293         | 113.885     |
| 20.7             | 97.436           | 159.536        | 452.707     |
| 20.7             | 119.188          | 181.288        | 448.854     |
| 20.7             | 187.421          | 249.521        | 493.784     |
| 41.4             | 24.925           | 149.125        | 351.654     |
| 41.4             | 49.634           | 173.834        | 458.637     |
| 41.4             | 94.017           | 218.217        | 563.845     |
| 41.4             | 129.131          | 253.331        | 622.172     |
| 41.4             | 205.456          | 329.656        | 678.154     |
| 41.4             | 304.937          | 429.137        | 625.754     |
| 69               | 37.193           | 244.193        | 522.501     |
| 69               | 71.135           | 278.135        | 618.555     |
| 69               | 138.971          | 345.971        | 728.378     |
| 69               | 208.425          | 415.425        | 791.530     |
| 69               | 356.319          | 563.319        | 858.616     |
| 69               | 490.531          | 697.531        | 773.811     |
| 103.5            | 52.423           | 362.923        | 640.828     |
| 103.5            | 102.041          | 412.541        | 751.123     |
| 103.5            | 207.326          | 517.826        | 859.714     |
| 103.5            | 323.503          | 634.003        | 938.994     |
| 103.5            | 525.984          | 836.484        | 951.106     |
| 103.5            | 719.298          | 1029.798       | 917.262     |
| 138              | 66.489           | 480.489        | 739.922     |
| 138              | 132.148          | 546.148        | 822.214     |
| 138              | 288.230          | 702.230        | 950.507     |
| 138              | 426.590          | 840.590        | 986.200     |
| 138              | 691.658          | 1105.658       | 915.018     |
| 138              | 948.558          | 1362.558       | 907.626     |

Realizó: Elizabeth Parra Alvarez.

Cálculo: Elizabeth Parra Alvarez.

Revisó: Dra. Natalia Pérez García.

Figura B.I.16 Gráfica Mr vs Esfuerzos totales, muestra subbase-cemento-zeolita 138, ensaye 2.



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 20150925

Clave de proyecto/Servicio: IE-08/14

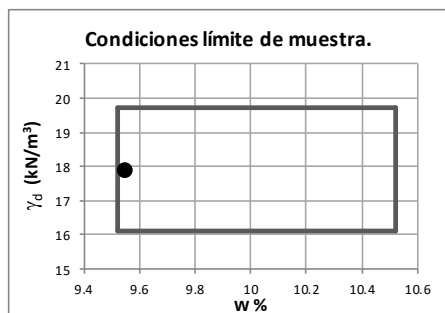
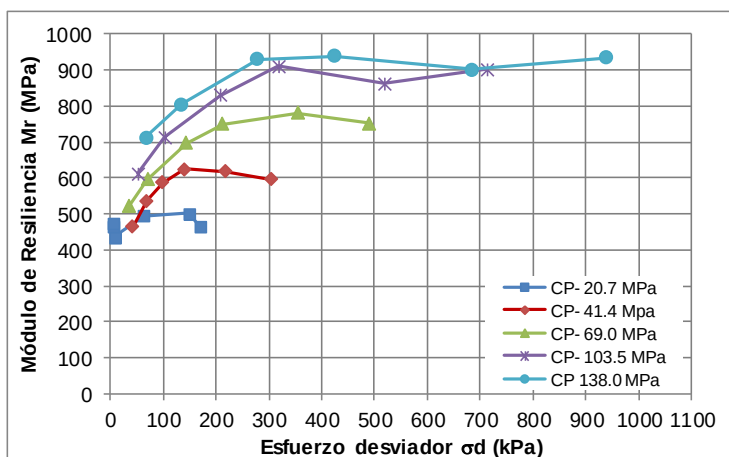
Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con cemento portland y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

Descripción de la muestra: Subbase adicionada con cemento Portland y zeolita sintética.

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

Muestra No.: SB SC+R 141      Diámetro (cm): 15.012       $\omega$  (%): 9.55  
No. de capas: 5      Altura (cm): 30.012       $\gamma_m$  (kN/m<sup>3</sup>): 19.576  
No. de golpes por capa: 30      Masa muestra (g): 10600.5       $\gamma_d$  (kN/m<sup>3</sup>): 17.871



**OBSERVACIONES:**

\* Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

\* Fecha de compactación : 20150925

\* Días de curado: 0

\*El contenido de humedad (w %) y el peso específico ( $\gamma_d$ ) de la muestra debe estar dentro del recuadro de la gráfica de condiciones límite de muestra.

Realizó: Elizabeth Parra Alvarez.

Cálculo: Elizabeth Parra Alvarez.

Revisó: Dra. Natalia Pérez García.

| $\sigma_3$ (kPa) | $\sigma_d$ (kPa) | $\theta$ (kPa) | $M_r$ (MPa) |
|------------------|------------------|----------------|-------------|
| 20.7             | 5.882            | 67.982         | 464.965     |
| 20.7             | 5.481            | 67.581         | 472.450     |
| 20.7             | 7.741            | 69.841         | 436.262     |
| 20.7             | 63.476           | 125.576        | 496.109     |
| 20.7             | 147.570          | 209.670        | 500.703     |
| 20.7             | 169.768          | 231.868        | 466.512     |
| 41.4             | 42.243           | 166.443        | 463.391     |
| 41.4             | 69.599           | 193.799        | 536.891     |
| 41.4             | 98.998           | 223.197        | 587.026     |
| 41.4             | 140.841          | 265.041        | 625.187     |
| 41.4             | 218.095          | 342.295        | 619.124     |
| 41.4             | 305.325          | 429.525        | 596.653     |
| 69               | 36.332           | 243.332        | 523.809     |
| 69               | 71.039           | 278.039        | 595.128     |
| 69               | 143.502          | 350.502        | 696.754     |
| 69               | 212.200          | 419.200        | 750.805     |
| 69               | 354.693          | 561.693        | 779.697     |
| 69               | 488.780          | 695.780        | 752.087     |
| 103.5            | 52.775           | 363.275        | 611.787     |
| 103.5            | 103.775          | 414.275        | 712.309     |
| 103.5            | 208.160          | 518.660        | 829.205     |
| 103.5            | 318.040          | 628.540        | 909.821     |
| 103.5            | 518.506          | 829.006        | 860.953     |
| 103.5            | 712.580          | 1023.080       | 901.190     |
| 138              | 67.172           | 481.172        | 712.416     |
| 138              | 134.603          | 548.603        | 804.968     |
| 138              | 278.854          | 692.854        | 930.509     |
| 138              | 424.455          | 838.455        | 939.450     |
| 138              | 684.106          | 1098.106       | 901.483     |
| 138              | 939.059          | 1353.059       | 934.294     |

Figura B.I.17 Gráfica Mr vs Esfuerzo desviador, muestra subbase-cemento-zeolita 141, ensaye 5.



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 20150925

Clave de proyecto/Servicio: IE-08/14

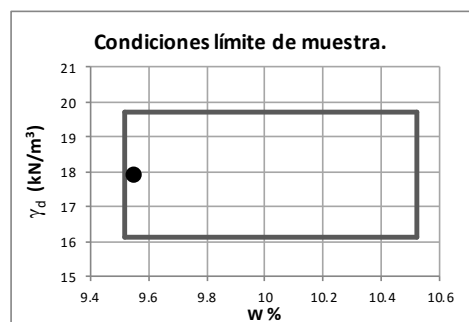
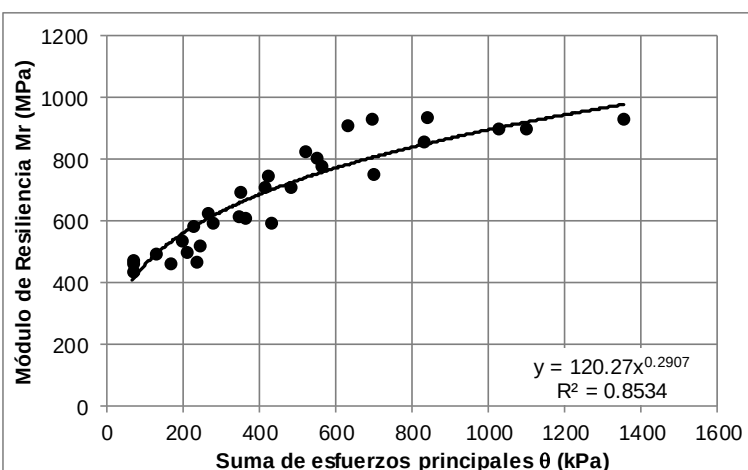
Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con cemento portland y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

Descripción de la muestra: Subbase adicionada con cemento Portland y zeolita sintética.

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

Muestra No.: SB SC+R 141      Diámetro (cm): 15.012       $\omega$  (%): 9.55  
No. de capas: 5      Altura (cm): 30.012       $\gamma_m$  (kN/m<sup>3</sup>): 19.576  
No. de golpes por capa: 30      Masa muestra (g): 10600.5       $\gamma_d$  (kN/m<sup>3</sup>): 17.871



**OBSERVACIONES:**

\* Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

\* Fecha de compactación :  
20150925

\* Días de curado: 0

\* El contenido de humedad (w %) y el peso específico ( $\gamma_d$ ) de la muestra debe estar dentro del recuadro de la gráfica de condiciones límite de muestra.

Realizó: Elizabeth Parra Alvarez.

Cálculo: Elizabeth Parra Alvarez.

Revisó: Dra. Natalia Pérez García.

| $\sigma_3$ (kPa) | $\sigma_1$ (kPa) | $\theta$ (kPa) | $M_r$ (MPa) |
|------------------|------------------|----------------|-------------|
| 20.7             | 5.882            | 67.982         | 464.965     |
| 20.7             | 5.481            | 67.581         | 472.450     |
| 20.7             | 7.741            | 69.841         | 436.262     |
| 20.7             | 63.476           | 125.576        | 496.109     |
| 20.7             | 147.570          | 209.670        | 500.703     |
| 20.7             | 169.768          | 231.868        | 466.512     |
| 41.4             | 42.243           | 166.443        | 463.391     |
| 41.4             | 69.599           | 193.799        | 536.891     |
| 41.4             | 98.998           | 223.197        | 587.026     |
| 41.4             | 140.841          | 265.041        | 625.187     |
| 41.4             | 218.095          | 342.295        | 619.124     |
| 41.4             | 305.325          | 429.525        | 596.653     |
| 69               | 36.332           | 243.332        | 523.809     |
| 69               | 71.039           | 278.039        | 595.128     |
| 69               | 143.502          | 350.502        | 696.754     |
| 69               | 212.200          | 419.200        | 750.805     |
| 69               | 354.693          | 561.693        | 779.697     |
| 69               | 488.780          | 695.780        | 752.087     |
| 103.5            | 52.775           | 363.275        | 611.787     |
| 103.5            | 103.775          | 414.275        | 712.309     |
| 103.5            | 208.160          | 518.660        | 829.205     |
| 103.5            | 318.040          | 628.540        | 909.821     |
| 103.5            | 518.506          | 829.006        | 860.953     |
| 103.5            | 712.580          | 1023.080       | 901.190     |
| 138              | 67.172           | 481.172        | 712.416     |
| 138              | 134.603          | 548.603        | 804.968     |
| 138              | 278.854          | 692.854        | 930.509     |
| 138              | 424.455          | 838.455        | 939.450     |
| 138              | 684.106          | 1098.106       | 901.483     |
| 138              | 939.059          | 1353.059       | 934.294     |

Figura B.I.18 Gráfica Mr vs Esfuerzos totales, muestra subbase-cemento-zeolita 141, ensaye 5.

## **ANEXO B.II MUESTRAS DE 07 DÍAS DE CURADO**





INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 2015-07-08

Clave de proyecto/Servicio: IE-08/14

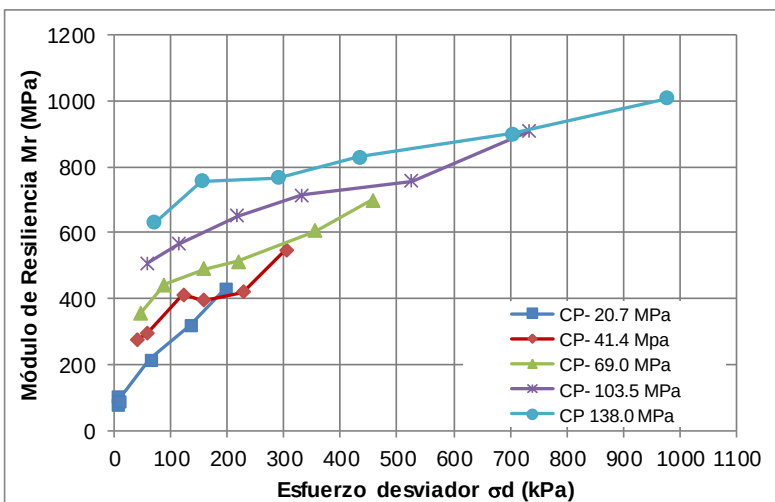
Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con cemento portland y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

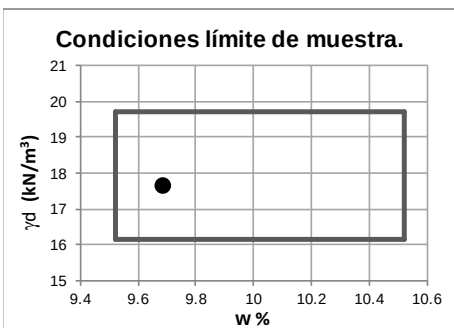
Descripción de la muestra: Subbase adicionada con cemento Portland.

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

|                         |           |                   |        |                                  |        |
|-------------------------|-----------|-------------------|--------|----------------------------------|--------|
| Muestra No.:            | SB SC 133 | Diámetro (cm):    | 15.042 | $\omega$ (%):                    | 9.690  |
| No. de capas:           | 5         | Altura (cm):      | 30.076 | $\gamma_m$ (kN/m <sup>3</sup> ): | 19.332 |
| No. de golpes por capa: | 30        | Masa muestra (g): | 10510  | $\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> ): | 17.624 |



| $\sigma_3$ (kPa) | $\sigma_d$ (kPa) | $\theta$ (kPa) | $M_r$ (MPa) |
|------------------|------------------|----------------|-------------|
| 20.7             | 4.153            | 66.253         | 78.579      |
| 20.7             | 4.737            | 66.837         | 104.548     |
| 20.7             | 6.971            | 69.071         | 90.821      |
| 20.7             | 62.619           | 124.719        | 218.130     |
| 20.7             | 133.756          | 195.856        | 319.634     |
| 20.7             | 196.628          | 258.728        | 433.618     |
| 41.4             | 39.524           | 163.724        | 273.524     |
| 41.4             | 58.213           | 182.413        | 297.429     |
| 41.4             | 121.379          | 245.579        | 412.552     |
| 41.4             | 157.364          | 281.564        | 394.866     |
| 41.4             | 228.230          | 352.430        | 421.064     |
| 41.4             | 303.257          | 427.457        | 548.428     |
| 69               | 45.272           | 252.272        | 355.362     |
| 69               | 88.657           | 295.657        | 444.108     |
| 69               | 158.916          | 365.916        | 491.735     |
| 69               | 218.563          | 425.563        | 514.060     |
| 69               | 355.614          | 562.614        | 606.573     |
| 69               | 456.919          | 663.919        | 699.429     |
| 103.5            | 58.354           | 368.854        | 509.266     |
| 103.5            | 113.123          | 423.623        | 566.974     |
| 103.5            | 217.969          | 528.469        | 651.754     |
| 103.5            | 332.515          | 643.015        | 715.221     |
| 103.5            | 525.725          | 836.225        | 757.892     |
| 103.5            | 733.427          | 1043.926       | 907.392     |
| 138              | 70.962           | 484.962        | 630.656     |
| 138              | 154.441          | 568.441        | 756.925     |
| 138              | 289.663          | 703.663        | 766.484     |
| 138              | 433.346          | 847.346        | 828.749     |
| 138              | 702.828          | 1116.828       | 900.971     |
| 138              | 978.859          | 1392.859       | 1007.704    |



**OBSERVACIONES:**

\* Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

\* Fecha de compactación :  
2015-07-16

\* Días de curado: 8

\* El contenido de humedad (w%) y el peso específico ( $\gamma_d$ ) de la muestra debe estar dentro del recuadro de la gráfica de condiciones límite de muestra.

Realizó: Elizabeth Parra Alvarez.

Cálculo: Elizabeth Parra Alvarez.

Revisó: Dra. Natalia Pérez García.

Figura B.II.1 Gráfica Mr vs Esfuerzo desviador, muestra subbase-cemento 133, ensaye 3.



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 2015-07-08

Clave de proyecto/Servicio: IE-08/14

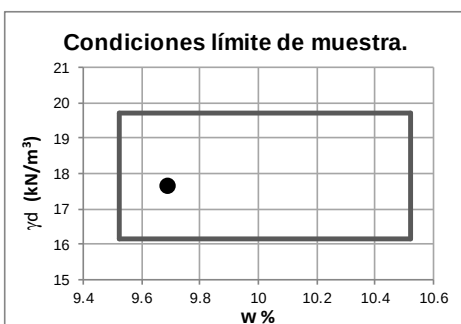
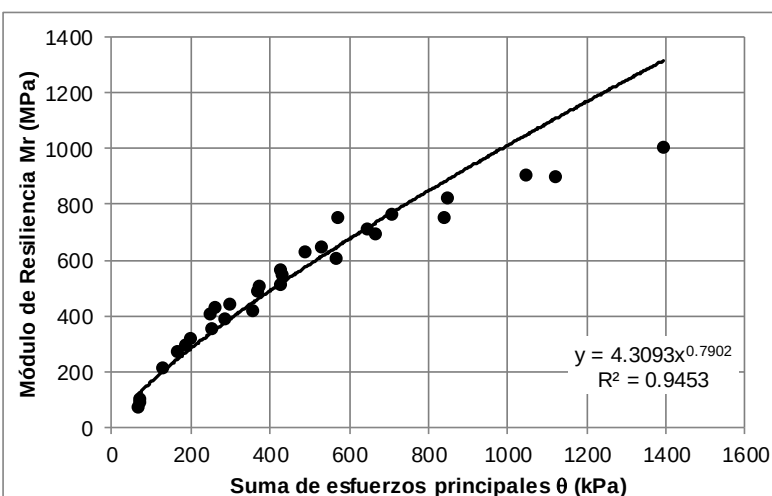
Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con cemento portland y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

Descripción de la muestra: Subbase adicionada con cemento Portland.

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

Muestra No.: SB SC 133      Diámetro (cm): 15.042       $\omega$  (%): 9.690  
No. de capas: 5      Altura (cm): 30.076       $\gamma_m$  (kN/m<sup>3</sup>): 19.332  
No. de golpes por capa: 30      Masa muestra (g): 10510       $\gamma_d$  (kN/m<sup>3</sup>): 17.624



**OBSERVACIONES:**

\* Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

\* Fecha de compactación : 2015-07-16

\* Días de curado: 8

\* El contenido de humedad ( $w$ %) y el peso específico ( $\gamma_d$ ) de la muestra debe estar dentro del recuadro de la gráfica de condiciones límite de muestra.

Realizó: Elizabeth Parra Alvarez.

Cálculo: Elizabeth Parra Alvarez.

Revisó: Dra. Natalia Pérez García.

| $\sigma_3$ (kPa) | $\sigma_d$ (kPa) | $\theta$ (kPa) | $M_r$ (MPa) |
|------------------|------------------|----------------|-------------|
| 20.7             | 4.153            | 66.253         | 78.579      |
| 20.7             | 4.737            | 66.837         | 104.548     |
| 20.7             | 6.971            | 69.071         | 90.821      |
| 20.7             | 62.619           | 124.719        | 218.130     |
| 20.7             | 133.756          | 195.856        | 319.634     |
| 20.7             | 196.628          | 258.728        | 433.618     |
| 41.4             | 39.524           | 163.724        | 273.524     |
| 41.4             | 58.213           | 182.413        | 297.429     |
| 41.4             | 121.379          | 245.579        | 412.552     |
| 41.4             | 157.364          | 281.564        | 394.866     |
| 41.4             | 228.230          | 352.430        | 421.064     |
| 41.4             | 303.257          | 427.457        | 548.428     |
| 69               | 45.272           | 252.272        | 355.362     |
| 69               | 88.657           | 295.657        | 444.108     |
| 69               | 158.916          | 365.916        | 491.735     |
| 69               | 218.563          | 425.563        | 514.060     |
| 69               | 355.614          | 562.614        | 606.573     |
| 69               | 456.919          | 663.919        | 699.429     |
| 103.5            | 58.354           | 368.854        | 509.266     |
| 103.5            | 113.123          | 423.623        | 566.974     |
| 103.5            | 217.969          | 528.469        | 651.754     |
| 103.5            | 332.515          | 643.015        | 715.221     |
| 103.5            | 525.725          | 836.225        | 757.892     |
| 103.5            | 733.427          | 1043.926       | 907.392     |
| 138              | 70.962           | 484.962        | 630.656     |
| 138              | 154.441          | 568.441        | 756.925     |
| 138              | 289.663          | 703.663        | 766.484     |
| 138              | 433.346          | 847.346        | 828.749     |
| 138              | 702.828          | 1116.828       | 900.971     |
| 138              | 978.859          | 1392.859       | 1007.704    |

Figura B.II.2 Gráfica  $M_r$  vs Esfuerzos totales, muestra subbase-cemento 133, ensaye 3.



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 2015-07-08

Clave de proyecto/Servicio: IE-08/14

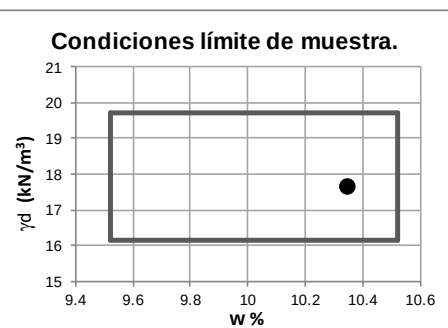
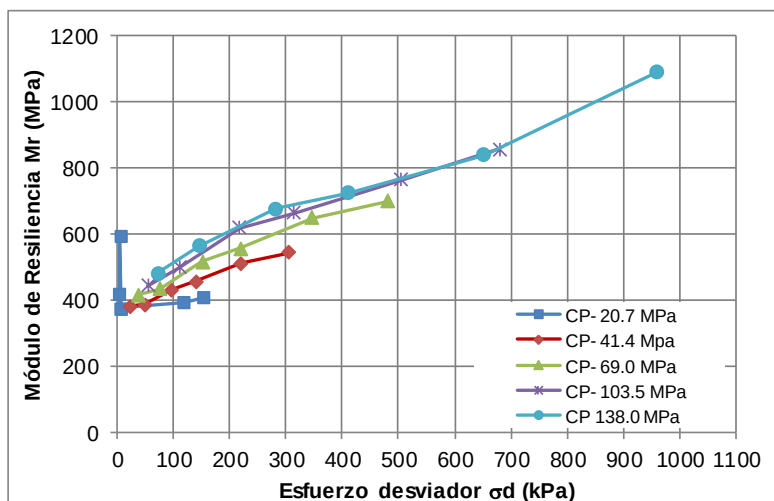
Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con cemento portland y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

Descripción de la muestra: Subbase adicionada con cemento Portland.

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

Muestra No.: SB SC 134      Diámetro (cm): 15.045       $\omega$  (%): 10.350  
No. de capas: 5      Altura (cm): 30.118       $\gamma_m$  (kN/m<sup>3</sup>): 19.440  
No. de golpes por capa: 30      Masa muestra (g): 10562       $\gamma_d$  (kN/m<sup>3</sup>): 17.621



**OBSERVACIONES:**

\* Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

\* Fecha de compactación :  
2015-07-16

\* Días de curado: 8  
\*El contenido de humedad (w%) y el peso específico ( $\gamma_d$ ) de la muestra debe estar dentro del recuadro de la gráfica de condiciones límite de muestra.

Realizó: Elizabeth Parra Alvarez.

Cálculo: Elizabeth Parra Alvarez.

Revisó: Dra. Natalia Pérez García.

| $\sigma_3$ (kPa) | $\sigma_d$ (kPa) | $\theta$ (kPa) | $M_r$ (MPa) |
|------------------|------------------|----------------|-------------|
| 20.7             | 2.602            | 64.702         | 418.917     |
| 20.7             | 4.806            | 66.906         | 376.472     |
| 20.7             | 4.706            | 66.806         | 595.025     |
| 20.7             | 5.957            | 68.057         | 375.438     |
| 20.7             | 118.093          | 180.193        | 392.992     |
| 20.7             | 153.392          | 215.492        | 407.308     |
| 41.4             | 23.872           | 148.072        | 381.559     |
| 41.4             | 48.137           | 172.337        | 385.163     |
| 41.4             | 97.459           | 221.659        | 430.449     |
| 41.4             | 139.184          | 263.384        | 456.557     |
| 41.4             | 220.522          | 344.722        | 511.007     |
| 41.4             | 304.834          | 429.034        | 543.367     |
| 69               | 37.588           | 244.588        | 415.487     |
| 69               | 75.255           | 282.256        | 432.299     |
| 69               | 151.719          | 358.719        | 514.661     |
| 69               | 219.485          | 426.485        | 556.159     |
| 69               | 346.114          | 553.114        | 647.673     |
| 69               | 480.022          | 687.022        | 697.498     |
| 103.5            | 54.985           | 365.485        | 443.509     |
| 103.5            | 110.260          | 420.760        | 497.508     |
| 103.5            | 217.980          | 528.480        | 617.954     |
| 103.5            | 314.458          | 624.958        | 664.331     |
| 103.5            | 504.700          | 815.200        | 763.365     |
| 103.5            | 680.316          | 990.816        | 855.475     |
| 138              | 71.528           | 485.528        | 481.313     |
| 138              | 145.001          | 559.001        | 564.027     |
| 138              | 282.649          | 696.650        | 675.114     |
| 138              | 409.270          | 823.270        | 724.644     |
| 138              | 651.503          | 1065.503       | 838.176     |
| 138              | 959.414          | 1373.414       | 1088.154    |

Figura B.II.3 Gráfica Mr vs Esfuerzo desviador, muestra subbase-cemento 134, ensaye 4.



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 2015-07-08

Clave de proyecto/Servicio: IE-08/14

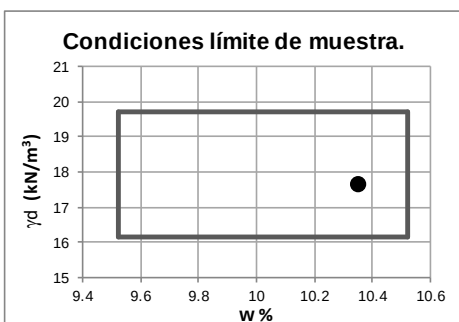
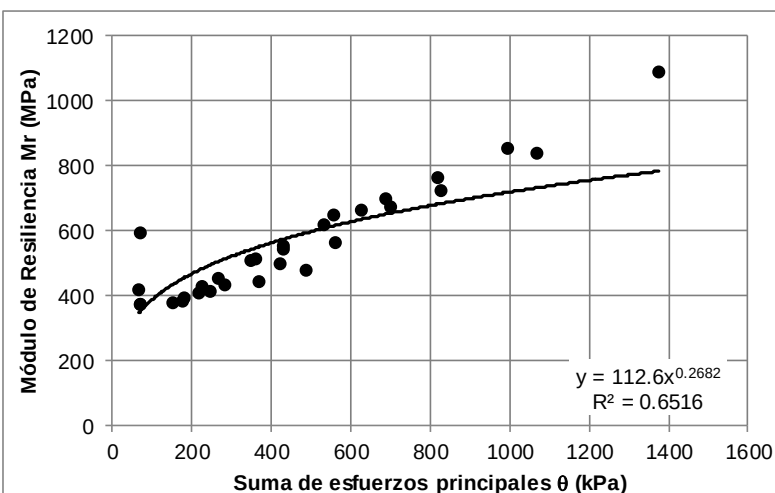
Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con cemento portland y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

Descripción de la muestra: Subbase adicionada con cemento Portland.

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

Muestra No.: SB SC 134      Diámetro (cm): 15.045       $\omega$  (%): 10.350  
No. de capas: 5      Altura (cm): 30.118       $\gamma_m$  (kN/m<sup>3</sup>): 19.440  
No. de golpes por capa: 30      Masa muestra (g): 10562       $\gamma_d$  (kN/m<sup>3</sup>): 17.621



**OBSERVACIONES:**

\* Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

\* Fecha de compactación: 2015-07-16

\* Días de curado: 8  
\* El contenido de humedad ( $w$ %) y el peso específico ( $\gamma_d$ ) de la muestra debe estar dentro del recuadro de la gráfica de condiciones límite de muestra.

| $\sigma_3$ (kPa) | $\sigma_d$ (kPa) | $\theta$ (kPa) | $M_r$ (MPa) |
|------------------|------------------|----------------|-------------|
| 20.7             | 2.602            | 64.702         | 418.917     |
| 20.7             | 4.806            | 66.906         | 376.472     |
| 20.7             | 4.706            | 66.806         | 595.025     |
| 20.7             | 5.957            | 68.057         | 375.438     |
| 20.7             | 118.093          | 180.193        | 392.992     |
| 20.7             | 153.392          | 215.492        | 407.308     |
| 41.4             | 23.872           | 148.072        | 381.559     |
| 41.4             | 48.137           | 172.337        | 385.163     |
| 41.4             | 97.459           | 221.659        | 430.449     |
| 41.4             | 139.184          | 263.384        | 456.557     |
| 41.4             | 220.522          | 344.722        | 511.007     |
| 41.4             | 304.834          | 429.034        | 543.367     |
| 69               | 37.588           | 244.588        | 415.487     |
| 69               | 75.255           | 282.256        | 432.299     |
| 69               | 151.719          | 358.719        | 514.661     |
| 69               | 219.485          | 426.485        | 556.159     |
| 69               | 346.114          | 553.114        | 647.673     |
| 69               | 480.022          | 687.022        | 697.498     |
| 103.5            | 54.985           | 365.485        | 443.509     |
| 103.5            | 110.260          | 420.760        | 497.508     |
| 103.5            | 217.980          | 528.480        | 617.954     |
| 103.5            | 314.458          | 624.958        | 664.331     |
| 103.5            | 504.700          | 815.200        | 763.365     |
| 103.5            | 680.316          | 990.816        | 855.475     |
| 138              | 71.528           | 485.528        | 481.313     |
| 138              | 145.001          | 559.001        | 564.027     |
| 138              | 282.649          | 696.650        | 675.114     |
| 138              | 409.270          | 823.270        | 724.644     |
| 138              | 651.503          | 1065.503       | 838.176     |
| 138              | 959.414          | 1373.414       | 1088.154    |

Realizó: Elizabeth Parra Alvarez.

Cálculo: Elizabeth Parra Alvarez.

Revisó: Dra. Natalia Pérez García.

Figura B.II.4 Gráfica  $M_r$  vs Esfuerzos totales, muestra subbase-cemento 134, ensaye 4.



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 2015-07-08

Clave de proyecto/Servicio: IE-08/14

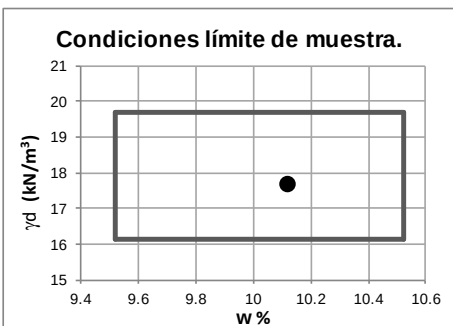
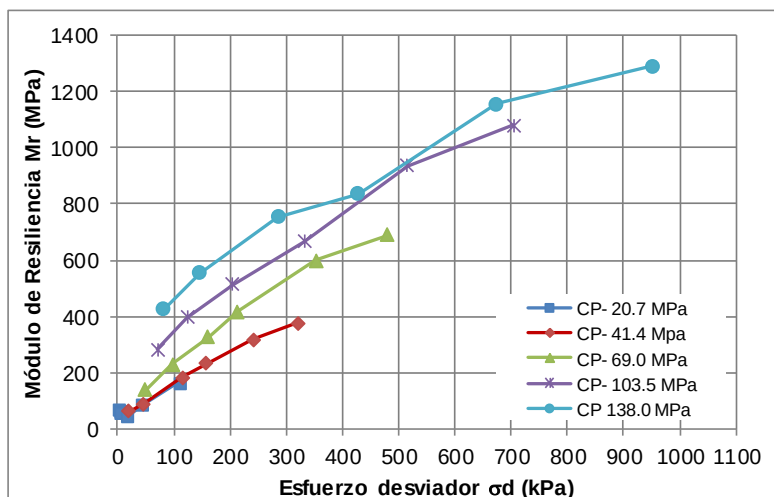
Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con cemento portland y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

Descripción de la muestra: Subbase adicionada con cemento Portland.

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

Muestra No.: SB SC 135      Diámetro (cm): 15.054       $\omega$  (%): 10.120  
No. de capas: 5      Altura (cm): 30.136       $\gamma_m$  (kN/m<sup>3</sup>): 19.469  
No. de golpes por capa: 30      Masa muestra (g): 10601.5       $\gamma_d$  (kN/m<sup>3</sup>): 17.679



**OBSERVACIONES:**

\* Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

\* Fecha de compactación :  
2015-07-17

\* Días de curado: 9

\* El contenido de humedad (w %) y el peso específico ( $\gamma_d$ ) de la muestra debe estar dentro del recuadro de la gráfica de condiciones límite de muestra.

| $\sigma_3$ (kPa) | $\sigma_d$ (kPa) | $\theta$ (kPa) | $M_r$ (MPa) |
|------------------|------------------|----------------|-------------|
| 20.7             | 2.473            | 64.573         | 68.178      |
| 20.7             | 4.432            | 66.532         | 61.577      |
| 20.7             | 3.779            | 65.879         | 61.169      |
| 20.7             | 17.453           | 79.553         | 44.277      |
| 20.7             | 44.086           | 106.186        | 87.015      |
| 20.7             | 110.121          | 172.221        | 166.040     |
| 41.4             | 20.649           | 144.849        | 61.594      |
| 41.4             | 45.992           | 170.192        | 90.079      |
| 41.4             | 114.992          | 239.192        | 182.233     |
| 41.4             | 157.492          | 281.692        | 232.533     |
| 41.4             | 241.172          | 365.372        | 316.662     |
| 41.4             | 321.050          | 445.250        | 376.446     |
| 69               | 49.965           | 256.965        | 138.273     |
| 69               | 97.572           | 304.572        | 231.037     |
| 69               | 160.973          | 367.973        | 327.176     |
| 69               | 214.198          | 421.198        | 415.987     |
| 69               | 352.894          | 559.894        | 599.637     |
| 69               | 479.698          | 686.698        | 690.159     |
| 103.5            | 71.079           | 381.579        | 281.050     |
| 103.5            | 124.038          | 434.538        | 395.301     |
| 103.5            | 204.931          | 515.431        | 514.974     |
| 103.5            | 332.130          | 642.630        | 667.612     |
| 103.5            | 515.896          | 826.396        | 936.163     |
| 103.5            | 704.401          | 1014.901       | 1080.714    |
| 138              | 82.270           | 496.270        | 427.224     |
| 138              | 145.754          | 559.754        | 554.002     |
| 138              | 284.711          | 698.711        | 752.891     |
| 138              | 427.268          | 841.269        | 835.914     |
| 138              | 673.915          | 1087.915       | 1155.662    |
| 138              | 952.484          | 1366.484       | 1289.857    |

Realizó: Elizabeth Parra Alvarez.

Cálculo: Elizabeth Parra Alvarez.

Revisó: Dra. Natalia Pérez García.

Figura B.II.5 Gráfica Mr vs Esfuerzo desviador, muestra subbase-cemento 135, ensaye 5.



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 2015-07-08

Clave de proyecto/Servicio: IE-08/14

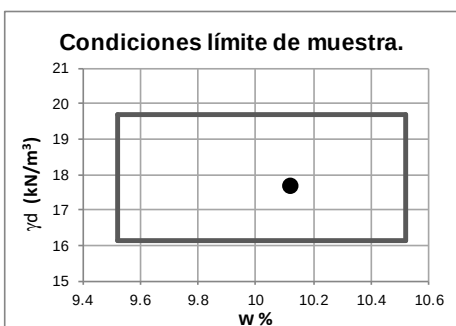
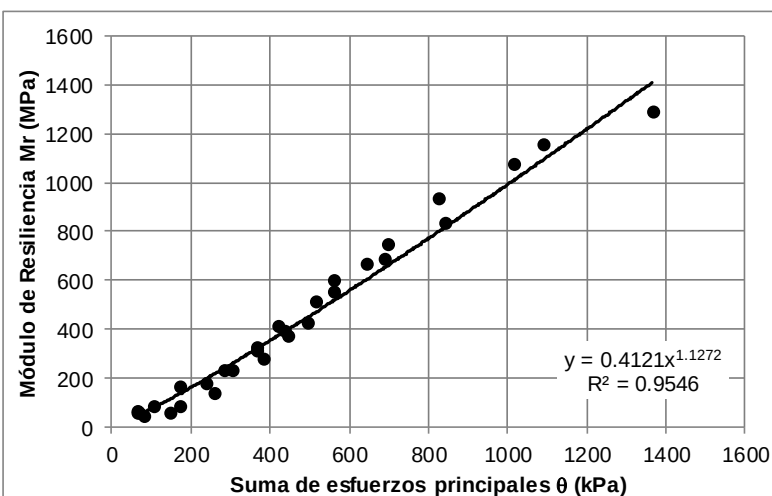
Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con cemento portland y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

Descripción de la muestra: Subbase adicionada con cemento Portland.

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

|                         |           |                   |         |                                  |        |
|-------------------------|-----------|-------------------|---------|----------------------------------|--------|
| Muestra No.:            | SB SC 135 | Diámetro (cm):    | 15.054  | $\omega$ (%):                    | 10.120 |
| No. de capas:           | 5         | Altura (cm):      | 30.136  | $\gamma_m$ (kN/m <sup>3</sup> ): | 19.469 |
| No. de golpes por capa: | 30        | Masa muestra (g): | 10601.5 | $\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> ): | 17.679 |



**OBSERVACIONES:**

\* Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

\* Fecha de compactación :

2015-07-17

\* Días de curado: 9

\* El contenido de humedad ( $w$ %) y el peso específico ( $\gamma_d$ ) de la muestra debe estar dentro del recuadro de la gráfica de condiciones límite de muestra.

Realizó: Elizabeth Parra Alvarez.

Cálculo: Elizabeth Parra Alvarez.

Revisó: Dra. Natalia Pérez García.

| $\sigma_3$ (kPa) | $\sigma_1$ (kPa) | $\theta$ (kPa) | $M_r$ (MPa) |
|------------------|------------------|----------------|-------------|
| 20.7             | 2.473            | 64.573         | 68.178      |
| 20.7             | 4.432            | 66.532         | 61.577      |
| 20.7             | 3.779            | 65.879         | 61.169      |
| 20.7             | 17.453           | 79.553         | 44.277      |
| 20.7             | 44.086           | 106.186        | 87.015      |
| 20.7             | 110.121          | 172.221        | 166.040     |
| 41.4             | 20.649           | 144.849        | 61.594      |
| 41.4             | 45.992           | 170.192        | 90.079      |
| 41.4             | 114.992          | 239.192        | 182.233     |
| 41.4             | 157.492          | 281.692        | 232.533     |
| 41.4             | 241.172          | 365.372        | 316.662     |
| 41.4             | 321.050          | 445.250        | 376.446     |
| 69               | 49.965           | 256.965        | 138.273     |
| 69               | 97.572           | 304.572        | 231.037     |
| 69               | 160.973          | 367.973        | 327.176     |
| 69               | 214.198          | 421.198        | 415.987     |
| 69               | 352.894          | 559.894        | 599.637     |
| 69               | 479.698          | 686.698        | 690.159     |
| 103.5            | 71.079           | 381.579        | 281.050     |
| 103.5            | 124.038          | 434.538        | 395.301     |
| 103.5            | 204.931          | 515.431        | 514.974     |
| 103.5            | 332.130          | 642.630        | 667.612     |
| 103.5            | 515.896          | 826.396        | 936.163     |
| 103.5            | 704.401          | 1014.901       | 1080.714    |
| 138              | 82.270           | 496.270        | 427.224     |
| 138              | 145.754          | 559.754        | 554.002     |
| 138              | 284.711          | 698.711        | 752.891     |
| 138              | 427.268          | 841.269        | 835.914     |
| 138              | 673.915          | 1087.915       | 1155.662    |
| 138              | 952.484          | 1366.484       | 1289.857    |

Figura B.II.6 Gráfica  $M_r$  vs Esfuerzos totales, muestra subbase-cemento 135, ensaye 5.



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 2015-04-29

Clave de proyecto/Servicio: IE-08/14

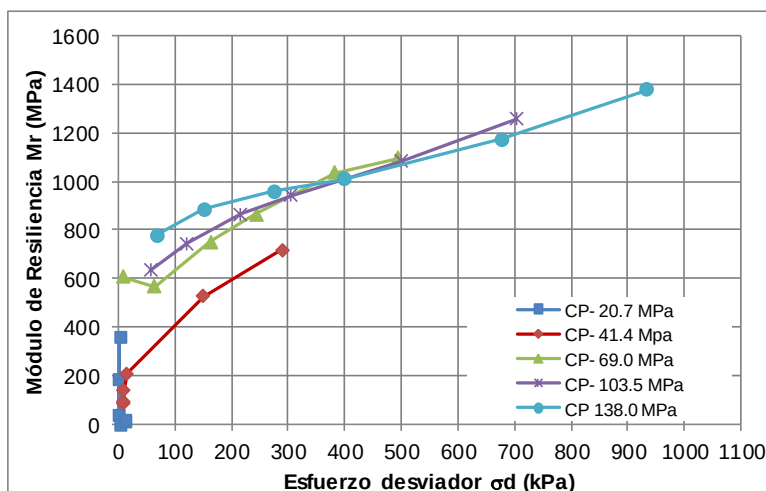
Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con cemento portland y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

Descripción de la muestra: Subbase adicionada con cemento Portland.

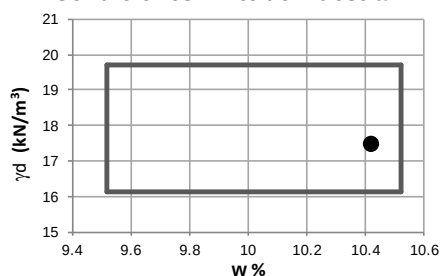
**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

Muestra No.: SB SC+R 094      Diámetro (cm): 15.04       $\omega$  (%): 10.420  
No. de capas: 5      Altura (cm): 30.042       $\gamma_m$  (kN/m³): 19.295  
No. de golpes por capa: 30      Masa muestra (g): 10495       $\gamma_d$  (kN/m³): 17.475



| $\sigma_3$ (kPa) | $\sigma_d$ (kPa) | $\theta$ (kPa) | $M_r$ (MPa) |
|------------------|------------------|----------------|-------------|
| 20.7             | 1.236            | 63.336         | 188.886     |
| 20.7             | 1.878            | 63.978         | 39.589      |
| 20.7             | 2.207            | 64.307         | 358.716     |
| 20.7             | 2.139            | 64.239         | 0.001       |
| 20.7             | 11.996           | 74.096         | 10.239      |
| 20.7             | 12.780           | 74.880         | 21.480      |
| 41.4             | 8.485            | 132.685        | 85.669      |
| 41.4             | 9.154            | 133.354        | 92.040      |
| 41.4             | 9.810            | 134.010        | 138.508     |
| 41.4             | 15.434           | 139.634        | 208.602     |
| 41.4             | 150.512          | 274.712        | 528.489     |
| 41.4             | 289.487          | 413.687        | 718.264     |
| 69               | 8.599            | 215.599        | 606.353     |
| 69               | 64.050           | 271.050        | 566.804     |
| 69               | 163.760          | 370.760        | 752.097     |
| 69               | 243.872          | 450.872        | 866.326     |
| 69               | 382.724          | 589.724        | 1035.850    |
| 69               | 494.713          | 701.713        | 1095.886    |
| 103.5            | 57.827           | 368.327        | 635.677     |
| 103.5            | 121.639          | 432.139        | 743.741     |
| 103.5            | 216.569          | 527.069        | 865.749     |
| 103.5            | 304.899          | 615.399        | 941.199     |
| 103.5            | 498.543          | 809.043        | 1082.920    |
| 103.5            | 702.504          | 1013.004       | 1255.663    |
| 138              | 69.075           | 483.074        | 779.496     |
| 138              | 151.919          | 565.919        | 884.147     |
| 138              | 275.421          | 689.421        | 959.128     |
| 138              | 399.102          | 813.102        | 1008.944    |
| 138              | 676.476          | 1090.476       | 1171.622    |
| 138              | 933.937          | 1347.937       | 1376.986    |

**Condiciones límite de muestra.**



**OBSERVACIONES:**

\* Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

\* Fecha de compactación :  
2015-05-06

\* Días de curado: 7  
\*El contenido de humedad (w %) y el peso específico ( $\gamma_d$ ) de la muestra debe estar dentro del recuadro de la gráfica de condiciones límite de muestra.

Realizó: Elizabeth Parra Alvarez.

Cálculo: Elizabeth Parra Alvarez.

Revisó: Dra. Natalia Pérez García.

Figura B.II.7 Gráfica  $M_r$  vs Esfuerzo desviador, muestra subbase-cemento-zeolita 094, ensaye 1.



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.:

Fecha: 42123

Clave de proyecto/Servicio: IE-08/14

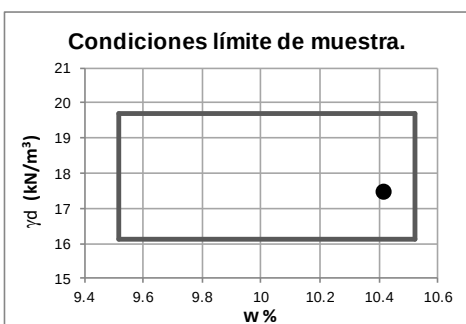
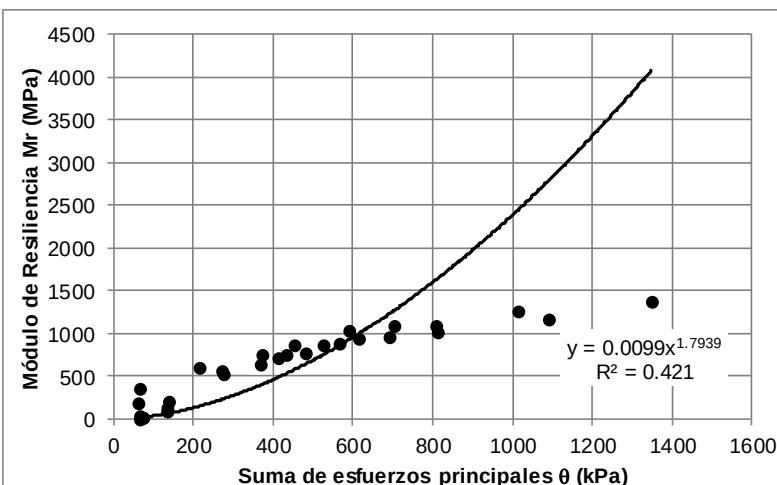
Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con cemento portland y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

Descripción de la muestra: Subbase adicionada con cemento Portland.

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

Muestra No.: sb sc+R 094      Diámetro (cm): 15.04       $\omega$  (%): 10.420  
No. de capas: 5      Altura (cm): 30.042       $\gamma_m$  (kN/m<sup>3</sup>): 19.295  
No. de golpes por capa: 30      Masa muestra (g): 10495       $\gamma_d$  (kN/m<sup>3</sup>): 17.475



**OBSERVACIONES:**

\* Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

\* Fecha de compactación : 2015-05-06

\* Días de curado: 7  
\*El contenido de humedad ( $w$ %) y el peso específico ( $\gamma_d$ ) de la muestra debe estar dentro del recuadro de la gráfica de condiciones límite de muestra.

| $\sigma_3$ (kPa) | $\sigma_d$ (kPa) | $\theta$ (kPa) | $M_r$ (MPa) |
|------------------|------------------|----------------|-------------|
| 20.7             | 1.236            | 63.336         | 188.886     |
| 20.7             | 1.878            | 63.978         | 39.589      |
| 20.7             | 2.207            | 64.307         | 358.716     |
| 20.7             | 2.139            | 64.239         | 0.001       |
| 20.7             | 11.996           | 74.096         | 10.239      |
| 20.7             | 12.780           | 74.880         | 21.480      |
| 41.4             | 8.485            | 132.685        | 85.669      |
| 41.4             | 9.154            | 133.354        | 92.040      |
| 41.4             | 9.810            | 134.010        | 138.508     |
| 41.4             | 15.434           | 139.634        | 208.602     |
| 41.4             | 150.512          | 274.712        | 528.489     |
| 41.4             | 289.487          | 413.687        | 718.264     |
| 69               | 8.599            | 215.599        | 606.353     |
| 69               | 64.050           | 271.050        | 566.804     |
| 69               | 163.760          | 370.760        | 752.097     |
| 69               | 243.872          | 450.872        | 866.326     |
| 69               | 382.724          | 589.724        | 1035.850    |
| 69               | 494.713          | 701.713        | 1095.886    |
| 103.5            | 57.827           | 368.327        | 635.677     |
| 103.5            | 121.639          | 432.139        | 743.741     |
| 103.5            | 216.569          | 527.069        | 865.749     |
| 103.5            | 304.899          | 615.399        | 941.199     |
| 103.5            | 498.543          | 809.043        | 1082.920    |
| 103.5            | 702.504          | 1013.004       | 1255.663    |
| 138              | 69.075           | 483.074        | 779.496     |
| 138              | 151.919          | 565.919        | 884.147     |
| 138              | 275.421          | 689.421        | 959.128     |
| 138              | 399.102          | 813.102        | 1008.944    |
| 138              | 676.476          | 1090.476       | 1171.622    |
| 138              | 933.937          | 1347.937       | 1376.986    |

Realizó: Elizabeth Parra Alvarez.

Cálculo: Elizabeth Parra Alvarez.

Revisó: Dra. Natalia Pérez García.

Figura B.II.8 Gráfica  $M_r$  vs Esfuerzos totales, muestra subbase-cemento-zeolita 094, ensaye 1..



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 2015-04-29

Clave de proyecto/Servicio: IE-08/14

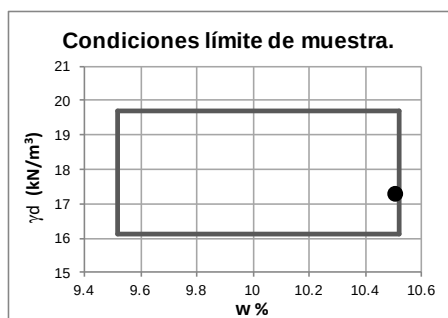
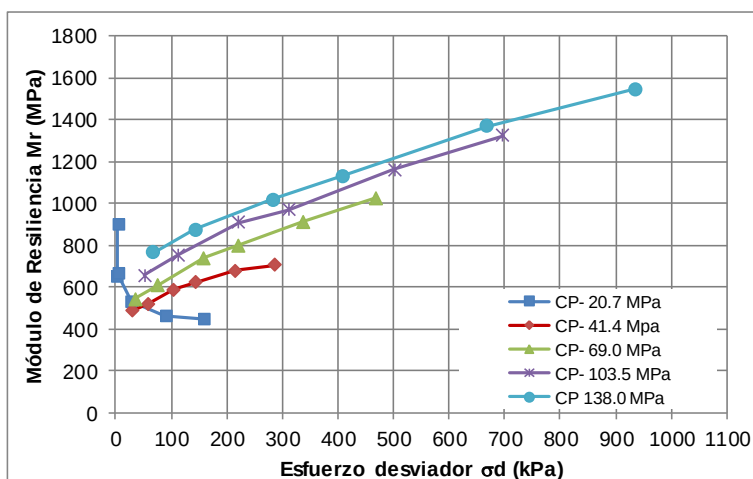
Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con cemento portland y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

Descripción de la muestra: Subbase adicionada con cemento Portland.

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

Muestra No.: sb sc+R 095      Diámetro (cm): 15.04       $\omega$  (%): 10.510  
No. de capas: 5      Altura (cm): 30.06       $\gamma_m$  (kN/m³): 19.086  
No. de golpes por capa: 30      Masa muestra (g): 10379       $\gamma_d$  (kN/m³): 17.271



**OBSERVACIONES:**

\* Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

\* Fecha de compactación :

2015-05-06

\* Días de curado: 7

\*El contenido de humedad (w%) y el peso específico ( $\gamma_d$ ) de la muestra debe estar dentro del recuadro de la gráfica de condiciones límite de muestra.

Realizó: Elizabeth Parra Alvarez.

Cálculo: Elizabeth Parra Alvarez.

Revisó: Dra. Natalia Pérez García.

| $\sigma_3$ (kPa) | $\alpha_d$ (kPa) | $\theta$ (kPa) | $M_r$ (MPa) |
|------------------|------------------|----------------|-------------|
| 20.7             | 3.688            | 65.788         | 902.141     |
| 20.7             | 2.962            | 65.062         | 652.773     |
| 20.7             | 4.187            | 66.287         | 667.690     |
| 20.7             | 28.162           | 90.262         | 531.845     |
| 20.7             | 89.287           | 151.387        | 465.827     |
| 20.7             | 159.145          | 221.245        | 449.310     |
| 41.4             | 28.905           | 153.105        | 487.708     |
| 41.4             | 60.055           | 184.255        | 520.751     |
| 41.4             | 105.523          | 229.723        | 590.600     |
| 41.4             | 143.684          | 267.884        | 622.858     |
| 41.4             | 216.478          | 340.678        | 678.730     |
| 41.4             | 287.459          | 411.659        | 707.024     |
| 69               | 35.707           | 242.707        | 543.463     |
| 69               | 75.328           | 282.328        | 608.028     |
| 69               | 159.129          | 366.129        | 738.591     |
| 69               | 222.064          | 429.064        | 798.340     |
| 69               | 337.950          | 544.950        | 913.522     |
| 69               | 468.741          | 675.741        | 1025.390    |
| 103.5            | 52.662           | 363.162        | 655.163     |
| 103.5            | 113.775          | 424.275        | 754.333     |
| 103.5            | 221.070          | 531.570        | 908.214     |
| 103.5            | 311.125          | 621.625        | 967.910     |
| 103.5            | 502.115          | 812.615        | 1160.940    |
| 103.5            | 696.462          | 1006.962       | 1323.396    |
| 138              | 67.789           | 481.789        | 767.252     |
| 138              | 143.640          | 557.640        | 875.141     |
| 138              | 283.506          | 697.506        | 1017.974    |
| 138              | 409.677          | 823.677        | 1130.953    |
| 138              | 668.495          | 1082.495       | 1368.112    |
| 138              | 936.659          | 1350.659       | 1545.122    |

Figura B.II.9 Gráfica  $M_r$  vs Esfuerzo desviador, muestra subbase-cemento-zeolita 095, ensaye 2.



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 2015-04-29

Clave de proyecto/Servicio: IE-08/14

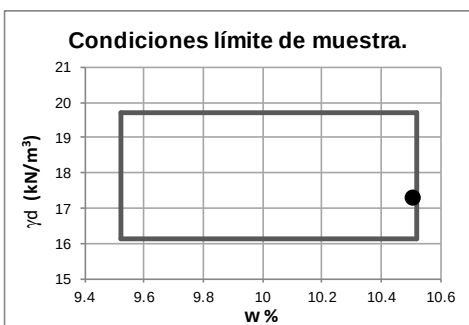
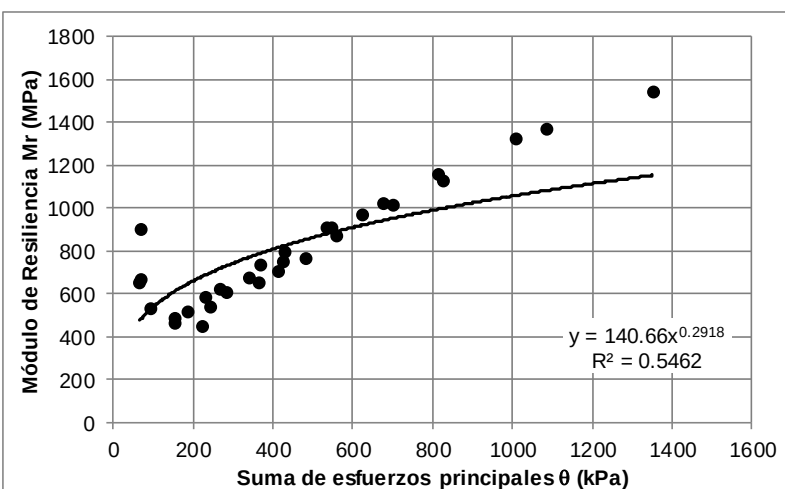
Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con cemento portland y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

Descripción de la muestra: Subbase adicionada con cemento Portland.

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

Muestra No.: sb sc+R 095      Diámetro (cm): 15.04       $\omega$  (%): 10.510  
No. de capas: 5      Altura (cm): 30.06       $\gamma_m$  (kN/m³): 19.086  
No. de golpes por capa: 30      Masa muestra (g): 10379.0       $\gamma_d$  (kN/m³): 17.271



**OBSERVACIONES:**

\* Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

\* Fecha de compactación :  
2015-05-06

\* Días de curado: 7  
\*El contenido de humedad (w%) y el peso específico ( $\gamma_d$ ) de la muestra debe estar dentro del recuadro de la gráfica de condiciones límite de muestra.

Realizó: Elizabeth Parra Alvarez.

Cálculo: Elizabeth Parra Alvarez.

Revisó: Dra. Natalia Pérez García.

| $\sigma_3$ (kPa) | $\sigma_1$ (kPa) | $\theta$ (kPa) | $M_r$ (MPa) |
|------------------|------------------|----------------|-------------|
| 20.7             | 3.688            | 65.788         | 902.141     |
| 20.7             | 2.962            | 65.062         | 652.773     |
| 20.7             | 4.187            | 66.287         | 667.690     |
| 20.7             | 28.162           | 90.262         | 531.845     |
| 20.7             | 89.287           | 151.387        | 465.827     |
| 20.7             | 159.145          | 221.245        | 449.310     |
| 41.4             | 28.905           | 153.105        | 487.708     |
| 41.4             | 60.055           | 184.255        | 520.751     |
| 41.4             | 105.523          | 229.723        | 590.600     |
| 41.4             | 143.684          | 267.884        | 622.858     |
| 41.4             | 216.478          | 340.678        | 678.730     |
| 41.4             | 287.459          | 411.659        | 707.024     |
| 69               | 35.707           | 242.707        | 543.463     |
| 69               | 75.328           | 282.328        | 608.028     |
| 69               | 159.129          | 366.129        | 738.591     |
| 69               | 222.064          | 429.064        | 798.340     |
| 69               | 337.950          | 544.950        | 913.522     |
| 69               | 468.741          | 675.741        | 1025.390    |
| 103.5            | 52.662           | 363.162        | 655.163     |
| 103.5            | 113.775          | 424.275        | 754.333     |
| 103.5            | 221.070          | 531.570        | 908.214     |
| 103.5            | 311.125          | 621.625        | 967.910     |
| 103.5            | 502.115          | 812.615        | 1160.940    |
| 103.5            | 696.462          | 1006.962       | 1323.396    |
| 138              | 67.789           | 481.789        | 767.252     |
| 138              | 143.640          | 557.640        | 875.141     |
| 138              | 283.506          | 697.506        | 1017.974    |
| 138              | 409.677          | 823.677        | 1130.953    |
| 138              | 668.495          | 1082.495       | 1368.112    |
| 138              | 936.659          | 1350.659       | 1545.122    |

Figura B.II.10 Gráfica  $M_r$  vs Esfuerzos totales, muestra subbase-cemento-zeolita 095, ensaye 2.



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 2015-07-02

Clave de proyecto/Servicio: IE-08/14

Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con cemento portland y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

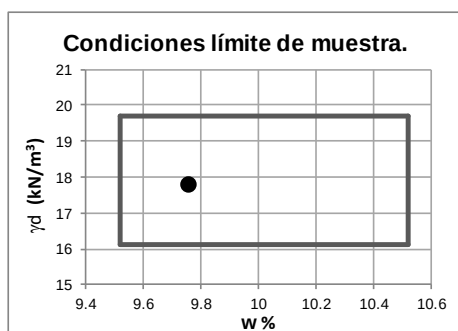
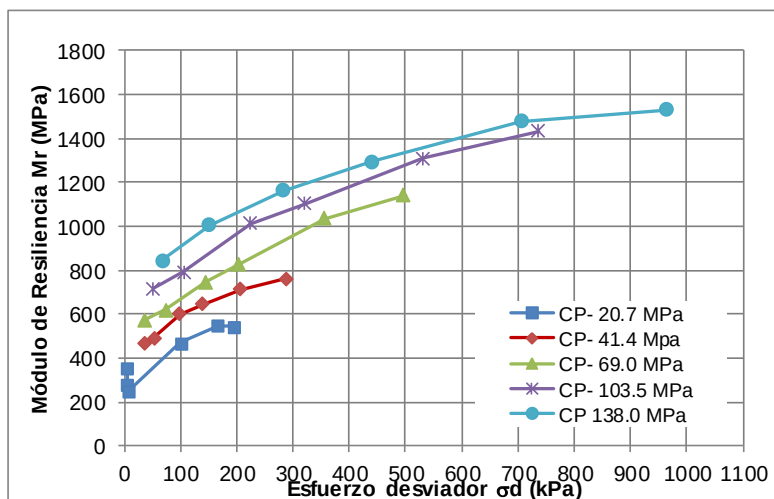
Descripción de la muestra: Subbase adicionada con cemento Portland.

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

Muestra No.: SB SC+R 124      Diámetro (cm): 15.04       $\omega$  (%): 9.760

No. de capas: 5      Altura (cm): 30.04       $\gamma_m$  (kN/m³): 19.515

No. de golpes por capa: 30      Masa muestra (g): 10634.00       $\gamma_d$  (kN/m³): 17.780



**OBSERVACIONES:**

\* Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

\* Fecha de compactación : 2015-07-09

\* Días de curado: 7

\* El contenido de humedad (w%) y el peso específico ( $\gamma_d$ ) de la muestra debe estar dentro del recuadro de la gráfica de condiciones límite de muestra.

| $\sigma_3$ (kPa) | $\sigma_d$ (kPa) | $\theta$ (kPa) | $M_r$ (MPa) |
|------------------|------------------|----------------|-------------|
| 20.7             | 4.610            | 66.710         | 356.486     |
| 20.7             | 4.737            | 66.837         | 276.754     |
| 20.7             | 6.986            | 69.086         | 248.001     |
| 20.7             | 99.512           | 161.612        | 469.320     |
| 20.7             | 165.168          | 227.268        | 548.745     |
| 20.7             | 195.364          | 257.464        | 543.775     |
| 41.4             | 35.379           | 159.579        | 465.614     |
| 41.4             | 53.219           | 177.419        | 490.072     |
| 41.4             | 98.092           | 222.292        | 601.565     |
| 41.4             | 139.617          | 263.817        | 645.294     |
| 41.4             | 206.513          | 330.713        | 712.199     |
| 41.4             | 288.268          | 412.468        | 760.933     |
| 69               | 37.298           | 244.298        | 574.421     |
| 69               | 73.027           | 280.027        | 620.500     |
| 69               | 144.736          | 351.736        | 744.755     |
| 69               | 202.186          | 409.186        | 827.057     |
| 69               | 355.694          | 562.694        | 1035.831    |
| 69               | 496.595          | 703.595        | 1141.062    |
| 103.5            | 52.346           | 362.846        | 715.224     |
| 103.5            | 105.468          | 415.968        | 791.396     |
| 103.5            | 223.703          | 534.203        | 1011.190    |
| 103.5            | 321.330          | 631.830        | 1101.291    |
| 103.5            | 532.129          | 842.629        | 1310.714    |
| 103.5            | 735.802          | 1046.302       | 1432.599    |
| 138              | 67.378           | 481.378        | 843.976     |
| 138              | 151.472          | 565.472        | 1007.169    |
| 138              | 283.445          | 697.445        | 1161.580    |
| 138              | 440.438          | 854.438        | 1293.770    |
| 138              | 705.251          | 1119.251       | 1476.603    |
| 138              | 964.732          | 1378.732       | 1529.772    |

Realizó: Elizabeth Parra Alvarez.

Cálculo: Elizabeth Parra Alvarez.

Revisó: Dra. Natalia Pérez García.

Figura B.II.11 Gráfica  $M_r$  vs Esfuerzo desviador, muestra subbase-cemento-zeolita 124, ensaye 4.



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 2015-07-02

Clave de proyecto/Servicio: IE-08/14

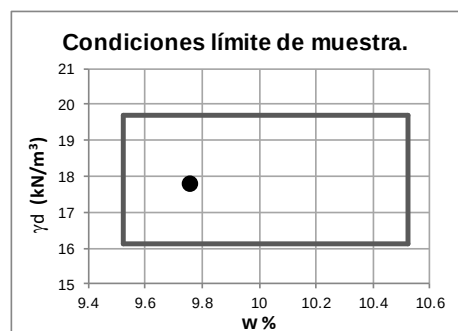
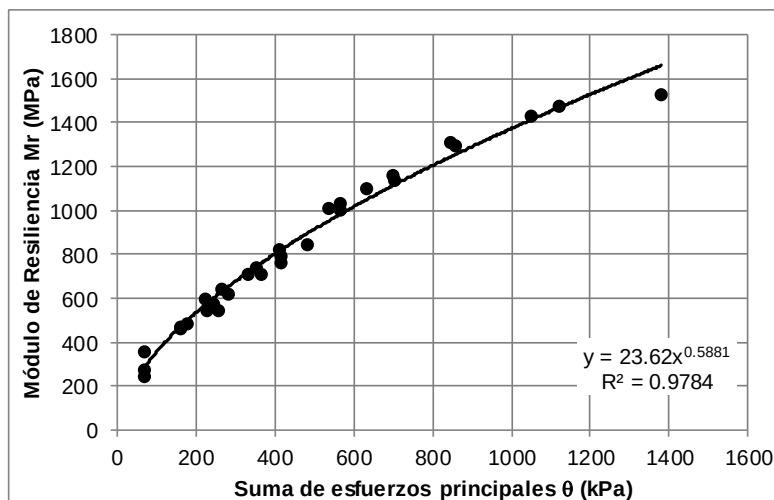
Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con cemento portland y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

Descripción de la muestra: Subbase adicionada con cemento Portland.

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

Muestra No.: SB SC+R 124      Diámetro (cm): 15.04       $\omega$  (%): 9.760  
No. de capas: 5      Altura (cm): 30.04       $\gamma_m$  (kN/m<sup>3</sup>): 19.515  
No. de golpes por capa: 30      Masa muestra (g): 10634.00       $\gamma_d$  (kN/m<sup>3</sup>): 17.780



**OBSERVACIONES:**

\* Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

\* Fecha de compactación : 2015-07-09

\* Días de curado: 7  
\* El contenido de humedad ( $w$ %) y el peso específico ( $\gamma_d$ ) de la muestra debe estar dentro del recuadro de la gráfica de condiciones límite de muestra.

Realizó: Elizabeth Parra Alvarez.

Cálculo: Elizabeth Parra Alvarez.

Revisó: Dra. Natalia Pérez García.

| $\sigma_3$ (kPa) | $\sigma_d$ (kPa) | $\theta$ (kPa) | $M_r$ (MPa) |
|------------------|------------------|----------------|-------------|
| 20.7             | 4.610            | 66.710         | 356.486     |
| 20.7             | 4.737            | 66.837         | 276.754     |
| 20.7             | 6.986            | 69.086         | 248.001     |
| 20.7             | 99.512           | 161.612        | 469.320     |
| 20.7             | 165.168          | 227.268        | 548.745     |
| 20.7             | 195.364          | 257.464        | 543.775     |
| 41.4             | 35.379           | 159.579        | 465.614     |
| 41.4             | 53.219           | 177.419        | 490.072     |
| 41.4             | 98.092           | 222.292        | 601.565     |
| 41.4             | 139.617          | 263.817        | 645.294     |
| 41.4             | 206.513          | 330.713        | 712.199     |
| 41.4             | 288.268          | 412.468        | 760.933     |
| 69               | 37.298           | 244.298        | 574.421     |
| 69               | 73.027           | 280.027        | 620.500     |
| 69               | 144.736          | 351.736        | 744.755     |
| 69               | 202.186          | 409.186        | 827.057     |
| 69               | 355.694          | 562.694        | 1035.831    |
| 69               | 496.595          | 703.595        | 1141.062    |
| 103.5            | 52.346           | 362.846        | 715.224     |
| 103.5            | 105.468          | 415.968        | 791.396     |
| 103.5            | 223.703          | 534.203        | 1011.190    |
| 103.5            | 321.330          | 631.830        | 1101.291    |
| 103.5            | 532.129          | 842.629        | 1310.714    |
| 103.5            | 735.802          | 1046.302       | 1432.599    |
| 138              | 67.378           | 481.378        | 843.976     |
| 138              | 151.472          | 565.472        | 1007.169    |
| 138              | 283.445          | 697.445        | 1161.580    |
| 138              | 440.438          | 854.438        | 1293.770    |
| 138              | 705.251          | 1119.251       | 1476.603    |
| 138              | 964.732          | 1378.732       | 1529.772    |

Figura B.II.12 Gráfica  $M_r$  vs Esfuerzos totales, muestra subbase-cemento-zeolita 124, ensaye 4.



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 2015-07-02

Clave de proyecto/Servicio: IE-08/14

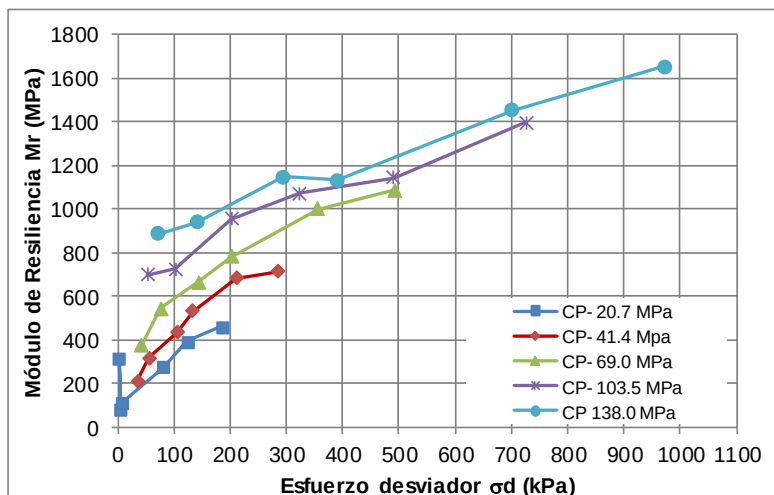
Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con cemento portland y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

Descripción de la muestra: Subbase adicionada con cemento Portland.

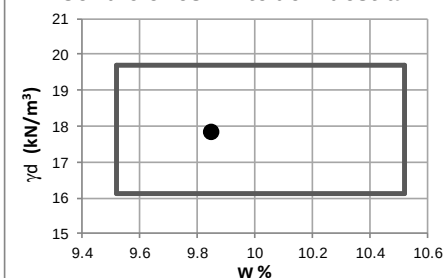
**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

Muestra No.: SB SC+R 125      Diámetro (cm): 15.055       $\omega$  (%): 9.850  
No. de capas: 5      Altura (cm): 30.044       $\gamma_m$  (kN/m<sup>3</sup>): 19.593  
No. de golpes por capa: 30      Masa muestra (g): 10635.50       $\gamma_d$  (kN/m<sup>3</sup>): 17.836



| $\sigma_3$ (kPa) | $\sigma_d$ (kPa) | $\theta$ (kPa) | $M_r$ (MPa) |
|------------------|------------------|----------------|-------------|
| 20.7             | 4.489            | 66.589         | 79.405      |
| 20.7             | 1.536            | 63.636         | 319.010     |
| 20.7             | 5.965            | 68.065         | 112.451     |
| 20.7             | 80.956           | 143.056        | 277.722     |
| 20.7             | 124.143          | 186.244        | 393.036     |
| 20.7             | 185.577          | 247.677        | 460.927     |
| 41.4             | 36.037           | 160.237        | 212.302     |
| 41.4             | 55.432           | 179.632        | 317.498     |
| 41.4             | 105.692          | 229.892        | 436.540     |
| 41.4             | 133.823          | 258.023        | 532.771     |
| 41.4             | 211.599          | 335.799        | 682.628     |
| 41.4             | 284.314          | 408.514        | 714.080     |
| 69               | 42.441           | 249.441        | 379.200     |
| 69               | 76.003           | 283.003        | 542.131     |
| 69               | 144.230          | 351.230        | 664.492     |
| 69               | 203.092          | 410.092        | 781.410     |
| 69               | 356.133          | 563.133        | 998.370     |
| 69               | 493.066          | 700.066        | 1087.815    |
| 103.5            | 53.170           | 363.670        | 699.559     |
| 103.5            | 103.015          | 413.515        | 723.312     |
| 103.5            | 202.432          | 512.932        | 954.131     |
| 103.5            | 323.578          | 634.078        | 1071.455    |
| 103.5            | 490.030          | 800.530        | 1142.640    |
| 103.5            | 726.034          | 1036.534       | 1395.498    |
| 138              | 71.981           | 485.981        | 887.776     |
| 138              | 141.669          | 555.669        | 940.205     |
| 138              | 295.223          | 709.223        | 1147.583    |
| 138              | 391.216          | 805.216        | 1132.468    |
| 138              | 701.407          | 1115.407       | 1452.570    |
| 138              | 971.035          | 1385.035       | 1651.570    |

**Condiciones límite de muestra.**



**OBSERVACIONES:**

\* Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

\* Fecha de compactación :  
2015-07-09

\* Días de curado: 7  
\*El contenido de humedad (w %) y el peso específico ( $\gamma_d$ ) de la muestra debe estar dentro del recuadro de la gráfica de condiciones límite de muestra.

Realizó: Elizabeth Parra Alvarez.

Cálculo: Elizabeth Parra Alvarez.

Revisó: Dra. Natalia Pérez García.

Figura B.II.13 Gráfica Mr vs Esfuerzo desviador, muestra subbase-cemento-zeolita 125, ensaye 5.



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 2015-07-02

Clave de proyecto/Servicio: IE-08/14

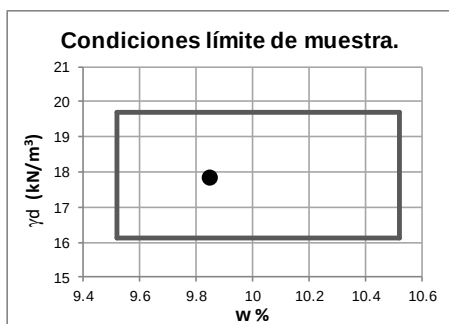
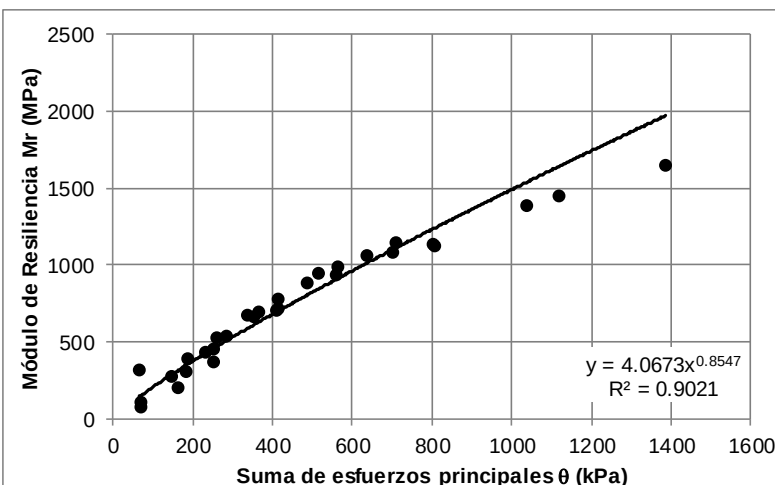
Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con cemento portland y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

Descripción de la muestra: Subbase adicionada con cemento Portland.

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

Muestra No.: SB SC+R 125      Diámetro (cm): 15.055       $\omega$  (%): 9.850  
No. de capas: 5      Altura (cm): 30.044       $\gamma_m$  (kN/m<sup>3</sup>): 19.593  
No. de golpes por capa: 30      Masa muestra (g): 10635.50       $\gamma_d$  (kN/m<sup>3</sup>): 17.836



**OBSERVACIONES:**

\* Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

\* Fecha de compactación : 2015-07-09

7

\*El contenido de humedad ( $w$ %) y el peso específico ( $\gamma_d$ ) de la muestra debe estar dentro del recuadro de la gráfica de condiciones límite de muestra.

Realizó: Elizabeth Parra Alvarez.

Cálculo: Elizabeth Parra Alvarez.

Revisó: Dra. Natalia Pérez García.

| $\sigma_3$ (kPa) | $\sigma_d$ (kPa) | $\theta$ (kPa) | $M_r$ (MPa) |
|------------------|------------------|----------------|-------------|
| 20.7             | 4.489            | 66.589         | 79.405      |
| 20.7             | 1.536            | 63.636         | 319.010     |
| 20.7             | 5.965            | 68.065         | 112.451     |
| 20.7             | 80.956           | 143.056        | 277.722     |
| 20.7             | 124.143          | 186.244        | 393.036     |
| 20.7             | 185.577          | 247.677        | 460.927     |
| 41.4             | 36.037           | 160.237        | 212.302     |
| 41.4             | 55.432           | 179.632        | 317.498     |
| 41.4             | 105.692          | 229.892        | 436.540     |
| 41.4             | 133.823          | 258.023        | 532.771     |
| 41.4             | 211.599          | 335.799        | 682.628     |
| 41.4             | 284.314          | 408.514        | 714.080     |
| 69               | 42.441           | 249.441        | 379.200     |
| 69               | 76.003           | 283.003        | 542.131     |
| 69               | 144.230          | 351.230        | 664.492     |
| 69               | 203.092          | 410.092        | 781.410     |
| 69               | 356.133          | 563.133        | 998.370     |
| 69               | 493.066          | 700.066        | 1087.815    |
| 103.5            | 53.170           | 363.670        | 699.559     |
| 103.5            | 103.015          | 413.515        | 723.312     |
| 103.5            | 202.432          | 512.932        | 954.131     |
| 103.5            | 323.578          | 634.078        | 1071.455    |
| 103.5            | 490.030          | 800.530        | 1142.640    |
| 103.5            | 726.034          | 1036.534       | 1395.498    |
| 138              | 71.981           | 485.981        | 887.776     |
| 138              | 141.669          | 555.669        | 940.205     |
| 138              | 295.223          | 709.223        | 1147.583    |
| 138              | 391.216          | 805.216        | 1132.468    |
| 138              | 701.407          | 1115.407       | 1452.570    |
| 138              | 971.035          | 1385.035       | 1651.570    |

Figura B.II.14 Gráfica  $M_r$  vs Esfuerzos totales, muestra subbase-cemento-zeolita 125, ensaye 5.

## **ANEXO B.III MUESTRAS DE 14 DÍAS DE CURADO**





INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 2015-04-21

Clave de proyecto/Servicio: IE-08/14

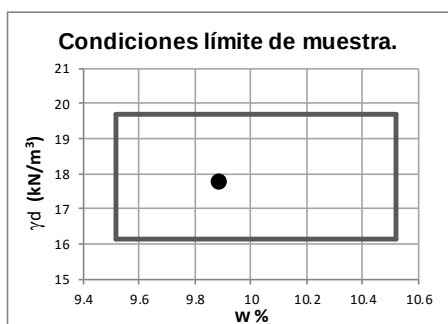
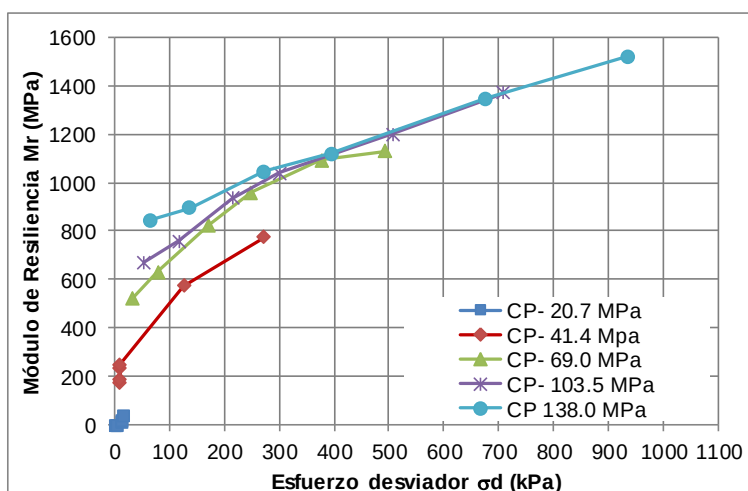
Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con cemento Portland y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

Descripción de la muestra: Subbase adicionada con cemento Portland.

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

Muestra No.: SB SC 072      Diámetro (cm): 15.042       $\omega$  (%): 9.890  
No. de capas: 5      Altura (cm): 30.059       $\gamma_m$  (kN/m<sup>3</sup>): 19.503  
No. de golpes por capa: 30      Masa muestra (g): 10580       $\gamma_d$  (kN/m<sup>3</sup>): 17.749



**OBSERVACIONES:**

\* Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

\* Fecha de compactación :

2015-05-04

\* Días de curado: 13

\* El contenido de humedad (w %) y el peso específico ( $\gamma_d$ ) de la muestra debe estar dentro del recuadro de la gráfica de condiciones límite de muestra.

| $\sigma_3$ (kPa) | $\sigma_d$ (kPa) | $\theta$ (kPa) | $M_r$ (MPa) |
|------------------|------------------|----------------|-------------|
| 20.7             | 1.439            | 63.539         | 0.000       |
| 20.7             | 1.796            | 63.896         | 0.000       |
| 20.7             | 3.273            | 65.373         | 2.908       |
| 20.7             | 11.328           | 73.428         | 10.625      |
| 20.7             | 13.291           | 75.391         | 17.970      |
| 20.7             | 13.420           | 75.520         | 41.844      |
| 41.4             | 7.871            | 132.071        | 174.767     |
| 41.4             | 9.508            | 133.708        | 188.538     |
| 41.4             | 9.708            | 133.908        | 236.748     |
| 41.4             | 9.110            | 133.310        | 248.642     |
| 41.4             | 126.697          | 250.897        | 572.407     |
| 41.4             | 272.753          | 396.953        | 773.534     |
| 69               | 33.818           | 240.818        | 522.367     |
| 69               | 78.547           | 285.547        | 631.401     |
| 69               | 172.110          | 379.110        | 826.524     |
| 69               | 249.110          | 456.110        | 957.629     |
| 69               | 377.609          | 584.609        | 1092.891    |
| 69               | 491.407          | 698.407        | 1131.338    |
| 103.5            | 53.740           | 364.240        | 671.743     |
| 103.5            | 117.970          | 428.470        | 758.145     |
| 103.5            | 214.701          | 525.201        | 934.111     |
| 103.5            | 300.228          | 610.728        | 1040.391    |
| 103.5            | 506.690          | 817.190        | 1200.470    |
| 103.5            | 709.070          | 1019.570       | 1371.178    |
| 138              | 66.220           | 480.220        | 846.190     |
| 138              | 137.120          | 551.120        | 893.668     |
| 138              | 272.231          | 686.231        | 1046.443    |
| 138              | 394.371          | 808.371        | 1118.542    |
| 138              | 676.329          | 1090.329       | 1346.417    |
| 138              | 936.021          | 1350.021       | 1522.731    |

Realizó: Elizabeth Parra Alvarez.

Cálculo: Elizabeth Parra Alvarez.

Revisó: Dra. Natalia Pérez García.

Figura B.III.1 Gráfica  $M_r$  vs Esfuerzo desviador, muestra subbase-cemento 072, ensaye 1.



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 2015-04-21

Clave de proyecto/Servicio: IE-08/14

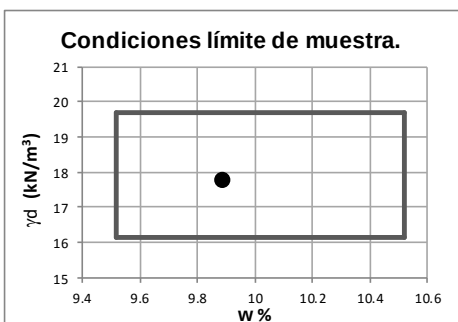
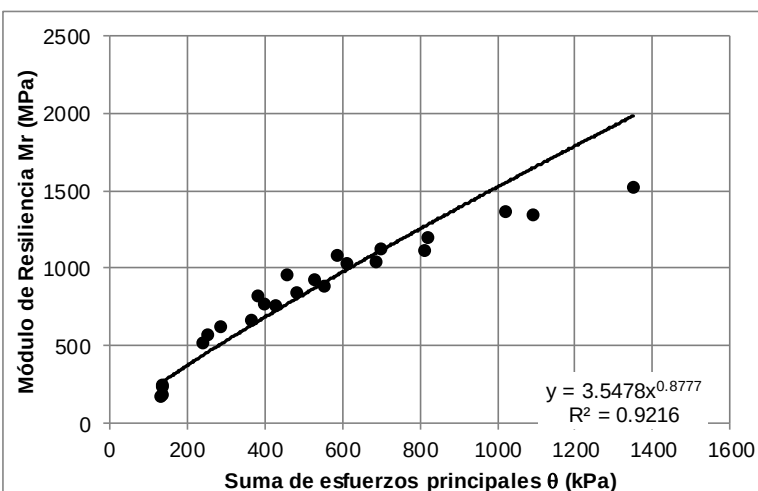
Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con cemento Portland y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

Descripción de la muestra: Subbase adicionada con cemento Portland.

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

Muestra No.: SB SC 072      Diámetro (cm): 15.042       $\omega$  (%): 9.890  
No. de capas: 5      Altura (cm): 30.059       $\gamma_m$  (kN/m<sup>3</sup>): 19.503  
No. de golpes por capa: 30      Masa muestra (g): 10580       $\gamma_d$  (kN/m<sup>3</sup>): 17.749



**OBSERVACIONES:**

\* Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

\* Fecha de compactación :

2015-05-04

\* Días de curado: 13

\* El contenido de humedad (w %) y el peso específico ( $\gamma_d$ ) de la muestra debe estar dentro del recuadro de la gráfica de condiciones límite de muestra.

| $\sigma_3$ (kPa) | $\alpha_1$ (kPa) | $\theta$ (kPa) | $M_r$ (MPa) |
|------------------|------------------|----------------|-------------|
| 20.7             | 1.439            | 63.539         | 0.000       |
| 20.7             | 1.796            | 63.896         | 0.000       |
| 20.7             | 3.273            | 65.373         | 2.908       |
| 20.7             | 11.328           | 73.428         | 10.625      |
| 20.7             | 13.291           | 75.391         | 17.970      |
| 20.7             | 13.420           | 75.520         | 41.844      |
| 41.4             | 7.871            | 132.071        | 174.767     |
| 41.4             | 9.508            | 133.708        | 188.538     |
| 41.4             | 9.708            | 133.908        | 236.748     |
| 41.4             | 9.110            | 133.310        | 248.642     |
| 41.4             | 126.697          | 250.897        | 572.407     |
| 41.4             | 272.753          | 396.953        | 773.534     |
| 69               | 33.818           | 240.818        | 522.367     |
| 69               | 78.547           | 285.547        | 631.401     |
| 69               | 172.110          | 379.110        | 826.524     |
| 69               | 249.110          | 456.110        | 957.629     |
| 69               | 377.609          | 584.609        | 1092.891    |
| 69               | 491.407          | 698.407        | 1131.338    |
| 103.5            | 53.740           | 364.240        | 671.743     |
| 103.5            | 117.970          | 428.470        | 758.145     |
| 103.5            | 214.701          | 525.201        | 934.111     |
| 103.5            | 300.228          | 610.728        | 1040.391    |
| 103.5            | 506.690          | 817.190        | 1200.470    |
| 103.5            | 709.070          | 1019.570       | 1371.178    |
| 138              | 66.220           | 480.220        | 846.190     |
| 138              | 137.120          | 551.120        | 893.668     |
| 138              | 272.231          | 686.231        | 1046.443    |
| 138              | 394.371          | 808.371        | 1118.542    |
| 138              | 676.329          | 1090.329       | 1346.417    |
| 138              | 936.021          | 1350.021       | 1522.731    |

Realizó: Elizabeth Parra Alvarez.

Cálculo: Elizabeth Parra Alvarez.

Revisó: Dra. Natalia Pérez García.

Figura B.III.2 Gráfica Mr vs Esfuerzos totales, muestra subbase-cemento 072, ensaye 1



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 2015-04-21

Clave de proyecto/Servicio: IE-08/14

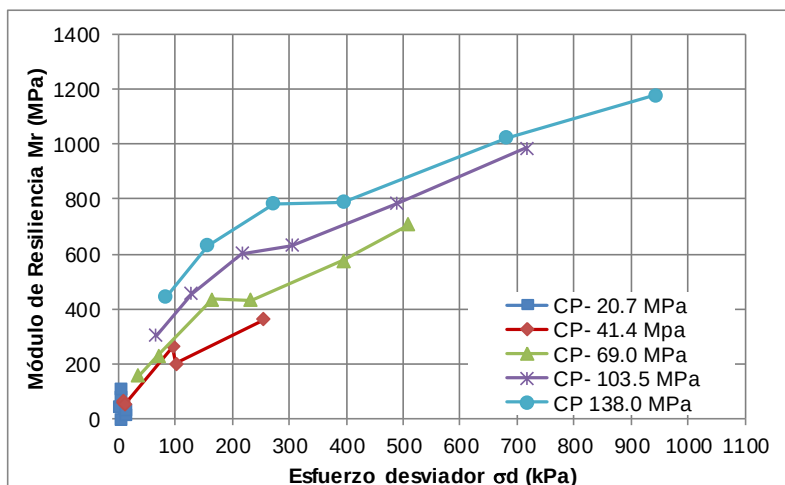
Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con cemento Portland y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

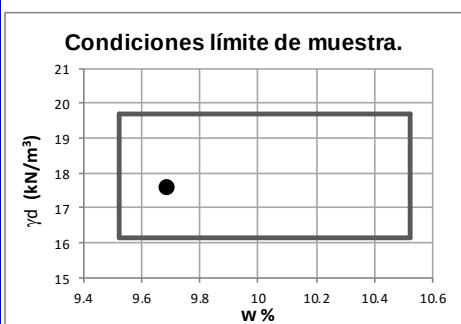
Descripción de la muestra: Subbase adicionada con cemento Portland.

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

Muestra No.: SB SC 073      Diámetro (cm): 15.015       $\omega$  (%): 9.690  
No. de capas: 5      Altura (cm): 30.083       $\gamma_m$  (kN/m<sup>3</sup>): 19.235  
No. de golpes por capa: 30      Masa muestra (g): 10476.5       $\gamma_d$  (kN/m<sup>3</sup>): 17.553



| $\sigma_3$ (kPa) | $\sigma_1$ (kPa) | $\theta$ (kPa) | $M_r$ (MPa) |
|------------------|------------------|----------------|-------------|
| 20.7             | 1.473            | 63.573         | 43.870      |
| 20.7             | 1.786            | 63.886         | 81.824      |
| 20.7             | 2.175            | 64.275         | 0.001       |
| 20.7             | 3.322            | 65.422         | 109.515     |
| 20.7             | 11.711           | 73.811         | 14.875      |
| 20.7             | 12.539           | 74.639         | 34.775      |
| 41.4             | 8.058            | 132.258        | 60.136      |
| 41.4             | 9.014            | 133.214        | 67.077      |
| 41.4             | 10.357           | 134.557        | 50.108      |
| 41.4             | 95.192           | 219.392        | 261.844     |
| 41.4             | 100.714          | 224.914        | 200.819     |
| 41.4             | 255.060          | 379.260        | 361.280     |
| 69               | 34.093           | 241.093        | 157.518     |
| 69               | 70.114           | 277.114        | 230.021     |
| 69               | 164.038          | 371.038        | 433.373     |
| 69               | 232.108          | 439.108        | 433.039     |
| 69               | 394.369          | 601.369        | 574.864     |
| 69               | 508.928          | 715.928        | 707.191     |
| 103.5            | 65.956           | 376.456        | 303.083     |
| 103.5            | 128.016          | 438.516        | 455.361     |
| 103.5            | 217.137          | 527.637        | 602.362     |
| 103.5            | 304.186          | 614.686        | 630.949     |
| 103.5            | 487.245          | 797.745        | 783.805     |
| 103.5            | 716.206          | 1026.706       | 986.199     |
| 138              | 82.356           | 496.356        | 444.585     |
| 138              | 155.435          | 569.435        | 629.664     |
| 138              | 272.282          | 686.282        | 782.663     |
| 138              | 394.117          | 808.117        | 788.259     |
| 138              | 680.912          | 1094.912       | 1023.822    |
| 138              | 944.438          | 1358.438       | 1178.647    |



**OBSERVACIONES:**

\* Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

\* Fecha de compactación :  
2015-05-04

\* Días de curado: 13  
\*El contenido de humedad (w%) y el peso específico ( $\gamma_d$ ) de la muestra debe estar dentro del recuadro de la gráfica de condiciones límite de muestra.

Realizó: Elizabeth Parra Alvarez.

Cálculo: Elizabeth Parra Alvarez.

Revisó: Dra. Natalia Pérez García.

Figura B.III.3 Gráfica  $M_r$  vs Esfuerzo desviador, muestra subbase-cemento 073, ensaye 2.



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 2015-04-21

Clave de proyecto/Servicio: IE-08/14

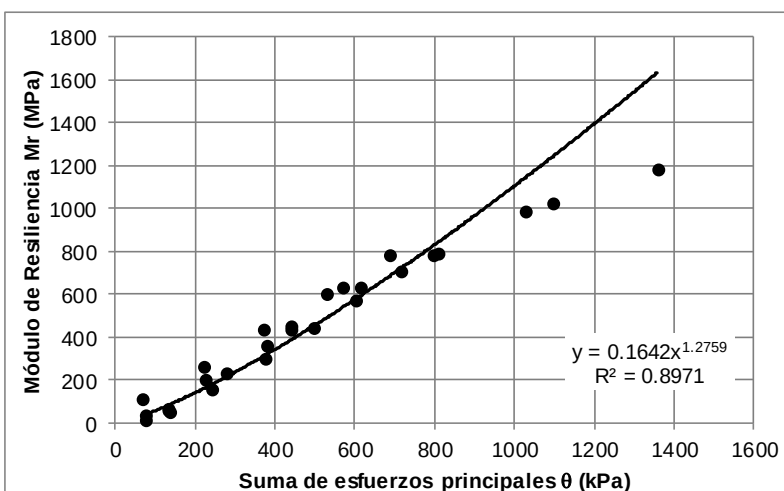
Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con cemento Portland y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

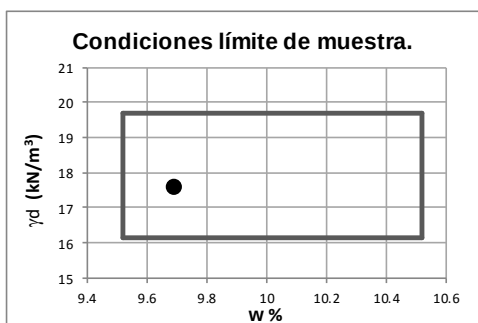
Descripción de la muestra: Subbase adicionada con cemento Portland.

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

Muestra No.: SB SC 073      Diámetro (cm): 15.015       $\omega$  (%): 9.690  
No. de capas: 5      Altura (cm): 30.083       $\gamma_m$  (kN/m³): 19.235  
No. de golpes por capa: 30      Masa muestra (g): 10476.5       $\gamma_d$  (kN/m³): 17.553



| $\sigma_3$ (kPa) | $\sigma_1$ (kPa) | $\theta$ (kPa) | $M_r$ (MPa) |
|------------------|------------------|----------------|-------------|
| 20.7             | 1.473            | 63.573         | 43.870      |
| 20.7             | 1.786            | 63.886         | 81.824      |
| 20.7             | 2.175            | 64.275         | 0.001       |
| 20.7             | 3.322            | 65.422         | 109.515     |
| 20.7             | 11.711           | 73.811         | 14.875      |
| 20.7             | 12.539           | 74.639         | 34.775      |
| 41.4             | 8.058            | 132.258        | 60.136      |
| 41.4             | 9.014            | 133.214        | 67.077      |
| 41.4             | 10.357           | 134.557        | 50.108      |
| 41.4             | 95.192           | 219.392        | 261.844     |
| 41.4             | 100.714          | 224.914        | 200.819     |
| 41.4             | 255.060          | 379.260        | 361.280     |
| 69               | 34.093           | 241.093        | 157.518     |
| 69               | 70.114           | 277.114        | 230.021     |
| 69               | 164.038          | 371.038        | 433.373     |
| 69               | 232.108          | 439.108        | 433.039     |
| 69               | 394.369          | 601.369        | 574.864     |
| 69               | 508.928          | 715.928        | 707.191     |
| 103.5            | 65.956           | 376.456        | 303.083     |
| 103.5            | 128.016          | 438.516        | 455.361     |
| 103.5            | 217.137          | 527.637        | 602.362     |
| 103.5            | 304.186          | 614.686        | 630.949     |
| 103.5            | 487.245          | 797.745        | 783.805     |
| 103.5            | 716.206          | 1026.706       | 986.199     |
| 138              | 82.356           | 496.356        | 444.585     |
| 138              | 155.435          | 569.435        | 629.664     |
| 138              | 272.282          | 686.282        | 782.663     |
| 138              | 394.117          | 808.117        | 788.259     |
| 138              | 680.912          | 1094.912       | 1023.822    |
| 138              | 944.438          | 1358.438       | 1178.647    |



**OBSERVACIONES:**

\* Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

\* Fecha de compactación :  
2015-05-04

\* Días de curado: 13  
\*El contenido de humedad (w %) y el peso específico ( $\gamma_d$ ) de la muestra debe estar dentro del recuadro de la gráfica de condiciones límite de muestra.

Realizó: Elizabeth Parra Alvarez.

Cálculo: Elizabeth Parra Alvarez.

Revisó: Dra. Natalia Pérez García.

Figura B.III.4 Gráfica  $M_r$  vs Esfuerzos totales, muestra subbase-cemento 073, ensaye 2.



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 2015-04-23

Clave de proyecto/Servicio: IE-08/14

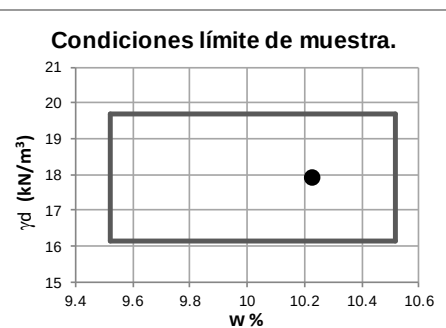
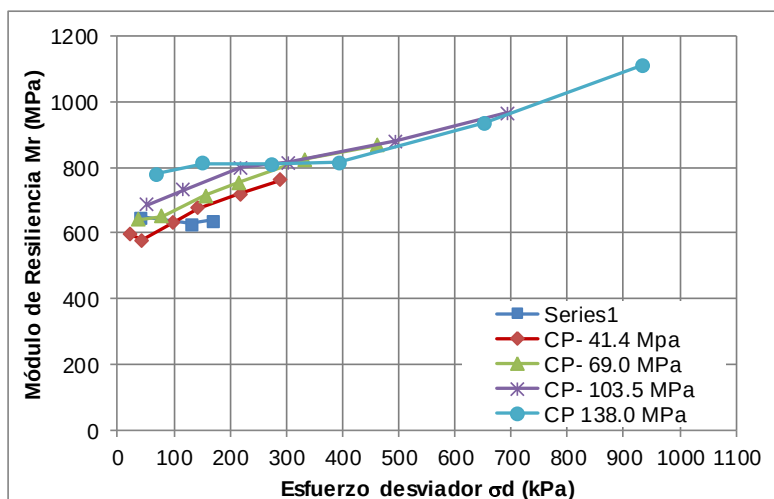
Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con cemento Portland y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

Descripción de la muestra: Subbase adicionada con cemento Portland.

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

Muestra No.: SB SC 087      Diámetro (cm): 15.064       $\omega$  (%): 10.230  
No. de capas: 5      Altura (cm): 30.069       $\gamma_m$  (kN/m<sup>3</sup>): 19.371  
No. de golpes por capa: 30      Masa muestra (g): 10703       $\gamma_d$  (kN/m<sup>3</sup>): 17.899



**OBSERVACIONES:**

\* Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

\* Fecha de compactación : 2015-05-08

\* Días de curado: 15  
\* El contenido de humedad ( $w$ %) y el peso específico ( $\gamma_d$ ) de la muestra debe estar dentro del recuadro de la gráfica de condiciones límite de muestra.

| $\sigma_3$ (kPa) | $\sigma_d$ (kPa) | $\theta$ (kPa) | $M_r$ (MPa) |
|------------------|------------------|----------------|-------------|
| 20.7             | 1.633            | 63.733         | 1034.853    |
| 20.7             | 18.127           | 80.227         | 808.486     |
| 20.7             | 6.331            | 68.431         | 1098.130    |
| 20.7             | 40.738           | 102.838        | 649.769     |
| 20.7             | 129.679          | 191.779        | 629.675     |
| 20.7             | 167.957          | 230.057        | 639.533     |
| 41.4             | 22.470           | 146.670        | 595.077     |
| 41.4             | 44.174           | 168.374        | 579.348     |
| 41.4             | 98.175           | 222.375        | 630.322     |
| 41.4             | 143.401          | 267.601        | 676.935     |
| 41.4             | 218.400          | 342.600        | 719.041     |
| 41.4             | 290.130          | 414.330        | 762.548     |
| 69               | 35.471           | 242.471        | 641.751     |
| 69               | 78.345           | 285.345        | 650.145     |
| 69               | 156.880          | 363.880        | 715.025     |
| 69               | 216.962          | 423.962        | 754.264     |
| 69               | 334.243          | 541.243        | 823.987     |
| 69               | 460.612          | 667.612        | 867.555     |
| 103.5            | 52.667           | 363.167        | 687.410     |
| 103.5            | 116.461          | 426.961        | 731.399     |
| 103.5            | 218.730          | 529.230        | 799.497     |
| 103.5            | 302.465          | 612.965        | 814.204     |
| 103.5            | 494.684          | 805.184        | 879.565     |
| 103.5            | 693.149          | 1003.649       | 965.701     |
| 138              | 68.596           | 482.596        | 780.678     |
| 138              | 151.634          | 565.634        | 811.114     |
| 138              | 275.599          | 689.599        | 809.402     |
| 138              | 394.496          | 808.496        | 815.502     |
| 138              | 653.094          | 1067.094       | 933.997     |
| 138              | 934.453          | 1348.453       | 1111.418    |

Realizó: Elizabeth Parra Alvarez.

Cálculo: Elizabeth Parra Alvarez.

Revisó: Dra. Natalia Pérez García.

Figura B.III.5 Gráfica Mr vs Esfuerzo desviador, muestra subbase-cemento 087, ensaye 3.



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 2015-04-23

Clave de proyecto/Servicio: IE-08/14

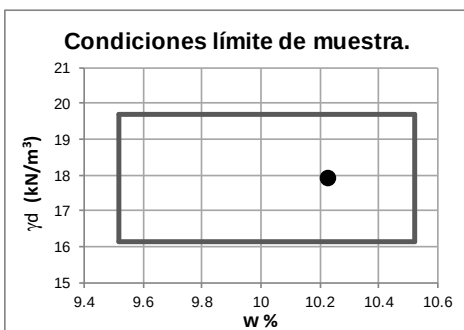
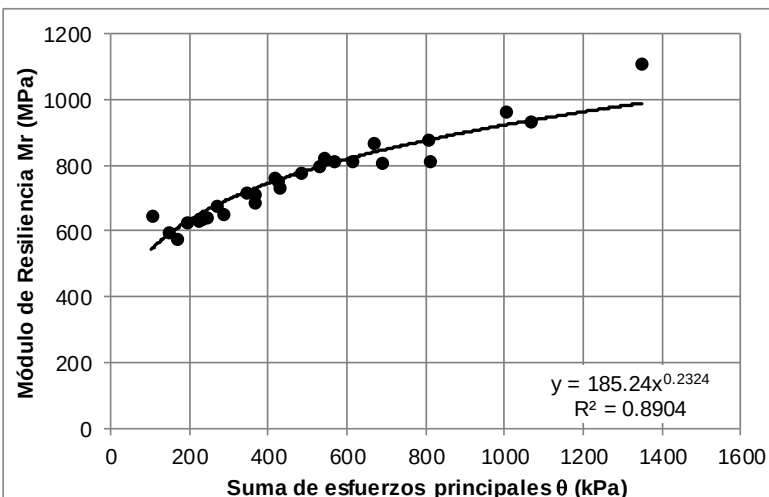
Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con cemento Portland y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

Descripción de la muestra: Subbase adicionada con cemento Portland.

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

|                            |                         |                                         |
|----------------------------|-------------------------|-----------------------------------------|
| Muestra No.: SB SC 087     | Diámetro (cm): 15.064   | $\omega$ (%): 10.230                    |
| No. de capas: 5            | Altura (cm): 30.069     | $\gamma_m$ (kN/m <sup>3</sup> ): 19.371 |
| No. de golpes por capa: 30 | Masa muestra (g): 10703 | $\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> ): 17.899 |



**OBSERVACIONES:**

\* Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

\* Fecha de compactación :  
2015-05-08

\* Días de curado: 15

\* El contenido de humedad (w %) y el peso específico ( $\gamma_d$ ) de la muestra debe estar dentro del recuadro de la gráfica de condiciones límite de muestra.

| $\sigma_3$ (kPa) | $\sigma_d$ (kPa) | $\theta$ (kPa) | $M_r$ (MPa) |
|------------------|------------------|----------------|-------------|
| 20.7             | 1.633            | 63.733         | 1034.853    |
| 20.7             | 18.127           | 80.227         | 808.486     |
| 20.7             | 6.331            | 68.431         | 1098.130    |
| 20.7             | 40.738           | 102.838        | 649.769     |
| 20.7             | 129.679          | 191.779        | 629.675     |
| 20.7             | 167.957          | 230.057        | 639.533     |
| 41.4             | 22.470           | 146.670        | 595.077     |
| 41.4             | 44.174           | 168.374        | 579.348     |
| 41.4             | 98.175           | 222.375        | 630.322     |
| 41.4             | 143.401          | 267.601        | 676.935     |
| 41.4             | 218.400          | 342.600        | 719.041     |
| 41.4             | 290.130          | 414.330        | 762.548     |
| 69               | 35.471           | 242.471        | 641.751     |
| 69               | 78.345           | 285.345        | 650.145     |
| 69               | 156.880          | 363.880        | 715.025     |
| 69               | 216.962          | 423.962        | 754.264     |
| 69               | 334.243          | 541.243        | 823.987     |
| 69               | 460.612          | 667.612        | 867.555     |
| 103.5            | 52.667           | 363.167        | 687.410     |
| 103.5            | 116.461          | 426.961        | 731.399     |
| 103.5            | 218.730          | 529.230        | 799.497     |
| 103.5            | 302.465          | 612.965        | 814.204     |
| 103.5            | 494.684          | 805.184        | 879.565     |
| 103.5            | 693.149          | 1003.649       | 965.701     |
| 138              | 68.596           | 482.596        | 780.678     |
| 138              | 151.634          | 565.634        | 811.114     |
| 138              | 275.599          | 689.599        | 809.402     |
| 138              | 394.496          | 808.496        | 815.502     |
| 138              | 653.094          | 1067.094       | 933.997     |
| 138              | 934.453          | 1348.453       | 1111.418    |

Realizó: Elizabeth Parra Alvarez.

Cálculo: Elizabeth Parra Alvarez.

Revisó: Dra. Natalia Pérez García.

Figura B.III.6 Gráfica  $M_r$  vs Esfuerzos totales, muestra subbase-cemento 087, ensaye 3.



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 2015-04-24

Clave de proyecto/Servicio: IE-08/14

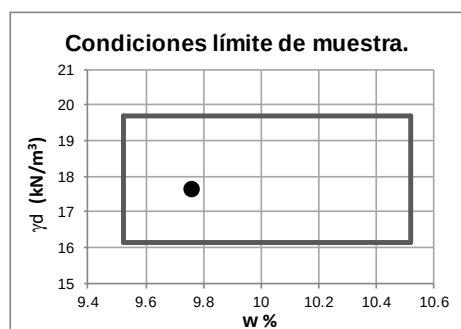
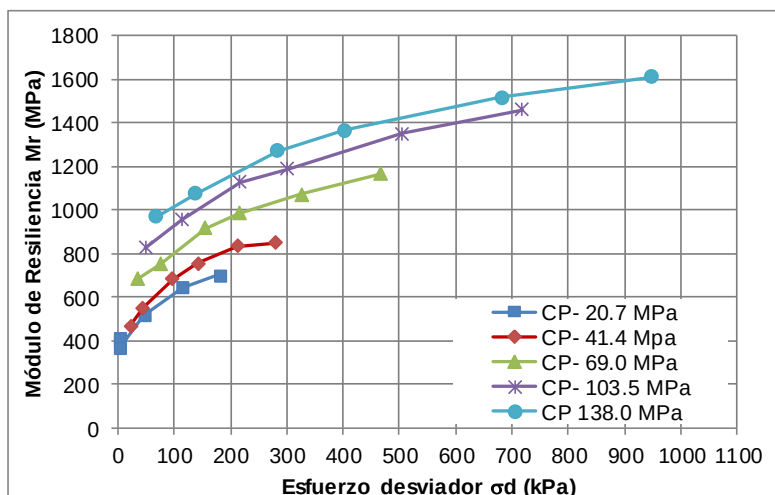
Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con cemento Portlan y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

Descripción de la muestra: Subbase adicionada con cemento Portland y zeolita sintética.

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

Muestra No.: SB SC+R 085      Diámetro (cm): 15.029       $\omega$  (%): 9.760  
No. de capas: 5      Altura (cm): 30.138       $\gamma_m$  (kN/m<sup>3</sup>): 19.300  
No. de golpes por capa: 30      Masa muestra (g): 10477.5       $\gamma_d$  (kN/m<sup>3</sup>): 17.636



**OBSERVACIONES:**

\* Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

\* Fecha de compactación :  
2015-05-07

\* Días de curado: 13  
\*El contenido de humedad (w%) y el peso específico ( $\gamma_d$ ) de la muestra debe estar dentro del recuadro de la gráfica de condiciones límite de muestra.

| $\sigma_3$ (kPa) | $\sigma_d$ (kPa) | $\theta$ (kPa) | $M_r$ (MPa) |
|------------------|------------------|----------------|-------------|
| 20.7             | 3.251            | 65.351         | 398.000     |
| 20.7             | 2.966            | 65.066         | 415.575     |
| 20.7             | 4.078            | 66.178         | 369.134     |
| 20.7             | 46.045           | 108.145        | 517.748     |
| 20.7             | 115.033          | 177.133        | 645.413     |
| 20.7             | 179.754          | 241.854        | 700.271     |
| 41.4             | 22.988           | 147.188        | 469.006     |
| 41.4             | 45.292           | 169.492        | 551.899     |
| 41.4             | 96.836           | 221.036        | 681.919     |
| 41.4             | 142.572          | 266.772        | 755.686     |
| 41.4             | 212.000          | 336.200        | 833.808     |
| 41.4             | 279.918          | 404.118        | 849.286     |
| 69               | 35.365           | 242.365        | 684.131     |
| 69               | 74.919           | 281.919        | 749.501     |
| 69               | 156.132          | 363.132        | 917.184     |
| 69               | 215.764          | 422.764        | 985.533     |
| 69               | 325.870          | 532.870        | 1072.880    |
| 69               | 466.282          | 673.282        | 1165.690    |
| 103.5            | 49.407           | 359.907        | 827.683     |
| 103.5            | 113.228          | 423.728        | 952.861     |
| 103.5            | 216.435          | 526.935        | 1125.997    |
| 103.5            | 301.502          | 612.002        | 1188.988    |
| 103.5            | 505.772          | 816.272        | 1351.833    |
| 103.5            | 717.026          | 1027.526       | 1460.430    |
| 138              | 67.544           | 481.544        | 970.584     |
| 138              | 137.835          | 551.835        | 1076.264    |
| 138              | 284.344          | 698.344        | 1270.222    |
| 138              | 403.499          | 817.499        | 1363.541    |
| 138              | 681.514          | 1095.514       | 1516.884    |
| 138              | 947.309          | 1361.309       | 1610.205    |

Realizó: Elizabeth Parra Alvarez.

Cálculo: Elizabeth Parra Alvarez.

Revisó: Dra. Natalia Pérez García.

Figura B.III.7 Gráfica Mr vs Esfuerzo desviador, muestra subbase-cemento-zeolita 085, ensaye 2.



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 2015-04-24

Clave de proyecto/Servicio: IE-08/14

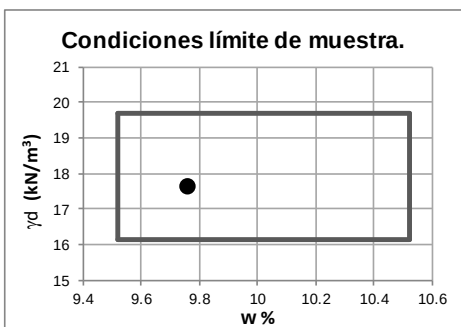
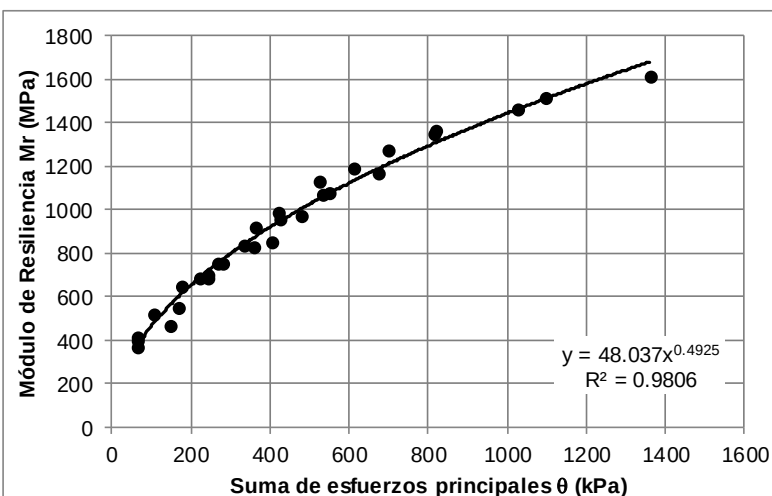
Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con cemento Portlan y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

Descripción de la muestra: Subbase adicionada con cemento Portland y zeolita sintética.

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

Muestra No.: SB SC+R 085      Diámetro (cm): 15.029       $\omega$  (%): 9.760  
No. de capas: 5      Altura (cm): 30.138       $\gamma_m$  (kN/m<sup>3</sup>): 19.300  
No. de golpes por capa: 30      Masa muestra (g): 10477.5       $\gamma_d$  (kN/m<sup>3</sup>): 17.636



**OBSERVACIONES:**

\* Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

\* Fecha de compactación : 2015-05-07

\* Días de curado: 13

\*El contenido de humedad ( $w$ %) y el peso específico ( $\gamma_d$ ) de la muestra debe estar dentro del recuadro de la gráfica de condiciones límite de muestra.

| $\sigma_3$ (kPa) | $\sigma_d$ (kPa) | $\theta$ (kPa) | $M_r$ (MPa) |
|------------------|------------------|----------------|-------------|
| 20.7             | 3.251            | 65.351         | 398.000     |
| 20.7             | 2.966            | 65.066         | 415.575     |
| 20.7             | 4.078            | 66.178         | 369.134     |
| 20.7             | 46.045           | 108.145        | 517.748     |
| 20.7             | 115.033          | 177.133        | 645.413     |
| 20.7             | 179.754          | 241.854        | 700.271     |
| 41.4             | 22.988           | 147.188        | 469.006     |
| 41.4             | 45.292           | 169.492        | 551.899     |
| 41.4             | 96.836           | 221.036        | 681.919     |
| 41.4             | 142.572          | 266.772        | 755.686     |
| 41.4             | 212.000          | 336.200        | 833.808     |
| 41.4             | 279.918          | 404.118        | 849.286     |
| 69               | 35.365           | 242.365        | 684.131     |
| 69               | 74.919           | 281.919        | 749.501     |
| 69               | 156.132          | 363.132        | 917.184     |
| 69               | 215.764          | 422.764        | 985.533     |
| 69               | 325.870          | 532.870        | 1072.880    |
| 69               | 466.282          | 673.282        | 1165.690    |
| 103.5            | 49.407           | 359.907        | 827.683     |
| 103.5            | 113.228          | 423.728        | 952.861     |
| 103.5            | 216.435          | 526.935        | 1125.997    |
| 103.5            | 301.502          | 612.002        | 1188.988    |
| 103.5            | 505.772          | 816.272        | 1351.833    |
| 103.5            | 717.026          | 1027.526       | 1460.430    |
| 138              | 67.544           | 481.544        | 970.584     |
| 138              | 137.835          | 551.835        | 1076.264    |
| 138              | 284.344          | 698.344        | 1270.222    |
| 138              | 403.499          | 817.499        | 1363.541    |
| 138              | 681.514          | 1095.514       | 1516.884    |
| 138              | 947.309          | 1361.309       | 1610.205    |

Realizó: Elizabeth Parra Alvarez.

Cálculo: Elizabeth Parra Alvarez.

Revisó: Dra. Natalia Pérez García.

Figura B.III.8 Gráfica  $M_r$  vs Esfuerzos totales, muestra subbase-cemento-zeolita 085, ensaye 2.



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 2015-04-24

Clave de proyecto/Servicio: IE-08/14

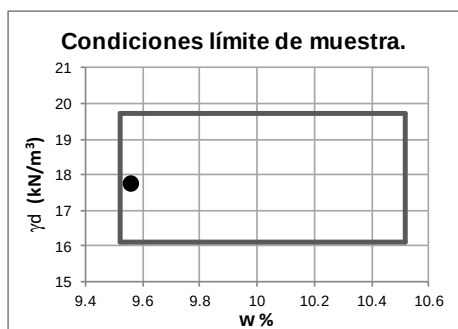
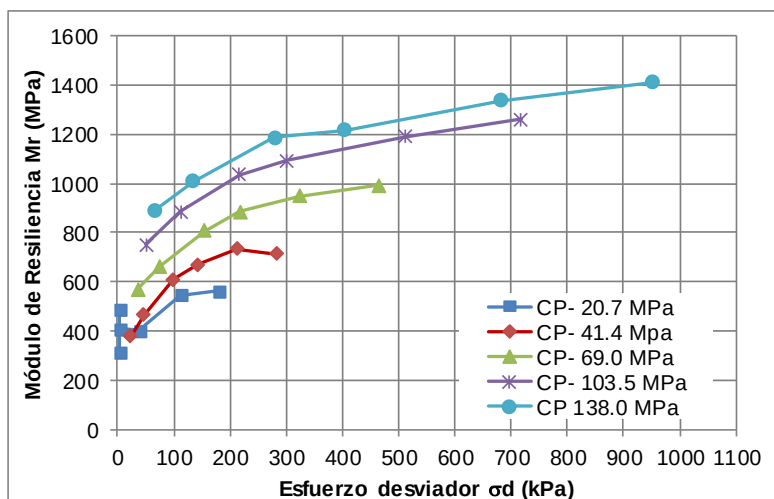
Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con cemento Portlan y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

Descripción de la muestra: Subbase adicionada con cemento Portland y zeolita sintética.

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

Muestra No.: SB SC+R 086      Diámetro (cm): 15.043       $\omega$  (%): 9.560  
No. de capas: 5      Altura (cm): 30.05       $\gamma_m$  (kN/m<sup>3</sup>): 19.430  
No. de golpes por capa: 30      Masa muestra (g): 10537       $\gamma_d$  (kN/m<sup>3</sup>): 17.735



**OBSERVACIONES:**

\* Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

\* Fecha de compactación : 2015-05-07

\* Días de curado: 13

\* El contenido de humedad (w%) y el peso específico ( $\gamma_d$ ) de la muestra debe estar dentro del recuadro de la gráfica de condiciones límite de muestra.

Realizó: Elizabeth Parra Alvarez.

Cálculo: Elizabeth Parra Alvarez.

Revisó: Dra. Natalia Pérez García.

| $\sigma_3$ (kPa) | $\sigma_d$ (kPa) | $\theta$ (kPa) | $M_r$ (MPa) |
|------------------|------------------|----------------|-------------|
| 20.7             | 3.217            | 65.317         | 487.726     |
| 20.7             | 3.359            | 65.459         | 315.697     |
| 20.7             | 4.399            | 66.499         | 411.138     |
| 20.7             | 39.812           | 101.912        | 401.625     |
| 20.7             | 113.053          | 175.153        | 545.502     |
| 20.7             | 181.728          | 243.828        | 565.133     |
| 41.4             | 23.216           | 147.416        | 379.746     |
| 41.4             | 45.805           | 170.005        | 467.482     |
| 41.4             | 99.799           | 223.999        | 610.495     |
| 41.4             | 142.904          | 267.104        | 671.804     |
| 41.4             | 211.459          | 335.659        | 733.351     |
| 41.4             | 282.053          | 406.253        | 715.299     |
| 69               | 35.911           | 242.911        | 571.517     |
| 69               | 75.746           | 282.746        | 663.411     |
| 69               | 154.916          | 361.916        | 808.661     |
| 69               | 217.436          | 424.436        | 884.126     |
| 69               | 323.194          | 530.194        | 948.941     |
| 69               | 466.251          | 673.251        | 991.163     |
| 103.5            | 50.480           | 360.980        | 750.354     |
| 103.5            | 111.894          | 422.394        | 884.774     |
| 103.5            | 216.486          | 526.986        | 1035.084    |
| 103.5            | 301.849          | 612.349        | 1092.845    |
| 103.5            | 510.518          | 821.018        | 1188.952    |
| 103.5            | 717.342          | 1027.843       | 1261.791    |
| 138              | 66.821           | 480.821        | 891.739     |
| 138              | 133.820          | 547.820        | 1010.325    |
| 138              | 280.124          | 694.124        | 1185.148    |
| 138              | 404.208          | 818.208        | 1217.301    |
| 138              | 682.371          | 1096.371       | 1335.628    |
| 138              | 950.498          | 1364.498       | 1410.162    |

Figura B.III.9 Gráfica  $M_r$  vs Esfuerzo desviador, muestra subbase-cemento-zeolita 086, ensaye 3.



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 2015-04-24

Clave de proyecto/Servicio: IE-08/14

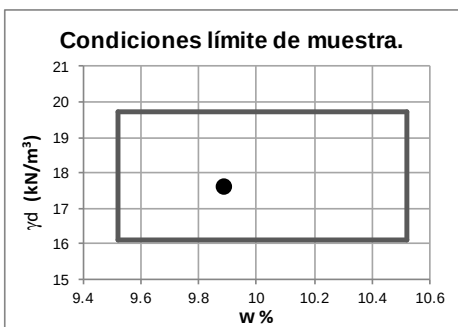
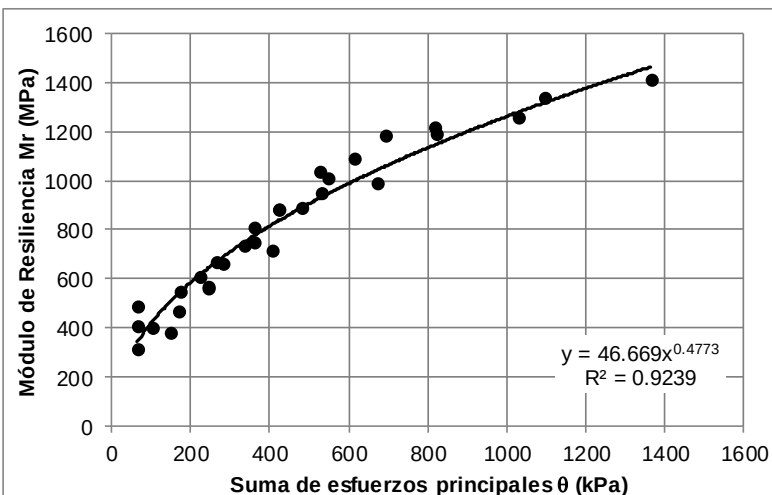
Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con cemento Portlan y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

Descripción de la muestra: Subbase adicionada con cemento Portland y zeolita sintética.

**Subbase adicionada con Cemento Portlan y Zeolitas sintéticas**

Muestra No.: SB SC+R 086      Diámetro (cm): 15.043       $\omega$  (%): 9.560  
No. de capas: 5      Altura (cm): 30.05       $\gamma_m$  (kN/m<sup>3</sup>): 19.430  
No. de golpes por capa: 30      Masa muestra (g): 10537       $\gamma_d$  (kN/m<sup>3</sup>): 17.735



**OBSERVACIONES:**

\* Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

\* Fecha de compactación :

2015-05-07

\* Días de curado: 13

\* El contenido de humedad ( $w$ %) y el peso específico ( $\gamma_d$ ) de la muestra debe estar dentro del recuadro de la gráfica de condiciones límite de muestra.

Realizó: Elizabeth Parra Alvarez.

Cálculo: Elizabeth Parra Alvarez.

Revisó: Dra. Natalia Pérez García.

| $\sigma_3$ (kPa) | $\sigma_d$ (kPa) | $\theta$ (kPa) | $M_r$ (MPa) |
|------------------|------------------|----------------|-------------|
| 20.7             | 3.217            | 65.317         | 487.726     |
| 20.7             | 3.359            | 65.459         | 315.697     |
| 20.7             | 4.399            | 66.499         | 411.138     |
| 20.7             | 39.812           | 101.912        | 401.625     |
| 20.7             | 113.053          | 175.153        | 545.502     |
| 20.7             | 181.728          | 243.828        | 565.133     |
| 41.4             | 23.216           | 147.416        | 379.746     |
| 41.4             | 45.805           | 170.005        | 467.482     |
| 41.4             | 99.799           | 223.999        | 610.495     |
| 41.4             | 142.904          | 267.104        | 671.804     |
| 41.4             | 211.459          | 335.659        | 733.351     |
| 41.4             | 282.053          | 406.253        | 715.299     |
| 69               | 35.911           | 242.911        | 571.517     |
| 69               | 75.746           | 282.746        | 663.411     |
| 69               | 154.916          | 361.916        | 808.661     |
| 69               | 217.436          | 424.436        | 884.126     |
| 69               | 323.194          | 530.194        | 948.941     |
| 69               | 466.251          | 673.251        | 991.163     |
| 103.5            | 50.480           | 360.980        | 750.354     |
| 103.5            | 111.894          | 422.394        | 884.774     |
| 103.5            | 216.486          | 526.986        | 1035.084    |
| 103.5            | 301.849          | 612.349        | 1092.845    |
| 103.5            | 510.518          | 821.018        | 1188.952    |
| 103.5            | 717.342          | 1027.843       | 1261.791    |
| 138              | 66.821           | 480.821        | 891.739     |
| 138              | 133.820          | 547.820        | 1010.325    |
| 138              | 280.124          | 694.124        | 1185.148    |
| 138              | 404.208          | 818.208        | 1217.301    |
| 138              | 682.371          | 1096.371       | 1335.628    |
| 138              | 950.498          | 1364.498       | 1410.162    |

Figura B.III.10 Gráfica  $M_r$  vs Esfuerzos totales, muestra subbase-cemento-zeolita 086, ensaye 3.



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 2015-05-29

Clave de proyecto/Servicio: IE-08/14

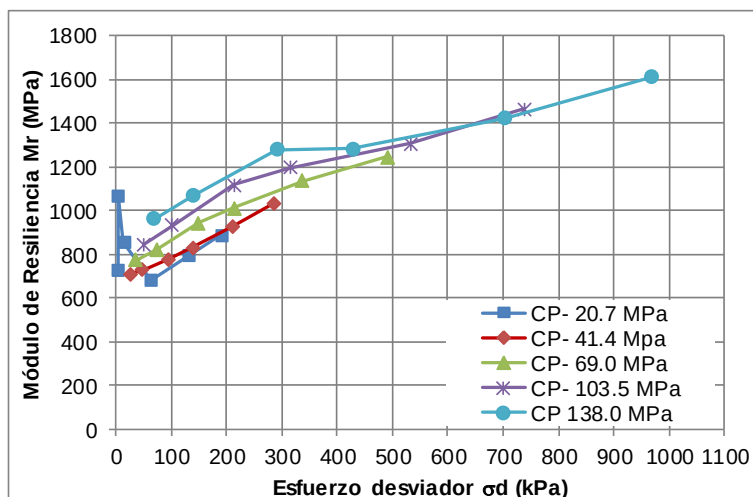
Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con cemento Portlan y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

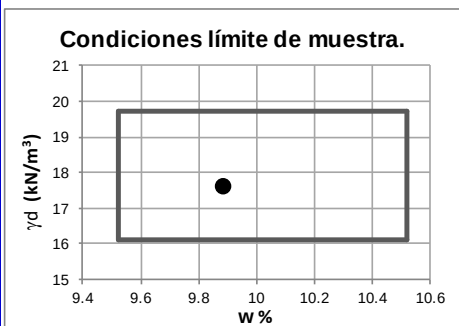
Descripción de la muestra: Subbase adicionada con cemento Portland y zeolita sintética.

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

Muestra No.: SB SC+R 105      Diámetro (cm): 15.083       $\omega$  (%): 9.890  
No. de capas: 5      Altura (cm): 30.093       $\gamma_m$  (kN/m<sup>3</sup>): 19.337  
No. de golpes por capa: 30      Masa muestra (g): 10485.5       $\gamma_d$  (kN/m<sup>3</sup>): 17.597



| $\sigma_3$ (kPa) | $\sigma_d$ (kPa) | $\theta$ (kPa) | $M_r$ (MPa) |
|------------------|------------------|----------------|-------------|
| 20.7             | 3.408            | 65.508         | 728.975     |
| 20.7             | 2.983            | 65.083         | 1071.719    |
| 20.7             | 13.037           | 75.137         | 856.784     |
| 20.7             | 63.058           | 125.158        | 683.429     |
| 20.7             | 130.975          | 193.075        | 795.533     |
| 20.7             | 190.843          | 252.943        | 892.041     |
| 41.4             | 25.732           | 149.932        | 711.071     |
| 41.4             | 47.563           | 171.763        | 728.791     |
| 41.4             | 95.770           | 219.970        | 776.482     |
| 41.4             | 138.673          | 262.873        | 828.369     |
| 41.4             | 212.002          | 336.202        | 927.744     |
| 41.4             | 285.674          | 409.874        | 1032.401    |
| 69               | 35.263           | 242.263        | 774.314     |
| 69               | 74.168           | 281.168        | 822.382     |
| 69               | 149.714          | 356.714        | 943.475     |
| 69               | 212.739          | 419.739        | 1009.459    |
| 69               | 336.395          | 543.395        | 1134.079    |
| 69               | 490.345          | 697.345        | 1243.261    |
| 103.5            | 50.387           | 360.887        | 845.419     |
| 103.5            | 100.686          | 411.186        | 931.140     |
| 103.5            | 213.264          | 523.764        | 1117.538    |
| 103.5            | 314.649          | 625.149        | 1193.918    |
| 103.5            | 532.889          | 843.389        | 1303.313    |
| 103.5            | 737.571          | 1048.071       | 1462.061    |
| 138              | 68.889           | 482.889        | 960.457     |
| 138              | 137.876          | 551.876        | 1068.056    |
| 138              | 290.863          | 704.863        | 1277.052    |
| 138              | 427.433          | 841.433        | 1283.743    |
| 138              | 702.904          | 1116.904       | 1421.231    |
| 138              | 968.077          | 1382.077       | 1610.183    |



**OBSERVACIONES:**

\* Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

\* Fecha de compactación : 2015-06-18

\* Días de curado: 20

\* El contenido de humedad (w %) y el peso específico ( $\gamma_d$ ) de la muestra debe estar dentro del recuadro de la gráfica de condiciones límite de muestra.

Realizó: Elizabeth Parra Alvarez.

Cálculo: Elizabeth Parra Alvarez.

Revisó: Dra. Natalia Pérez García.

Figura B.III.11 Gráfica Mr vs Esfuerzo desviador, muestra subbase-cemento-zeolita 105, ensaye 4.



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 2015-05-29

Clave de proyecto/Servicio: IE-08/14

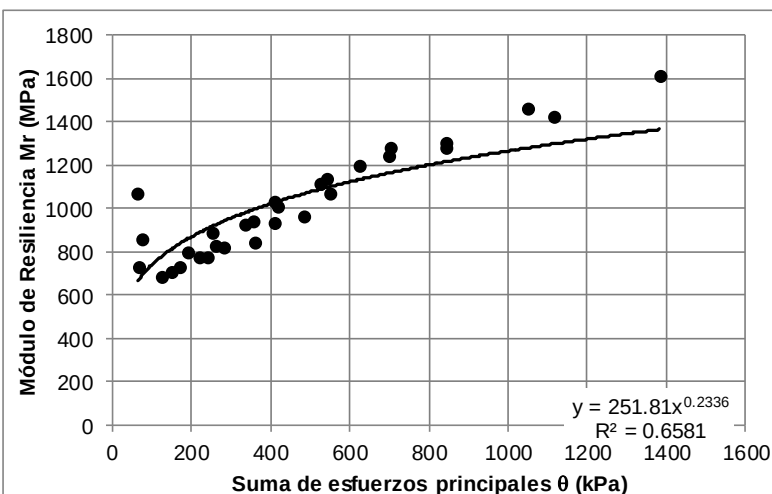
Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con cemento Portlan y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

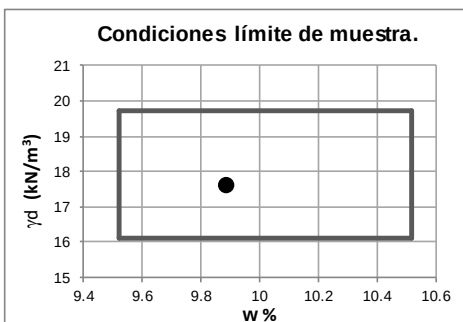
Descripción de la muestra: Subbase adicionada con cemento Portland y zeolita sintética.

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

|                         |             |                   |         |                                  |        |
|-------------------------|-------------|-------------------|---------|----------------------------------|--------|
| Muestra No.:            | SB SC+R 105 | Diámetro (cm):    | 15.083  | $\omega$ (%):                    | 9.890  |
| No. de capas:           | 5           | Altura (cm):      | 30.093  | $\gamma_m$ (kN/m <sup>3</sup> ): | 19.337 |
| No. de golpes por capa: | 30          | Masa muestra (g): | 10485.5 | $\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> ): | 17.597 |



| $\sigma_3$ (kPa) | $\sigma_1$ (kPa) | $\theta$ (kPa) | $M_r$ (MPa) |
|------------------|------------------|----------------|-------------|
| 20.7             | 3.408            | 65.508         | 728.975     |
| 20.7             | 2.983            | 65.083         | 1071.719    |
| 20.7             | 13.037           | 75.137         | 856.784     |
| 20.7             | 63.058           | 125.158        | 683.429     |
| 20.7             | 130.975          | 193.075        | 795.533     |
| 20.7             | 190.843          | 252.943        | 892.041     |
| 41.4             | 25.732           | 149.932        | 711.071     |
| 41.4             | 47.563           | 171.763        | 728.791     |
| 41.4             | 95.770           | 219.970        | 776.482     |
| 41.4             | 138.673          | 262.873        | 828.369     |
| 41.4             | 212.002          | 336.202        | 927.744     |
| 41.4             | 285.674          | 409.874        | 1032.401    |
| 69               | 35.263           | 242.263        | 774.314     |
| 69               | 74.168           | 281.168        | 822.382     |
| 69               | 149.714          | 356.714        | 943.475     |
| 69               | 212.739          | 419.739        | 1009.459    |
| 69               | 336.395          | 543.395        | 1134.079    |
| 69               | 490.345          | 697.345        | 1243.261    |
| 103.5            | 50.387           | 360.887        | 845.419     |
| 103.5            | 100.686          | 411.186        | 931.140     |
| 103.5            | 213.264          | 523.764        | 1117.538    |
| 103.5            | 314.649          | 625.149        | 1193.918    |
| 103.5            | 532.889          | 843.389        | 1303.313    |
| 103.5            | 737.571          | 1048.071       | 1462.061    |
| 138              | 68.889           | 482.889        | 960.457     |
| 138              | 137.876          | 551.876        | 1068.056    |
| 138              | 290.863          | 704.863        | 1277.052    |
| 138              | 427.433          | 841.433        | 1283.743    |
| 138              | 702.904          | 1116.904       | 1421.231    |
| 138              | 968.077          | 1382.077       | 1610.183    |



**OBSERVACIONES:**

\* Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

\* Fecha de compactación : 2015-06-18

\* Días de curado: 20  
\* El contenido de humedad ( $w$ %) y el peso específico ( $\gamma_d$ ) de la muestra debe estar dentro del recuadro de la gráfica de condiciones límite de muestra.

Realizó: Elizabeth Parra Alvarez.

Cálculo: Elizabeth Parra Alvarez.

Revisó: Dra. Natalia Pérez García.

Figura B.III.12 Gráfica  $M_r$  vs Esfuerzos totales, muestra subbase-cemento-zeolita 105, ensaye 4.

## **ANEXO B.IV MUESTRAS DE 28 DÍAS DE CURADO**





INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 2015-04-17

Clave de proyecto/Servicio: IE-08/14

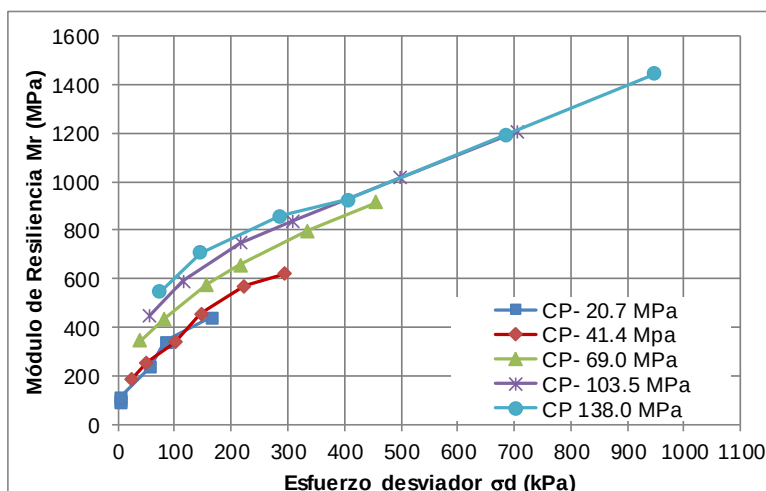
Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con cemento Portland y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

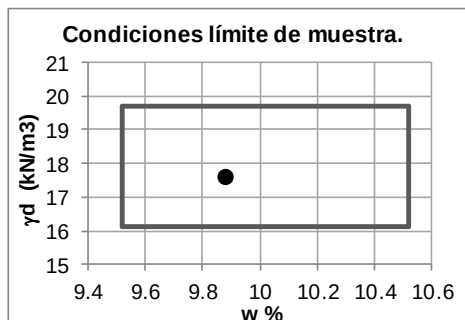
Descripción de la muestra: Subbase adicionada con cemento Portland.

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

Muestra No.: SB SC 064      Diámetro (cm): 15.048       $\omega$  (%): 9.880  
No. de capas: 5      Altura (cm): 30.077       $\gamma_m$  (kN/m<sup>3</sup>): 19.323  
No. de golpes por capa: 30      Masa muestra (g): 10475.5       $\gamma_d$  (kN/m<sup>3</sup>): 17.585



| $\sigma_3$ (kPa) | $\sigma_d$ (kPa) | $\theta$ (kPa) | $M_r$ (MPa) |
|------------------|------------------|----------------|-------------|
| 20.7             | 2.760            | 64.860         | 100.937     |
| 20.7             | 3.003            | 65.103         | 94.433      |
| 20.7             | 4.469            | 66.569         | 116.857     |
| 20.7             | 56.137           | 118.237        | 238.071     |
| 20.7             | 84.222           | 146.322        | 343.518     |
| 20.7             | 164.888          | 226.988        | 443.406     |
| 41.4             | 24.805           | 149.005        | 189.463     |
| 41.4             | 50.176           | 174.376        | 256.443     |
| 41.4             | 100.942          | 225.142        | 340.760     |
| 41.4             | 147.189          | 271.389        | 457.613     |
| 41.4             | 223.238          | 347.438        | 570.792     |
| 41.4             | 293.246          | 417.446        | 621.818     |
| 69               | 38.650           | 245.650        | 346.657     |
| 69               | 81.475           | 288.475        | 435.956     |
| 69               | 156.966          | 363.966        | 576.091     |
| 69               | 215.954          | 422.954        | 658.630     |
| 69               | 335.450          | 542.450        | 797.947     |
| 69               | 456.350          | 663.350        | 914.614     |
| 103.5            | 56.162           | 366.662        | 450.990     |
| 103.5            | 115.777          | 426.277        | 591.723     |
| 103.5            | 216.157          | 526.657        | 748.184     |
| 103.5            | 310.031          | 620.531        | 837.077     |
| 103.5            | 498.172          | 808.672        | 1014.947    |
| 103.5            | 706.728          | 1017.228       | 1208.295    |
| 138              | 73.939           | 487.939        | 547.635     |
| 138              | 144.800          | 558.800        | 707.087     |
| 138              | 285.766          | 699.766        | 857.862     |
| 138              | 406.008          | 820.009        | 925.304     |
| 138              | 685.756          | 1099.756       | 1194.821    |
| 138              | 947.949          | 1361.949       | 1442.723    |



**OBSERVACIONES:**

\* Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

\* Fecha de compactación : 2015-05-14

\* Días de curado: 27  
\* El contenido de humedad (w %) y el peso específico ( $\gamma_d$ ) de la muestra debe estar dentro del recuadro de la gráfica de condiciones límite de muestra.

Realizó: Elizabeth Parra Alvarez.

Cálculo: Elizabeth Parra Alvarez.

Revisó: Dra. Natalia Pérez García.

Figura B.IV.1 Gráfica  $M_r$  vs Esfuerzo desviador, muestra subbase-cemento 064, ensaye 2.



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 2015-04-17

Clave de proyecto/Servicio: IE-08/14

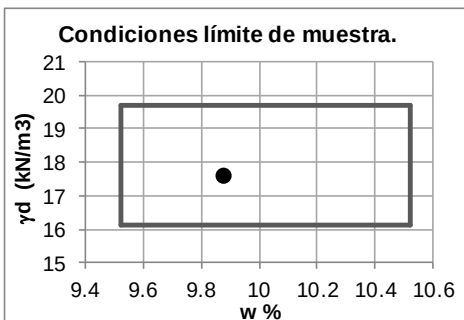
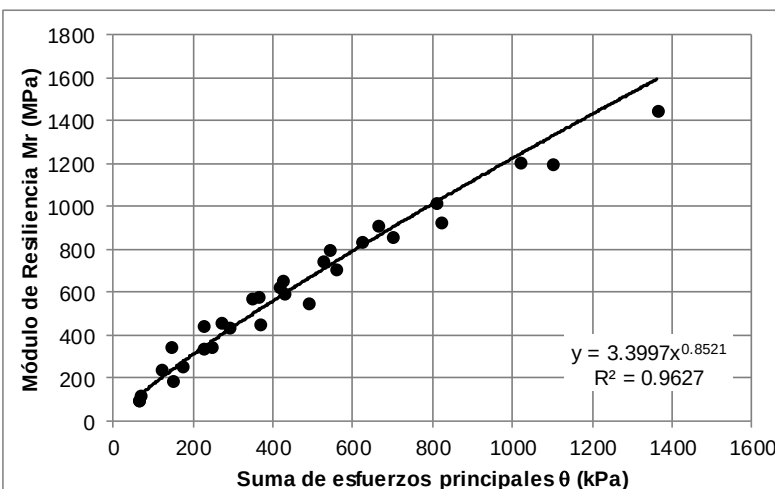
Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con cemento Portland y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

Descripción de la muestra: Subbase adicionada con cemento Portland.

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

Muestra No.: SB SC 064      Diámetro (cm): 15.048       $\omega$  (%): 9.880  
No. de capas: 5      Altura (cm): 30.077       $\gamma_m$  (kN/m³): 19.323  
No. de golpes por capa: 30      Masa muestra (g): 10475.5       $\gamma_d$  (kN/m³): 17.585



**OBSERVACIONES:**

\* Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

\* Fecha de compactación : 2015-05-14

\* Días de curado: 27  
\*El contenido de humedad ( $w$  %) y el peso específico ( $\gamma_d$ ) de la muestra debe estar dentro del recuadro de la gráfica de condiciones límite de muestra.

| $\sigma_3$ (kPa) | $\sigma_1$ (kPa) | $\theta$ (kPa) | $M_r$ (MPa) |
|------------------|------------------|----------------|-------------|
| 20.7             | 2.760            | 64.860         | 100.937     |
| 20.7             | 3.003            | 65.103         | 94.433      |
| 20.7             | 4.469            | 66.569         | 116.857     |
| 20.7             | 56.137           | 118.237        | 238.071     |
| 20.7             | 84.222           | 146.322        | 343.518     |
| 20.7             | 164.888          | 226.988        | 443.406     |
| 41.4             | 24.805           | 149.005        | 189.463     |
| 41.4             | 50.176           | 174.376        | 256.443     |
| 41.4             | 100.942          | 225.142        | 340.760     |
| 41.4             | 147.189          | 271.389        | 457.613     |
| 41.4             | 223.238          | 347.438        | 570.792     |
| 41.4             | 293.246          | 417.446        | 621.818     |
| 69               | 38.650           | 245.650        | 346.657     |
| 69               | 81.475           | 288.475        | 435.956     |
| 69               | 156.966          | 363.966        | 576.091     |
| 69               | 215.954          | 422.954        | 658.630     |
| 69               | 335.450          | 542.450        | 797.947     |
| 69               | 456.350          | 663.350        | 914.614     |
| 103.5            | 56.162           | 366.662        | 450.990     |
| 103.5            | 115.777          | 426.277        | 591.723     |
| 103.5            | 216.157          | 526.657        | 748.184     |
| 103.5            | 310.031          | 620.531        | 837.077     |
| 103.5            | 498.172          | 808.672        | 1014.947    |
| 103.5            | 706.728          | 1017.228       | 1208.295    |
| 138              | 73.939           | 487.939        | 547.635     |
| 138              | 144.800          | 558.800        | 707.087     |
| 138              | 285.766          | 699.766        | 857.862     |
| 138              | 406.008          | 820.009        | 925.304     |
| 138              | 685.756          | 1099.756       | 1194.821    |
| 138              | 947.949          | 1361.949       | 1442.723    |

Realizó: Elizabeth Parra Alvarez.

Cálculo: Elizabeth Parra Alvarez.

Revisó: Dra. Natalia Pérez García.

Figura B.IV.2 Gráfica  $M_r$  vs Esfuerzos totales, muestra subbase-cemento 064, ensaye 2.



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 17/04/2015

Clave de proyecto/Servicio: IE-08/14

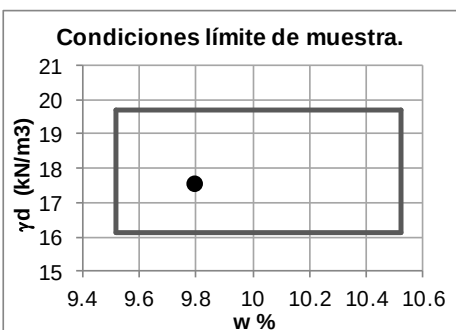
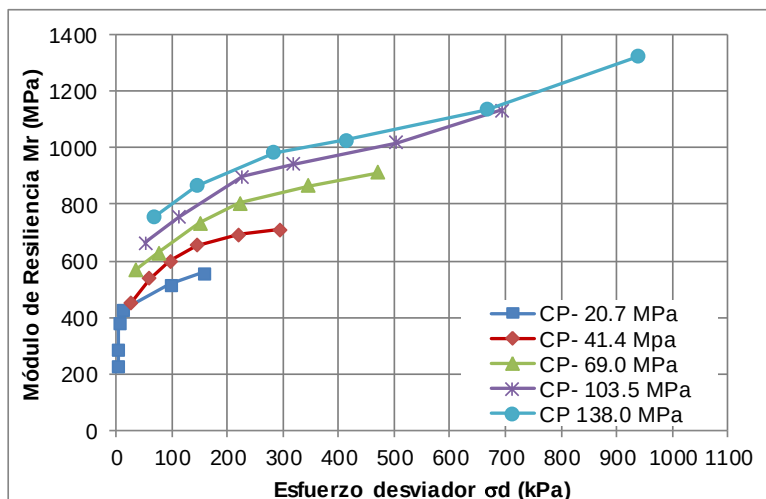
Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con cemento Portland y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

Descripción de la muestra: Subbase adicionada con cemento Portland.

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

Muestra No.: SB SC 066      Diámetro (cm): 15.043       $\omega$  (%): 9.800  
No. de capas: 5      Altura (cm): 30.09       $\gamma_m$  (kN/m<sup>3</sup>): 19.247  
No. de golpes por capa: 30      Masa muestra (g): 10476.0       $\gamma_d$  (kN/m<sup>3</sup>): 17.530



**OBSERVACIONES:**

\* Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

\* Fecha de compactación : 2015-05-15

\* Días de curado: 28

\* El contenido de humedad ( $w$  %) y el peso específico ( $\gamma_d$ ) de la muestra debe estar dentro del recuadro de la gráfica de condiciones límite de muestra.

| $\sigma_3$ (kPa) | $\sigma_d$ (kPa) | $\theta$ (kPa) | $M_r$ (MPa) |
|------------------|------------------|----------------|-------------|
| 20.7             | 2.692            | 64.792         | 225.552     |
| 20.7             | 3.162            | 65.262         | 287.725     |
| 20.7             | 4.315            | 66.415         | 379.398     |
| 20.7             | 11.078           | 73.178         | 426.233     |
| 20.7             | 96.386           | 158.486        | 518.088     |
| 20.7             | 156.768          | 218.868        | 556.760     |
| 41.4             | 27.227           | 151.427        | 453.160     |
| 41.4             | 59.207           | 183.407        | 536.789     |
| 41.4             | 97.105           | 221.305        | 599.105     |
| 41.4             | 144.197          | 268.397        | 654.462     |
| 41.4             | 220.051          | 344.251        | 693.060     |
| 41.4             | 295.610          | 419.810        | 710.885     |
| 69               | 36.181           | 243.181        | 569.602     |
| 69               | 76.276           | 283.275        | 629.249     |
| 69               | 150.790          | 357.790        | 734.815     |
| 69               | 222.048          | 429.048        | 805.361     |
| 69               | 346.074          | 553.074        | 866.847     |
| 69               | 470.796          | 677.796        | 912.406     |
| 103.5            | 52.170           | 362.670        | 664.030     |
| 103.5            | 112.464          | 422.964        | 754.796     |
| 103.5            | 226.902          | 537.402        | 896.862     |
| 103.5            | 317.059          | 627.559        | 942.684     |
| 103.5            | 503.235          | 813.735        | 1017.105    |
| 103.5            | 693.738          | 1004.238       | 1131.494    |
| 138              | 67.267           | 481.267        | 754.226     |
| 138              | 144.301          | 558.301        | 864.110     |
| 138              | 283.410          | 697.410        | 983.458     |
| 138              | 412.274          | 826.274        | 1025.154    |
| 138              | 666.524          | 1080.524       | 1136.043    |
| 138              | 937.807          | 1351.807       | 1323.224    |

Realizó: Elizabeth Parra Alvarez.

Cálculo: Elizabeth Parra Alvarez.

Revisó: Dra. Natalia Pérez García.

Figura B.IV.3 Gráfica  $M_r$  vs Esfuerzo desviador, muestra subbase-cemento 066, ensaye 4.



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 42111

Clave de proyecto/Servicio: IE-08/14

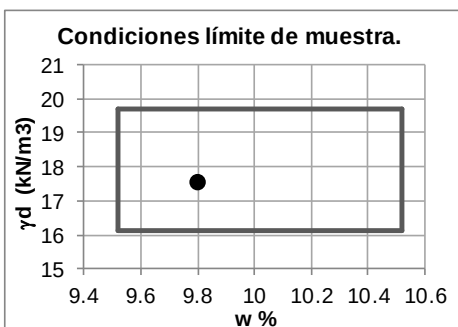
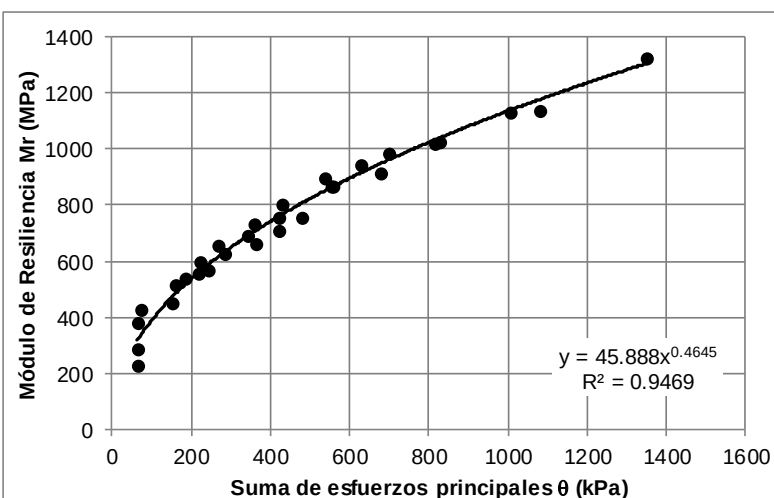
Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con cemento Portland y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

Descripción de la muestra: Subbase adicionada con cemento Portland.

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

Muestra No.: SB SC 066      Diámetro (cm): 15.043       $\omega$  (%): 9.800  
No. de capas: 5      Altura (cm): 30.09       $\gamma_m$  (kN/m<sup>3</sup>): 19.247  
No. de golpes por capa: 30      Masa muestra (g): 10476.0       $\gamma_d$  (kN/m<sup>3</sup>): 17.530



**OBSERVACIONES:**

\* Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

\* Fecha de compactación : 2015-05-15

\* Días de curado: 28

\* El contenido de humedad ( $w$ %) y el peso específico ( $\gamma_d$ ) de la muestra debe estar dentro del recuadro de la gráfica de condiciones límite de muestra.

| $\sigma_3$ (kPa) | $\sigma_d$ (kPa) | $\theta$ (kPa) | $M_r$ (MPa) |
|------------------|------------------|----------------|-------------|
| 20.7             | 2.692            | 64.792         | 225.552     |
| 20.7             | 3.162            | 65.262         | 287.725     |
| 20.7             | 4.315            | 66.415         | 379.398     |
| 20.7             | 11.078           | 73.178         | 426.233     |
| 20.7             | 96.386           | 158.486        | 518.088     |
| 20.7             | 156.768          | 218.868        | 556.760     |
| 41.4             | 27.227           | 151.427        | 453.160     |
| 41.4             | 59.207           | 183.407        | 536.789     |
| 41.4             | 97.105           | 221.305        | 599.105     |
| 41.4             | 144.197          | 268.397        | 654.462     |
| 41.4             | 220.051          | 344.251        | 693.060     |
| 41.4             | 295.610          | 419.810        | 710.885     |
| 69               | 36.181           | 243.181        | 569.602     |
| 69               | 76.276           | 283.275        | 629.249     |
| 69               | 150.790          | 357.790        | 734.815     |
| 69               | 222.048          | 429.048        | 805.361     |
| 69               | 346.074          | 553.074        | 866.847     |
| 69               | 470.796          | 677.796        | 912.406     |
| 103.5            | 52.170           | 362.670        | 664.030     |
| 103.5            | 112.464          | 422.964        | 754.796     |
| 103.5            | 226.902          | 537.402        | 896.862     |
| 103.5            | 317.059          | 627.559        | 942.684     |
| 103.5            | 503.235          | 813.735        | 1017.105    |
| 103.5            | 693.738          | 1004.238       | 1131.494    |
| 138              | 67.267           | 481.267        | 754.226     |
| 138              | 144.301          | 558.301        | 864.110     |
| 138              | 283.410          | 697.410        | 983.458     |
| 138              | 412.274          | 826.274        | 1025.154    |
| 138              | 666.524          | 1080.524       | 1136.043    |
| 138              | 937.807          | 1351.807       | 1323.224    |

Realizó: Elizabeth Parra Alvarez.

Cálculo: Elizabeth Parra Alvarez.

Revisó: Dra. Natalia Pérez García.

Figura B.IV.4 Gráfica  $M_r$  vs Esfuerzos totales, muestra subbase-cemento 066, ensaye 4.



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 2015-04-21

Clave de proyecto/Servicio: IE-08/14

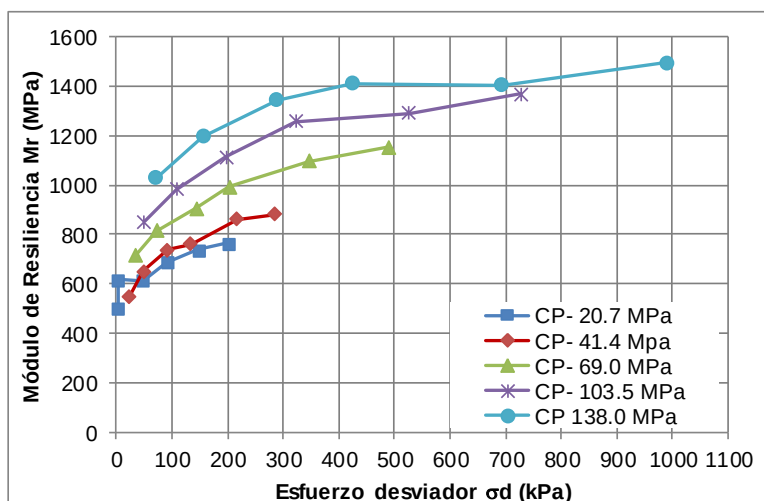
Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con cemento Portland y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

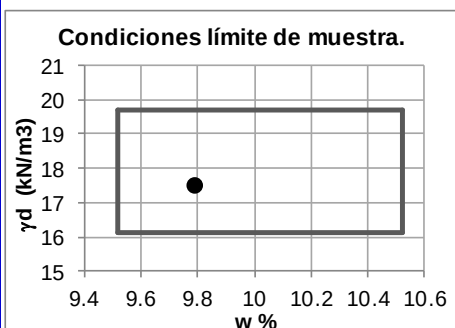
Descripción de la muestra: Subbase adicionada con cemento Portland.

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

Muestra No.: SB SC 071      Diámetro (cm): 15.054       $\omega$  (%): 9.790  
No. de capas: 5      Altura (cm): 30.102       $\gamma_m$  (kN/m<sup>3</sup>): 19.187  
No. de golpes por capa: 30      Masa muestra (g): 10422.5       $\gamma_d$  (kN/m<sup>3</sup>): 17.476



| $\sigma_3$ (kPa) | $\sigma_d$ (kPa) | $\theta$ (kPa) | $M_r$ (MPa) |
|------------------|------------------|----------------|-------------|
| 20.7             | 2.142            | 64.242         | 504.524     |
| 20.7             | 1.788            | 63.888         | 619.086     |
| 20.7             | 47.667           | 109.767        | 615.452     |
| 20.7             | 89.913           | 152.013        | 688.316     |
| 20.7             | 146.980          | 209.080        | 738.513     |
| 20.7             | 200.639          | 262.739        | 765.213     |
| 41.4             | 24.011           | 148.211        | 551.814     |
| 41.4             | 47.923           | 172.123        | 650.822     |
| 41.4             | 91.018           | 215.218        | 738.240     |
| 41.4             | 133.204          | 257.404        | 759.908     |
| 41.4             | 216.692          | 340.892        | 861.865     |
| 41.4             | 285.208          | 409.408        | 882.371     |
| 69               | 35.697           | 242.697        | 716.748     |
| 69               | 73.134           | 280.134        | 814.364     |
| 69               | 143.367          | 350.367        | 903.772     |
| 69               | 203.544          | 410.544        | 991.109     |
| 69               | 345.630          | 552.630        | 1095.048    |
| 69               | 490.817          | 697.817        | 1152.668    |
| 103.5            | 50.584           | 361.084        | 851.636     |
| 103.5            | 108.201          | 418.701        | 982.464     |
| 103.5            | 197.629          | 508.129        | 1113.504    |
| 103.5            | 322.915          | 633.416        | 1258.136    |
| 103.5            | 526.109          | 836.609        | 1291.398    |
| 103.5            | 726.721          | 1037.221       | 1368.666    |
| 138              | 71.512           | 485.512        | 1029.595    |
| 138              | 156.195          | 570.195        | 1195.365    |
| 138              | 288.243          | 702.243        | 1342.332    |
| 138              | 424.069          | 838.069        | 1411.191    |
| 138              | 693.001          | 1107.001       | 1402.590    |
| 138              | 990.972          | 1404.972       | 1494.591    |



**OBSERVACIONES:**

\* Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

\* Fecha de compactación :

2015-05-21

\* Días de curado: 30

\*El contenido de humedad ( $w$  %) y el peso específico ( $\gamma_d$ ) de la muestra debe estar dentro del recuadro de la gráfica de condiciones límite de muestra.

Realizó: Elizabeth Parra Alvarez.

Cálculo: Elizabeth Parra Alvarez.

Revisó: Dra. Natalia Pérez García.

Figura B.IV.5 Gráfica  $M_r$  vs Esfuerzo desviador, muestra subbase-cemento 071, ensaye 5.



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 2015-04-21

Clave de proyecto/Servicio: IE-08/14

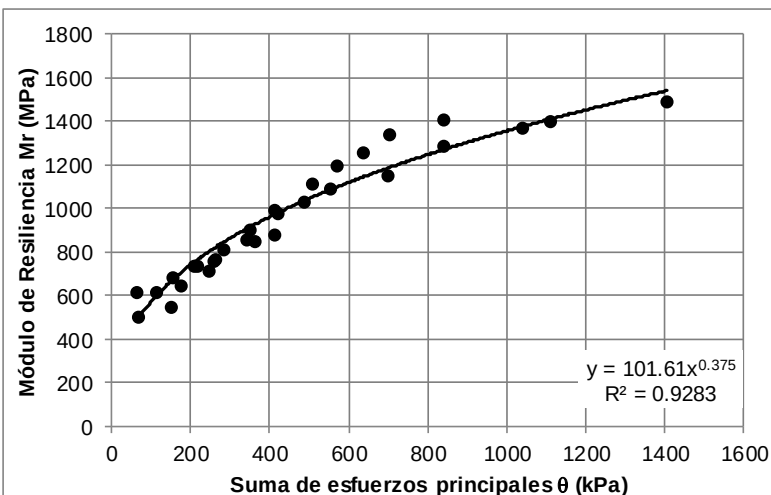
Nombre de proyecto/servicio Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con cemento Portland y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

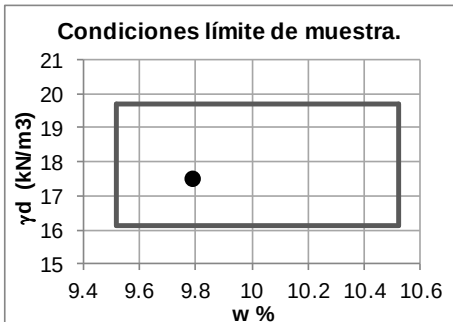
Descripción de la muestra: Subbase adicionada con cemento Portland.

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

Muestra No.: SB SC 071      Diámetro (cm): 15.054       $\omega$  (%): 9.790  
No. de capas: 5      Altura (cm): 30.102       $\gamma_m$  (kN/m<sup>3</sup>): 19.187  
No. de golpes por capa: 30      Masa muestra (g): 10422.5       $\gamma_d$  (kN/m<sup>3</sup>): 17.476



| $\sigma_3$ (kPa) | $\sigma_d$ (kPa) | $\theta$ (kPa) | $M_r$ (MPa) |
|------------------|------------------|----------------|-------------|
| 20.7             | 2.142            | 64.242         | 504.524     |
| 20.7             | 1.788            | 63.888         | 619.086     |
| 20.7             | 47.667           | 109.767        | 615.452     |
| 20.7             | 89.913           | 152.013        | 688.316     |
| 20.7             | 146.980          | 209.080        | 738.513     |
| 20.7             | 200.639          | 262.739        | 765.213     |
| 41.4             | 24.011           | 148.211        | 551.814     |
| 41.4             | 47.923           | 172.123        | 650.822     |
| 41.4             | 91.018           | 215.218        | 738.240     |
| 41.4             | 133.204          | 257.404        | 759.908     |
| 41.4             | 216.692          | 340.892        | 861.865     |
| 41.4             | 285.208          | 409.408        | 882.371     |
| 69               | 35.697           | 242.697        | 716.748     |
| 69               | 73.134           | 280.134        | 814.364     |
| 69               | 143.367          | 350.367        | 903.772     |
| 69               | 203.544          | 410.544        | 991.109     |
| 69               | 345.630          | 552.630        | 1095.048    |
| 69               | 490.817          | 697.817        | 1152.668    |
| 103.5            | 50.584           | 361.084        | 851.636     |
| 103.5            | 108.201          | 418.701        | 982.464     |
| 103.5            | 197.629          | 508.129        | 1113.504    |
| 103.5            | 322.915          | 633.416        | 1258.136    |
| 103.5            | 526.109          | 836.609        | 1291.398    |
| 103.5            | 726.721          | 1037.221       | 1368.666    |
| 138              | 71.512           | 485.512        | 1029.595    |
| 138              | 156.195          | 570.195        | 1195.365    |
| 138              | 288.243          | 702.243        | 1342.332    |
| 138              | 424.069          | 838.069        | 1411.191    |
| 138              | 693.001          | 1107.001       | 1402.590    |
| 138              | 990.972          | 1404.972       | 1494.591    |



**OBSERVACIONES:**

\* Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

\* Fecha de compactación : 2015-05-21

\* Días de curado: 30

\* El contenido de humedad ( $w$ %) y el peso específico ( $\gamma_d$ ) de la muestra debe estar dentro del recuadro de la gráfica de condiciones límite de muestra.

Realizó: Elizabeth Parra Alvarez.

Cálculo: Elizabeth Parra Alvarez.

Revisó: Dra. Natalia Pérez García.

Figura B.IV.6 Gráfica  $M_r$  vs Esfuerzos totales, muestra subbase-cemento 071, ensaye 5.



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 2015-04-16

Clave de proyecto/Servicio: IE-08/14

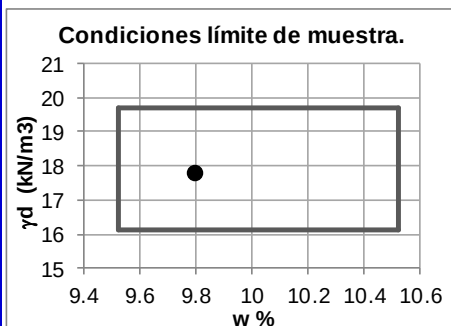
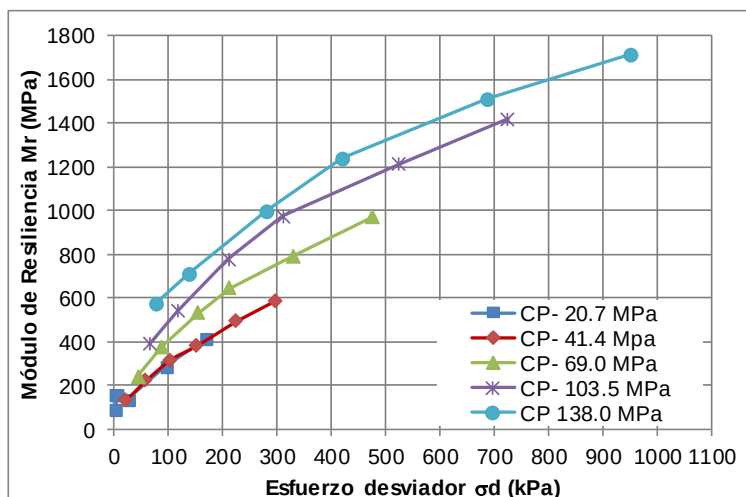
Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con cemento Portland y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

Descripción de la muestra: Subbase adicionada con cemento Portland y zeolita sintética.

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

Muestra No.: SB SC+R 062      Diámetro (cm): 15.057       $\omega$  (%): 9.800  
No. de capas: 5      Altura (cm): 30.085       $\gamma_m$  (kN/m<sup>3</sup>): 19.510  
No. de golpes por capa: 30      Masa muestra (g): 10695.0       $\gamma_d$  (kN/m<sup>3</sup>): 17.772



**OBSERVACIONES:**

\* Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

\* Fecha de compactación :  
2015-05-14

\* Días de curado: 28  
\* El contenido de humedad (w%) y el peso específico ( $\gamma_d$ ) de la muestra debe estar dentro del recuadro de la gráfica de condiciones límite de muestra.

| $\sigma_3$ (kPa) | $\sigma_d$ (kPa) | $\theta$ (kPa) | $M_r$ (MPa) |
|------------------|------------------|----------------|-------------|
| 20.7             | 2.915            | 65.015         | 89.256      |
| 20.7             | 2.645            | 64.745         | 158.686     |
| 20.7             | 4.307            | 66.407         | 160.599     |
| 20.7             | 25.427           | 87.527         | 135.442     |
| 20.7             | 96.686           | 158.786        | 289.384     |
| 20.7             | 168.846          | 230.946        | 413.105     |
| 41.4             | 21.165           | 145.365        | 132.073     |
| 41.4             | 58.728           | 182.928        | 225.612     |
| 41.4             | 104.201          | 228.401        | 316.888     |
| 41.4             | 151.756          | 275.956        | 383.099     |
| 41.4             | 225.063          | 349.263        | 495.809     |
| 41.4             | 296.377          | 420.577        | 587.105     |
| 69               | 43.705           | 250.705        | 242.097     |
| 69               | 89.078           | 296.078        | 379.131     |
| 69               | 155.071          | 362.071        | 533.338     |
| 69               | 212.577          | 419.577        | 644.719     |
| 69               | 330.652          | 537.652        | 792.493     |
| 69               | 474.600          | 681.600        | 967.845     |
| 103.5            | 66.085           | 376.585        | 390.161     |
| 103.5            | 116.745          | 427.245        | 540.939     |
| 103.5            | 210.883          | 521.383        | 776.521     |
| 103.5            | 311.195          | 621.695        | 972.494     |
| 103.5            | 524.033          | 834.533        | 1211.719    |
| 103.5            | 726.187          | 1036.687       | 1418.766    |
| 138              | 77.820           | 491.820        | 573.571     |
| 138              | 138.054          | 552.054        | 710.355     |
| 138              | 281.254          | 695.254        | 995.096     |
| 138              | 420.406          | 834.406        | 1237.242    |
| 138              | 687.449          | 1101.449       | 1508.052    |
| 138              | 952.134          | 1366.134       | 1713.412    |

Realizó: Elizabeth Parra Alvarez.

Cálculo: Elizabeth Parra Alvarez.

Revisó: Dra. Natalia Pérez García.

Figura B.IV.7 Gráfica  $M_r$  vs Esfuerzo desviador, muestra subbase-cemento-zeolita 062, ensaye 1.



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 2015-04-16

Clave de proyecto/Servicio: IE-08/14

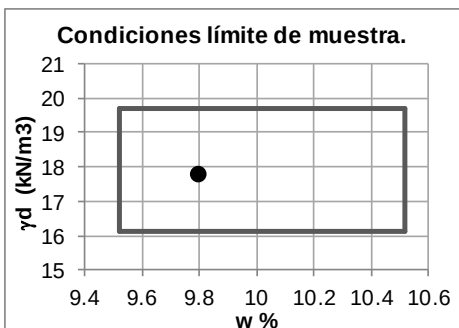
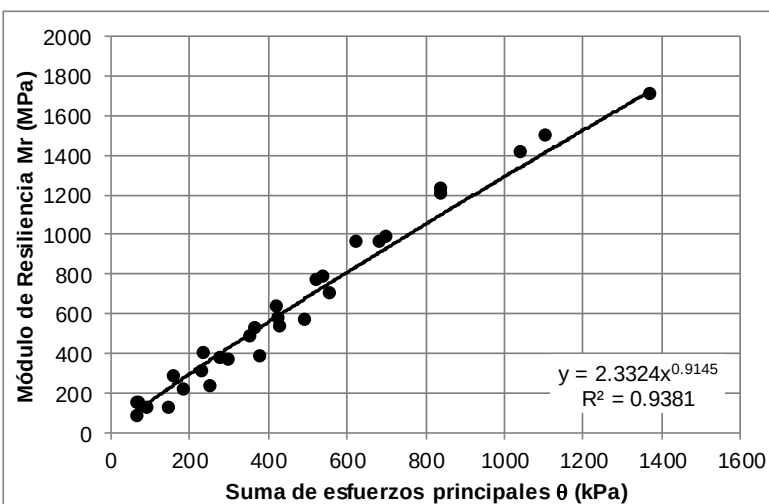
Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con cemento Portland y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

Descripción de la muestra: Subbase adicionada con cemento Portland y zeolita sintética.

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

Muestra No.: SB SC+R 062      Diámetro (cm): 15.057       $\omega$  (%): 9.800  
No. de capas: 5      Altura (cm): 30.085       $\gamma_m$  (kN/m<sup>3</sup>): 19.510  
No. de golpes por capa: 30      Masa muestra (g): 10695.0       $\gamma_d$  (kN/m<sup>3</sup>): 17.772



**OBSERVACIONES:**

\* Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

\* Fecha de compactación : 2015-05-14

\* Días de curado: 28  
\* El contenido de humedad (w %) y el peso específico ( $\gamma_d$ ) de la muestra debe estar dentro del recuadro de la gráfica de condiciones límite de muestra.

| $\sigma_3$ (kPa) | $\sigma_d$ (kPa) | $\theta$ (kPa) | $M_r$ (MPa) |
|------------------|------------------|----------------|-------------|
| 20.7             | 2.915            | 65.015         | 89.256      |
| 20.7             | 2.645            | 64.745         | 158.686     |
| 20.7             | 4.307            | 66.407         | 160.599     |
| 20.7             | 25.427           | 87.527         | 135.442     |
| 20.7             | 96.686           | 158.786        | 289.384     |
| 20.7             | 168.846          | 230.946        | 413.105     |
| 41.4             | 21.165           | 145.365        | 132.073     |
| 41.4             | 58.728           | 182.928        | 225.612     |
| 41.4             | 104.201          | 228.401        | 316.888     |
| 41.4             | 151.756          | 275.956        | 383.099     |
| 41.4             | 225.063          | 349.263        | 495.809     |
| 41.4             | 296.377          | 420.577        | 587.105     |
| 69               | 43.705           | 250.705        | 242.097     |
| 69               | 89.078           | 296.078        | 379.131     |
| 69               | 155.071          | 362.071        | 533.338     |
| 69               | 212.577          | 419.577        | 644.719     |
| 69               | 330.652          | 537.652        | 792.493     |
| 69               | 474.600          | 681.600        | 967.845     |
| 103.5            | 66.085           | 376.585        | 390.161     |
| 103.5            | 116.745          | 427.245        | 540.939     |
| 103.5            | 210.883          | 521.383        | 776.521     |
| 103.5            | 311.195          | 621.695        | 972.494     |
| 103.5            | 524.033          | 834.533        | 1211.719    |
| 103.5            | 726.187          | 1036.687       | 1418.766    |
| 138              | 77.820           | 491.820        | 573.571     |
| 138              | 138.054          | 552.054        | 710.355     |
| 138              | 281.254          | 695.254        | 995.096     |
| 138              | 420.406          | 834.406        | 1237.242    |
| 138              | 687.449          | 1101.449       | 1508.052    |
| 138              | 952.134          | 1366.134       | 1713.412    |

Realizó: Elizabeth Parra Alvarez.

Cálculo: Elizabeth Parra Alvarez.

Revisó: Dra. Natalia Pérez García.

Figura B.IV.8 Gráfica  $M_r$  vs Esfuerzos totales, muestra subbase-cemento-zeolita 062, ensaye 1.



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 2015-04-22

Clave de proyecto/Servicio: IE-08/14

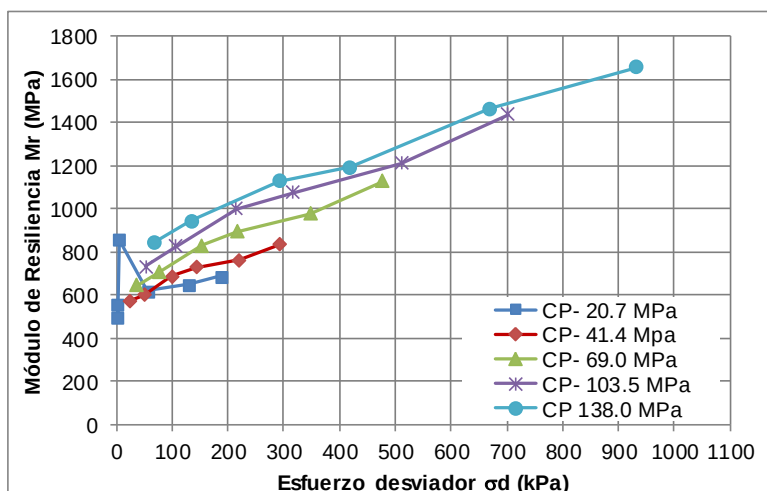
Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con cemento Portland y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

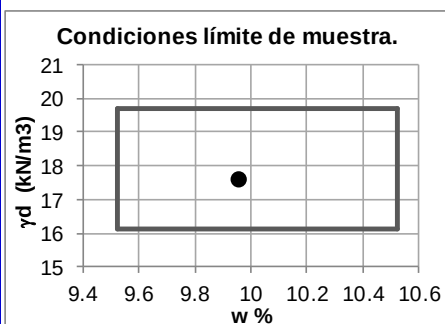
Descripción de la muestra: Subbase adicionada con cemento Portland y zeolita sintética.

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

Muestra No.: SB SC+R 078      Diámetro (cm): 15.052       $\omega$  (%): 9.960  
No. de capas: 5      Altura (cm): 30.091       $\gamma_m$  (kN/m<sup>3</sup>): 19.334  
No. de golpes por capa: 30      Masa muestra (g): 10512.5       $\gamma_d$  (kN/m<sup>3</sup>): 17.582



| $\sigma_3$ (kPa) | $\sigma_d$ (kPa) | $\theta$ (kPa) | $M_r$ (MPa) |
|------------------|------------------|----------------|-------------|
| 20.7             | 1.820            | 63.920         | 554.961     |
| 20.7             | 1.024            | 63.124         | 493.236     |
| 20.7             | 4.481            | 66.581         | 855.660     |
| 20.7             | 55.973           | 118.073        | 621.090     |
| 20.7             | 129.772          | 191.872        | 651.170     |
| 20.7             | 186.948          | 249.048        | 686.997     |
| 41.4             | 24.590           | 148.790        | 574.090     |
| 41.4             | 49.277           | 173.477        | 599.703     |
| 41.4             | 100.126          | 224.326        | 688.786     |
| 41.4             | 142.864          | 267.064        | 727.858     |
| 41.4             | 219.823          | 344.023        | 761.885     |
| 41.4             | 292.476          | 416.676        | 832.312     |
| 69               | 37.061           | 244.061        | 647.152     |
| 69               | 75.796           | 282.796        | 704.487     |
| 69               | 152.790          | 359.790        | 830.068     |
| 69               | 216.864          | 423.864        | 892.855     |
| 69               | 347.433          | 554.433        | 978.350     |
| 69               | 476.769          | 683.769        | 1127.082    |
| 103.5            | 53.311           | 363.811        | 732.288     |
| 103.5            | 106.394          | 416.894        | 827.403     |
| 103.5            | 215.372          | 525.872        | 999.455     |
| 103.5            | 316.251          | 626.751        | 1074.191    |
| 103.5            | 511.510          | 822.010        | 1209.298    |
| 103.5            | 702.195          | 1012.695       | 1435.089    |
| 138              | 68.328           | 482.328        | 843.821     |
| 138              | 134.354          | 548.354        | 944.213     |
| 138              | 291.671          | 705.671        | 1127.873    |
| 138              | 418.697          | 832.697        | 1191.025    |
| 138              | 669.402          | 1083.402       | 1462.097    |
| 138              | 932.906          | 1346.906       | 1655.727    |



**OBSERVACIONES:**

\* Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

\* Fecha de compactación :

2015-05-22

\* Días de curado: 30

\* El contenido de humedad (w %) y el peso específico ( $\gamma_d$ ) de la muestra debe estar dentro del recuadro de la gráfica de condiciones límite de muestra.

Realizó: Elizabeth Parra Alvarez.

Cálculo: Elizabeth Parra Alvarez.

Revisó: Dra. Natalia Pérez García.

Figura B.IV.9 Gráfica  $M_r$  vs Esfuerzo desviador, muestra subbase-cemento-zeolita 078, ensaye 4.



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 2015-04-22

Clave de proyecto/Servicio: IE-08/14

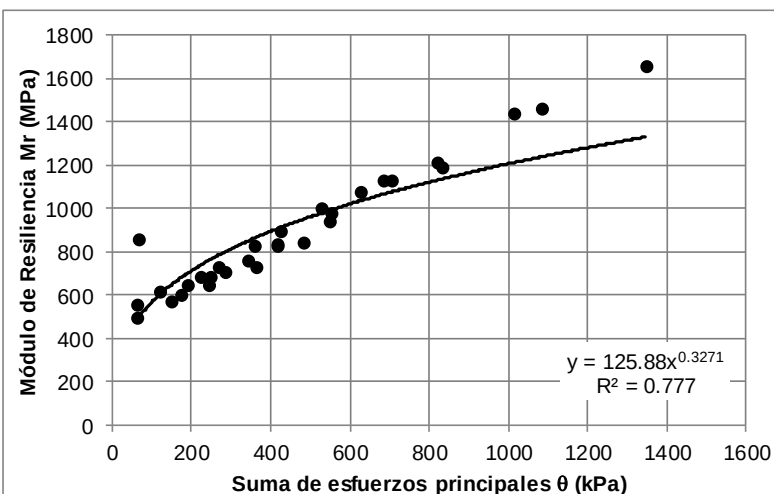
Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con cemento Portland y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

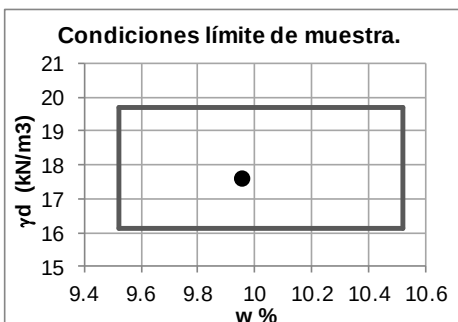
Descripción de la muestra: Subbase adicionada con cemento Portland y zeolita sintética.

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

Muestra No.: SB SC+R 078      Diámetro (cm): 15.052       $\omega$  (%): 9.960  
No. de capas: 5      Altura (cm): 30.091       $\gamma_m$  (kN/m<sup>3</sup>): 19.334  
No. de golpes por capa: 30      Masa muestra (g): 10512.5       $\gamma_d$  (kN/m<sup>3</sup>): 17.582



| $\sigma_3$ (kPa) | $\sigma_1$ (kPa) | $\theta$ (kPa) | $M_r$ (MPa) |
|------------------|------------------|----------------|-------------|
| 20.7             | 1.820            | 63.920         | 554.961     |
| 20.7             | 1.024            | 63.124         | 493.236     |
| 20.7             | 4.481            | 66.581         | 855.660     |
| 20.7             | 55.973           | 118.073        | 621.090     |
| 20.7             | 129.772          | 191.872        | 651.170     |
| 20.7             | 186.948          | 249.048        | 686.997     |
| 41.4             | 24.590           | 148.790        | 574.090     |
| 41.4             | 49.277           | 173.477        | 599.703     |
| 41.4             | 100.126          | 224.326        | 688.786     |
| 41.4             | 142.864          | 267.064        | 727.858     |
| 41.4             | 219.823          | 344.023        | 761.885     |
| 41.4             | 292.476          | 416.676        | 832.312     |
| 69               | 37.061           | 244.061        | 647.152     |
| 69               | 75.796           | 282.796        | 704.487     |
| 69               | 152.790          | 359.790        | 830.068     |
| 69               | 216.864          | 423.864        | 892.855     |
| 69               | 347.433          | 554.433        | 978.350     |
| 69               | 476.769          | 683.769        | 1127.082    |
| 103.5            | 53.311           | 363.811        | 732.288     |
| 103.5            | 106.394          | 416.894        | 827.403     |
| 103.5            | 215.372          | 525.872        | 999.455     |
| 103.5            | 316.251          | 626.751        | 1074.191    |
| 103.5            | 511.510          | 822.010        | 1209.298    |
| 103.5            | 702.195          | 1012.695       | 1435.089    |
| 138              | 68.328           | 482.328        | 843.821     |
| 138              | 134.354          | 548.354        | 944.213     |
| 138              | 291.671          | 705.671        | 1127.873    |
| 138              | 418.697          | 832.697        | 1191.025    |
| 138              | 669.402          | 1083.402       | 1462.097    |
| 138              | 932.906          | 1346.906       | 1655.727    |



**OBSERVACIONES:**

\* Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

\* Fecha de compactación : 2015-05-22

\* Días de curado: 30  
\* El contenido de humedad ( $w$ %) y el peso específico ( $\gamma_d$ ) de la muestra debe estar dentro del recuadro de la gráfica de condiciones límite de muestra.

Realizó: Elizabeth Parra Alvarez.

Cálculo: Elizabeth Parra Alvarez.

Revisó: Dra. Natalia Pérez García.

Figura B.IV.10 Gráfica  $M_r$  vs Esfuerzos totales, muestra subbase-cemento-zeolita 078, ensaye 4.



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 2015-04-22

Clave de proyecto/Servicio: IE-08/14

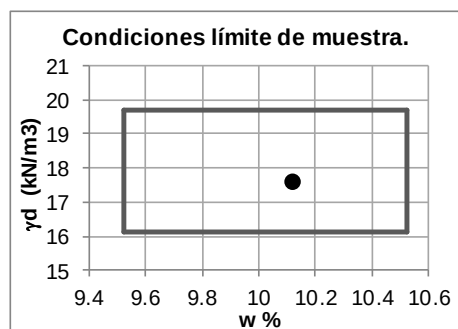
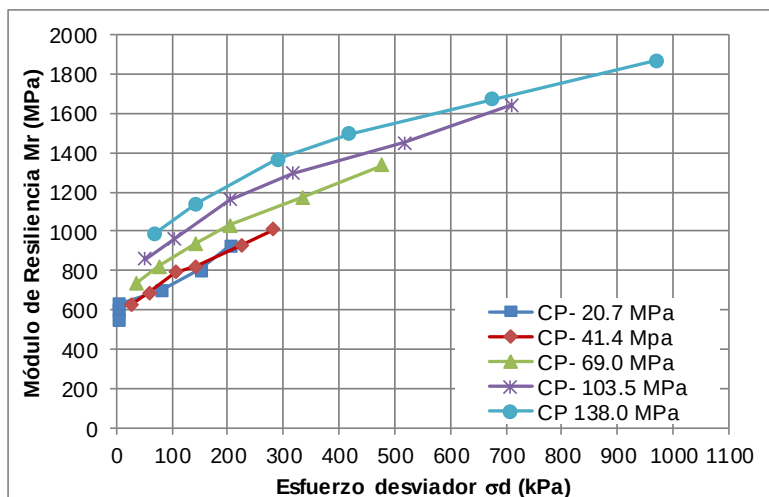
Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con cemento Portland y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

Descripción de la muestra: Subbase adicionada con cemento Portland y zeolita sintética.

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

Muestra No.: SB SC+R 079      Diámetro (cm): 15.053       $\omega$  (%): 10.120  
No. de capas: 5      Altura (cm): 30.074       $\gamma_m$  (kN/m<sup>3</sup>): 19.553  
No. de golpes por capa: 30      Masa muestra (g): 10529.0       $\gamma_d$  (kN/m<sup>3</sup>): 17.575



**OBSERVACIONES:**

\* Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

\* Fecha de compactación :  
2015-05-22

\* Días de curado: 30

\* El contenido de humedad (w %) y el peso específico ( $\gamma_d$ ) de la muestra debe estar dentro del recuadro de la gráfica de condiciones límite de muestra.

| $\sigma_3$ (kPa) | $\sigma_d$ (kPa) | $\theta$ (kPa) | $M_r$ (MPa) |
|------------------|------------------|----------------|-------------|
| 20.7             | 2.488            | 64.588         | 605.861     |
| 20.7             | 2.787            | 64.887         | 555.130     |
| 20.7             | 4.124            | 66.224         | 632.938     |
| 20.7             | 79.440           | 141.540        | 699.867     |
| 20.7             | 150.616          | 212.716        | 804.442     |
| 20.7             | 204.564          | 266.664        | 930.519     |
| 41.4             | 27.843           | 152.043        | 629.552     |
| 41.4             | 58.272           | 182.472        | 686.451     |
| 41.4             | 106.285          | 230.485        | 792.978     |
| 41.4             | 142.977          | 267.177        | 822.718     |
| 41.4             | 225.356          | 349.556        | 929.086     |
| 41.4             | 281.986          | 406.186        | 1010.496    |
| 69               | 36.927           | 243.927        | 739.926     |
| 69               | 76.596           | 283.596        | 822.532     |
| 69               | 142.636          | 349.636        | 940.049     |
| 69               | 204.061          | 411.061        | 1031.250    |
| 69               | 335.934          | 542.934        | 1175.464    |
| 69               | 476.888          | 683.888        | 1335.242    |
| 103.5            | 50.918           | 361.418        | 858.362     |
| 103.5            | 103.339          | 413.839        | 962.068     |
| 103.5            | 203.821          | 514.321        | 1161.956    |
| 103.5            | 315.557          | 626.057        | 1293.757    |
| 103.5            | 517.788          | 828.288        | 1451.228    |
| 103.5            | 710.940          | 1021.440       | 1643.617    |
| 138              | 69.042           | 483.042        | 989.225     |
| 138              | 143.029          | 557.029        | 1140.166    |
| 138              | 289.545          | 703.545        | 1365.033    |
| 138              | 418.216          | 832.216        | 1494.434    |
| 138              | 675.633          | 1089.633       | 1671.975    |
| 138              | 970.347          | 1384.347       | 1868.618    |

Realizó: Elizabeth Parra Alvarez.

Cálculo: Elizabeth Parra Alvarez.

Revisó: Dra. Natalia Pérez García.

Figura B.IV.11 Gráfica Mr vs Esfuerzo desviador, muestra subbase-cemento-zeolita 079, ensaye 5.



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 2015-04-22

Clave de proyecto/Servicio: IE-08/14

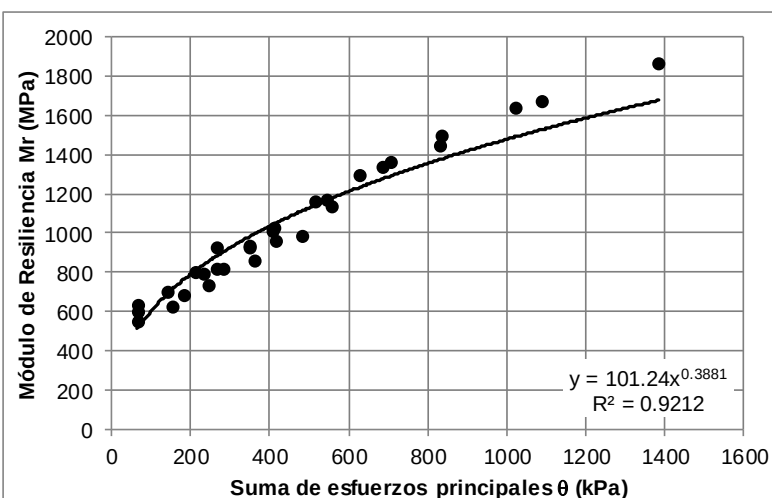
Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con cemento Portland y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

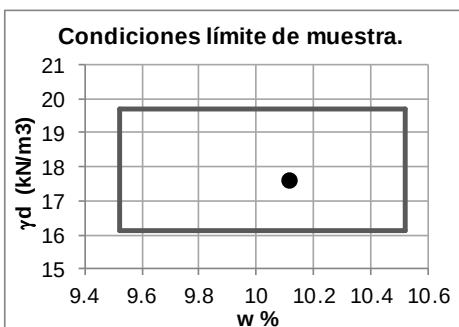
Descripción de la muestra: Subbase adicionada con cemento Portland y zeolita sintética.

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

Muestra No.: SB SC+R 079      Diámetro (cm): 15.053       $\omega$  (%): 10.120  
No. de capas: 5      Altura (cm): 30.074       $\gamma_m$  (kN/m<sup>3</sup>): 19.553  
No. de golpes por capa: 30      Masa muestra (g): 10529.0       $\gamma_d$  (kN/m<sup>3</sup>): 17.575



| $\sigma_3$ (kPa) | $\sigma_d$ (kPa) | $\theta$ (kPa) | $M_r$ (MPa) |
|------------------|------------------|----------------|-------------|
| 20.7             | 2.488            | 64.588         | 605.861     |
| 20.7             | 2.787            | 64.887         | 555.130     |
| 20.7             | 4.124            | 66.224         | 632.938     |
| 20.7             | 79.440           | 141.540        | 699.867     |
| 20.7             | 150.616          | 212.716        | 804.442     |
| 20.7             | 204.564          | 266.664        | 930.519     |
| 41.4             | 27.843           | 152.043        | 629.552     |
| 41.4             | 58.272           | 182.472        | 686.451     |
| 41.4             | 106.285          | 230.485        | 792.978     |
| 41.4             | 142.977          | 267.177        | 822.718     |
| 41.4             | 225.356          | 349.556        | 929.086     |
| 41.4             | 281.986          | 406.186        | 1010.496    |
| 69               | 36.927           | 243.927        | 739.926     |
| 69               | 76.596           | 283.596        | 822.532     |
| 69               | 142.636          | 349.636        | 940.049     |
| 69               | 204.061          | 411.061        | 1031.250    |
| 69               | 335.934          | 542.934        | 1175.464    |
| 69               | 476.888          | 683.888        | 1335.242    |
| 103.5            | 50.918           | 361.418        | 858.362     |
| 103.5            | 103.339          | 413.839        | 962.068     |
| 103.5            | 203.821          | 514.321        | 1161.956    |
| 103.5            | 315.557          | 626.057        | 1293.757    |
| 103.5            | 517.788          | 828.288        | 1451.228    |
| 103.5            | 710.940          | 1021.440       | 1643.617    |
| 138              | 69.042           | 483.042        | 989.225     |
| 138              | 143.029          | 557.029        | 1140.166    |
| 138              | 289.545          | 703.545        | 1365.033    |
| 138              | 418.216          | 832.216        | 1494.434    |
| 138              | 675.633          | 1089.633       | 1671.975    |
| 138              | 970.347          | 1384.347       | 1868.618    |



**OBSERVACIONES:**

\* Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

\* Fecha de compactación :  
2015-05-22

\* Días de curado: 30

\* El contenido de humedad (w%) y el peso específico ( $\gamma_d$ ) de la muestra debe estar dentro del recuadro de la gráfica de condiciones límite de muestra.

Realizó: Elizabeth Parra Alvarez.

Cálculo: Elizabeth Parra Alvarez.

Revisó: Dra. Natalia Pérez García.

Figura B.IV.12 Gráfica  $M_r$  vs Esfuerzos totales, muestra subbase-cemento-zeolita 079, ensaye 5.

## **ANEXO B.V MUESTRAS DE 60 DÍAS DE CURADO**





INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 2015-04-10

Clave de proyecto/Servicio: IE-08/14

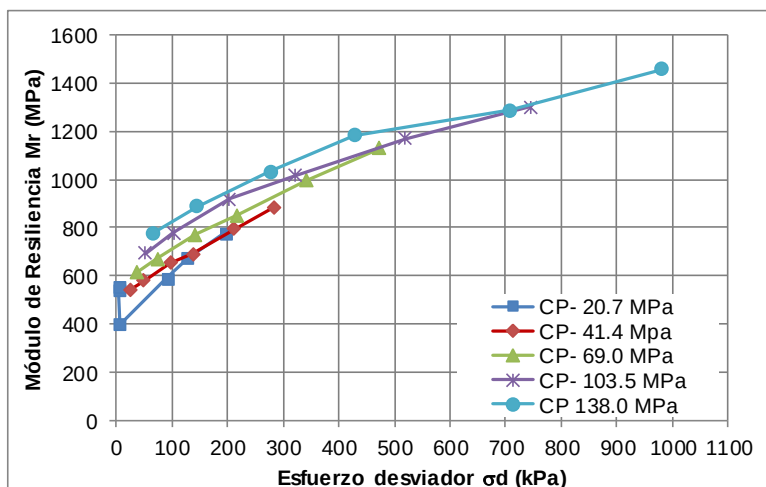
Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con cemento Portland y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

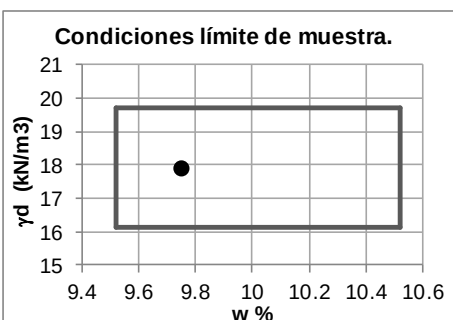
Descripción de la muestra: Subbase adicionada con cemento Portland.

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

Muestra No.: SB SC 046      Diámetro (cm): 15.042       $\omega$  (%): 9.750  
No. de capas: 5      Altura (cm): 30.137       $\gamma_m$  (kN/m<sup>3</sup>): 19.604  
No. de golpes por capa: 30      Masa muestra (g): 10647.5       $\gamma_d$  (kN/m<sup>3</sup>): 17.862



| $\sigma_3$ (kPa) | $\sigma_d$ (kPa) | $\theta$ (kPa) | $M_r$ (MPa) |
|------------------|------------------|----------------|-------------|
| 20.7             | 4.107            | 66.207         | 542.684     |
| 20.7             | 4.051            | 66.151         | 553.573     |
| 20.7             | 6.068            | 68.168         | 398.646     |
| 20.7             | 91.579           | 153.679        | 590.184     |
| 20.7             | 128.034          | 190.134        | 672.837     |
| 20.7             | 195.744          | 257.844        | 777.353     |
| 41.4             | 26.118           | 150.318        | 545.451     |
| 41.4             | 49.535           | 173.735        | 580.116     |
| 41.4             | 97.488           | 221.688        | 655.498     |
| 41.4             | 138.717          | 262.917        | 691.982     |
| 41.4             | 212.545          | 336.745        | 793.905     |
| 41.4             | 285.290          | 409.490        | 886.759     |
| 69               | 36.958           | 243.958        | 612.671     |
| 69               | 74.441           | 281.441        | 670.671     |
| 69               | 143.005          | 350.005        | 772.133     |
| 69               | 218.054          | 425.054        | 852.529     |
| 69               | 340.736          | 547.736        | 994.552     |
| 69               | 473.540          | 680.540        | 1129.430    |
| 103.5            | 52.557           | 363.057        | 692.853     |
| 103.5            | 103.990          | 414.490        | 778.989     |
| 103.5            | 204.119          | 514.619        | 917.864     |
| 103.5            | 320.370          | 630.870        | 1014.512    |
| 103.5            | 519.562          | 830.062        | 1170.185    |
| 103.5            | 743.816          | 1054.316       | 1299.724    |
| 138              | 67.075           | 481.075        | 777.234     |
| 138              | 145.001          | 559.001        | 886.969     |
| 138              | 277.545          | 691.545        | 1032.692    |
| 138              | 427.802          | 841.802        | 1183.568    |
| 138              | 708.578          | 1122.578       | 1287.475    |
| 138              | 980.606          | 1394.606       | 1457.691    |



**OBSERVACIONES:**

\* Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

\* Fecha de compactación :  
2015-06-09

\* Días de curado: 60  
\*El contenido de humedad (w%) y el peso específico ( $\gamma_d$ ) de la muestra debe estar dentro del recuadro de la gráfica de condiciones límite de muestra.

Realizó: Elizabeth Parra Alvarez.

Cálculo: Elizabeth Parra Alvarez.

Revisó: Dra. Natalia Pérez García.

**Figura B.V.1 Gráfica Mr vs Esfuerzo desviador, muestra subbase 046, ensaye 3.**



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 2015-04-10

Clave de proyecto/Servicio: IE-08/14

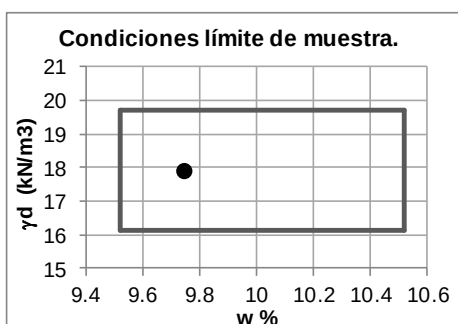
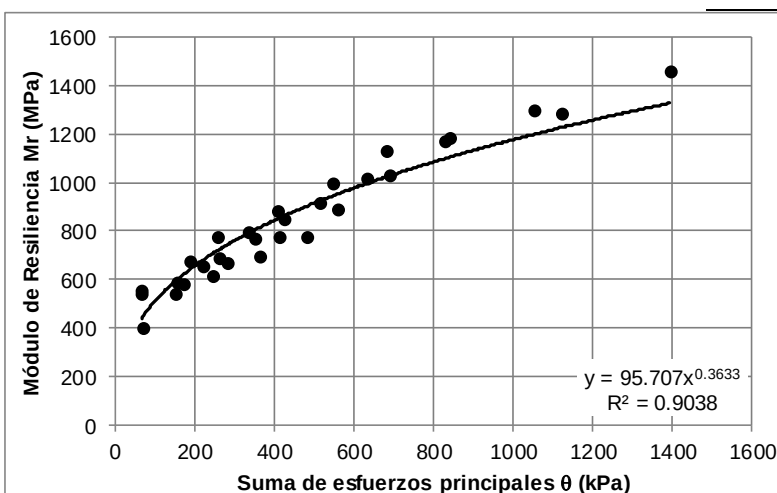
Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con cemento Portland y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

Descripción de la muestra: Subbase adicionada con cemento Portland.

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

Muestra No.: SB SC 046      Diámetro (cm): 15.042       $\omega$  (%): 9.750  
No. de capas: 5      Altura (cm): 30.137       $\gamma_m$  (kN/m<sup>3</sup>): 19.604  
No. de golpes por capa: 30      Masa muestra (g): 10648       $\gamma_d$  (kN/m<sup>3</sup>): 17.862



**OBSERVACIONES:**

\* Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

\* Fecha de compactación : 2015-06-09

\* Días de curado: 60  
\* El contenido de humedad (w %) y el peso específico ( $\gamma_d$ ) de la muestra debe estar dentro del recuadro de la gráfica de condiciones límite de muestra.

| $\sigma_3$ (kPa) | $\sigma_d$ (kPa) | $\theta$ (kPa) | $M_r$ (MPa) |
|------------------|------------------|----------------|-------------|
| 20.7             | 4.107            | 66.207         | 542.684     |
| 20.7             | 4.051            | 66.151         | 553.573     |
| 20.7             | 6.068            | 68.168         | 398.646     |
| 20.7             | 91.579           | 153.679        | 590.184     |
| 20.7             | 128.034          | 190.134        | 672.837     |
| 20.7             | 195.744          | 257.844        | 777.353     |
| 41.4             | 26.118           | 150.318        | 545.451     |
| 41.4             | 49.535           | 173.735        | 580.116     |
| 41.4             | 97.488           | 221.688        | 655.498     |
| 41.4             | 138.717          | 262.917        | 691.982     |
| 41.4             | 212.545          | 336.745        | 793.905     |
| 41.4             | 285.290          | 409.490        | 886.759     |
| 69               | 36.958           | 243.958        | 612.671     |
| 69               | 74.441           | 281.441        | 670.671     |
| 69               | 143.005          | 350.005        | 772.133     |
| 69               | 218.054          | 425.054        | 852.529     |
| 69               | 340.736          | 547.736        | 994.552     |
| 69               | 473.540          | 680.540        | 1129.430    |
| 103.5            | 52.557           | 363.057        | 692.853     |
| 103.5            | 103.990          | 414.490        | 778.989     |
| 103.5            | 204.119          | 514.619        | 917.864     |
| 103.5            | 320.370          | 630.870        | 1014.512    |
| 103.5            | 519.562          | 830.062        | 1170.185    |
| 103.5            | 743.816          | 1054.316       | 1299.724    |
| 138              | 67.075           | 481.075        | 777.234     |
| 138              | 145.001          | 559.001        | 886.969     |
| 138              | 277.545          | 691.545        | 1032.692    |
| 138              | 427.802          | 841.802        | 1183.568    |
| 138              | 708.578          | 1122.578       | 1287.475    |
| 138              | 980.606          | 1394.606       | 1457.691    |

Realizó: Elizabeth Parra Alvarez.

Cálculo: Elizabeth Parra Alvarez.

Revisó: Dra. Natalia Pérez García.

**Figura B.V.2 Gráfica Mr vs Esfuerzos totales, muestra subbase-cemento 046, ensaye 3.**



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 10/04/2015

Clave de proyecto/Servicio: IE-08/14

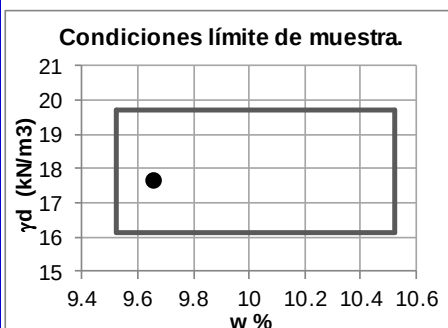
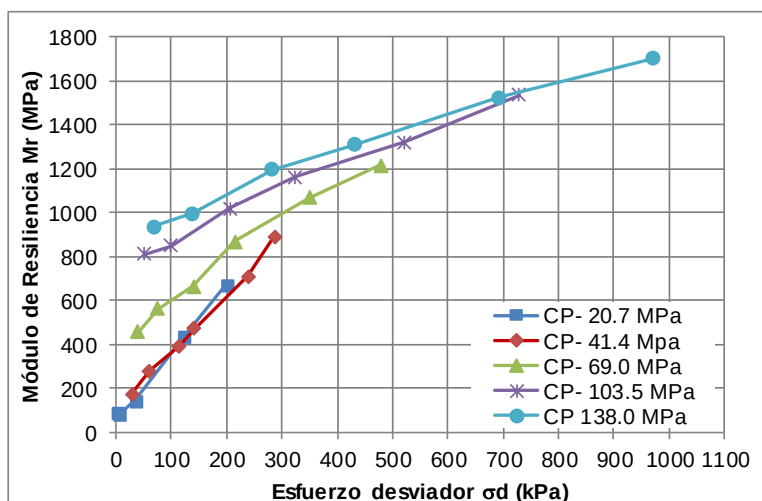
Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con cemento Portland y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

Descripción de la muestra: Subbase adicionada con cemento Portland.

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

Muestra No.: SB SC 047      Diámetro (cm): 15.059       $\omega$  (%): 9.660  
No. de capas: 5      Altura (cm): 30.124       $\gamma_m$  (kN/m<sup>3</sup>): 19.322  
No. de golpes por capa: 30      Masa muestra (g): 10476.5       $\gamma_d$  (kN/m<sup>3</sup>): 17.620



**OBSERVACIONES:**

\* Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

\* Fecha de compactación : 2015-06-09

\* Días de curado: 60  
\*El contenido de humedad (w %) y el peso específico ( $\gamma_d$ ) de la muestra debe estar dentro del recuadro de la gráfica de condiciones límite de muestra.

| $\sigma_3$ (kPa) | $\sigma_d$ (kPa) | $\theta$ (kPa) | $M_r$ (MPa) |
|------------------|------------------|----------------|-------------|
| 20.7             | 4.314            | 66.414         | 90.239      |
| 20.7             | 4.284            | 66.384         | 87.197      |
| 20.7             | 6.881            | 68.981         | 83.195      |
| 20.7             | 35.628           | 97.728         | 143.954     |
| 20.7             | 123.027          | 185.127        | 439.891     |
| 20.7             | 200.182          | 262.282        | 670.147     |
| 41.4             | 29.020           | 153.220        | 173.020     |
| 41.4             | 61.157           | 185.357        | 281.817     |
| 41.4             | 114.192          | 238.392        | 393.528     |
| 41.4             | 142.194          | 266.394        | 473.461     |
| 41.4             | 238.287          | 362.487        | 707.933     |
| 41.4             | 287.549          | 411.749        | 890.479     |
| 69               | 40.140           | 247.140        | 455.608     |
| 69               | 76.375           | 283.375        | 564.199     |
| 69               | 140.699          | 347.699        | 663.777     |
| 69               | 214.458          | 421.458        | 868.625     |
| 69               | 349.956          | 556.956        | 1066.110    |
| 69               | 478.466          | 685.466        | 1214.169    |
| 103.5            | 51.580           | 362.080        | 810.444     |
| 103.5            | 99.585           | 410.085        | 850.472     |
| 103.5            | 206.178          | 516.678        | 1017.790    |
| 103.5            | 324.524          | 635.024        | 1162.956    |
| 103.5            | 522.535          | 833.035        | 1319.278    |
| 103.5            | 729.208          | 1039.708       | 1532.868    |
| 138              | 68.039           | 482.039        | 934.902     |
| 138              | 138.067          | 552.067        | 995.493     |
| 138              | 282.145          | 696.145        | 1196.857    |
| 138              | 430.503          | 844.503        | 1308.697    |
| 138              | 692.937          | 1106.937       | 1523.158    |
| 138              | 969.469          | 1383.469       | 1701.511    |

Realizó: Elizabeth Parra Alvarez.

Cálculo: Elizabeth Parra Alvarez.

Revisó: Dra. Natalia Pérez García.

Figura B.V.3 Gráfica  $M_r$  vs Esfuerzo desviador, muestra subbase-cemento 047, ensaye 4.



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 42104

Clave de proyecto/Servicio: IE-08/14

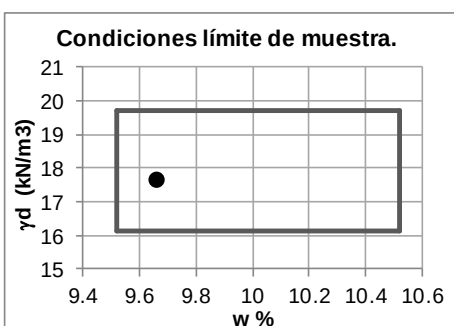
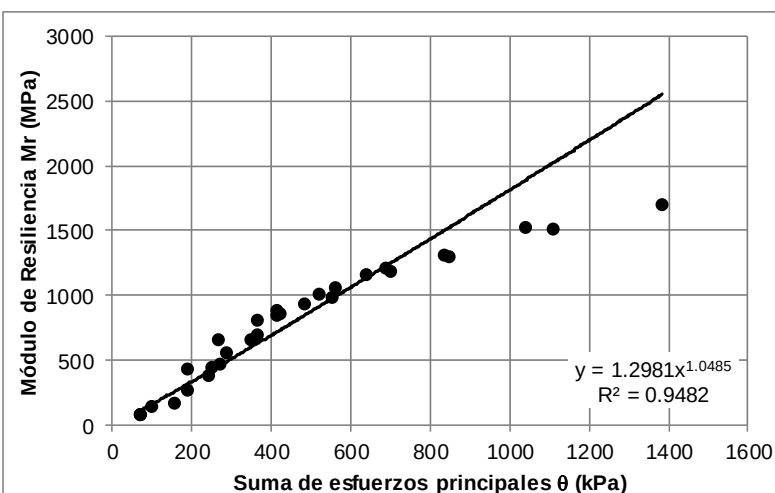
Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con cemento Portland y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

Descripción de la muestra: Subbase adicionada con cemento Portland.

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

Muestra No.: SB SC 047      Diámetro (cm): 15.059       $\omega$  (%): 9.660  
No. de capas: 5      Altura (cm): 30.124       $\gamma_m$  (kN/m<sup>3</sup>): 19.322  
No. de golpes por capa: 30      Masa muestra (g): 10476.5       $\gamma_d$  (kN/m<sup>3</sup>): 17.620



**OBSERVACIONES:**

\* Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

\* Fecha de compactación : 2015-06-09

\* Días de curado: 60

\* El contenido de humedad ( $w$ %) y el peso específico ( $\gamma_d$ ) de la muestra debe estar dentro del recuadro de la gráfica de condiciones límite de muestra.

Realizó: Elizabeth Parra Alvarez.

Cálculo: Elizabeth Parra Alvarez.

Revisó: Dra. Natalia Pérez García.

| $\sigma_3$ (kPa) | $\sigma_1$ (kPa) | $\theta$ (kPa) | $M_r$ (MPa) |
|------------------|------------------|----------------|-------------|
| 20.7             | 4.314            | 66.414         | 90.239      |
| 20.7             | 4.284            | 66.384         | 87.197      |
| 20.7             | 6.881            | 68.981         | 83.195      |
| 20.7             | 35.628           | 97.728         | 143.954     |
| 20.7             | 123.027          | 185.127        | 439.891     |
| 20.7             | 200.182          | 262.282        | 670.147     |
| 41.4             | 29.020           | 153.220        | 173.020     |
| 41.4             | 61.157           | 185.357        | 281.817     |
| 41.4             | 114.192          | 238.392        | 393.528     |
| 41.4             | 142.194          | 266.394        | 473.461     |
| 41.4             | 238.287          | 362.487        | 707.933     |
| 41.4             | 287.549          | 411.749        | 890.479     |
| 69               | 40.140           | 247.140        | 455.608     |
| 69               | 76.375           | 283.375        | 564.199     |
| 69               | 140.699          | 347.699        | 663.777     |
| 69               | 214.458          | 421.458        | 868.625     |
| 69               | 349.956          | 556.956        | 1066.110    |
| 69               | 478.466          | 685.466        | 1214.169    |
| 103.5            | 51.580           | 362.080        | 810.444     |
| 103.5            | 99.585           | 410.085        | 850.472     |
| 103.5            | 206.178          | 516.678        | 1017.790    |
| 103.5            | 324.524          | 635.024        | 1162.956    |
| 103.5            | 522.535          | 833.035        | 1319.278    |
| 103.5            | 729.208          | 1039.708       | 1532.868    |
| 138              | 68.039           | 482.039        | 934.902     |
| 138              | 138.067          | 552.067        | 995.493     |
| 138              | 282.145          | 696.145        | 1196.857    |
| 138              | 430.503          | 844.503        | 1308.697    |
| 138              | 692.937          | 1106.937       | 1523.158    |
| 138              | 969.469          | 1383.469       | 1701.511    |

Figura B.V.4 Gráfica  $M_r$  vs Esfuerzos totales, muestra subbase-cemento 047, ensaye 4.



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 2015-04-10

Clave de proyecto/Servicio: IE-08/14

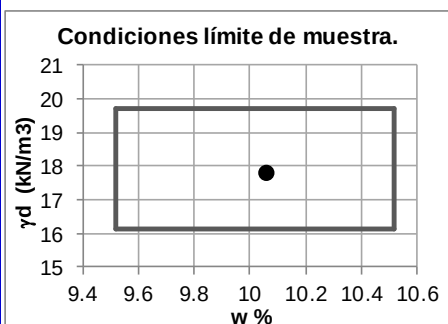
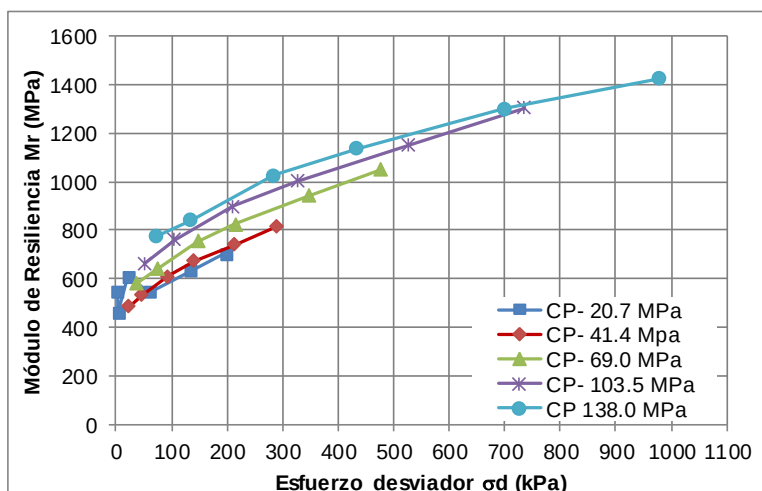
Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con cemento Portland y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

Descripción de la muestra: Subbase adicionada con cemento Portland.

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

Muestra No.: SB SC 048      Diámetro (cm): 15.069       $\omega$  (%): 10.060  
No. de capas: 5      Altura (cm): 30.066       $\gamma_m$  (kN/m<sup>3</sup>): 19.588  
No. de golpes por capa: 30      Masa muestra (g): 10641.5       $\gamma_d$  (kN/m<sup>3</sup>): 17.797



**OBSERVACIONES:**

\* Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

\* Fecha de compactación :

2015-06-10

\* Días de curado: 61

\* El contenido de humedad ( $w$ %) y el peso específico ( $\gamma_d$ ) de la muestra debe estar dentro del recuadro de la gráfica de condiciones límite de muestra.

| $\sigma_3$ (kPa) | $\sigma_d$ (kPa) | $\theta$ (kPa) | $M_r$ (MPa) |
|------------------|------------------|----------------|-------------|
| 20.7             | 2.975            | 65.075         | 545.530     |
| 20.7             | 4.490            | 66.590         | 460.809     |
| 20.7             | 20.808           | 82.908         | 608.411     |
| 20.7             | 61.447           | 123.547        | 545.742     |
| 20.7             | 134.658          | 196.758        | 635.694     |
| 20.7             | 197.368          | 259.468        | 704.620     |
| 41.4             | 23.701           | 147.901        | 488.080     |
| 41.4             | 47.101           | 171.301        | 533.711     |
| 41.4             | 92.846           | 217.046        | 610.822     |
| 41.4             | 140.673          | 264.873        | 672.808     |
| 41.4             | 213.882          | 338.082        | 740.482     |
| 41.4             | 288.967          | 413.167        | 816.357     |
| 69               | 36.207           | 243.207        | 581.514     |
| 69               | 74.206           | 281.206        | 642.249     |
| 69               | 147.682          | 354.682        | 753.303     |
| 69               | 214.844          | 421.844        | 824.647     |
| 69               | 346.899          | 553.899        | 942.440     |
| 69               | 476.050          | 683.050        | 1049.931    |
| 103.5            | 52.109           | 362.609        | 662.712     |
| 103.5            | 105.152          | 415.652        | 761.542     |
| 103.5            | 210.171          | 520.671        | 900.201     |
| 103.5            | 325.903          | 636.403        | 1002.045    |
| 103.5            | 526.292          | 836.792        | 1150.419    |
| 103.5            | 734.784          | 1045.284       | 1302.629    |
| 138              | 70.969           | 484.969        | 774.268     |
| 138              | 134.979          | 548.979        | 840.961     |
| 138              | 284.491          | 698.491        | 1024.751    |
| 138              | 433.231          | 847.231        | 1137.277    |
| 138              | 699.909          | 1113.909       | 1300.712    |
| 138              | 976.579          | 1390.579       | 1424.349    |

Realizó: Elizabeth Parra Alvarez.

Cálculo: Elizabeth Parra Alvarez.

Revisó: Dra. Natalia Pérez García.

Figura B.V.5 Gráfica  $M_r$  vs Esfuerzo desviador, muestra subbase-cemento 048, ensaye 5.



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 2015-04-10

Clave de proyecto/Servicio: IE-08/14

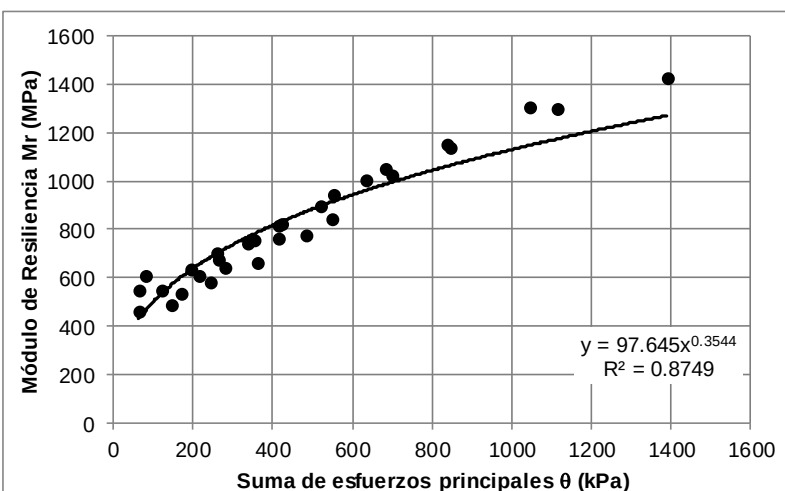
Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con cemento Portland y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

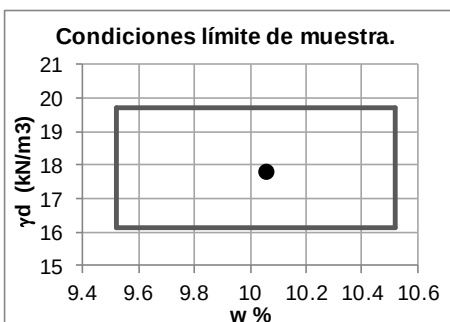
Descripción de la muestra: Subbase adicionada con cemento Portland.

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

Muestra No.: SB SC 048      Diámetro (cm): 15.069       $\omega$  (%): 10.060  
No. de capas: 5      Altura (cm): 30.066       $\gamma_m$  (kN/m<sup>3</sup>): 19.588  
No. de golpes por capa: 30      Masa muestra (g): 10641.5       $\gamma_d$  (kN/m<sup>3</sup>): 17.797



| $\sigma_3$ (kPa) | $\sigma_1$ (kPa) | $\theta$ (kPa) | $M_r$ (MPa) |
|------------------|------------------|----------------|-------------|
| 20.7             | 2.975            | 65.075         | 545.530     |
| 20.7             | 4.490            | 66.590         | 460.809     |
| 20.7             | 20.808           | 82.908         | 608.411     |
| 20.7             | 61.447           | 123.547        | 545.742     |
| 20.7             | 134.658          | 196.758        | 635.694     |
| 20.7             | 197.368          | 259.468        | 704.620     |
| 41.4             | 23.701           | 147.901        | 488.080     |
| 41.4             | 47.101           | 171.301        | 533.711     |
| 41.4             | 92.846           | 217.046        | 610.822     |
| 41.4             | 140.673          | 264.873        | 672.808     |
| 41.4             | 213.882          | 338.082        | 740.482     |
| 41.4             | 288.967          | 413.167        | 816.357     |
| 69               | 36.207           | 243.207        | 581.514     |
| 69               | 74.206           | 281.206        | 642.249     |
| 69               | 147.682          | 354.682        | 753.303     |
| 69               | 214.844          | 421.844        | 824.647     |
| 69               | 346.899          | 553.899        | 942.440     |
| 69               | 476.050          | 683.050        | 1049.931    |
| 103.5            | 52.109           | 362.609        | 662.712     |
| 103.5            | 105.152          | 415.652        | 761.542     |
| 103.5            | 210.171          | 520.671        | 900.201     |
| 103.5            | 325.903          | 636.403        | 1002.045    |
| 103.5            | 526.292          | 836.792        | 1150.419    |
| 103.5            | 734.784          | 1045.284       | 1302.629    |
| 138              | 70.969           | 484.969        | 774.268     |
| 138              | 134.979          | 548.979        | 840.961     |
| 138              | 284.491          | 698.491        | 1024.751    |
| 138              | 433.231          | 847.231        | 1137.277    |
| 138              | 699.909          | 1113.909       | 1300.712    |
| 138              | 976.579          | 1390.579       | 1424.349    |



**OBSERVACIONES:**

\* Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

\* Fecha de compactación :  
2015-06-10

\* Días de curado: 61  
\* El contenido de humedad (w %) y el peso específico ( $\gamma_d$ ) de la muestra debe estar dentro del recuadro de la gráfica de condiciones límite de muestra.

Realizó: Elizabeth Parra Alvarez.

Cálculo: Elizabeth Parra Alvarez.

Revisó: Dra. Natalia Pérez García.

Figura B.V.6 Gráfica  $M_r$  vs Esfuerzos totales, muestra subbase-cemento 048, ensaye 5.



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: \_\_\_\_\_

Clave de proyecto/Servicio: IE-08/14

Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con cemento Portland y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

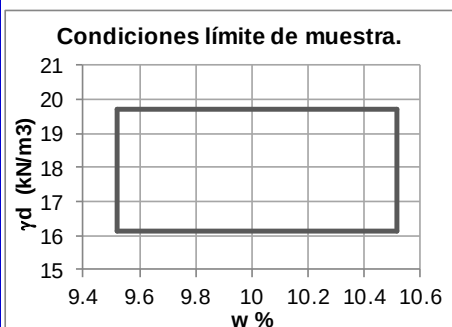
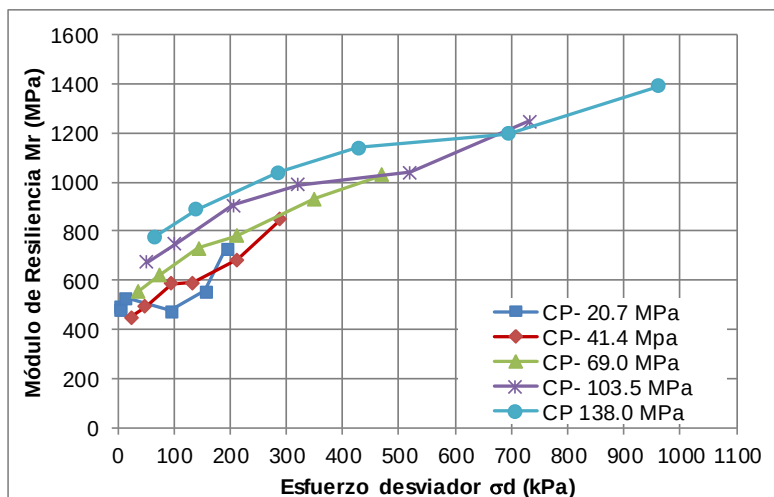
Descripción de la muestra: Subbase adicionada con cemento Portland y zeolita sintética.

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

Muestra No.: SB SC+R 057      Diámetro (cm): 15.054       $\omega$  (%): 9.250

No. de capas: 5      Altura (cm): 30.126       $\gamma_m$  (kN/m<sup>3</sup>): 19.589

No. de golpes por capa: 30      Masa muestra (g): 10701.5       $\gamma_d$  (kN/m<sup>3</sup>): 17.882



**OBSERVACIONES:**

\* Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

\* Fecha de compactación : 2015-05-22

\* Días de curado: 42146

\*El contenido de humedad (w %) y el peso específico ( $\gamma_d$ ) de la muestra debe estar dentro del recuadro de la gráfica de condiciones límite de muestra.

| $\sigma_3$ (kPa) | $\sigma_d$ (kPa) | $\theta$ (kPa) | $M_r$ (MPa) |
|------------------|------------------|----------------|-------------|
| 20.7             | 3.491            | 65.591         | 492.298     |
| 20.7             | 3.448            | 65.548         | 483.800     |
| 20.7             | 12.971           | 75.071         | 529.060     |
| 20.7             | 93.494           | 155.594        | 477.554     |
| 20.7             | 155.220          | 217.320        | 556.245     |
| 20.7             | 193.914          | 256.014        | 729.751     |
| 41.4             | 24.252           | 148.452        | 449.034     |
| 41.4             | 48.133           | 172.333        | 494.195     |
| 41.4             | 95.837           | 220.037        | 587.409     |
| 41.4             | 133.745          | 257.945        | 591.648     |
| 41.4             | 212.820          | 337.020        | 683.767     |
| 41.4             | 288.593          | 412.793        | 850.065     |
| 69               | 36.086           | 243.086        | 553.658     |
| 69               | 73.672           | 280.672        | 619.274     |
| 69               | 144.259          | 351.259        | 732.392     |
| 69               | 210.872          | 417.872        | 782.648     |
| 69               | 350.843          | 557.843        | 931.566     |
| 69               | 470.617          | 677.617        | 1028.152    |
| 103.5            | 51.394           | 361.894        | 675.392     |
| 103.5            | 101.607          | 412.107        | 749.430     |
| 103.5            | 205.099          | 515.599        | 906.916     |
| 103.5            | 320.650          | 631.150        | 987.474     |
| 103.5            | 519.987          | 830.488        | 1039.236    |
| 103.5            | 731.879          | 1042.379       | 1245.839    |
| 138              | 65.985           | 479.985        | 779.239     |
| 138              | 138.903          | 552.903        | 889.255     |
| 138              | 286.267          | 700.267        | 1038.401    |
| 138              | 428.151          | 842.151        | 1141.265    |
| 138              | 693.692          | 1107.692       | 1195.041    |
| 138              | 961.077          | 1375.077       | 1390.696    |

Realizó: Elizabeth Parra Alvarez.

Cálculo: Elizabeth Parra Alvarez.

Revisó: Dra. Natalia Pérez García.

Figura B.V.7 Gráfica Mr vs Esfuerzo desviador, muestra subbase-cemento-zeolita 057, ensaye 1.



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 1900-01-00

Clave de proyecto/Servicio: IE-08/14

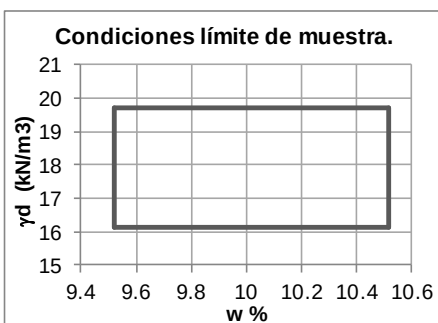
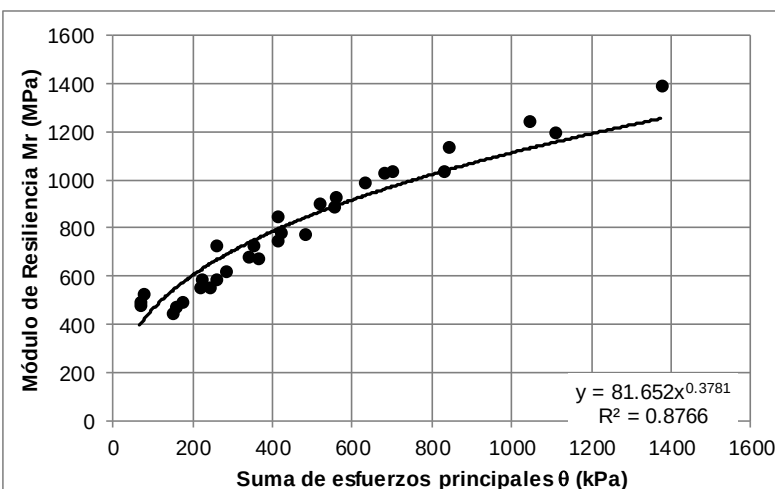
Nombre de proyecto/servicio Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con cemento Portland y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

Descripción de la muestra: Subbase adicionada con cemento Portland y zeolita sintética.

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

Muestra No.: SB SC+R 057      Diámetro (cm): 15.054       $\omega$  (%): 9.250  
No. de capas: 5      Altura (cm): 30.126       $\gamma_m$  (kN/m<sup>3</sup>): 19.589  
No. de golpes por capa: 30      Masa muestra (g): 10701.5       $\gamma_d$  (kN/m<sup>3</sup>): 17.882



**OBSERVACIONES:**

\* Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

\* Fecha de compactación :  
2015-05-22

\* Días de curado: 42146

\*El contenido de humedad (w%) y el peso específico ( $\gamma_d$ ) de la muestra debe estar dentro del recuadro de la gráfica de condiciones límite de muestra.

Realizó: Elizabeth Parra Alvarez.

Cálculo: Elizabeth Parra Alvarez.

Revisó: Dra. Natalia Pérez García.

| $\sigma_3$ (kPa) | $\sigma_1$ (kPa) | $\theta$ (kPa) | $M_r$ (MPa) |
|------------------|------------------|----------------|-------------|
| 20.7             | 3.491            | 65.591         | 492.298     |
| 20.7             | 3.448            | 65.548         | 483.800     |
| 20.7             | 12.971           | 75.071         | 529.060     |
| 20.7             | 93.494           | 155.594        | 477.554     |
| 20.7             | 155.220          | 217.320        | 556.245     |
| 20.7             | 193.914          | 256.014        | 729.751     |
| 41.4             | 24.252           | 148.452        | 449.034     |
| 41.4             | 48.133           | 172.333        | 494.195     |
| 41.4             | 95.837           | 220.037        | 587.409     |
| 41.4             | 133.745          | 257.945        | 591.648     |
| 41.4             | 212.820          | 337.020        | 683.767     |
| 41.4             | 288.593          | 412.793        | 850.065     |
| 69               | 36.086           | 243.086        | 553.658     |
| 69               | 73.672           | 280.672        | 619.274     |
| 69               | 144.259          | 351.259        | 732.392     |
| 69               | 210.872          | 417.872        | 782.648     |
| 69               | 350.843          | 557.843        | 931.566     |
| 69               | 470.617          | 677.617        | 1028.152    |
| 103.5            | 51.394           | 361.894        | 675.392     |
| 103.5            | 101.607          | 412.107        | 749.430     |
| 103.5            | 205.099          | 515.599        | 906.916     |
| 103.5            | 320.650          | 631.150        | 987.474     |
| 103.5            | 519.987          | 830.488        | 1039.236    |
| 103.5            | 731.879          | 1042.379       | 1245.839    |
| 138              | 65.985           | 479.985        | 779.239     |
| 138              | 138.903          | 552.903        | 889.255     |
| 138              | 286.267          | 700.267        | 1038.401    |
| 138              | 428.151          | 842.151        | 1141.265    |
| 138              | 693.692          | 1107.692       | 1195.041    |
| 138              | 961.077          | 1375.077       | 1390.696    |

Figura B.V.8 Gráfica  $M_r$  vs Esfuerzos totales, muestra subbase-cemento-zeolita 057, ensaye 1.



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 2015-04-15

Clave de proyecto/Servicio: IE-08/14

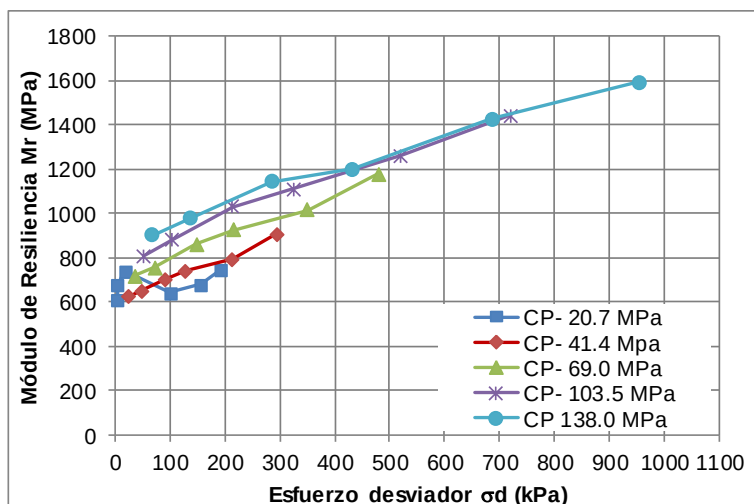
Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con cemento Portland y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

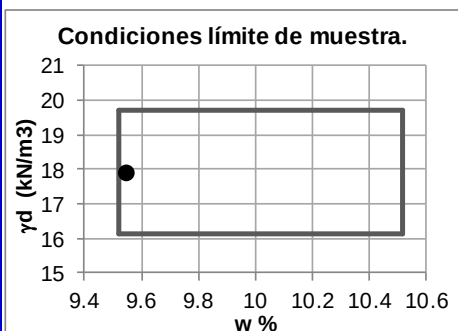
Descripción de la muestra: Subbase adicionada con cemento Portland y zeolita sintética.

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

Muestra No.: SB SC+R 058      Diámetro (cm): 15.050       $\omega$  (%): 9.550  
No. de capas: 5      Altura (cm): 30.118       $\gamma_m$  (kN/m<sup>3</sup>): 19.890  
No. de golpes por capa: 30      Masa muestra (g): 10646.0       $\gamma_d$  (kN/m<sup>3</sup>): 17.882



| $\sigma_3$ (kPa) | $\sigma_d$ (kPa) | $\theta$ (kPa) | $M_r$ (MPa) |
|------------------|------------------|----------------|-------------|
| 20.7             | 4.089            | 66.189         | 607.832     |
| 20.7             | 3.579            | 65.679         | 677.106     |
| 20.7             | 17.284           | 79.384         | 739.895     |
| 20.7             | 99.042           | 161.142        | 642.502     |
| 20.7             | 156.184          | 218.284        | 679.845     |
| 20.7             | 191.577          | 253.677        | 744.923     |
| 41.4             | 23.319           | 147.519        | 622.536     |
| 41.4             | 47.602           | 171.802        | 647.827     |
| 41.4             | 92.186           | 216.386        | 702.919     |
| 41.4             | 128.275          | 252.475        | 739.010     |
| 41.4             | 213.143          | 337.343        | 793.791     |
| 41.4             | 293.943          | 418.143        | 904.234     |
| 69               | 35.999           | 242.999        | 717.440     |
| 69               | 72.773           | 279.773        | 756.446     |
| 69               | 147.953          | 354.953        | 859.139     |
| 69               | 215.919          | 422.919        | 925.129     |
| 69               | 350.356          | 557.356        | 1013.620    |
| 69               | 479.236          | 686.236        | 1176.215    |
| 103.5            | 52.316           | 362.816        | 806.440     |
| 103.5            | 102.258          | 412.758        | 879.182     |
| 103.5            | 214.174          | 524.674        | 1030.470    |
| 103.5            | 324.622          | 635.122        | 1108.332    |
| 103.5            | 520.604          | 831.104        | 1259.908    |
| 103.5            | 720.657          | 1031.157       | 1441.206    |
| 138              | 67.638           | 481.638        | 900.349     |
| 138              | 136.685          | 550.685        | 978.142     |
| 138              | 285.841          | 699.841        | 1143.122    |
| 138              | 431.985          | 845.985        | 1200.553    |
| 138              | 686.386          | 1100.386       | 1424.509    |
| 138              | 954.327          | 1368.327       | 1590.328    |



**OBSERVACIONES:**

\* Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

\* Fecha de compactación : 2015-06-17

\* Días de curado: 63

\* El contenido de humedad ( $w$ %) y el peso específico ( $\gamma_d$ ) de la muestra debe estar dentro del recuadro de la gráfica de condiciones límite de muestra.

Realizó: Elizabeth Parra Alvarez.

Cálculo: Elizabeth Parra Alvarez.

Revisó: Dra. Natalia Pérez García.

Figura B.V.9 Gráfica  $M_r$  vs Esfuerzo desviador, muestra subbase-cemento-zeolita 058, ensaye 2.



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 2015-04-15

Clave de proyecto/Servicio: IE-08/14

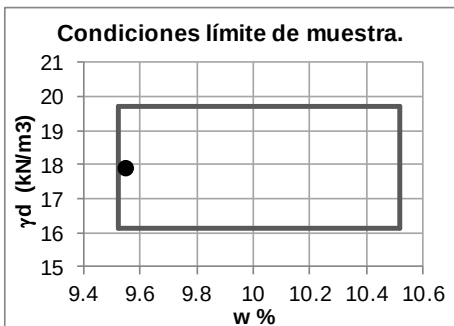
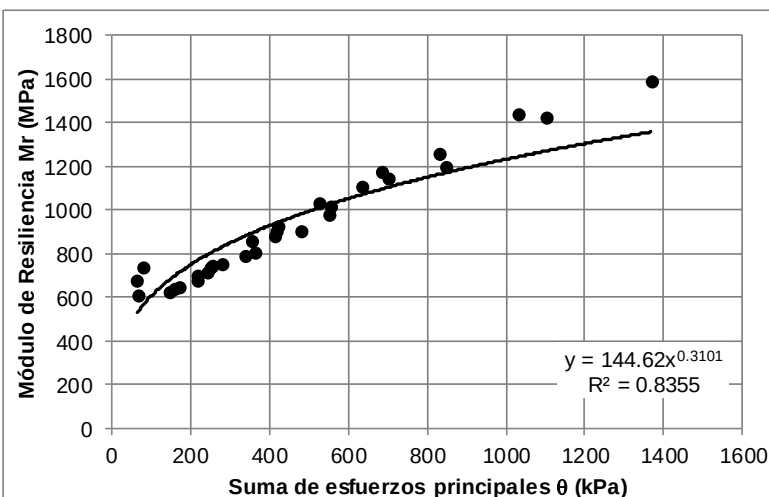
Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con cemento Portland y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

Descripción de la muestra: Subbase adicionada con cemento Portland y zeolita sintética.

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

Muestra No.: SB SC+R 058      Diámetro (cm): 15.050       $\omega$  (%): 9.550  
No. de capas: 5      Altura (cm): 30.118       $\gamma_m$  (kN/m<sup>3</sup>): 19.890  
No. de golpes por capa: 30      Masa muestra (g): 10646.0       $\gamma_d$  (kN/m<sup>3</sup>): 17.882



**OBSERVACIONES:**

\* Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

\* Fecha de compactación :  
2015-06-17

\* Días de curado: 63  
\*El contenido de humedad ( $w$ %) y el peso específico ( $\gamma_d$ ) de la muestra debe estar dentro del recuadro de la gráfica de condiciones límite de muestra.

| $\sigma_3$ (kPa) | $\sigma_1$ (kPa) | $\theta$ (kPa) | $M_r$ (MPa) |
|------------------|------------------|----------------|-------------|
| 20.7             | 4.089            | 66.189         | 607.832     |
| 20.7             | 3.579            | 65.679         | 677.106     |
| 20.7             | 17.284           | 79.384         | 739.895     |
| 20.7             | 99.042           | 161.142        | 642.502     |
| 20.7             | 156.184          | 218.284        | 679.845     |
| 20.7             | 191.577          | 253.677        | 744.923     |
| 41.4             | 23.319           | 147.519        | 622.536     |
| 41.4             | 47.602           | 171.802        | 647.827     |
| 41.4             | 92.186           | 216.386        | 702.919     |
| 41.4             | 128.275          | 252.475        | 739.010     |
| 41.4             | 213.143          | 337.343        | 793.791     |
| 41.4             | 293.943          | 418.143        | 904.234     |
| 69               | 35.999           | 242.999        | 717.440     |
| 69               | 72.773           | 279.773        | 756.446     |
| 69               | 147.953          | 354.953        | 859.139     |
| 69               | 215.919          | 422.919        | 925.129     |
| 69               | 350.356          | 557.356        | 1013.620    |
| 69               | 479.236          | 686.236        | 1176.215    |
| 103.5            | 52.316           | 362.816        | 806.440     |
| 103.5            | 102.258          | 412.758        | 879.182     |
| 103.5            | 214.174          | 524.674        | 1030.470    |
| 103.5            | 324.622          | 635.122        | 1108.332    |
| 103.5            | 520.604          | 831.104        | 1259.908    |
| 103.5            | 720.657          | 1031.157       | 1441.206    |
| 138              | 67.638           | 481.638        | 900.349     |
| 138              | 136.685          | 550.685        | 978.142     |
| 138              | 285.841          | 699.841        | 1143.122    |
| 138              | 431.985          | 845.985        | 1200.553    |
| 138              | 686.386          | 1100.386       | 1424.509    |
| 138              | 954.327          | 1368.327       | 1590.328    |

Realizó: Elizabeth Parra Alvarez.

Cálculo: Elizabeth Parra Alvarez.

Revisó: Dra. Natalia Pérez García.

Figura B.V.10 Gráfica  $M_r$  vs Esfuerzos totales, muestra subbase-cemento-zeolita 058, ensaye 2.



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 2015-04-16

Clave de proyecto/Servicio: IE-08/14

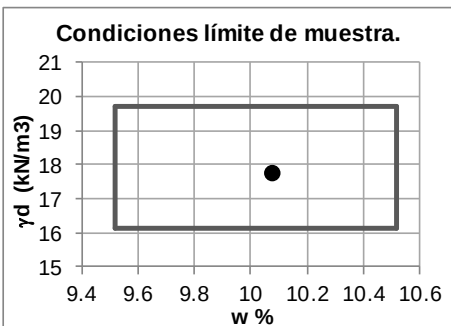
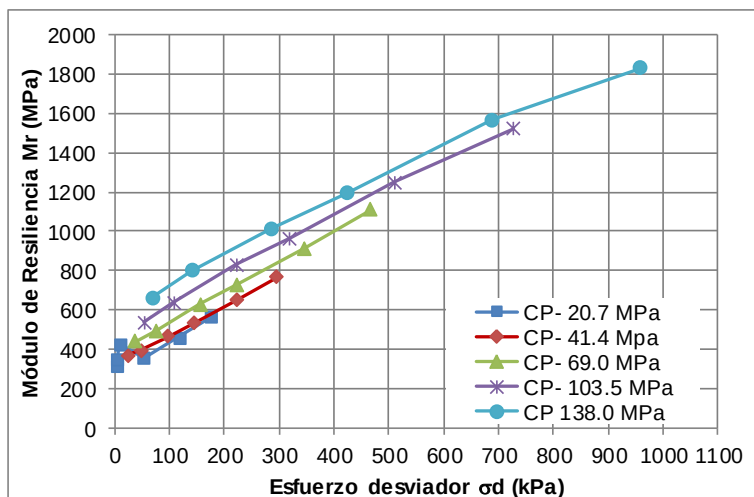
Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con cemento Portland y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

Descripción de la muestra: Subbase adicionada con cemento Portland y zeolita sintética.

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

Muestra No.: SB SC+R 060      Diámetro (cm): 15.061       $\omega$  (%): 10.080  
No. de capas: 5      Altura (cm): 30.115       $\gamma_m$  (kN/m<sup>3</sup>): 19.514  
No. de golpes por capa: 30      Masa muestra (g): 10615.0       $\gamma_d$  (kN/m<sup>3</sup>): 17.728



**OBSERVACIONES:**

\* Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

\* Fecha de compactación : 2015-06-17

\* Días de curado: 62  
\*El contenido de humedad (w %) y el peso específico ( $\gamma_d$ ) de la muestra debe estar dentro del recuadro de la gráfica de condiciones límite de muestra.

Realizó: Elizabeth Parra Alvarez.

Cálculo: Elizabeth Parra Alvarez.

Revisó: Dra. Natalia Pérez García.

| $\sigma_3$ (kPa) | $\sigma_d$ (kPa) | $\theta$ (kPa) | $M_r$ (MPa) |
|------------------|------------------|----------------|-------------|
| 20.7             | 4.142            | 66.242         | 315.286     |
| 20.7             | 4.268            | 66.368         | 351.828     |
| 20.7             | 8.764            | 70.864         | 429.981     |
| 20.7             | 51.959           | 114.059        | 356.823     |
| 20.7             | 116.063          | 178.163        | 463.925     |
| 20.7             | 175.422          | 237.522        | 567.068     |
| 41.4             | 24.378           | 148.578        | 369.881     |
| 41.4             | 48.471           | 172.671        | 396.905     |
| 41.4             | 96.931           | 221.131        | 466.758     |
| 41.4             | 143.814          | 268.014        | 533.003     |
| 41.4             | 221.995          | 346.195        | 651.238     |
| 41.4             | 295.447          | 419.647        | 767.963     |
| 69               | 37.350           | 244.350        | 442.304     |
| 69               | 75.747           | 282.747        | 493.691     |
| 69               | 156.417          | 363.417        | 629.667     |
| 69               | 223.297          | 430.297        | 728.657     |
| 69               | 346.847          | 553.847        | 914.316     |
| 69               | 465.704          | 672.704        | 1109.427    |
| 103.5            | 53.848           | 364.348        | 538.338     |
| 103.5            | 108.448          | 418.948        | 638.039     |
| 103.5            | 221.550          | 532.050        | 829.848     |
| 103.5            | 320.084          | 630.584        | 962.797     |
| 103.5            | 510.462          | 820.962        | 1250.818    |
| 103.5            | 725.897          | 1036.397       | 1522.512    |
| 138              | 68.461           | 482.461        | 661.482     |
| 138              | 140.040          | 554.040        | 799.242     |
| 138              | 286.159          | 700.159        | 1016.036    |
| 138              | 423.418          | 837.418        | 1192.901    |
| 138              | 688.984          | 1102.984       | 1566.253    |
| 138              | 958.598          | 1372.598       | 1830.231    |

Figura B.V.11 Gráfica  $M_r$  vs Esfuerzo desviador, muestra subbase-cemento-zeolita 060, ensaye 4.



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 2015-04-16

Clave de proyecto/Servicio: IE-08/14

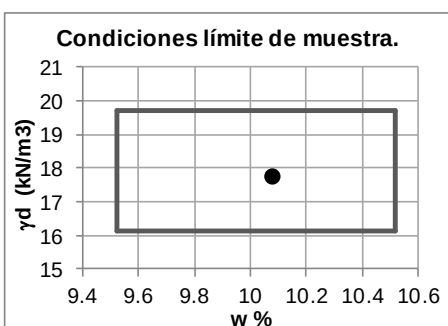
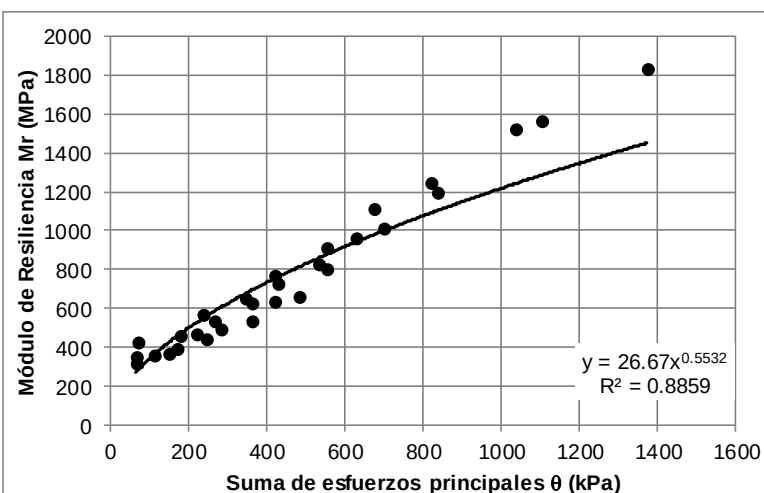
Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con cemento Portland y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

Descripción de la muestra: Subbase adicionada con cemento Portland y zeolita sintética.

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

Muestra No.: SB SC+R 060      Diámetro (cm): 15.061       $\omega$  (%): 10.080  
No. de capas: 5      Altura (cm): 30.115       $\gamma_m$  (kN/m<sup>3</sup>): 19.514  
No. de golpes por capa: 30      Masa muestra (g): 10615.0       $\gamma_d$  (kN/m<sup>3</sup>): 17.728



**OBSERVACIONES:**

\* Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

\* Fecha de compactación : 2015-06-17

\* Días de curado: 62

\* El contenido de humedad ( $w$  %) y el peso específico ( $\gamma_d$ ) de la muestra debe estar dentro del recuadro de la gráfica de condiciones límite de muestra.

Realizó: Elizabeth Parra Alvarez.

Cálculo: Elizabeth Parra Alvarez.

Revisó: Dra. Natalia Pérez García.

| $\sigma_3$ (kPa) | $\sigma_d$ (kPa) | $\theta$ (kPa) | $M_r$ (MPa) |
|------------------|------------------|----------------|-------------|
| 20.7             | 4.142            | 66.242         | 315.286     |
| 20.7             | 4.268            | 66.368         | 351.828     |
| 20.7             | 8.764            | 70.864         | 429.981     |
| 20.7             | 51.959           | 114.059        | 356.823     |
| 20.7             | 116.063          | 178.163        | 463.925     |
| 20.7             | 175.422          | 237.522        | 567.068     |
| 41.4             | 24.378           | 148.578        | 369.881     |
| 41.4             | 48.471           | 172.671        | 396.905     |
| 41.4             | 96.931           | 221.131        | 466.758     |
| 41.4             | 143.814          | 268.014        | 533.003     |
| 41.4             | 221.995          | 346.195        | 651.238     |
| 41.4             | 295.447          | 419.647        | 767.963     |
| 69               | 37.350           | 244.350        | 442.304     |
| 69               | 75.747           | 282.747        | 493.691     |
| 69               | 156.417          | 363.417        | 629.667     |
| 69               | 223.297          | 430.297        | 728.657     |
| 69               | 346.847          | 553.847        | 914.316     |
| 69               | 465.704          | 672.704        | 1109.427    |
| 103.5            | 53.848           | 364.348        | 538.338     |
| 103.5            | 108.448          | 418.948        | 638.039     |
| 103.5            | 221.550          | 532.050        | 829.848     |
| 103.5            | 320.084          | 630.584        | 962.797     |
| 103.5            | 510.462          | 820.962        | 1250.818    |
| 103.5            | 725.897          | 1036.397       | 1522.512    |
| 138              | 68.461           | 482.461        | 661.482     |
| 138              | 140.040          | 554.040        | 799.242     |
| 138              | 286.159          | 700.159        | 1016.036    |
| 138              | 423.418          | 837.418        | 1192.901    |
| 138              | 688.984          | 1102.984       | 1566.253    |
| 138              | 958.598          | 1372.598       | 1830.231    |

Figura B.V.12 Gráfica  $M_r$  vs Esfuerzos totales, muestra subbase-cemento-zeolita 060, ensaye 4.



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 2015-07-03

Clave de proyecto/Servicio: IE-08/14

Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con cemento Portland y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

Descripción de la muestra: Subbase adicionada con cemento Portland y zeolita sintética.

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

Muestra No.: SB SC+R 130

Diámetro (cm): 15.066

$\omega$  (%): 9.870

No. de capas: 5

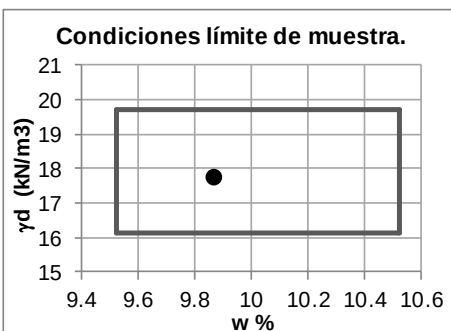
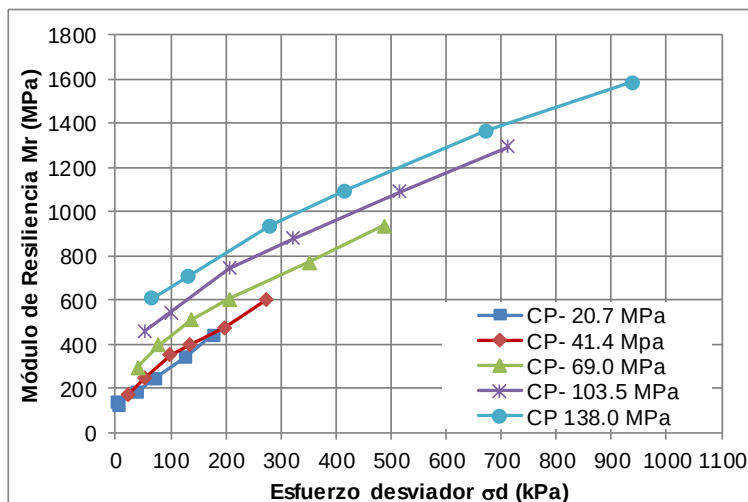
Altura (cm): 30.061

$\gamma_m$  (kN/m<sup>3</sup>): 19.479

No. de golpes por capa: 30

Masa muestra (g): 10485.0

$\gamma_d$  (kN/m<sup>3</sup>): 17.743



**OBSERVACIONES:**

\* Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

\* Fecha de compactación : 2015-09-02

\* Días de curado: 61

\*El contenido de humedad (w %) y el peso específico ( $\gamma_d$ ) de la muestra debe estar dentro del recuadro de la gráfica de condiciones límite de muestra.

| $\sigma_3$ (kPa) | $\sigma_d$ (kPa) | $\theta$ (kPa) | $M_r$ (MPa) |
|------------------|------------------|----------------|-------------|
| 20.7             | 3.013            | 65.113         | 140.844     |
| 20.7             | 4.149            | 66.249         | 129.814     |
| 20.7             | 39.511           | 101.611        | 185.543     |
| 20.7             | 70.567           | 132.667        | 248.084     |
| 20.7             | 126.523          | 188.623        | 344.459     |
| 20.7             | 178.385          | 240.485        | 447.602     |
| 41.4             | 22.789           | 146.989        | 171.494     |
| 41.4             | 53.520           | 177.720        | 250.603     |
| 41.4             | 98.636           | 222.836        | 352.141     |
| 41.4             | 134.413          | 258.613        | 398.091     |
| 41.4             | 198.823          | 323.023        | 476.958     |
| 41.4             | 272.624          | 396.824        | 600.592     |
| 69               | 40.008           | 247.008        | 293.855     |
| 69               | 78.037           | 285.037        | 396.092     |
| 69               | 137.329          | 344.329        | 511.228     |
| 69               | 205.936          | 412.936        | 605.030     |
| 69               | 351.104          | 558.104        | 768.149     |
| 69               | 487.378          | 694.378        | 936.935     |
| 103.5            | 54.216           | 364.716        | 459.239     |
| 103.5            | 100.478          | 410.978        | 543.258     |
| 103.5            | 206.042          | 516.542        | 744.705     |
| 103.5            | 322.083          | 632.583        | 878.165     |
| 103.5            | 516.035          | 826.535        | 1088.655    |
| 103.5            | 712.145          | 1022.645       | 1292.878    |
| 138              | 65.833           | 479.833        | 607.173     |
| 138              | 130.631          | 544.631        | 706.734     |
| 138              | 280.764          | 694.764        | 935.881     |
| 138              | 416.729          | 830.729        | 1093.595    |
| 138              | 673.960          | 1087.960       | 1363.974    |
| 138              | 938.313          | 1352.313       | 1582.658    |

Realizó: Elizabeth Parra Alvarez.

Cálculo: Elizabeth Parra Alvarez.

Revisó: Dra. Natalia Pérez García.

Figura B.V.13 Gráfica  $M_r$  vs Esfuerzo desviador, muestra subbase-cemento-zeolita 130, ensaye 7.



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 2015-07-03

Clave de proyecto/Servicio: IE-08/14

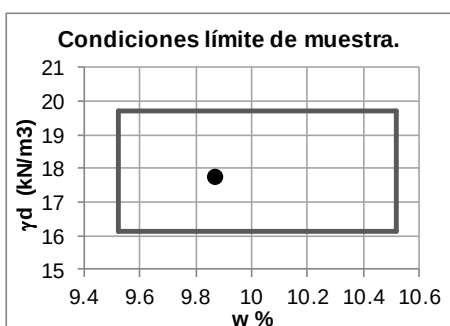
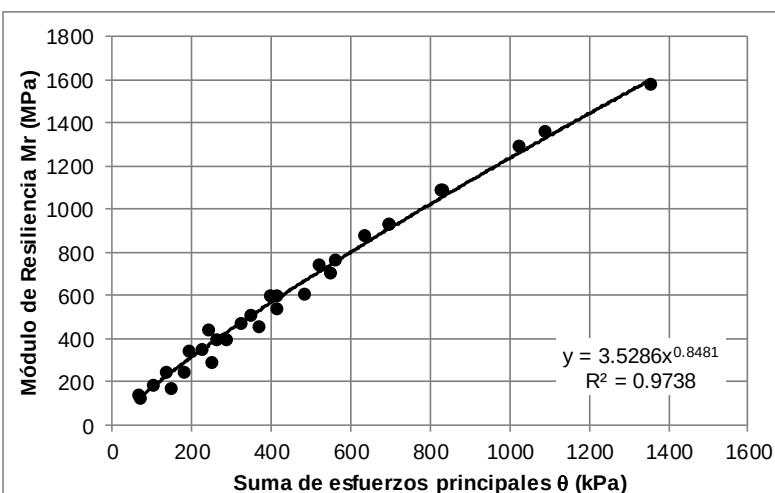
Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con cemento Portland y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

Descripción de la muestra: Subbase adicionada con cemento Portland y zeolita sintética.

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

Muestra No.: SB SC+R 130      Diámetro (cm): 15.066       $\omega$  (%): 9.870  
No. de capas: 5      Altura (cm): 30.061       $\gamma_m$  (kN/m<sup>3</sup>): 19.479  
No. de golpes por capa: 30      Masa muestra (g): 10485.0       $\gamma_d$  (kN/m<sup>3</sup>): 17.743



**OBSERVACIONES:**

\* Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

\* Fecha de compactación : 2015-09-02

\* Días de curado: 61  
\*El contenido de humedad ( $w$ %) y el peso específico ( $\gamma_d$ ) de la muestra debe estar dentro del recuadro de la gráfica de condiciones límite de muestra.

| $\sigma_3$ (kPa) | $\sigma_d$ (kPa) | $\theta$ (kPa) | $M_r$ (MPa) |
|------------------|------------------|----------------|-------------|
| 20.7             | 3.013            | 65.113         | 140.844     |
| 20.7             | 4.149            | 66.249         | 129.814     |
| 20.7             | 39.511           | 101.611        | 185.543     |
| 20.7             | 70.567           | 132.667        | 248.084     |
| 20.7             | 126.523          | 188.623        | 344.459     |
| 20.7             | 178.385          | 240.485        | 447.602     |
| 41.4             | 22.789           | 146.989        | 171.494     |
| 41.4             | 53.520           | 177.720        | 250.603     |
| 41.4             | 98.636           | 222.836        | 352.141     |
| 41.4             | 134.413          | 258.613        | 398.091     |
| 41.4             | 198.823          | 323.023        | 476.958     |
| 41.4             | 272.624          | 396.824        | 600.592     |
| 69               | 40.008           | 247.008        | 293.855     |
| 69               | 78.037           | 285.037        | 396.092     |
| 69               | 137.329          | 344.329        | 511.228     |
| 69               | 205.936          | 412.936        | 605.030     |
| 69               | 351.104          | 558.104        | 768.149     |
| 69               | 487.378          | 694.378        | 936.935     |
| 103.5            | 54.216           | 364.716        | 459.239     |
| 103.5            | 100.478          | 410.978        | 543.258     |
| 103.5            | 206.042          | 516.542        | 744.705     |
| 103.5            | 322.083          | 632.583        | 878.165     |
| 103.5            | 516.035          | 826.535        | 1088.655    |
| 103.5            | 712.145          | 1022.645       | 1292.878    |
| 138              | 65.833           | 479.833        | 607.173     |
| 138              | 130.631          | 544.631        | 706.734     |
| 138              | 280.764          | 694.764        | 935.881     |
| 138              | 416.729          | 830.729        | 1093.595    |
| 138              | 673.960          | 1087.960       | 1363.974    |
| 138              | 938.313          | 1352.313       | 1582.658    |

Realizó: Elizabeth Parra Alvarez.

Cálculo: Elizabeth Parra Alvarez.

Revisó: Dra. Natalia Pérez García.

Figura B.V.14 Gráfica  $M_r$  vs Esfuerzos totales, muestra subbase-cemento-zeolita 130, ensaye 7.

## **ANEXO B.VI MUESTRAS DE 90 DÍAS DE CURADO**





INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 2015-03-30

Clave de proyecto/Servicio: IE-08/14

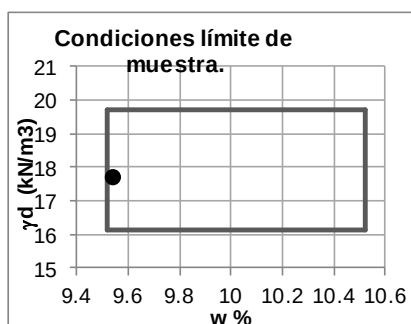
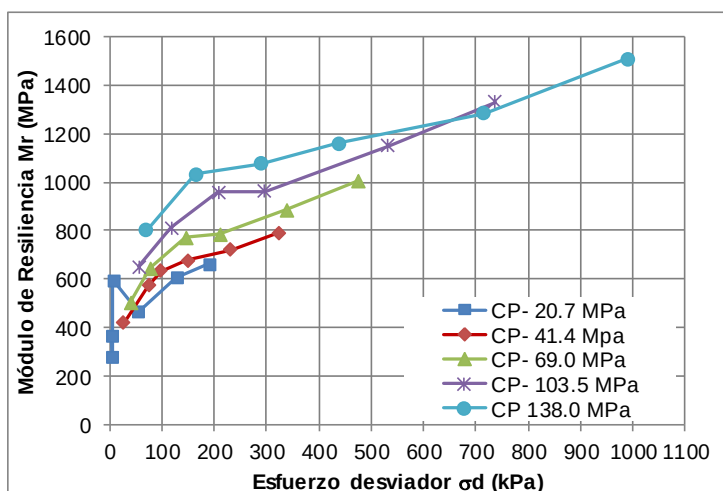
Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con Cemento Portland y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

Descripción de la muestra: Subbase adicionada con cemento Portland.

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

Muestra No.: SB SC 026      Diámetro (cm): 15.076       $\omega$  (%): 9.540  
No. de capas: 5      Altura (cm): 30.055       $\gamma_m$  (kN/m<sup>3</sup>): 19.363  
No. de golpes por capa: 30      Masa muestra (g): 10597.0       $\gamma_d$  (kN/m<sup>3</sup>): 17.677



**OBSERVACIONES:**

\* Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

\* Fecha de compactación : 2015-07-01

\* Días de curado: 93

\* El contenido de humedad (w%) y el peso específico ( $\gamma_d$ ) de la muestra debe estar dentro del recuadro de la gráfica de condiciones límite de muestra.

| $\sigma_3$ (kPa) | $\sigma_1$ (kPa) | $\theta$ (kPa) | $M_r$ (MPa) |
|------------------|------------------|----------------|-------------|
| 20.7             | 3.114            | 65.214         | 370.605     |
| 20.7             | 3.992            | 66.092         | 280.413     |
| 20.7             | 5.961            | 68.061         | 598.765     |
| 20.7             | 54.864           | 116.964        | 466.330     |
| 20.7             | 127.630          | 189.730        | 607.317     |
| 20.7             | 191.300          | 253.400        | 664.289     |
| 41.4             | 26.217           | 150.417        | 421.310     |
| 41.4             | 74.991           | 199.191        | 574.027     |
| 41.4             | 97.253           | 221.453        | 635.314     |
| 41.4             | 149.517          | 273.717        | 678.648     |
| 41.4             | 230.795          | 354.995        | 722.660     |
| 41.4             | 324.747          | 448.947        | 793.003     |
| 69               | 40.300           | 247.300        | 503.472     |
| 69               | 76.998           | 283.998        | 642.629     |
| 69               | 145.355          | 352.355        | 772.971     |
| 69               | 211.562          | 418.562        | 783.657     |
| 69               | 338.912          | 545.912        | 885.580     |
| 69               | 476.426          | 683.426        | 1006.640    |
| 103.5            | 56.330           | 366.830        | 649.343     |
| 103.5            | 117.966          | 428.466        | 810.998     |
| 103.5            | 208.134          | 518.634        | 958.045     |
| 103.5            | 295.960          | 606.460        | 961.352     |
| 103.5            | 532.458          | 842.958        | 1148.198    |
| 103.5            | 737.286          | 1047.786       | 1329.103    |
| 138              | 69.835           | 483.835        | 801.253     |
| 138              | 165.160          | 579.160        | 1033.646    |
| 138              | 289.094          | 703.094        | 1075.238    |
| 138              | 437.608          | 851.608        | 1158.878    |
| 138              | 715.032          | 1129.032       | 1284.650    |
| 138              | 989.928          | 1403.928       | 1507.167    |

Realizó: Elizabeth Parra Alvarez.

Cálculo: Elizabeth Parra Alvarez.

Revisó: Dra. Natalia Pérez García.

Figura B.VI.1 Gráfica  $M_r$  vs Esfuerzo desviador, muestra subbase-cemento 026, ensaye 1.



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 2015-03-30

Clave de proyecto/Servicio: IE-08/14

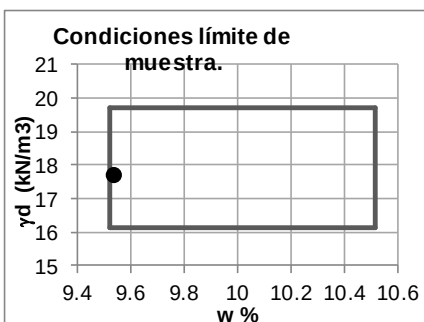
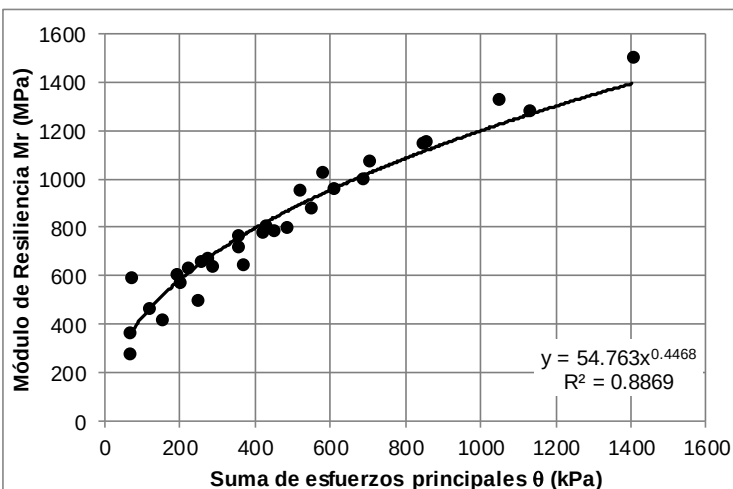
Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con Cemento Portland y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

Descripción de la muestra: Subbase adicionada con cemento Portland.

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

Muestra No.: SB SC 026      Diámetro (cm): 15.076       $\omega$  (%): 9.540  
No. de capas: 5      Altura (cm): 30.055       $\gamma_m$  (kN/m<sup>3</sup>): 19.363  
No. de golpes por capa: 30      Masa muestra (g): 10597.0       $\gamma_d$  (kN/m<sup>3</sup>): 17.677



**OBSERVACIONES:**

\* Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

\* Fecha de compactación :

2015-07-01

\* Días de curado: 93

\* El contenido de humedad (w %) y el peso específico ( $\gamma_d$ ) de la muestra debe estar dentro del recuadro de la gráfica de condiciones límite de muestra.

| $\sigma_3$ (kPa) | $\sigma_d$ (kPa) | $\theta$ (kPa) | $M_r$ (MPa) |
|------------------|------------------|----------------|-------------|
| 20.7             | 3.114            | 65.214         | 370.605     |
| 20.7             | 3.992            | 66.092         | 280.413     |
| 20.7             | 5.961            | 68.061         | 598.765     |
| 20.7             | 54.864           | 116.964        | 466.330     |
| 20.7             | 127.630          | 189.730        | 607.317     |
| 20.7             | 191.300          | 253.400        | 664.289     |
| 41.4             | 26.217           | 150.417        | 421.310     |
| 41.4             | 74.991           | 199.191        | 574.027     |
| 41.4             | 97.253           | 221.453        | 635.314     |
| 41.4             | 149.517          | 273.717        | 678.648     |
| 41.4             | 230.795          | 354.995        | 722.660     |
| 41.4             | 324.747          | 448.947        | 793.003     |
| 69               | 40.300           | 247.300        | 503.472     |
| 69               | 76.998           | 283.998        | 642.629     |
| 69               | 145.355          | 352.355        | 772.971     |
| 69               | 211.562          | 418.562        | 783.657     |
| 69               | 338.912          | 545.912        | 885.580     |
| 69               | 476.426          | 683.426        | 1006.640    |
| 103.5            | 56.330           | 366.830        | 649.343     |
| 103.5            | 117.966          | 428.466        | 810.998     |
| 103.5            | 208.134          | 518.634        | 958.045     |
| 103.5            | 295.960          | 606.460        | 961.352     |
| 103.5            | 532.458          | 842.958        | 1148.198    |
| 103.5            | 737.286          | 1047.786       | 1329.103    |
| 138              | 69.835           | 483.835        | 801.253     |
| 138              | 165.160          | 579.160        | 1033.646    |
| 138              | 289.094          | 703.094        | 1075.238    |
| 138              | 437.608          | 851.608        | 1158.878    |
| 138              | 715.032          | 1129.032       | 1284.650    |
| 138              | 989.928          | 1403.928       | 1507.167    |

Realizó: Elizabeth Parra Alvarez.

Cálculo: Elizabeth Parra Alvarez.

Revisó: Dra. Natalia Pérez García.

Figura B.VI.2 Gráfica Mr vs Esfuerzos totales, muestra subbase-cemento 026, ensaye 1.



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 2015-03-30

Clave de proyecto/Servicio: IE-08/14

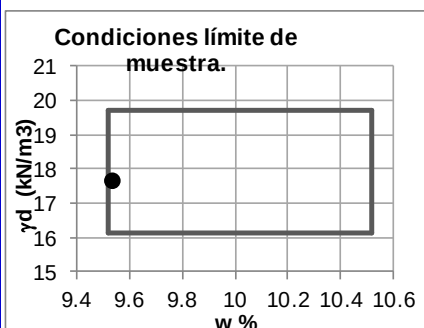
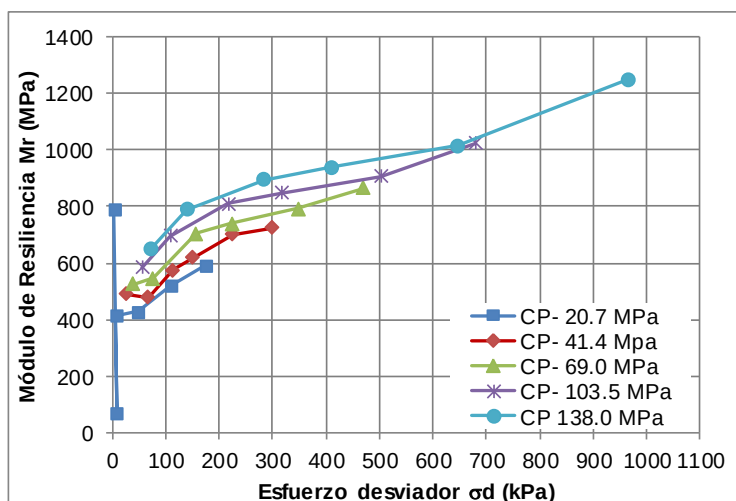
Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con Cemento Portland y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

Descripción de la muestra: Subbase adicionada con cemento Portland.

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

Muestra No.: SB SC 028      Diámetro (cm): 15.059       $\omega$  (%): 9.540  
No. de capas: 5      Altura (cm): 30.069       $\gamma_m$  (kN/m<sup>3</sup>): 19.322  
No. de golpes por capa: 30      Masa muestra (g): 10492.0       $\gamma_d$  (kN/m<sup>3</sup>): 17.640



**OBSERVACIONES:**

\* Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

\* Fecha de compactación :

2015-07-02

\* Días de curado: 94

\*El contenido de humedad (w %) y el peso específico ( $\gamma_d$ ) de la muestra debe estar dentro del recuadro de la gráfica de condiciones límite de muestra.

| $\sigma_3$ (kPa) | $\sigma_d$ (kPa) | $\theta$ (kPa) | $M_r$ (MPa) |
|------------------|------------------|----------------|-------------|
| 20.7             | 2.754            | 64.854         | 792.934     |
| 20.7             | 8.572            | 70.672         | 71.369      |
| 20.7             | 5.932            | 68.032         | 413.479     |
| 20.7             | 47.808           | 109.908        | 428.647     |
| 20.7             | 109.306          | 171.406        | 519.178     |
| 20.7             | 175.129          | 237.229        | 593.459     |
| 41.4             | 26.141           | 150.341        | 490.760     |
| 41.4             | 67.293           | 191.494        | 479.277     |
| 41.4             | 113.504          | 237.704        | 576.299     |
| 41.4             | 150.883          | 275.083        | 620.153     |
| 41.4             | 224.815          | 349.015        | 700.878     |
| 41.4             | 299.116          | 423.316        | 724.938     |
| 69               | 39.238           | 246.238        | 525.930     |
| 69               | 76.243           | 283.243        | 546.481     |
| 69               | 157.028          | 364.028        | 705.142     |
| 69               | 223.186          | 430.186        | 740.687     |
| 69               | 347.224          | 554.224        | 791.100     |
| 69               | 470.905          | 677.906        | 865.600     |
| 103.5            | 55.369           | 365.869        | 584.978     |
| 103.5            | 108.960          | 419.460        | 696.888     |
| 103.5            | 217.538          | 528.038        | 810.486     |
| 103.5            | 316.513          | 627.013        | 849.259     |
| 103.5            | 502.244          | 812.744        | 906.256     |
| 103.5            | 679.177          | 989.677        | 1022.318    |
| 138              | 71.112           | 485.112        | 647.477     |
| 138              | 140.233          | 554.233        | 790.652     |
| 138              | 283.954          | 697.954        | 893.968     |
| 138              | 411.145          | 825.145        | 939.241     |
| 138              | 646.338          | 1060.338       | 1014.901    |
| 138              | 966.865          | 1380.865       | 1248.822    |

Realizó: Elizabeth Parra Alvarez.

Cálculo: Elizabeth Parra Alvarez.

Revisó: Dra. Natalia Pérez García.

Figura B.VI.3 Gráfica  $M_r$  vs Esfuerzo desviador, muestra subbase-cemento 028, ensaye 3.



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 2015-03-30

Clave de proyecto/Servicio: IE-08/14

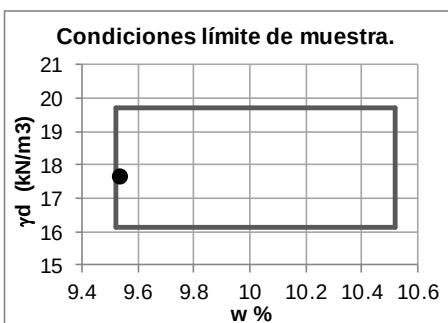
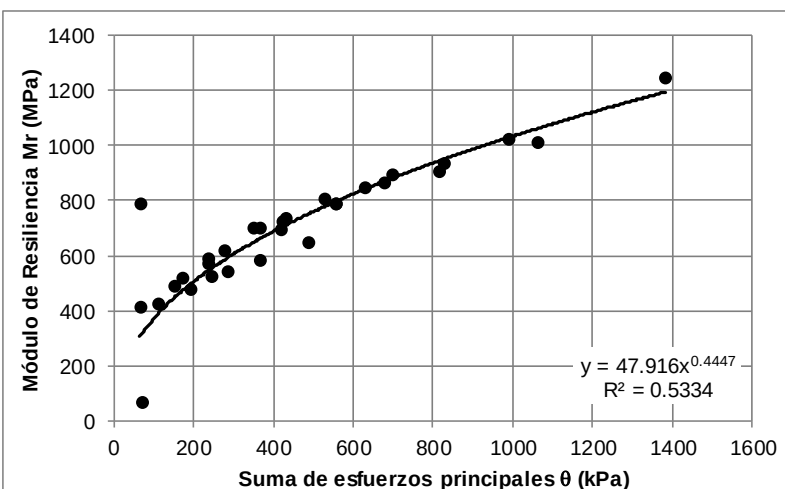
Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con Cemento Portland y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

Descripción de la muestra: Subbase adicionada con cemento Portland.

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

Muestra No.: SB SC 028      Diámetro (cm): 15.059       $\omega$  (%): 9.540  
No. de capas: 5      Altura (cm): 30.069       $\gamma_m$  (kN/m<sup>3</sup>): 19.322  
No. de golpes por capa: 30      Masa muestra (g): 10492.0       $\gamma_d$  (kN/m<sup>3</sup>): 17.640



**OBSERVACIONES:**

\* Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

\* Fecha de compactación :  
2015-07-02

\* Días de curado: 94  
\* El contenido de humedad ( $w$  %) y el peso específico ( $\gamma_d$ ) de la muestra debe estar dentro del recuadro de la gráfica de condiciones límite de muestra.

Realizó: Elizabeth Parra Alvarez.

Cálculo: Elizabeth Parra Alvarez.

Revisó: Dra. Natalia Pérez García.

| $\sigma_3$ (kPa) | $\sigma_1$ (kPa) | $\theta$ (kPa) | $M_r$ (MPa) |
|------------------|------------------|----------------|-------------|
| 20.7             | 2.754            | 64.854         | 792.934     |
| 20.7             | 8.572            | 70.672         | 71.369      |
| 20.7             | 5.932            | 68.032         | 413.479     |
| 20.7             | 47.808           | 109.908        | 428.647     |
| 20.7             | 109.306          | 171.406        | 519.178     |
| 20.7             | 175.129          | 237.229        | 593.459     |
| 41.4             | 26.141           | 150.341        | 490.760     |
| 41.4             | 67.293           | 191.494        | 479.277     |
| 41.4             | 113.504          | 237.704        | 576.299     |
| 41.4             | 150.883          | 275.083        | 620.153     |
| 41.4             | 224.815          | 349.015        | 700.878     |
| 41.4             | 299.116          | 423.316        | 724.938     |
| 69               | 39.238           | 246.238        | 525.930     |
| 69               | 76.243           | 283.243        | 546.481     |
| 69               | 157.028          | 364.028        | 705.142     |
| 69               | 223.186          | 430.186        | 740.687     |
| 69               | 347.224          | 554.224        | 791.100     |
| 69               | 470.905          | 677.906        | 865.600     |
| 103.5            | 55.369           | 365.869        | 584.978     |
| 103.5            | 108.960          | 419.460        | 696.888     |
| 103.5            | 217.538          | 528.038        | 810.486     |
| 103.5            | 316.513          | 627.013        | 849.259     |
| 103.5            | 502.244          | 812.744        | 906.256     |
| 103.5            | 679.177          | 989.677        | 1022.318    |
| 138              | 71.112           | 485.112        | 647.477     |
| 138              | 140.233          | 554.233        | 790.652     |
| 138              | 283.954          | 697.954        | 893.968     |
| 138              | 411.145          | 825.145        | 939.241     |
| 138              | 646.338          | 1060.338       | 1014.901    |
| 138              | 966.865          | 1380.865       | 1248.822    |

Figura B.VI.4 Gráfica  $M_r$  vs Esfuerzos totales, muestra subbase-cemento 028, ensaye 3.



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 2015-06-03

Clave de proyecto/Servicio: IE-08/14

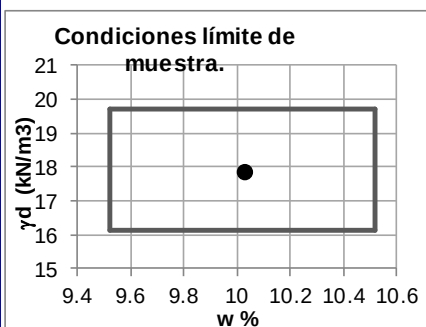
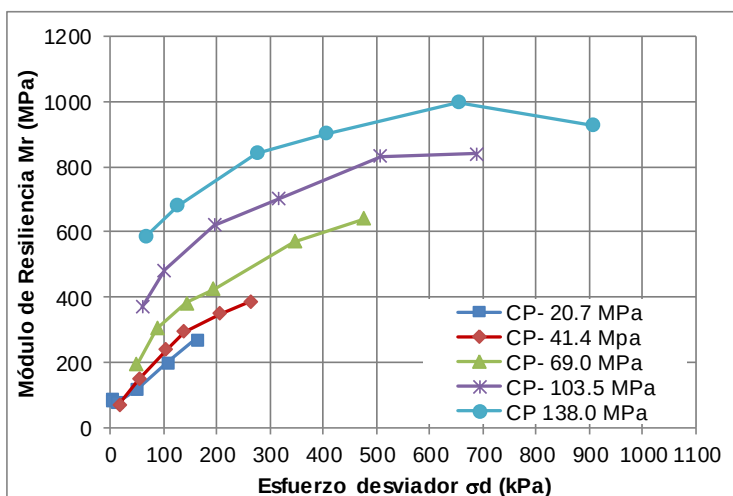
Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con Cemento Portland y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

Descripción de la muestra: Subbase adicionada con cemento Portland.

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

Muestra No.: SB SC 114      Diámetro (cm): 15.053       $\omega$  (%): 10.030  
No. de capas: 5      Altura (cm): 30.008       $\gamma_m$  (kN/m<sup>3</sup>): 19.525  
No. de golpes por capa: 30      Masa muestra (g): 10639.0       $\gamma_d$  (kN/m<sup>3</sup>): 17.809



**OBSERVACIONES:**

\* Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

\* Fecha de compactación :

2015-09-02

\* Días de curado: 91

\* El contenido de humedad (w %) y el peso específico ( $\gamma_d$ ) de la muestra debe estar dentro del recuadro de la gráfica de condiciones límite de muestra.

Realizó: Elizabeth Parra Alvarez.

Cálculo: Elizabeth Parra Alvarez.

Revisó: Dra. Natalia Pérez García.

| $\sigma_3$ (kPa) | $\sigma_1$ (kPa) | $\theta$ (kPa) | $M_r$ (MPa) |
|------------------|------------------|----------------|-------------|
| 20.7             | 2.883            | 64.983         | 92.254      |
| 20.7             | 2.770            | 64.870         | 84.610      |
| 20.7             | 12.435           | 74.535         | 79.145      |
| 20.7             | 48.858           | 110.958        | 117.941     |
| 20.7             | 107.466          | 169.566        | 201.752     |
| 20.7             | 160.686          | 222.786        | 272.585     |
| 41.4             | 16.071           | 140.271        | 71.186      |
| 41.4             | 53.756           | 177.956        | 150.018     |
| 41.4             | 104.765          | 228.965        | 239.503     |
| 41.4             | 137.718          | 261.918        | 294.546     |
| 41.4             | 206.364          | 330.564        | 348.996     |
| 41.4             | 264.814          | 389.014        | 387.157     |
| 69               | 48.461           | 255.461        | 193.349     |
| 69               | 87.237           | 294.237        | 303.944     |
| 69               | 142.630          | 349.630        | 383.221     |
| 69               | 194.265          | 401.265        | 425.342     |
| 69               | 346.269          | 553.269        | 570.909     |
| 69               | 476.063          | 683.063        | 642.055     |
| 103.5            | 59.217           | 369.717        | 371.268     |
| 103.5            | 102.102          | 412.602        | 483.639     |
| 103.5            | 195.679          | 506.179        | 620.563     |
| 103.5            | 315.002          | 625.502        | 700.954     |
| 103.5            | 507.128          | 817.628        | 831.016     |
| 103.5            | 687.701          | 998.201        | 840.795     |
| 138              | 65.592           | 479.592        | 585.622     |
| 138              | 126.669          | 540.669        | 681.932     |
| 138              | 274.649          | 688.650        | 842.179     |
| 138              | 406.371          | 820.371        | 902.028     |
| 138              | 654.122          | 1068.122       | 999.031     |
| 138              | 907.386          | 1321.386       | 928.315     |

Figura B.VI.5 Gráfica Mr vs Esfuerzo desviador, muestra subbase-cemento 114, ensaye 6.



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 2015-06-03

Clave de proyecto/Servicio: IE-08/14

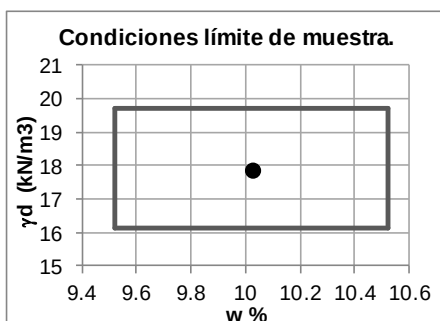
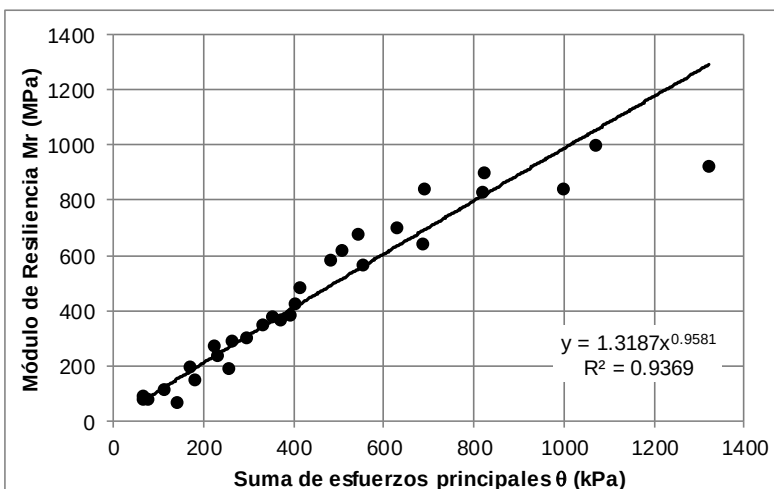
Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con Cemento Portland y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

Descripción de la muestra: Subbase adicionada con cemento Portland.

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

Muestra No.: SB SC 114      Diámetro (cm): 15.053       $\omega$  (%): 10.030  
No. de capas: 5      Altura (cm): 30.008       $\gamma_m$  (kN/m³): 19.525  
No. de golpes por capa: 30      Masa muestra (g): 10639.0       $\gamma_d$  (kN/m³): 17.809



**OBSERVACIONES:**

\* Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

\* Fecha de compactación : 2015-09-02

\* Días de curado: 91  
\* El contenido de humedad (w %) y el peso específico ( $\gamma_d$ ) de la muestra debe estar dentro del recuadro de la gráfica de condiciones límite de muestra.

| $\sigma_3$ (kPa) | $\sigma_1$ (kPa) | $\theta$ (kPa) | $M_r$ (MPa) |
|------------------|------------------|----------------|-------------|
| 20.7             | 2.883            | 64.983         | 92.254      |
| 20.7             | 2.770            | 64.870         | 84.610      |
| 20.7             | 12.435           | 74.535         | 79.145      |
| 20.7             | 48.858           | 110.958        | 117.941     |
| 20.7             | 107.466          | 169.566        | 201.752     |
| 20.7             | 160.686          | 222.786        | 272.585     |
| 41.4             | 16.071           | 140.271        | 71.186      |
| 41.4             | 53.756           | 177.956        | 150.018     |
| 41.4             | 104.765          | 228.965        | 239.503     |
| 41.4             | 137.718          | 261.918        | 294.546     |
| 41.4             | 206.364          | 330.564        | 348.996     |
| 41.4             | 264.814          | 389.014        | 387.157     |
| 69               | 48.461           | 255.461        | 193.349     |
| 69               | 87.237           | 294.237        | 303.944     |
| 69               | 142.630          | 349.630        | 383.221     |
| 69               | 194.265          | 401.265        | 425.342     |
| 69               | 346.269          | 553.269        | 570.909     |
| 69               | 476.063          | 683.063        | 642.055     |
| 103.5            | 59.217           | 369.717        | 371.268     |
| 103.5            | 102.102          | 412.602        | 483.639     |
| 103.5            | 195.679          | 506.179        | 620.563     |
| 103.5            | 315.002          | 625.502        | 700.954     |
| 103.5            | 507.128          | 817.628        | 831.016     |
| 103.5            | 687.701          | 998.201        | 840.795     |
| 138              | 65.592           | 479.592        | 585.622     |
| 138              | 126.669          | 540.669        | 681.932     |
| 138              | 274.649          | 688.650        | 842.179     |
| 138              | 406.371          | 820.371        | 902.028     |
| 138              | 654.122          | 1068.122       | 999.031     |
| 138              | 907.386          | 1321.386       | 928.315     |

Realizó: Elizabeth Parra Alvarez.

Cálculo: Elizabeth Parra Alvarez.

Revisó: Dra. Natalia Pérez García.

Figura B.VI.6 Gráfica Mr vs Esfuerzos totales, muestra subbase-cemento 028, ensaye 3.



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 2015-03-25

Clave de proyecto/Servicio: IE-08/14

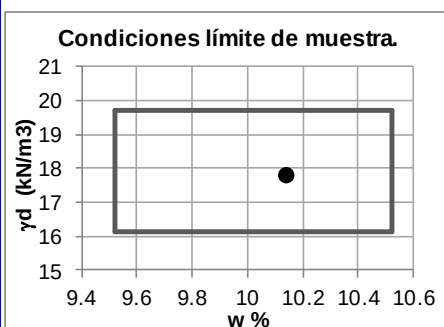
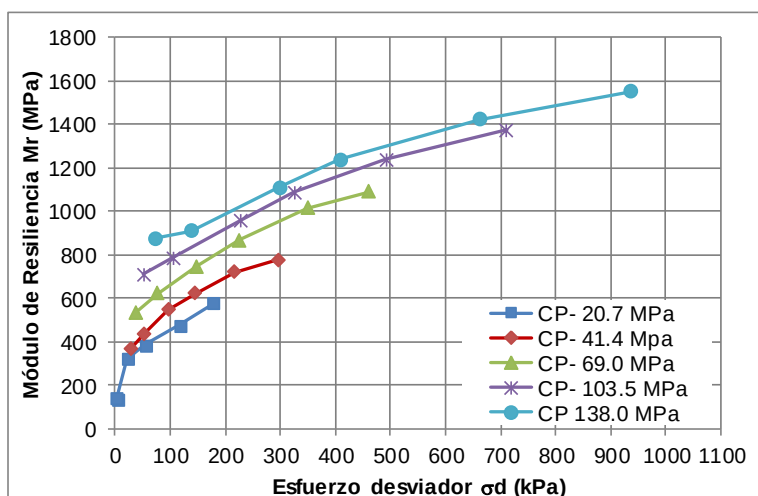
Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con cemento Portland y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

Descripción de la muestra: Subbase adicionada con cemento Portland y zeolita sintética.

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

|                         |             |                   |         |                                  |        |
|-------------------------|-------------|-------------------|---------|----------------------------------|--------|
| Muestra No.:            | SB SC+R 016 | Diámetro (cm):    | 15.045  | $\omega$ (%):                    | 10.140 |
| No. de capas:           | 5           | Altura (cm):      | 30.094  | $\gamma_m$ (kN/m <sup>3</sup> ): | 19.600 |
| No. de golpes por capa: | 30          | Masa muestra (g): | 10602.5 | $\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> ): | 17.795 |



**OBSERVACIONES:**

\* Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

\* Fecha de compactación :

2015-06-24

\* Días de curado: 91

\*El contenido de humedad (w %) y el peso específico ( $\gamma_d$ ) de la muestra debe estar dentro del recuadro de la gráfica de condiciones límite de muestra.

| $\sigma_3$ (kPa) | $\sigma_d$ (kPa) | $\theta$ (kPa) | $M_r$ (MPa) |
|------------------|------------------|----------------|-------------|
| 20.7             | 3.399            | 65.499         | 134.853     |
| 20.7             | 3.071            | 65.171         | 146.231     |
| 20.7             | 22.096           | 84.196         | 321.767     |
| 20.7             | 53.998           | 116.098        | 385.039     |
| 20.7             | 117.223          | 179.323        | 476.841     |
| 20.7             | 178.538          | 240.638        | 576.926     |
| 41.4             | 27.087           | 151.287        | 367.440     |
| 41.4             | 53.473           | 177.673        | 439.058     |
| 41.4             | 96.333           | 220.533        | 546.853     |
| 41.4             | 145.975          | 270.175        | 624.736     |
| 41.4             | 217.193          | 341.393        | 719.960     |
| 41.4             | 296.811          | 421.011        | 776.734     |
| 69               | 38.417           | 245.417        | 537.533     |
| 69               | 77.214           | 284.214        | 624.547     |
| 69               | 148.285          | 355.285        | 746.561     |
| 69               | 225.163          | 432.163        | 869.079     |
| 69               | 348.550          | 555.550        | 1015.956    |
| 69               | 460.023          | 667.023        | 1088.242    |
| 103.5            | 51.920           | 362.420        | 708.786     |
| 103.5            | 105.171          | 415.671        | 783.613     |
| 103.5            | 228.922          | 539.422        | 959.501     |
| 103.5            | 325.033          | 635.533        | 1086.297    |
| 103.5            | 491.662          | 802.162        | 1235.595    |
| 103.5            | 710.988          | 1021.488       | 1373.519    |
| 138              | 74.037           | 488.037        | 876.251     |
| 138              | 137.357          | 551.357        | 907.645     |
| 138              | 298.046          | 712.046        | 1107.114    |
| 138              | 409.217          | 823.217        | 1235.655    |
| 138              | 661.964          | 1075.964       | 1420.976    |
| 138              | 935.861          | 1349.861       | 1550.455    |

Realizó: Elizabeth Parra Alvarez.

Cálculo: Elizabeth Parra Alvarez.

Revisó: Dra. Natalia Pérez García.

Figura B.VI.7 Gráfica Mr vs Esfuerzo desviador, muestra subbase-cemento-zeolita 016, ensaye 2.



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 2015-03-25

Clave de proyecto/Servicio: IE-08/14

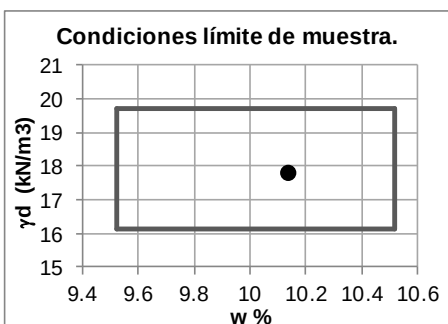
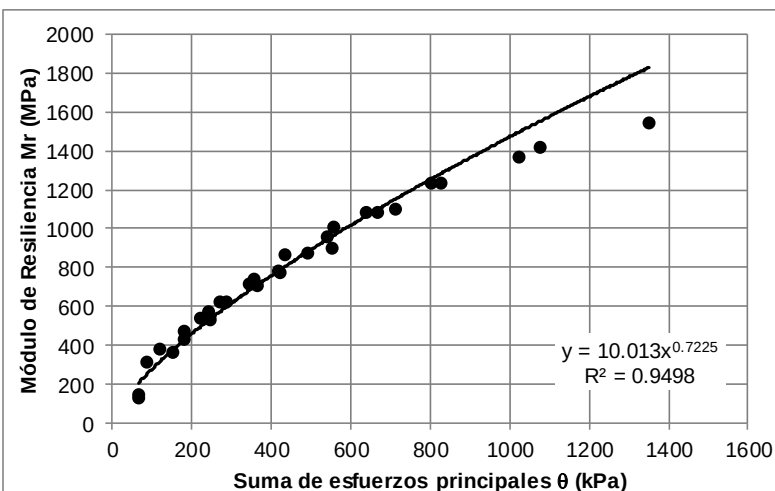
Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con cemento Portland y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

Descripción de la muestra: Subbase adicionada con cemento Portland y zeolita sintética.

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

Muestra No.: SB SC+R 016      Diámetro (cm): 15.045       $\omega$  (%): 10.140  
No. de capas: 5      Altura (cm): 30.094       $\gamma_m$  (kN/m<sup>3</sup>): 19.600  
No. de golpes por capa: 30      Masa muestra (g): 10602.5       $\gamma_d$  (kN/m<sup>3</sup>): 17.795



**OBSERVACIONES:**

\* Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

\* Fecha de compactación : 2015-06-24

\* Días de curado: 91

\* El contenido de humedad ( $w$ %) y el peso específico ( $\gamma_d$ ) de la muestra debe estar dentro del recuadro de la gráfica de condiciones límite de muestra.

| $\sigma_3$ (kPa) | $\sigma_d$ (kPa) | $\theta$ (kPa) | $M_r$ (MPa) |
|------------------|------------------|----------------|-------------|
| 20.7             | 3.399            | 65.499         | 134.853     |
| 20.7             | 3.071            | 65.171         | 146.231     |
| 20.7             | 22.096           | 84.196         | 321.767     |
| 20.7             | 53.998           | 116.098        | 385.039     |
| 20.7             | 117.223          | 179.323        | 476.841     |
| 20.7             | 178.538          | 240.638        | 576.926     |
| 41.4             | 27.087           | 151.287        | 367.440     |
| 41.4             | 53.473           | 177.673        | 439.058     |
| 41.4             | 96.333           | 220.533        | 546.853     |
| 41.4             | 145.975          | 270.175        | 624.736     |
| 41.4             | 217.193          | 341.393        | 719.960     |
| 41.4             | 296.811          | 421.011        | 776.734     |
| 69               | 38.417           | 245.417        | 537.533     |
| 69               | 77.214           | 284.214        | 624.547     |
| 69               | 148.285          | 355.285        | 746.561     |
| 69               | 225.163          | 432.163        | 869.079     |
| 69               | 348.550          | 555.550        | 1015.956    |
| 69               | 460.023          | 667.023        | 1088.242    |
| 103.5            | 51.920           | 362.420        | 708.786     |
| 103.5            | 105.171          | 415.671        | 783.613     |
| 103.5            | 228.922          | 539.422        | 959.501     |
| 103.5            | 325.033          | 635.533        | 1086.297    |
| 103.5            | 491.662          | 802.162        | 1235.595    |
| 103.5            | 710.988          | 1021.488       | 1373.519    |
| 138              | 74.037           | 488.037        | 876.251     |
| 138              | 137.357          | 551.357        | 907.645     |
| 138              | 298.046          | 712.046        | 1107.114    |
| 138              | 409.217          | 823.217        | 1235.655    |
| 138              | 661.964          | 1075.964       | 1420.976    |
| 138              | 935.861          | 1349.861       | 1550.455    |

Realizó: Elizabeth Parra Alvarez.

Cálculo: Elizabeth Parra Alvarez.

Revisó: Dra. Natalia Pérez García.

Figura B.VI.8 Gráfica  $M_r$  vs Esfuerzos totales, muestra subbase-cemento-zeolita 016, ensaye 2.



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 2015-03-25

Clave de proyecto/Servicio: IE-08/14

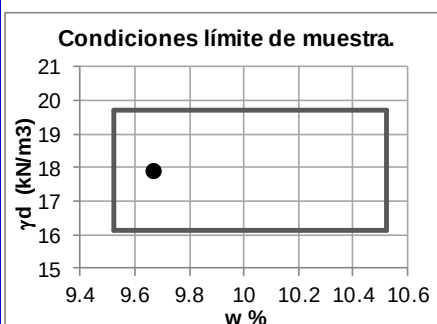
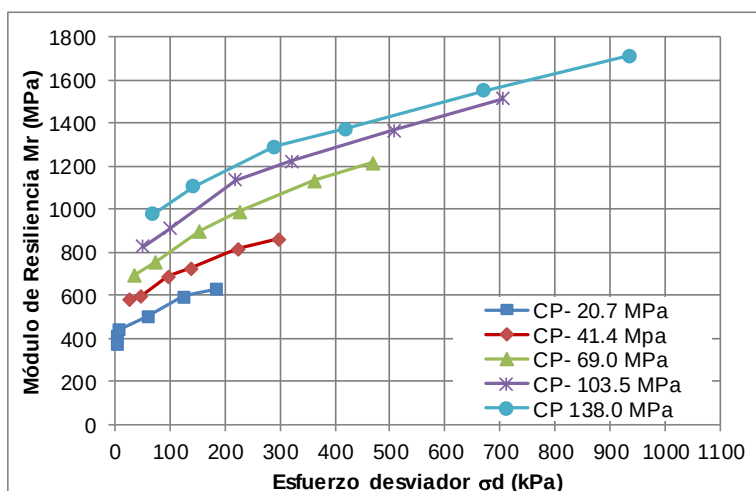
Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con cemento Portland y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

Descripción de la muestra: Subbase adicionada con cemento Portland y zeolita sintética.

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

Muestra No.: SB SC+R 018      Diámetro (cm): 15.038       $\omega$  (%): 9.670  
No. de capas: 5      Altura (cm): 30.087       $\gamma_m$  (kN/m<sup>3</sup>): 19.575  
No. de golpes por capa: 30      Masa muestra (g): 10638.5       $\gamma_d$  (kN/m<sup>3</sup>): 17.849



**OBSERVACIONES:**

\* Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

\* Fecha de compactación :  
2015-06-24

\* Días de curado: 91

\* El contenido de humedad (w %) y el peso específico ( $\gamma_d$ ) de la muestra debe estar dentro del recuadro de la gráfica de condiciones límite de muestra.

| $\sigma_3$ (kPa) | $\sigma_1$ (kPa) | $\theta$ (kPa) | $M_r$ (MPa) |
|------------------|------------------|----------------|-------------|
| 20.7             | 4.398            | 66.498         | 410.386     |
| 20.7             | 4.128            | 66.228         | 374.877     |
| 20.7             | 6.803            | 68.903         | 441.132     |
| 20.7             | 58.387           | 120.487        | 501.852     |
| 20.7             | 124.536          | 186.636        | 595.954     |
| 20.7             | 183.039          | 245.139        | 629.798     |
| 41.4             | 25.374           | 149.574        | 580.715     |
| 41.4             | 48.498           | 172.698        | 597.168     |
| 41.4             | 97.360           | 221.560        | 685.232     |
| 41.4             | 138.471          | 262.671        | 723.836     |
| 41.4             | 223.217          | 347.417        | 815.784     |
| 41.4             | 296.945          | 421.145        | 860.718     |
| 69               | 35.534           | 242.534        | 695.332     |
| 69               | 74.536           | 281.536        | 753.505     |
| 69               | 153.559          | 360.559        | 897.330     |
| 69               | 227.108          | 434.108        | 988.025     |
| 69               | 361.757          | 568.757        | 1130.182    |
| 69               | 468.837          | 675.837        | 1212.839    |
| 103.5            | 50.557           | 361.057        | 825.139     |
| 103.5            | 100.272          | 410.772        | 909.204     |
| 103.5            | 219.110          | 529.610        | 1136.197    |
| 103.5            | 320.202          | 630.702        | 1221.636    |
| 103.5            | 507.359          | 817.859        | 1364.382    |
| 103.5            | 704.627          | 1015.127       | 1510.451    |
| 138              | 69.224           | 483.224        | 978.121     |
| 138              | 142.867          | 556.867        | 1106.892    |
| 138              | 290.016          | 704.016        | 1288.819    |
| 138              | 418.979          | 832.979        | 1374.045    |
| 138              | 670.737          | 1084.737       | 1549.873    |
| 138              | 936.593          | 1350.593       | 1713.080    |

Realizó: Elizabeth Parra Alvarez.

Cálculo: Elizabeth Parra Alvarez.

Revisó: Dra. Natalia Pérez García.

Figura B.VI.9 Gráfica Mr vs Esfuerzo desviador, muestra subbase-cemento-zeolita 018, ensaye 4.



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 2015-03-25

Clave de proyecto/Servicio: IE-08/14

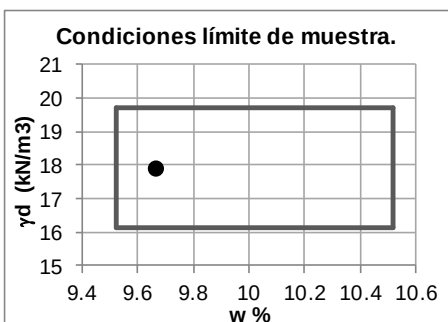
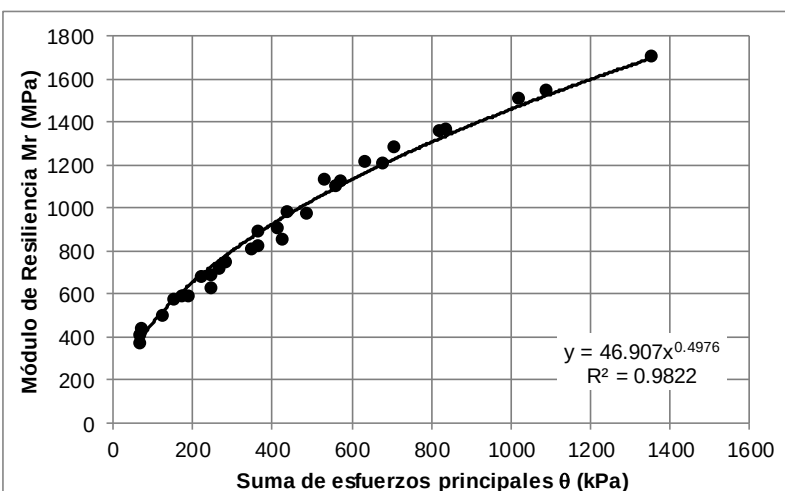
Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con cemento Portland y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

Descripción de la muestra: Subbase adicionada con cemento Portland y zeolita sintética.

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

Muestra No.: SB SC+R 018      Diámetro (cm): 15.038       $\omega$  (%): 9.670  
No. de capas: 5      Altura (cm): 30.087       $\gamma_m$  (kN/m<sup>3</sup>): 19.575  
No. de golpes por capa: 30      Masa muestra (g): 10638.5       $\gamma_d$  (kN/m<sup>3</sup>): 17.849



**OBSERVACIONES:**

\* Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

\* Fecha de compactación :  
2015-06-24

\* Días de curado: 91  
\* El contenido de humedad (w %) y el peso específico ( $\gamma_d$ ) de la muestra debe estar dentro del recuadro de la gráfica de condiciones límite de muestra.

| $\sigma_3$ (kPa) | $\sigma_1$ (kPa) | $\theta$ (kPa) | $M_r$ (MPa) |
|------------------|------------------|----------------|-------------|
| 20.7             | 4.398            | 66.498         | 410.386     |
| 20.7             | 4.128            | 66.228         | 374.877     |
| 20.7             | 6.803            | 68.903         | 441.132     |
| 20.7             | 58.387           | 120.487        | 501.852     |
| 20.7             | 124.536          | 186.636        | 595.954     |
| 20.7             | 183.039          | 245.139        | 629.798     |
| 41.4             | 25.374           | 149.574        | 580.715     |
| 41.4             | 48.498           | 172.698        | 597.168     |
| 41.4             | 97.360           | 221.560        | 685.232     |
| 41.4             | 138.471          | 262.671        | 723.836     |
| 41.4             | 223.217          | 347.417        | 815.784     |
| 41.4             | 296.945          | 421.145        | 860.718     |
| 69               | 35.534           | 242.534        | 695.332     |
| 69               | 74.536           | 281.536        | 753.505     |
| 69               | 153.559          | 360.559        | 897.330     |
| 69               | 227.108          | 434.108        | 988.025     |
| 69               | 361.757          | 568.757        | 1130.182    |
| 69               | 468.837          | 675.837        | 1212.839    |
| 103.5            | 50.557           | 361.057        | 825.139     |
| 103.5            | 100.272          | 410.772        | 909.204     |
| 103.5            | 219.110          | 529.610        | 1136.197    |
| 103.5            | 320.202          | 630.702        | 1221.636    |
| 103.5            | 507.359          | 817.859        | 1364.382    |
| 103.5            | 704.627          | 1015.127       | 1510.451    |
| 138              | 69.224           | 483.224        | 978.121     |
| 138              | 142.867          | 556.867        | 1106.892    |
| 138              | 290.016          | 704.016        | 1288.819    |
| 138              | 418.979          | 832.979        | 1374.045    |
| 138              | 670.737          | 1084.737       | 1549.873    |
| 138              | 936.593          | 1350.593       | 1713.080    |

Realizó: Elizabeth Parra Alvarez.

Cálculo: Elizabeth Parra Alvarez.

Revisó: Dra. Natalia Pérez García.

Figura B.VI.10 Gráfica  $M_r$  vs Esfuerzos totales, muestra subbase-cemento-zeolita 018, ensaye 4.



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 2015-07-03

Clave de proyecto/Servicio: IE-08/14

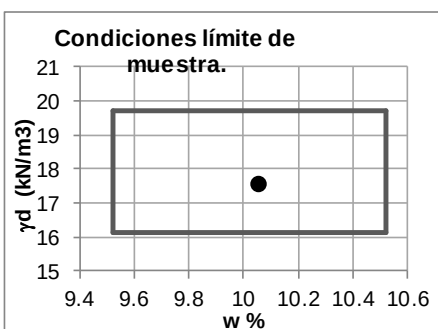
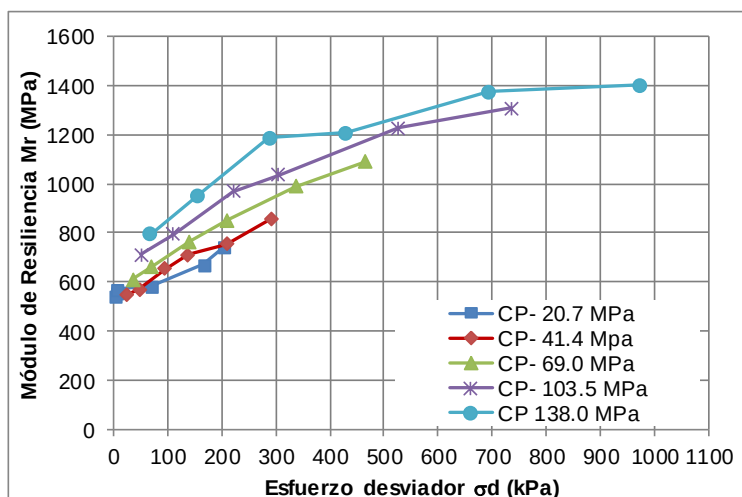
Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con cemento Portland y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

Descripción de la muestra: Subbase adicionada con cemento Portland y zeolita sintética.

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

Muestra No.: SB SC+R 128      Diámetro (cm): 150.13       $\omega$  (%): 10.060  
No. de capas: 5      Altura (cm): 300.54       $\gamma_m$  (kN/m<sup>3</sup>): 19.287  
No. de golpes por capa: 30      Masa muestra (g): 10486.0       $\gamma_d$  (kN/m<sup>3</sup>): 17.523



**OBSERVACIONES:**

\* Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

\* Fecha de compactación : 2015-09-30

\* Días de curado: 89

\* El contenido de humedad (w %) y el peso específico ( $\gamma_d$ ) de la muestra debe estar dentro del recuadro de la gráfica de condiciones límite de muestra.

| $\sigma_3$ (kPa) | $\sigma_d$ (kPa) | $\theta$ (kPa) | $M_r$ (MPa) |
|------------------|------------------|----------------|-------------|
| 20.7             | 5.337            | 67.437         | 553.023     |
| 20.7             | 4.337            | 66.437         | 544.704     |
| 20.7             | 6.799            | 68.899         | 571.443     |
| 20.7             | 70.471           | 132.571        | 584.572     |
| 20.7             | 166.143          | 228.243        | 671.663     |
| 20.7             | 202.664          | 264.764        | 741.473     |
| 41.4             | 23.510           | 147.710        | 548.203     |
| 41.4             | 47.349           | 171.549        | 569.887     |
| 41.4             | 94.963           | 219.163        | 655.435     |
| 41.4             | 137.613          | 261.813        | 712.521     |
| 41.4             | 208.662          | 332.862        | 754.082     |
| 41.4             | 292.596          | 416.796        | 859.131     |
| 69               | 35.667           | 242.667        | 611.372     |
| 69               | 68.601           | 275.601        | 659.552     |
| 69               | 141.115          | 348.115        | 764.917     |
| 69               | 210.225          | 417.225        | 852.871     |
| 69               | 337.069          | 544.069        | 988.776     |
| 69               | 465.023          | 672.023        | 1089.867    |
| 103.5            | 51.493           | 361.993        | 709.973     |
| 103.5            | 109.685          | 420.185        | 795.572     |
| 103.5            | 221.258          | 531.758        | 970.574     |
| 103.5            | 305.132          | 615.632        | 1037.069    |
| 103.5            | 526.917          | 837.417        | 1226.314    |
| 103.5            | 735.688          | 1046.188       | 1305.984    |
| 138              | 67.992           | 481.992        | 795.907     |
| 138              | 155.521          | 569.521        | 953.490     |
| 138              | 287.660          | 701.660        | 1186.082    |
| 138              | 430.115          | 844.115        | 1205.402    |
| 138              | 694.622          | 1108.622       | 1374.567    |
| 138              | 974.206          | 1388.206       | 1400.257    |

Realizó: Elizabeth Parra Alvarez.

Cálculo: Elizabeth Parra Alvarez.

Revisó: Dra. Natalia Pérez García.

Figura B.VI.11 Gráfica Mr vs Esfuerzo desviador, muestra subbase-cemento-zeolita 128, ensaye 6.



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA  
DIVISIÓN DE LABORATORIOS  
MECÁNICA DE SUELOS

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

Folio No.: \_\_\_\_\_

Fecha: 2015-07-03

Clave de proyecto/Servicio: IE-08/14

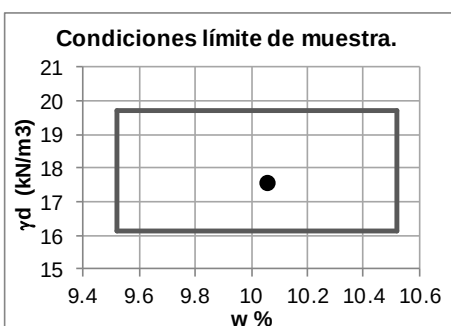
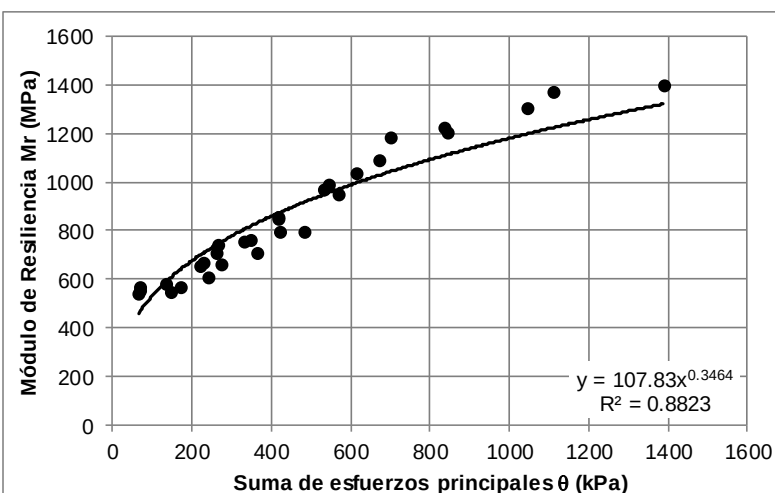
Nombre de proyecto/servicio: Evaluación del módulo de elasticidad, módulo de resiliencia y permeabilidad de una subbase estabilizada con cemento Portland y zeolita sintética.

Identificación de muestra: IS-20150129-02

Descripción de la muestra: Subbase adicionada con cemento Portland y zeolita sintética.

**DATOS DE MUESTRAS COMPACTADAS**

Muestra No.: SB SC+R 128      Diámetro (cm): 150.13       $\omega$  (%): 10.060  
No. de capas: 5      Altura (cm): 300.54       $\gamma_m$  (kN/m<sup>3</sup>): 19.287  
No. de golpes por capa: 30      Masa muestra (g): 10486.0       $\gamma_d$  (kN/m<sup>3</sup>): 17.523



**OBSERVACIONES:**

\* Contenido de agua obtenido con prueba Proctor modificada.

\* Fecha de compactación : 2015-09-30

\* Días de curado: 89  
\* El contenido de humedad ( $w$  %) y el peso específico ( $\gamma_d$ ) de la muestra debe estar dentro del recuadro de la gráfica de condiciones límite de muestra.

Realizó: Elizabeth Parra Alvarez.

Cálculo: Elizabeth Parra Alvarez.

Revisó: Dra. Natalia Pérez García.

| $\sigma_3$ (kPa) | $\sigma_d$ (kPa) | $\theta$ (kPa) | $M_r$ (MPa) |
|------------------|------------------|----------------|-------------|
| 20.7             | 5.337            | 67.437         | 553.023     |
| 20.7             | 4.337            | 66.437         | 544.704     |
| 20.7             | 6.799            | 68.899         | 571.443     |
| 20.7             | 70.471           | 132.571        | 584.572     |
| 20.7             | 166.143          | 228.243        | 671.663     |
| 20.7             | 202.664          | 264.764        | 741.473     |
| 41.4             | 23.510           | 147.710        | 548.203     |
| 41.4             | 47.349           | 171.549        | 569.887     |
| 41.4             | 94.963           | 219.163        | 655.435     |
| 41.4             | 137.613          | 261.813        | 712.521     |
| 41.4             | 208.662          | 332.862        | 754.082     |
| 41.4             | 292.596          | 416.796        | 859.131     |
| 69               | 35.667           | 242.667        | 611.372     |
| 69               | 68.601           | 275.601        | 659.552     |
| 69               | 141.115          | 348.115        | 764.917     |
| 69               | 210.225          | 417.225        | 852.871     |
| 69               | 337.069          | 544.069        | 988.776     |
| 69               | 465.023          | 672.023        | 1089.867    |
| 103.5            | 51.493           | 361.993        | 709.973     |
| 103.5            | 109.685          | 420.185        | 795.572     |
| 103.5            | 221.258          | 531.758        | 970.574     |
| 103.5            | 305.132          | 615.632        | 1037.069    |
| 103.5            | 526.917          | 837.417        | 1226.314    |
| 103.5            | 735.688          | 1046.188       | 1305.984    |
| 138              | 67.992           | 481.992        | 795.907     |
| 138              | 155.521          | 569.521        | 953.490     |
| 138              | 287.660          | 701.660        | 1186.082    |
| 138              | 430.115          | 844.115        | 1205.402    |
| 138              | 694.622          | 1108.622       | 1374.567    |
| 138              | 974.206          | 1388.206       | 1400.257    |

Figura B.VI.12 Gráfica  $M_r$  vs Esfuerzos totales, muestra subbase-cemento-zeolita 128, ensaye 6.

## **ANEXO C RELACIÓN DEL TOTAL DE MUESTRAS COMPACTADAS**

Usando energía modificada

$$(E_{\text{mod}} = 2700 \text{ kN-m/m}^3)$$

(ASTM D 1557-12)

| Muestra     | Tiempo de curado (días) | Masa inicial (g) | % Contenido de agua | Altura (cm) | Diámetro (cm) | Yd (kN/m <sup>3</sup> ) | Masa final (g) | % de masa de agua adquirida |
|-------------|-------------------------|------------------|---------------------|-------------|---------------|-------------------------|----------------|-----------------------------|
| SB-SC+R-015 | 90                      | 10588.50         | 10.10               | 30.123      | 15.052        | 17.600                  | 11045.0        | 4.311                       |
| SB-SC+R-016 | 90                      | 10602.50         | 10.14               | 29.929      | 15.025        | 17.795                  | 11120.0        | 4.881                       |
| SB-SC+R-017 | 90                      | 10594.00         | 10.11               | 29.969      | 15.032        | 17.745                  | 11096.0        | 4.739                       |
| SB-SC+R-018 | 90                      | 10638.50         | 9.67                | 29.927      | 15.061        | 17.849                  | 11135.0        | 4.667                       |
| SB-SC+R-019 | 90                      | 10595.00         | 10.25               | 29.962      | 15.031        | 17.732                  | 11091.0        | 4.681                       |
| SB-SC-026   | 90                      | 10597.00         | 9.54                | 29.986      | 15.099        | 17.677                  | 10988.5        | 3.694                       |
| SB-SC-027   | 90                      | 10608.50         | 9.55                | 29.976      | 15.073        | 17.760                  | 11185.5        | 5.439                       |
| SB-SC-028   | 90                      | 10492.00         | 9.54                | 29.979      | 15.041        | 17.640                  | 11134.5        | 6.124                       |
| SB-SC-029   | 90                      | 10514.00         | 9.55                | 29.972      | 15.079        | 17.591                  | 11161.0        | 6.154                       |
| SB-SC-030   | 90                      | 10607.50         | 9.81                | 29.982      | 15.043        | 17.784                  | 11286.5        | 6.401                       |
| SB-SC-031   | 90                      | 10551.50         | 9.64                | 29.980      | 15.053        | 17.695                  | 11193.0        | 6.080                       |
| SB-SC-032   | 90                      | 10335.50         | 9.93                | 29.913      | 15.076        | 17.274                  | 10868.5        | 5.157                       |
| SB-SC-033   | 90                      | 10389.00         | 9.57                | 29.943      | 15.063        | 17.432                  | 10632.0        | 2.339                       |
| SB-SC-034   | 90                      | 10422.50         | 9.43                | 29.995      | 15.042        | 17.528                  | 10862.0        | 4.217                       |
| SB-SC-035   | 90                      | 10237.50         | 9.47                | 29.955      | 15.038        | 17.243                  | 10940.0        | 6.862                       |
| SB-SC+R-036 | 90                      | 10528.00         | 10.00               | 29.954      | 15.033        | 17.659                  | 11007.5        | 4.555                       |
| SB-SC+R-037 | 90                      | 10580.00         | 9.79                | 29.945      | 15.045        | 17.758                  | 11101.5        | 4.929                       |
| SB-SC+R-038 | 90                      | 10582.50         | 9.56                | 29.968      | 15.037        | 17.804                  | 11093.5        | 4.829                       |
| SB-SC+R-039 | 90                      | 10652.00         | 10.03               | 30.064      | 15.044        | 17.771                  | 11166.0        | 4.825                       |
| SB-SC+R-040 | 90                      | 10629.00         | 9.91                | 30.006      | 15.051        | 17.771                  | 11102.5        | 4.455                       |
| SB-SC+R-041 | 60                      | 10511.00         | 9.75                | 29.981      | 15.041        | 17.638                  | 11002.5        | 4.676                       |
| SB-SC+R-042 | 60                      | 10648.50         | 10.07               | 30.002      | 15.052        | 17.776                  | 10820.0        | 1.611                       |
| SB-SC+R-043 | 60                      | 10699.50         | 10.29               | 30.023      | 15.048        | 17.823                  | 10859.5        | 1.495                       |
| SB-SC-044   | 60                      | 10604.50         | 9.81                | 30.013      | 15.037        | 17.774                  | 10803.5        | 1.877                       |
| SB-SC-045   | 60                      | 10657.50         | 9.54                | 29.991      | 15.018        | 17.965                  | 11047.0        | 3.655                       |
| SB-SC-046   | 60                      | 10647.50         | 9.75                | 29.981      | 15.043        | 17.862                  | 10835.0        | 1.761                       |
| SB-SC-047   | 60                      | 10476.50         | 9.66                | 30.003      | 15.024        | 17.620                  | 10605.0        | 1.227                       |
| SB-SC-048   | 60                      | 10641.50         | 10.06               | 30.001      | 15.039        | 17.797                  | 10750.5        | 1.024                       |
| SB-SC-049   | 60                      | 10688.50         | 10.44               | 30.074      | 15.069        | 17.701                  | 10820.5        | 1.235                       |
| SB-SC-050   | 60                      | 10688.00         | 9.68                | 30.020      | 15.034        | 17.939                  | 10906.5        | 2.044                       |
| SB-SC-051   | 60                      | 10603.00         | 10.31               | 29.965      | 15.025        | 17.749                  | 11035.5        | 4.079                       |
| SB-SC-052   | 60                      | 10541.00         | 9.31                | 30.031      | 15.043        | 17.724                  | 10917.5        | 3.572                       |
| SB-SC-053   | 60                      | 10561.00         | 9.64                | 30.008      | 15.021        | 17.770                  | 11002.0        | 4.176                       |
| SB-SC-054   | 28                      | 10599.00         | 9.53                | 30.043      | 15.063        | 17.732                  | 10625.0        | 0.245                       |
| SB-SC+R-055 | 60                      | 10666.50         | 9.52                | 30.016      | 15.055        | 17.881                  | 10739.5        | 0.684                       |
| SB-SC+R-056 | 60                      | 10574.50         | 9.57                | 30.012      | 15.018        | 17.807                  | 10880.0        | 2.889                       |
| SB-SC+R-057 | 60                      | 10646.00         | 9.55                | 30.022      | 15.037        | 17.882                  | 10701.5        | 0.521                       |
| SB-SC+R-058 | 60                      | 10468.50         | 9.55                | 30.008      | 15.042        | 17.579                  | 10767.5        | 2.856                       |
| SB-SC+R-059 | 60                      | 10668.00         | 9.72                | 30.002      | 15.034        | 17.910                  | 10884.0        | 2.025                       |
| SB-SC+R-060 | 60                      | 10615.00         | 10.08               | 30.008      | 15.047        | 17.728                  | 10900.5        | 2.690                       |
| SB-SC+R-061 | 60                      | 10670.00         | 9.87                | 30.036      | 15.037        | 17.860                  | 10921.5        | 2.357                       |
| SB-SC+R-062 | 28                      | 10695.00         | 9.80                | 30.237      | 15.047        | 17.772                  | 10792.5        | 0.912                       |
| SB-SC-063   | 28                      | 10573.50         | 9.69                | 30.003      | 15.031        | 17.763                  | 11047.5        | 4.483                       |
| SB-SC-064   | 28                      | 10475.50         | 9.88                | 30.026      | 15.017        | 17.585                  | 10674.5        | 1.900                       |
| SB-SC-065   | 28                      | 10723.50         | 9.64                | 30.059      | 15.045        | 17.955                  | 11076.0        | 3.287                       |
| SB-SC-066   | 28                      | 10476.00         | 9.80                | 30.059      | 15.039        | 17.530                  | 10920.0        | 4.238                       |
| SB-SC-071   | 28                      | 10422.50         | 9.79                | 30.019      | 15.034        | 17.476                  | 10773.0        | 3.363                       |
| SB-SC-072   | 14                      | 10580.00         | 9.89                | 30.008      | 15.027        | 17.749                  | 10634.0        | 0.510                       |
| SB-SC-073   | 14                      | 10476.50         | 9.69                | 30.024      | 15.045        | 17.553                  | 10699.5        | 2.129                       |
| SB-SC-074   | 14                      | 10653.00         | 9.79                | 30.014      | 15.012        | 17.916                  | 10879.5        | 2.126                       |
| SB-SC+R-075 | 28                      | 10510.50         | 9.63                | 30.149      | 15.054        | 17.525                  | 10982.5        | 4.491                       |
| SB-SC+R-076 | 28                      | 10688.50         | 10.22               | 30.051      | 15.032        | 17.839                  | 10925.5        | 2.217                       |
| SB-SC+R-077 | 28                      | 10512.50         | 9.96                | 30.020      | 15.041        | 17.582                  | 10821.5        | 2.939                       |
| SB-SC+R-078 | 28                      | 10529.00         | 10.12               | 30.019      | 15.046        | 17.575                  | 10737.0        | 1.975                       |
| SB-SC+R-079 | 28                      | 10522.50         | 10.37               | 30.015      | 15.033        | 17.556                  | 10639.0        | 1.107                       |
| SB-SC+R-080 | 28                      | 10449.00         | 10.53               | 30.025      | 15.051        | 17.361                  | 10662.5        | 2.043                       |
| SB-SC+R-081 | 28                      | 10542.50         | 9.67                | 30.001      | 15.033        | 17.711                  | 10725.5        | 1.736                       |
| SB-SC+R-082 | 28                      | 10372.00         | 9.51                | 29.977      | 15.029        | 17.471                  | 10505.5        | 1.287                       |
| SB-SC+R-083 | 28                      | 10560.50         | 9.54                | 30.132      | 15.054        | 17.635                  | 10823.5        | 2.490                       |
| SB-SC+R-084 | 14                      | 10521.50         | 9.93                | 30.190      | 15.044        | 17.496                  | 10698.5        | 1.682                       |
| SB-SC+R-085 | 14                      | 10477.50         | 9.76                | 30.029      | 15.027        | 17.584                  | 10598.5        | 1.155                       |
| SB-SC+R-086 | 14                      | 10537.00         | 9.56                | 29.975      | 15.032        | 17.735                  | 10626.5        | 0.849                       |
| SB-SC-087   | 14                      | 10703.00         | 10.23               | 30.004      | 15.027        | 17.899                  | 10840.0        | 1.280                       |
| SB-SC-088   | 14                      | 10587.00         | 10.08               | 30.028      | 15.039        | 17.686                  | 10786.0        | 1.880                       |
| SB-SC-089   | 14                      | 10433.50         | 10.51               | 30.019      | 15.043        | 17.360                  | 10608.0        | 1.672                       |
| SB-SC-090   | 28                      | 10512.00         | 9.68                | 29.949      | 15.063        | 17.617                  | 10519.0        | 0.067                       |
| SB-SC-091   | 28                      | 10596.00         | 9.45                | 30.012      | 15.041        | 17.811                  | 10792.0        | 1.850                       |
| SB-SC-092   | 28                      | 10444.50         | 9.83                | 29.973      | 15.036        | 17.530                  | 10795.5        | 3.361                       |
| SB-SC-093   | 28                      | 10610.00         | 9.52                | 30.008      | 15.036        | 17.836                  | 10740.0        | 1.225                       |
| SB-SC+R-094 | 7                       | 10495.00         | 10.42               | 29.980      | 15.054        | 17.475                  | 10598.0        | 0.981                       |

Figura C.1. Relación de muestras compactadas (015 al 094).

| Muestra     | Tiempo de curado (días) | Masa inicial (g) | % Contenido de agua | Altura (cm) | Diámetro (cm) | Y <sub>d</sub> (kN/m <sup>3</sup> ) | Masa final (g) | % de masa de agua adquirida |
|-------------|-------------------------|------------------|---------------------|-------------|---------------|-------------------------------------|----------------|-----------------------------|
| SB-SC+R-095 | 7                       | 10379.00         | 10.51               | 30.023      | 15.041        | 17.271                              | 10605.0        | 2.177                       |
| SB-SC+R-096 | 7                       | 10587.00         | 10.58               | 30.010      | 15.045        | 17.604                              | 10627.0        | 0.378                       |
| SB-SC+R-097 | 7                       | 10387.00         | 10.27               | 29.996      | 15.035        | 17.351                              | 10563.5        | 1.699                       |
| SB-SC+R-098 | 7                       | 10574.50         | 10.35               | 29.683      | 15.028        | 17.854                              | 10619.0        | 0.421                       |
| SB-SC+R-099 | 14                      | 10495.00         | 9.87                | 29.982      | 15.032        | 17.612                              | 10830.0        | 3.192                       |
| SB-SC+R-100 | 14                      | 10611.00         | 10.03               | 30.003      | 15.015        | 17.806                              | 10942.0        | 3.119                       |
| SB-SC-101   | 14                      | 10481.00         | 10.17               | 30.039      | 15.020        | 17.533                              | 10649.0        | 1.603                       |
| SB-SC-102   | 14                      | 10540.00         | 10.02               | 30.010      | 15.017        | 17.681                              | 10630.0        | 0.854                       |
| SB-SC-103   | 14                      | 10555.50         | 10.11               | 30.030      | 15.036        | 17.636                              | 10680.0        | 1.179                       |
| SB-SC-104   | 14                      | 10523.50         | 10.00               | 30.042      | 15.033        | 17.601                              | 10704.0        | 1.715                       |
| SB-SC+R-105 | 14                      | 10485.50         | 9.89                | 29.973      | 15.032        | 17.597                              | 10685.5        | 1.907                       |
| SB-SC+R-106 | 14                      | 10601.50         | 9.97                | 30.017      | 15.028        | 17.764                              | 10656.5        | 0.519                       |
| SB-SC+R-107 | 28                      | 10422.00         | 10.29               | 30.064      | 15.034        | 17.370                              | 10715.5        | 2.816                       |
| SB-SC+R-108 | 28                      | 10638.50         | 10.08               | 29.999      | 15.027        | 17.820                              | 10910.5        | 2.557                       |
| SB-SC+R-109 | 28                      | 10454.00         | 10.34               | 30.038      | 15.035        | 17.428                              | 10765.0        | 2.975                       |
| SB-SC+R-110 | 14                      | 10524.50         | 10.32               | 29.968      | 15.032        | 17.598                              | 10802.5        | 2.641                       |
| SB-SC+R-111 | 14                      | 10475.00         | 9.83                | 30.024      | 15.042        | 17.537                              | 10590.0        | 1.098                       |
| SB-SC+R-112 | 14                      | 10585.50         | 9.76                | 30.026      | 15.036        | 17.745                              | 10856.5        | 2.560                       |
| SB-SC-114   | 90                      | 10415.00         | 10.02               | 30.013      | 15.074        | 17.337                              | 11029.5        | 5.900                       |
| SB-SC-115   | 90                      | 10379.50         | 10.20               | 30.008      | 15.032        | 17.350                              | 11045.5        | 6.416                       |
| SB-SC-116   | 28                      | 10645.00         | 10.20               | 29.977      | 15.023        | 17.833                              | 11026.0        | 3.579                       |
| SB-SC-117   | 28                      | 10660.00         | 9.73                | 30.021      | 15.030        | 17.893                              | 11085.0        | 3.987                       |
| SB-SC-118   | 7                       | 10633.50         | 10.00               | 30.034      | 15.039        | 17.774                              | 10696.0        | 0.588                       |
| SB-SC-119   | 7                       | 10617.50         | 10.13               | 30.123      | 15.025        | 17.708                              | 10619.0        | 0.014                       |
| SB-SC+120   | 7                       | 10586.50         | 10.38               | 30.087      | 15.007        | 17.679                              | 10648.0        | 0.581                       |
| SB-SC+121   | 7                       | 10514.50         | 10.23               | 30.108      | 15.028        | 17.521                              | 10743.5        | 2.178                       |
| SB-SC+122   | 7                       | 10592.00         | 9.86                | 30.074      | 15.035        | 17.715                              | 10632.0        | 0.378                       |
| SB-SC+R-123 | 7                       | 10513.50         | 9.85                | 30.027      | 15.046        | 17.587                              | 10655.5        | 1.351                       |
| SB-SC+R-124 | 7                       | 10634.00         | 9.76                | 30.009      | 15.060        | 17.780                              | 10700.0        | 0.621                       |
| SB-SC+R-125 | 7                       | 10653.50         | 9.85                | 30.014      | 15.043        | 17.836                              | 10690.0        | 0.343                       |
| SB-SC+R-126 | 7                       | 10575.00         | 9.61                | 30.028      | 15.009        | 17.813                              | 10597.0        | 0.208                       |
| SB-SC+R-127 | 7                       | 10646.00         | 10.35               | 30.062      | 15.044        | 17.711                              | 10648.0        | 0.019                       |
| SB-SC+R-128 | 90                      | 10486.00         | 10.06               | 30.023      | 15.040        | 17.523                              | 11102.0        | 5.874                       |
| SB-SC+R-129 | 60                      | 10591.00         | 9.78                | 30.026      | 15.039        | 17.743                              | 11096.0        | 4.768                       |
| SB-SC+R-130 | 60                      | 10485.00         | 9.87                | 30.044      | 15.037        | 17.547                              | 11113.5        | 5.994                       |
| SB-SC-131   | 7                       | 10466.50         | 10.01               | 30.064      | 15.049        | 17.453                              | 10524.0        | 0.549                       |
| SB-SC-132   | 7                       | 10761.00         | 9.59                | 30.055      | 15.029        | 18.068                              | 10783.5        | 0.209                       |
| SB-SC-133   | 7                       | 10510.00         | 9.69                | 30.025      | 15.039        | 17.624                              | 10735.5        | 2.146                       |
| SB-SC-134   | 7                       | 10562.00         | 10.35               | 30.007      | 15.037        | 17.621                              | 10758.0        | 1.856                       |
| SB-SC-135   | 7                       | 10601.50         | 10.12               | 30.045      | 15.046        | 17.679                              | 10706.5        | 0.990                       |
| SB-SC+R-136 | 0                       | 10558.50         | 10.22               | 30.043      | 15.034        | 17.621                              | 10558.5        | 0.000                       |
| SB-SC+R-137 | 0                       | 10540.50         | 9.62                | 30.011      | 15.029        | 17.717                              | 10540.5        | 0.000                       |
| SB-SC+R-138 | 0                       | 10547.00         | 10.04               | 30.027      | 15.018        | 17.678                              | 10547.0        | 0.000                       |
| SB-SC+R-139 | 0                       | 10570.50         | 9.59                | 30.000      | 15.036        | 17.763                              | 10570.5        | 0.000                       |
| SB-SC+R-140 | 0                       | 10691.50         | 9.55                | 30.025      | 15.018        | 18.001                              | 10691.5        | 0.000                       |
| SB-SC+R-141 | 0                       | 10600.50         | 9.55                | 30.012      | 15.012        | 17.871                              | 10600.5        | 0.000                       |
| SB-SC-142   | 0                       | 10546.50         | 9.68                | 30.022      | 15.010        | 17.758                              | 10546.5        | 0.000                       |
| SB-SC-143   | 0                       | 10490.50         | 9.52                | 30.010      | 15.013        | 17.688                              | 10490.5        | 0.000                       |
| SB-SC-144   | 0                       | 10539.50         | 9.84                | 30.002      | 15.033        | 17.677                              | 10539.5        | 0.000                       |
| SB-SC-145   | 0                       | 10652.00         | 9.61                | 30.019      | 15.018        | 17.930                              | 10652.0        | 0.000                       |
| SB-SC-146   | 0                       | 10550.00         | 9.53                | 30.016      | 15.018        | 17.771                              | 10550.0        | 0.000                       |
| SB-SC-147   | 1                       | 10807.50         | 10.50               | 30.016      | 15.013        | 18.058                              | 10807.5        | 0.000                       |
| SB-SC-149   | 1                       | 10438.00         | 10.01               | 30.012      | 15.003        | 17.542                              | 10438.0        | 0.000                       |
| SB-SC-150   | 1                       | 10652.00         | 9.99                | 30.005      | 15.039        | 17.824                              | 10652.0        | 0.000                       |
| SB-SC-151   | 1                       | 10586.50         | 10.01               | 30.030      | 15.009        | 17.768                              | 10586.5        | 0.000                       |
| SB-SC-152   | 1                       | 10619.00         | 10.00               | 30.011      | 15.013        | 17.826                              | 10619.0        | 0.000                       |
| SB-SC+R-153 | 1                       | 10645.00         | 9.94                | 30.022      | 15.027        | 17.840                              | 10645.0        | 0.000                       |
| SB-SC+R-154 | 1                       | 10618.50         | 9.93                | 30.037      | 15.021        | 17.802                              | 10618.5        | 0.000                       |
| SB-SC+R-155 | 1                       | 10646.50         | 10.05               | 30.011      | 15.016        | 17.858                              | 10646.5        | 0.000                       |
| SB-SC+R-156 | 1                       | 10641.00         | 9.96                | 30.023      | 15.029        | 17.823                              | 10641.0        | 0.000                       |
| SB-160      | 0                       | 11558.00         | 11.19               | 30.000      | 15.000        | 19.234                              | 11558.0        | 0.000                       |
| SB-161      | 0                       | 11558.00         | 11.33               | 30.000      | 15.000        | 19.210                              | 11558.0        | 0.000                       |
| SB-162      | 0                       | 11558.00         | 10.83               | 30.000      | 15.000        | 19.298                              | 11558.0        | 0.000                       |
| SB-163      | 0                       | 11558.00         | 11.32               | 30.000      | 15.000        | 19.213                              | 11558.0        | 0.000                       |
| SB-164      | 0                       | 11238.00         | 11.00               | 30.000      | 15.000        | 18.735                              | 11238.0        | 0.000                       |
| SB-165      | 0                       | 11185.50         | 11.34               | 30.000      | 15.000        | 18.590                              | 11185.5        | 0.000                       |
| SB-166      | 0                       | 11078.50         | 11.19               | 30.000      | 15.000        | 18.438                              | 11078.5        | 0.000                       |
| SB-167      | 0                       | 11560.00         | 10.61               | 30.000      | 15.000        | 19.340                              | 11560.0        | 0.000                       |
| SB-168      | 0                       | 11561.00         | 11.35               | 30.000      | 15.000        | 19.213                              | 11561.0        | 0.000                       |

Figura 9 C.1. Relación de muestras compactadas (095 al 168).