

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA



TRABAJO DE GRADO:

“ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE EL MÓDULO DE RESILIENCIA (Mr) Y LA
RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR) PARA SUELOS FINOS
DESTINADOS A SUBRASANTE”

PRESENTADO POR:

CASTILLO AMAYA, JUAN DE LA PAZ
GUEVARA GUEVARA, HERBERTH LUIS
LÓPEZ CÁCERES, ERICSSON ERNESTO

PARA OPTAR AL GRADO DE:

INGENIERO CIVIL

DOCENTE DIRECTOR:

ING. JOSÉ LUIS CASTRO CORDERO

CIUDAD UNIVERSITARIA ORIENTAL, MARZO DE 2017

SAN MIGUEL

EL SALVADOR

CENTROAMÉRICA

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

AUTORIDADES

MAESTRO ROGER ARMANDO ARIAS
RECTOR

DR. MANUEL DE JESÚS JOYA
VICERRECTOR ACADÉMICO

ING. NELSON BERNABÉ GRANADOS
VICERRECTOR ADMINISTRATIVO INTERINO

LIC. CRISTOBAL HERNÁN RÍOS
SECRETARIO GENERAL

LICDA. NORA BEATRIZ MELÉNDEZ
FISCAL GENERAL INTERINA

MSC. CLAUDIA MARÍA MELGAR DE ZAMBRANA
DEFENSORA DE LOS DERECHOS UNIVERSITARIOS

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR ORIENTAL
AUTORIDADES

ING. JOAQUÍN ORLANDO MACHUCA GÓMEZ
DECANO

LIC. CARLOS ALEXANDER DÍAZ
VICEDECANO

LIC. JORGE ALBERTO ORTEZ HERNÁNDEZ
SECRETARIO

AGRADECIMIENTOS

A **Dios todopoderoso** por acompañarme y cuidarme en cada segundo que pasa, mantenerme vivo hasta este momento, apartarme del mal y darme fortaleza para intentar ser un hombre de bien, gracias además por permitirme subir un nuevo escalón en la escalera de la vida.

Agradezco a la **Universidad de El Salvador** por haberme dado la oportunidad de formarme profesionalmente, a los docentes que cada cual a su manera me orientaron en este proceso.

A la empresa Asfaltos de Centroamérica “ASFALCA S.A DE C.V.” por brindar su apoyo en la culminación de este logro, proporcionando sus instalaciones, equipo y herramientas para completar el trabajo de tesis.

Agradezco a mis padres por sus consejos e iniciar mi proceso de educación, por apoyarme incondicionalmente hasta el final, a mis hermanas, hermanos, esposa y amigos por apoyar mis decisiones.

Agradezco también a las personas que ocasionalmente me dieron trabajo, a las que me prestaron dinero cuando lo necesité y así aportaron su granito de arena para este triunfo.

JUAN DE LA PAZ CASTILLO AMAYA

AGRADECIMIENTOS

Agradezco primeramente a mi **Dios Todopoderoso** por permitirme culminar satisfactoriamente cada fase de este proyecto, no hay palabras para describir su bondad en mi vida. Todo se lo debo a él.

A mis padres **José Mario Guevara** y **Milagro de Jesús Guevara** por brindarme su apoyo incondicionalmente, su incalculable esfuerzo y su motivación constante han impulsado mi desempeño a lo largo de toda mi vida, pues me educaron para saber discernir los caminos que me conducen a coronar mis metas y objetivos.

A mis hermanos y hermanas que en distintas formas me apoyaron y nunca dejaron de motivarme en las etapas de mi carrera.

A Ericsson y Juan, por la confianza de permitirme trabajar con ellos en las múltiples tareas que tuvimos que ejecutar a lo largo de todo el proyecto de tesis.

HERBERTH LUIS GUEVARA GUEVARA

AGRADECIMIENTOS

Durante el desarrollo de esta tesis se presentaron diversidad de situaciones que pudieron ser fácilmente causantes del fracaso de esta, pero esto no sucedió, y fue gracias al apoyo presentado por diversas personas, en especial a mi familia, porque en todo momento estuvo atenta a todas mis necesidades y requerimientos para el desarrollo con excelencia de esta tesis.

Una mención especial a mi madre **Gladis Estela Cáceres Torres**, sin lugar a dudas, el ser más importante en mi vida. Mi mamá fue la responsable de cuidarme todo el día y todos los días, desde los primeros pasos que di fueron con ella. Cuidarme no fue nada fácil pero lejos de quejarse, me llenaba de amor, a pesar de estar cansada.

Siempre me dio consejos y durante mi vida universitaria no fue la excepción, ella me apoyó hasta el final, quería verme terminando mi carrera, y lo logré. Por estas y muchas más razones siempre estaré agradecido. ¡**Gracias mamá!**

Finalmente a mis amigos porque siempre estuvieron pendientes de mi progreso universitario día con día y me dieron su apoyo cuando lo necesite sin pedirme nada a cambio. Ustedes me acompañaron a lo largo de este proceso estuvieron pendientes de que todas las cosas me salieran bien, les agradezco la confianza que depositaron en mí para poder estar siempre en las buenas y las malas juntos. Gracias por confiar y creer en mí y haber hecho de mi etapa universitaria un trayecto de vivencia que nunca voy a olvidar.

ERICSSON ERNESTO LÓPEZ CÁ CERES

RESUMEN EJECUTIVO

Una adecuada y confiable caracterización de la subrasante, desempeña un papel importante en el diseño del pavimento, pues es considerada la cimentación del mismo, por esta razón es indispensable establecer sus características de rigidez y resistencia de manera apropiada. Existen variadas formas o métodos de caracterizar la resistencia de los suelos, el más común en nuestro medio es el Índice de Soporte California conocido como CBR, un ensayo de bajo costo y no muy complejo, sirve de parámetro para establecer la capacidad portante de un suelo, pero en el diseño de pavimentos según las guías empírico-mecánicas, la propiedad fundamental es el Módulo de Resiliencia del suelo definido como la relación del esfuerzo desviador entre la deformación resiliente o recuperable de un suelo bajo la acción de carga cíclica, el protocolo estandarizado AASHTO T-307 (99) establece las directrices para la obtención de esta propiedad, sin embargo es un ensayo de complejidad considerable, el cual requiere disponibilidad de tiempo y el acceso a un equipo preparado exclusivamente para tal finalidad, por tales razones en el diseño de pavimentos se han establecido correlaciones que describen el Módulo de Resiliencia en función del Índice de Soporte California (CBR).

Esta investigación provee una revisión de las correlaciones más comunes, asimismo se comparan los valores de ensayo AASHTO T-307 (99) con los valores de CBR obtenidos para un mismo suelo, dicho análisis se lleva a cabo mediante la regresión por mínimos cuadrados, a fin de mostrar una ecuación que describa adecuadamente el Módulo de Resiliencia del suelo utilizando como variable de entrada el CBR.

Índice

Introducción	i
1.0. Planteamiento del Problema	3
1.1. Objetivos.....	4
1.2. Justificación.	5
1.3. Alcances y Limitaciones.....	6
1.4. Metodología de la Investigación.....	7
1.4.1. Trabajos de Campo.....	8
1.4.2. Trabajos de Laboratorio.....	10
1.4.3. Trabajo de Gabinete.....	16
2. Marco Referencial	19
2.1 Marco Teórico.....	19
2.1.1 Naturaleza Cíclica de las Cargas en el Pavimento	19
2.1.2 Mediciones de Esfuerzos y Deformaciones en Casos Reales	20
2.1.3 Influencia de la Velocidad en el Tiempo de Aplicación de Carga.	24
2.2 Marco Histórico	29
2.2.1. Guía AASHTO 1961	29
2.2.2. Guía AASHTO 1972	30
2.2.3. Guía AASHTO 1986	31
2.2.4. Guía AASHTO 1993	35
2.3 Marco Conceptual	36
2.3.1. Aspectos Generales del Suelo.	36
2.3.2. Clasificación de Suelos.	37
2.3.3. Granulometría.....	43
2.3.4. Fases del Suelo	46
2.3.5. Propiedades del Suelo.....	49
2.3.10. Pavimentos Flexibles	50
2.3.11. Subrasante	54
2.3.12. Propiedades Físico-mecánicas de los Suelos para Subrasante.....	55
2.3.13. Valor soporte California (CBR, AASHTO T-193)	56
2.3.14. Módulo de Resiliencia (Mr, AASHTO T – 307-99)	57
2.3.15. Correlaciones Mr-CBR	58
3. Caracterización de Suelos	63
3.1. Propiedades Físicas	63
3.1.1. Granulometría.....	63
3.1.2. Límites de Atterberg	65
3.2. Propiedades Mecánicas.....	67
3.2.1. Densidad Proctor	67
3.2.2. Valor de Soporte de California (CBR)	70

3.2.3. Módulo de Resiliencia	73
3.2.3.1. Condiciones de Esfuerzo.....	73
3.2.3.2. Estructura de Prueba	76
3.2.3.3. Esfuerzo Desviador y Esfuerzo de Confinamiento.....	82
3.2.3.4. Ensayo de Módulo de Resiliencia en Laboratorio.....	83
4. Análisis y Comparación de Resultados.....	88
4.1. Módulos de Resiliencia Obtenidos a través del Ensayo	88
4.2. Módulos de Resiliencia Utilizando Ecuaciones de Correlación	89
4.2.1. Guía AASHTO 1993	89
4.2.2. Green y Hall (1975) Cuerpo de Ingenieros de los EE.UU.....	90
4.2.3. Correlación TRL.....	91
4.2.4. Consejo Sudafricano.....	92
4.3. Análisis Comparativo entre el Módulo de Resiliencia y el CBR.....	93
4.3.1. Comparación de Ecuaciones de Correlación	98
5. Conclusiones y Recomendaciones	102
5.1. Conclusiones	102
5.2. Recomendaciones.....	104
Bibliografía.....	105
Anexos	108
Anexo A. Ensayos de Granulometría.....	108
Anexo B. Ensayos de Límites de Consistencia	120
Anexo C. Ensayo de Proctor Modificado (AASHTO T-180).....	132
Anexo D. Ensayos California Bearing Ratio (CBR)	144
Anexo E. Ensayos de Módulo de Resiliencia.....	168
Anexo F. Localización de Sondeos (PCA's) UES- FMO	240
Anexo G. Localización de Sondeos (CA's)	241
Anexo H. Regresión lineal Mr-CBR.....	242

Índice de Figuras

Figura 2-1: Estado de esfuerzos en la subrasante	20
Figura 2-2: Variación típica del esfuerzo en un pavimento con carpeta asfáltica	22
Figura 2-3: Variación típica de la deformación vertical resiliente	22
Figura 2-4: Esfuerzos Verticales en Subrasante bajo la Carpeta de 165 mm	23
Figura 2-5: Medidas de esfuerzos verticales en subrasantes.....	24
Figura 2-6: Tiempo de pulsación para el esfuerzo vertical, senoidal y triangular	25
Figura 2-7: Tiempo de pulsación para el esfuerzo vertical con onda tipo cuadrada	26
Figura 2-8: Deformación acumulada con el número de aplicaciones del esfuerzo	28
Figura 2-9: Deformación acumulada con el número de aplicaciones del esfuerzo	28
Figura 2-10: Ciclos aplicados para un nivel de carga en una prueba de módulo	35
Figura 2-11: Diagrama esquemático de la deformación plástica y recuperable	35
Figura 2-12: Rango de tamaño de partículas de suelo.	43
Figura 2-13: Fases del suelo.....	46
Figura 2-14: Sección típica de un pavimento.....	53
Figura 3-1: Extracción de las muestras, secado al aire y almacenaje	64
Figura 3-2: Calibración del equipo y ensayo de límite líquido	65
Figura 3-3: Gráfico de valores de límite líquido	66
Figura 3-4: Preparación de material y compactación	68
Figura 3-5: Curvas de compactación Proctor modificada de materiales estudiados	69
Figura 3-6: Humedecimiento de suelo y hermetización.	70
Figura 3-7: Inmersión de especímenes	71
Figura 3-8: Ensayo de CBR.....	72
Figura 3-9: Espaciamiento entre llantas en uso dual.	77
Figura 3-10: Esquema de carga en estructura de prueba.	77
Figura 3-11: Pestaña “Capas” PITRA PAVE.....	78
Figura 3-12: Pestaña “Cargas” PITRA PAVE.	79
Figura 3-13: Pestaña “Puntos” PITRA PAVE	80
Figura 3-14: Pestaña “Resultados” PITRA PAVE	81
Figura 3-15: Preparación de Especímenes para Módulo de Resiliencia	83
Figura 4-1: Rotación de ejes de esfuerzos principales.....	88
Figura 4-2: Gráfico correlación AASHTO 93.....	89
Figura 4-3: Gráfico de correlación Cuerpo de Ingenieros de EE.UU.....	90
Figura 4-4: Gráfico de correlación TRL	91
Figura 4-5: Gráfico de correlación Consejo Sudafricano	92
Figura 4-6: Curva de regresión ajustada UES (55-28).....	94
Figura 4-8: Representación gráfica de Mr-CBR.....	96
Figura 4-7: Comparación de Correlaciones	98

Índice de Tablas

Tabla 2-1: Valores R según AASHTO 1972.....	31
Tabla 2-2: Cálculo del módulo de resiliencia efectivo a partir de valores estacionales ..	32
Tabla 2-3: Clasificación de suelos AASHTO M-145.....	38
Tabla 2-4: Descripción de las partículas por el procedimiento visual-manual.	41
Tabla 2-5: Cantidad mínima de espécimen de ensayo por tamaño máximo	41
Tabla 2-6: Silicatos de Estructura laminar arcillosa	45
Tabla 3-1: Clasificación de los suelos y coordenadas de extracción.	63
Tabla 3-2: pasantes de la malla número 10, 40 y 200.....	64
Tabla 3-3: Límites de Consistencia e índice de grupo.....	66
Tabla 3-4: Características de compactación de los materiales utilizados.	69
Tabla 3-5: Resumen de CBR (Soporte California) de cada pozo	72
Tabla 3-6: Valores típicos de la Relación de Poisson.....	73
Tabla 3-7: Estructura de prueba.....	74
Tabla 3-8: Cálculo de la presión vertical en reposo	82
Tabla 3-9: Resumen de ensayos de módulo de resiliencia.....	86
Tabla 4-1: Correlación Guía AASHTO 93	89
Tabla 4-2: Correlación Green y Hall	90
Tabla 4-3: Correlación TRL	91
Tabla 4-4: Correlación del Consejo Sudafricano	92
Tabla 4-5: Transformación de pares ordenados Mr-CBR.....	94
Tabla 4-6: Resumen de regresión Microsoft Office Excel.....	95
Tabla 4-7: Estados de esfuerzo para modelos Mr-CBR.....	97
Tabla 4-8: r^2 ajustado y Estados de esfuerzo Mr-CBR	99

NOMENCLATURA

AASHTO: American Association of State Highway and Transportation Officials.

CBR: California Bearing ratio.

Cc: Coeficiente de curvatura.

Cp: Presión de confinamiento, en kPa.

Cu: Coeficiente de uniformidad.

Gs: Gravedad específica.

IG: Índice de grupo.

LL: Límite líquido, en %.

LP: Límite plástico, en %.

Mr: Módulo de resiliencia, en MPa.

IP: Índice de plasticidad, en %.

R²: Coeficiente de correlación.

Sr: Grado de saturación, en %.

SUCS: Sistema unificado de clasificación de suelos.

W: Contenido de agua, en %.

Wopt: Contenido de agua óptimo, en %.

γ_m : Peso volumétrico de la muestra, kg/m³

PVS: Peso volumétrico seco máximo, en kg/m³

θ : Invariante de tensiones, en en kPa.

σ_d : Esfuerzo desviador cíclico, en kPa.

σ_1 : Esfuerzo principal mayor, en kPa.

σ_3 : Esfuerzo de confinamiento, en kPa.

$\sigma_{m\acute{a}x}$: Esfuerzo desviador máximo en kPa.

Introducción

Una variable fundamental para el dimensionamiento del paquete estructural de un pavimento es la subrasante, debido a que es considerada la cimentación del mismo. Las metodologías de diseño en la actualidad utilizan el módulo de resiliencia como parámetro representativo de la caracterización de la subrasante, éste consiste en la relación entre el esfuerzo desviador y la deformación resiliente, pero debido a la dificultad en la obtención del equipo para la realización del ensayo, en campo se correlaciona con el valor del CBR (California Bearing Ratio). Esta investigación se enfoca en revisar la relación entre el módulo de resiliencia (M_r) y el índice de Soporte de California (CBR) para los suelos finos en estado natural sin estabilizar, siendo estos de los más desfavorables y que pueden ser utilizados como subrasante previo a un tratamiento. Se ensayan las muestras de suelo del campus de la Facultad Multidisciplinaria Oriental (UES-FMO), seleccionando los puntos de extracción o pozos a cielo abierto (PCA) mediante una cuadrícula con separación de 250 m entre cada uno y cuatro puntos en un alineamiento propuesto para un tramo de carretera dentro de la Facultad. Se realizan a las muestras extraídas ensayos de clasificación tomando en cuenta parámetros de AASHTO M-145, Compactación Proctor AASHTO T-180, Índice de Soporte de California (CBR) mediante AASHTO T-193 y Módulo de Resiliencia a través del ensayo AASHTO T 307-99, elaborando luego un gráfico que permita obtener la ecuación que relaciona los valores de Módulo de Resiliencia en términos del Índice de Soporte de California y establecer su coeficiente de correlación.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.0. Planteamiento del Problema

Una parte importante en el desarrollo económico y social de un país, son las vías de comunicación terrestres con las que cuenta, ya que permiten la movilización de personas e intercambio de mercancías, por ello el buen estado y funcionalidad de estas es indispensable. El estado de una carretera y su vida útil depende de muchos factores, uno de estos se encuentra en utilizar métodos de diseño óptimos para todos los elementos que la componen, mediante la utilización de datos realistas.

En el diseño del paquete estructural de una carretera en nuestro país se utilizan métodos empírico-mecanistas de acuerdo a los lineamientos de la guía AASHTO 1993 y su actualización del 2002, que no se han desarrollado en nuestras condiciones regionales, en los cuales para obtener espesores se debe hacer mediante correlaciones y suposiciones donde uno de los elementos fundamentales para todo el diseño estructural de un pavimento flexible es la subrasante, siendo esta la capa de terreno que soporta la estructura del pavimento y que se busca caracterizar su comportamiento mediante la aplicación de cargas cíclicas.

Por medio de ensayos como el Índice de Soporte de California (CBR) AASHTO T-193, método propuesto en 1929 por el departamento de carreteras de California. Y el ensayo Módulo de Resiliencia (Mr) AASHTO T 307-99, se puede estimar la capacidad de la subrasante para soportar esfuerzos solicitados por cargas vehiculares, pero no se ha desarrollado una investigación comparativa entre estos dos parámetros para suelos locales que permita una comprobación de la relación existente entre ambos.

1.1.Objetivos

Objetivo general.

Revisar la relación existente entre el Módulo de Resiliencia (Mr) y el Índice de Soporte de California (CBR) para suelos finos destinados a subrasante.

Objetivos específicos.

- Establecer una caracterización de las propiedades granulométricas y plásticas de los suelos finos, utilizando criterios de la norma AASHTO M-145.
- Establecer las variaciones entre los valores de Módulo de Resiliencia (Mr) obtenidos mediante el ensayo triaxial dinámico y el Módulo de Resiliencia (Mr) a través de las correlaciones utilizando el Índice de Soporte de California (CBR).
- Verificar la relación entre los valores de Módulo de Resiliencia (Mr) e Índice de Soporte de California (CBR) para los suelos finos mediante un análisis comparativo.

1.2. Justificación.

La tecnología y los métodos de diseño de estructuras de pavimentos cambian acorde a los avances en las investigaciones y experimentos desarrollados en diferentes partes del mundo, teniendo como resultado una serie de lineamientos y parámetros enfocados en la obtención de diseños más eficientes, es decir que cumplan con un buen desempeño para el número de repeticiones de carga a las que estarán sometidos durante el periodo de diseño, contribuyendo así a la disminución de costos de mantenimiento. Una limitante es que las mejoras en las metodologías de diseño requieren también el uso de equipos de ensayo costosos, lo que limita su aplicación generalizada, por tal razón las mismas guías de diseño también proponen maneras de obtener parámetros de diseño de forma indirecta, tal es el caso del Módulo de Resiliencia (Mr) en función de un ensayo menos costoso como el Índice de Soporte de California (CBR), pero las correlaciones propuestas han sido desarrolladas en otras regiones por lo que es importante comparar los resultados obtenidos mediante el ensayo de Módulo de Resiliencia (Mr) realizado directamente en la cámara triaxial con carga dinámica y los obtenidos por la correlación propuesta con el Índice de Soporte de California (CBR) para constatar la fiabilidad de su aplicación a los suelos locales, ya que este es uno de los parámetros más importantes utilizado en el diseño de pavimentos.

1.3. Alcances y Limitaciones

Alcances

- Se ensayarán suelos dentro del grupo de materiales de tipo II, según la clasificación AASHTO M-145.
- Se utilizarán para los ensayos de Módulo de Resiliencia e Índice de Soporte de California especímenes compactados a humedad óptima acorde a la máxima densidad proctor modificada (AASHTO T-180).
- Se revisará la correlación entre el Índice de Soporte de California (CBR) y Módulo de Resiliencia (Mr) de los suelos finos ensayados a humedad óptima.
- Se obtendrá el coeficiente de determinación para la gráfica de Índice de Soporte de California versus Módulo de Resiliencia.

Limitaciones

- Se extraerán las muestras en base a una cuadrícula ya que la investigación no se ejecuta para un proyecto vial con alineamiento especificado.
- La investigación será apoyada por Asfalca S.A de C.V en cuanto al equipo de laboratorio, por lo que el desarrollo de las pruebas se acopla a las horas de uso de equipo y días de ensayo acordados con dicha entidad.
- No se incluirán los tipos de suelos finos que no se encuentren en la extensión del campus de la Facultad Multidisciplinaria Oriental (UES).

1.4. Metodología de la Investigación

El estudio se basará en el método de investigación cuantitativa correlacional, este tiene como propósito evaluar la relación existente entre dos conceptos, categorías o variables. Los estudios cuantitativos correlacionales miden el grado de relación entre esas dos variables. Es decir, miden cada variable presuntamente relacionada y después miden y analizan la correlación.

Se basa la investigación cuantitativa correlacional en la recolección de datos históricos así como también la recopilación de investigaciones previas de diversas entidades u organizaciones, la recopilación de información de libros históricos y demás datos recolectados en otros tipos de fuentes informativas que ayuden a la elaboración de los lineamientos básicos a seguir.

En ocasiones el método correlacional es tratado como un tipo de investigación descriptiva, porque describe una condición existente. Sin embargo, dicha condición es diferente de aquellas que típicamente son descritas en un reporte descriptivo. El estudio correlacional describe de manera cuantitativa el grado en que se relacionan dos o más variables cuantificables, donde el grado de relación se expresa a través de un coeficiente de correlación. En una relación existente entre dos variables, eso significa que las puntuaciones dentro de un cierto rango de una variable están asociadas con las puntuaciones dentro de un cierto rango de otra variable, dicho de otra forma: el método correlacional permite indagar hasta qué punto las alteraciones de una variable dependen de las alteraciones de otra.

La metodología propuesta consta de tres fases a seguir para la ejecución del estudio, una comprende básicamente trabajo de campo, con la identificación de sitios de muestreo y la extracción de los mismos, otra de la ejecución del trabajo de laboratorio constituidos por; Granulometría, Límites de Atterberg, Compactación Proctor, Índice de Soporte de California (CBR) y Módulo de Resiliencia (Mr). Para los cuales se debe obtener en cada caso muestras representativas para ser objeto de ensayos.

Luego con los datos obtenidos en laboratorio se realizará el trabajo de gabinete que consiste en analizar e interpretar los resultados obtenidos de la realización de ensayos para presentar en forma gráfica y descriptiva los resultados del estudio. También se revisará la relación existente entre las variables utilizando las ecuaciones de correlación con el Índice de Soporte California (CBR).

La investigación comprenderá de conclusiones respecto a los datos obtenidos de los ensayos realizados de Índice de Soporte de California (CBR) y el Módulo de Resiliencia (Mr) a los suelos finos de acuerdo a la clasificación AASHTO.

1.4.1. Trabajos de Campo

En cada prospección se obtendrán muestras representativas en cantidad suficiente para la ejecución de los ensayos de laboratorio que son requeridos para determinar las características físicas y mecánicas de los suelos de fundación en subrasante.

La metodología seguida en la ejecución del estudio comprende una investigación para la selección de lugares adecuados para la extracción de muestras de suelo, tomando en

cuenta la seguridad personal, accesibilidad del lugar y la posibilidad de encontrar un material que cumpla con las condiciones para su clasificación dentro del rango de suelo fino, según la norma AASHTO M-145.

Extracción de muestras de suelo: En la extracción de la muestra se necesitará herramienta para excavar, tales como pala, piocha, pico, barra, y bolsas resistentes para guardar el material.

Una vez seleccionado el lugar se procede a limpiar donde se extraerá la muestra, eliminando toda la materia orgánica en un área de 1.5 m por 1.5 m de lado. Utilizando la herramienta adecuada se excavará un pozo de 1.0 m por 1.5 m con una profundidad no menor a 1 m para asegurarse que la muestra no esté contaminada.

Muestras: La cantidad de material se basará considerando lo necesario para realizar el ensayo de Granulometría, Límites de Atterberg, Compactación Proctor, CBR y Módulo de Resiliencia de la misma muestra. Por tanto se recolectará alrededor de 100 kg, guardando en doble saco para evitar contaminación o alteración del contenido. La muestra envasada se identificará mediante dos etiquetas, una en el interior y otra sujeta en el exterior. Dichas etiquetas serán resistentes al manejo de la muestra con dimensiones mínimas de 8 cm por 12 cm y en ellas se anotará, con bolígrafo y letra de molde legible algunos datos como localización del sitio de muestreo, número y ubicación del pozo a cielo abierto (PCA), tipo de material, profundidad a la que se tomó la muestra, clasificación previa, responsables del muestreo, fecha y hora del muestreo y usos al que se destina la muestra.

Una vez tomada la muestra se procederá a cubrir el pozo con el mismo material sobrante y luego el traslado en vehículo hacia un lugar seguro para su almacenamiento, este proceso de obtención de muestra y traslado demorará un día completo por muestra y se realizará para 13 muestras, por tanto se realizarán 12 pozos a cielo abierto.

1.4.2. Trabajos de Laboratorio

Estos trabajos de laboratorio permitirán determinar las propiedades de los suelos mediante ensayos físicos y mecánicos de las muestras alteradas provenientes de cada una de las exploraciones.

Con el material en el laboratorio se procederá a secarlo al aire y disgregar, luego se realizarán ensayos para la clasificación siguiendo los lineamientos AASHTO M-145 y así, de acuerdo a la clasificación continuar con los ensayos para determinar las propiedades mecánicas del material.

Propiedades físicas: En cuanto a los ensayos a ejecutar, se explican y definen los objetivos de cada uno de ellos. Cabe señalar que los ensayos físicos corresponden a aquellos que determinan las propiedades índices de los suelos y que están destinados a expresar cuantitativamente sus características, siendo parámetros de clasificación, principalmente la granulometría y los límites de Atterberg.

Propiedades índices.

-Contenido de humedad (w). El contenido de humedad se define como el cociente entre la masa de agua contenida y la masa de los sólidos de una masa de suelo, esta se escribe como:

$$w = \frac{m_w}{m_s}$$

Ecuación 1.1: Contenido de humedad.

Si la masa de la muestra húmeda en estado natural es M_1 y la masa de suelo secada al horno de tal manera que no tenga contenido de humedad es M_2 , entonces el contenido de agua será $M_1 - M_2$. Por lo tanto el contenido de humedad del suelo será:

$$w = \frac{M_1 - M_2}{M_2} * 100$$

Ecuación 1.2: Porcentaje del contenido de humedad.

Por lo general el contenido de humedad es expresado en porcentaje.

-Densidad: la densidad del suelo es definida como la relación entre la masa y el volumen, esta puede variar para un mismo tipo de suelo, dependiendo de la cantidad relativa de agua que contenga y se expresa como:

$$\rho = \frac{Masa}{Volumen}$$

Ecuación 1.3: Ecuación de densidad.

-Peso unitario: el peso unitario es definido como la masa por unidad de volumen. El peso unitario del suelo varía de acuerdo al contenido de agua que este tenga, siendo húmedo (no saturado), saturado y seco.

Peso unitario húmedo: es definido como el peso de la masa de suelo en estado no saturado por unidad de volumen, donde los vacíos del suelo contienen tanto agua como aire, este es:

$$\gamma = \frac{W}{V}.$$

Ecuación 1.4: Peso unitario húmedo.

Peso unitario seco: se define como el peso del suelo sin contenido de agua por unidad de volumen, y se escribe:

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V}.$$

Ecuación 1.5: Peso unitario seco.

Peso unitario saturado: se define como el peso del suelo en estado saturado por unidad de volumen, donde los espacios vacíos están llenos de agua, siendo este:

$$\gamma_{sat} = \frac{W_{sat}}{V}.$$

Ecuación 1.6: Peso unitario saturado.

-Análisis granulométrico (AASHTO T-11)

Luego de preparado el material, el ensayo a realizar seguidamente será el de granulometría, que es la distribución de las partículas de un suelo de acuerdo a su

tamaño y se determina mediante el tamizado o paso del agregado por mallas de distinto diámetro hasta el tamiz N° 200 (de diámetro 0.074 milímetros).

Conociendo el porcentaje de material que pasa la malla # 200 se determina si el material es fino o granular para proceder a los demás ensayos.

-Límite líquido y límite plástico. ASTM D - 4318

Después de realizar el ensayo de granulometría, se deberá proceder al ensayo de los Límites de Atterberg y determinar la plasticidad del suelo, que es la capacidad de este a ser moldeable. Esta propiedad depende de la cantidad de arcilla que contiene el material que pasa la malla N° 200, porque es este el que actúa como ligante. Un suelo, de acuerdo al contenido de humedad que contenga, pasa por tres estados definidos: líquido, plástico y seco. Cuando el suelo tiene determinado contenido de humedad en la que no puede ser moldeable, se dice que está en estado semilíquido. Conforme se le va quitando el agua, llega un momento en que el suelo, sin dejar de estar húmedo, comienza a adquirir una consistencia que permite moldearlo o hacerlo trabajable, entonces se dice que está en estado plástico. El contenido de humedad en el cual el suelo pasa del estado semilíquido al plástico es el Límite Líquido

Si continuamos quitando agua, llegará un momento en que el material pierde su trabajabilidad y al tratar de moldearlo se cuarteará, solo entonces se dice que está en estado semi seco. Y el contenido de humedad en el que pasa del estado plástico al semi seco es el Límite Plástico.

Propiedades Mecánicas: Los ensayos para definir las propiedades mecánicas, permitirán determinar la resistencia de los suelos o el comportamiento frente a las sollicitaciones de cargas.

a) Ensayo de Compactación Proctor Modificado (AASHTO T-180).

Después de una clasificación del suelo y conocer sus propiedades físicas, se deberá seguir con el ensayo de Compactación Proctor para determinar un óptimo contenido de humedad, para la cual se consigue la máxima densidad seca del suelo con una compactación determinada. Con este procedimiento de compactación se estudia la influencia que ejerce en el proceso el contenido inicial de agua del suelo, encontrando que tal valor es de fundamental importancia en la compactación lograda. En efecto, se observa que a contenidos de humedad creciente a partir de valores bajos, se obtienen más altos pesos específicos secos y por lo tanto mejores compactaciones del suelo.

Es decir, para un suelo dado y empleando el procedimiento descrito existe una humedad llamada la “óptima”, que produce el máximo peso específico seco que puede lograrse con este procedimiento de compactación.

Lo anterior puede explicarse, en términos generales, teniendo en cuenta que, a bajos contenidos de agua, en los suelos finos de tipo arcilloso, el agua está en forma capilar produciendo compresiones entre las partículas constituyentes del suelo lo cual tiende a formar grumos difícilmente desintegrables que dificultan la compactación. El aumento en contenido de agua disminuye esa tensión capilar en el agua haciendo que una misma energía de compactación produzca mejores resultados. Empero, si el contenido de agua

es tal que hay exceso de agua libre al grado de llenar los vacíos del suelo, esta impide una buena compactación, puesto que no puede desplazarse instantáneamente bajo los impactos del pisón. Para un mejor detalle del procedimiento y forma de utilizar los datos revisaremos AASHTO T-180.

b) California Bearing Ratio – CBR. (AASHTO T-193)

Conocido los valores de Óptimo Contenido de Agua y Máximo Peso Unitario Seco Modificado mediante el ensayo de Compactación Proctor, se preparará para el Índice de Soporte California (CBR), que es una medida de la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo bajo condiciones de densidad y humedad cuidadosamente controladas. Se compactarán para este ensayo tres especímenes de 152.4 ± 0.7 mm de diámetro y altura de 116.42 ± 0.6 mm, con 10 golpes, 25 golpes y 56 golpes respectivamente. Luego se sumergirán en agua por 96 horas para la saturación. El equipo a utilizar para la compactación será el utilizado en el ensayo de compactación Proctor, agregando un marco de carga con una capacidad mínima de 44.5 KN (10,000 lbf) capaz de desplazar una base metálica rígida a una velocidad uniforme y sin pulsaciones de 1.27 mm/min., contra el pistón de penetración. Procedimiento descrito en la norma AASHTO T-193.

c) Módulo de resiliencia -Mr. (AASHTO T 307-99)

Con las muestras de suelo previamente clasificado, obtenido su óptimo contenido de humedad y realizado el ensayo CBR, procederemos a la realización del ensayo para determinar directamente el Módulo de Resiliencia que se desarrollará con el objeto de analizar la propiedad que tienen los materiales de comportarse bajo cargas dinámicas

como las ruedas de tránsito. Para esto se compactará dos especímenes de 4” de diámetro por 8” de altura, compactando a la humedad óptima obtenida del ensayo de Compactación Proctor y bajo condiciones similares tales como el método de compactación y el martillo a utilizar.

Con este ensayo se concluiría el estudio en las muestras de suelo seleccionadas para luego realizar la recopilación de datos y el trabajo de gabinete. Para realizar los ensayos requeridos se deberá con anticipación gestionar por medio del personal encargado del laboratorio de Asfalca S.A de C.V. el uso del equipo, para lo cual existirá la necesidad de programar una capacitación previa a la realización de los ensayos por parte de los técnicos e ingenieros encargados del laboratorio.

1.4.3. Trabajo de Gabinete

Se efectuará la recopilación de todos los resultados de ensayos de laboratorio, los cuales serán denominados “Resumen de Ensayos en muestras de suelo”, en este se presentarán las características físicas y mecánicas de los suelos provenientes de los diferentes ensayos realizados en laboratorio y en campo a las diversas muestras extraídas, además se organizarán los resultados en tablas.

Se enlistarán los resultados de Límites de Consistencia y su correspondiente granulometría para la obtención de los parámetros requeridos en el procedimiento para clasificación de suelos AASHTO M-145, asimismo se organizarán los resultados con las

correspondientes coordenadas de ubicación del pozo a cielo abierto (PCA) al cual corresponden los resultados de los ensayos y procedimiento de clasificación.

Con los datos del Índice de Soporte de California (CBR) y El Módulo de Resiliencia (Mr) se organizarán en una tabla utilizando Microsoft Office Excel, las constantes del modelo $k-\Theta$ de Seed para el Módulo de Resiliencia se obtendrán mediante regresión lineal múltiple, utilizando el programa antes mencionado.

Se procesará la gráfica de los pares ordenados, en la abscisa se representarán los valores de Índice de Soporte de California (CBR) y en la ordenada se representarán los valores de Módulo de Resiliencia (Mr), se mostrará la línea de tendencia que represente mejor la relación que existe entre los valores, lo que estará gobernado por la regresión que muestre el coeficiente de correlación más cercano a uno. Además se obtendrá la ecuación que describa los valores de Módulo de Resiliencia en términos de los valores de la Relación de Soporte de California (CBR), se comparará con las ecuaciones de correlación propuestas por la guía AASHTO 2002 y AASHTO 93, Green y Hall, y Consejo Sudafricano; para la obtención del Módulo de Resiliencia para suelos con resultados de CBR similares a los obtenidos al ensayar los suelos cubiertos en el estudio.

La validez de la correlación obtenida estará en función de los tipos de suelos finos que se encuentren en la extensión del campus de la Facultad Multidisciplinaria Oriental de la Universidad de El Salvador y del coeficiente R cuadrado (R^2) que mejor se aproxime a uno (1).

CAPÍTULO II

MARCO REFERENCIAL

2. Marco Referencial

2.1 Marco Teórico

2.1.1 Naturaleza Cíclica de las Cargas en el Pavimento

Los materiales que constituyen los pavimentos, incluyendo las terracerías y el terreno de cimentación, se ven sometidos a cargas dinámicas de diversas magnitudes que le son transmitidas por el tránsito vehicular.

El patrón de esfuerzos inducidos a una estructura de pavimento como resultado del tráfico de vehículos es muy complejo. Un elemento de pavimento está sujeto a pulsos de carga que involucran componentes de esfuerzos normales y cortantes.

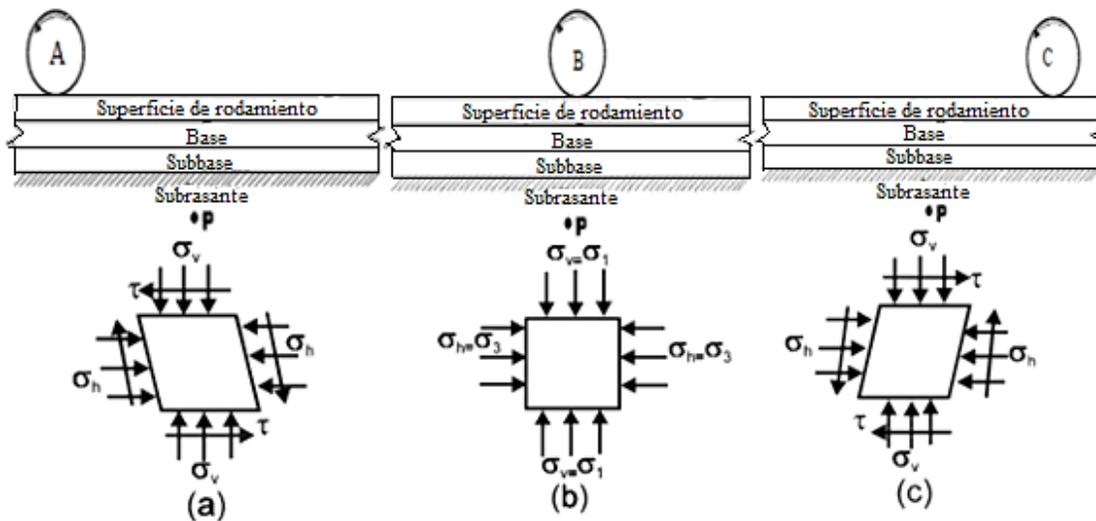
La Figura 2-1 muestra el esquema de una sección longitudinal de las capas de un pavimento, sobre la cual una carga se mueve a velocidad constante.

El estado de esfuerzos experimentado por el punto P –debido a la carga en el punto A– puede observarse en la Figura 2-1(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 presenta en la Figura 2-1 (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 2-1(c).

En laboratorio se realizan pruebas triaxiales simulando 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 simular en laboratorio este cambio, por lo que la presión de confinamiento se mantiene constante y el esfuerzo desviador es el que se aplica en forma repetida.



Fuente: Garnica et al (2001)

Figura 2-1: Estado de esfuerzos en la subrasante¹

2.1.2 Mediciones de Esfuerzos y Deformaciones en Casos Reales

Dada la forma tradicional de estructuración de los materiales que conforman el pavimento, la deformabilidad suele crecer hacia abajo. La deformabilidad interesa sobre todo a niveles profundos, pues es relativamente fácil que las capas superiores tengan niveles de deformación tolerables aún para los altos esfuerzos que en ellas actúan.

¹Garnica Anguas, Pérez García y Gómez López. (2001). Módulos de resiliencia en suelos finos y materiales granulares. Sanfandila, Qro.

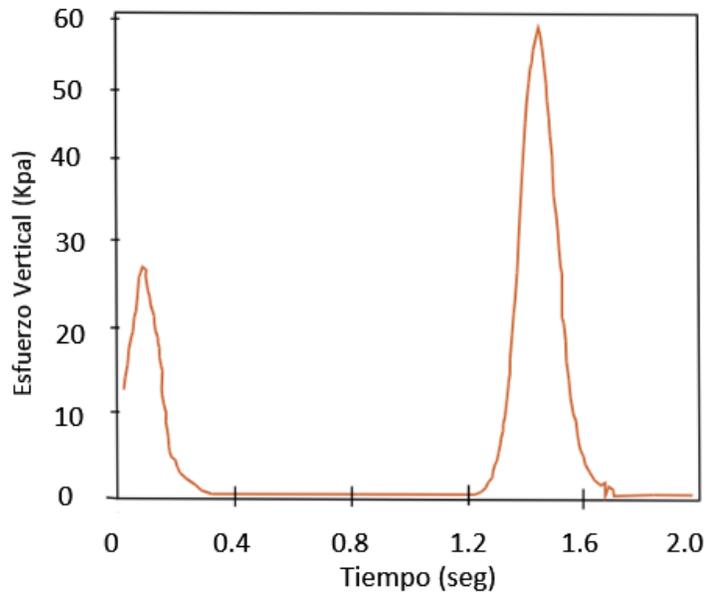
En pavimentos, las deformaciones interesan desde dos puntos de vista: por un lado, las deformaciones excesivas están asociadas a estados de falla y -por otro- porque es sabido que un pavimento deformado puede dejar de cumplir sus funciones, independientemente de que las deformaciones no hayan conducido a un colapso estructural propiamente dicho (Rico A., Del Castillo H., 1992).

Con el fin de tomar en cuenta la naturaleza cíclica de las cargas que actúan en los materiales que conforman una estructura de pavimento, así como el comportamiento no lineal y resiliente de los materiales, se han realizado en el mundo varios trabajos experimentales, tanto en modelos a escala natural como en muestras de material probadas en el laboratorio, obteniéndose valiosa información sobre el comportamiento esfuerzo-deformación de los materiales.

Brown (1996), reporta gráficas de esfuerzos y deformaciones obtenidas mediante la instrumentación de una estructura de pavimento sujeta a la aplicación de carga repetida por medio del paso de un tractocamión. Las Figuras 2-2 y 2-3 corresponden a las mediciones antes mencionadas en un punto ubicado a 35 cm de profundidad con respecto a la superficie de rodamiento.

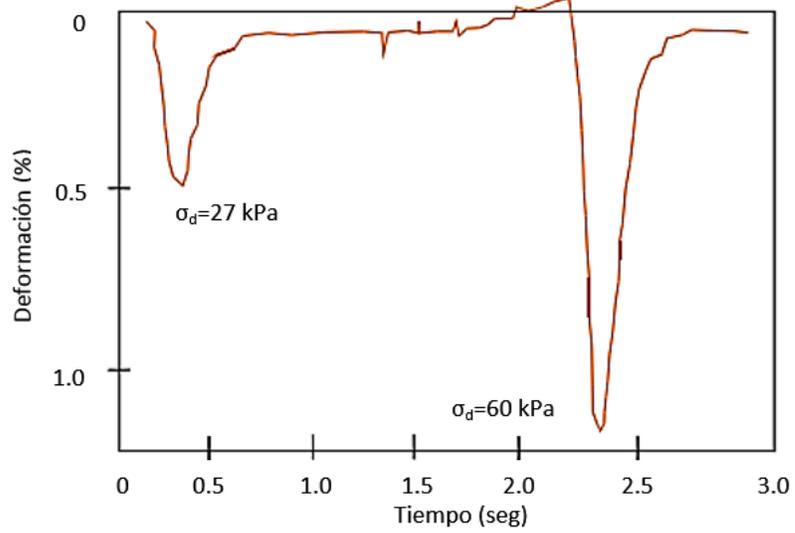
Se puede apreciar que la carga que transmiten los vehículos es en forma de pulsos, cuya magnitud depende de la presión de inflado de las llantas y de la carga por eje; además, la duración de aplicación del pulso depende de la velocidad y del nivel de tránsito diario.

También se observa que la máxima deformación registrada corresponde al valor del esfuerzo máximo.



Fuente: Brown (1996)

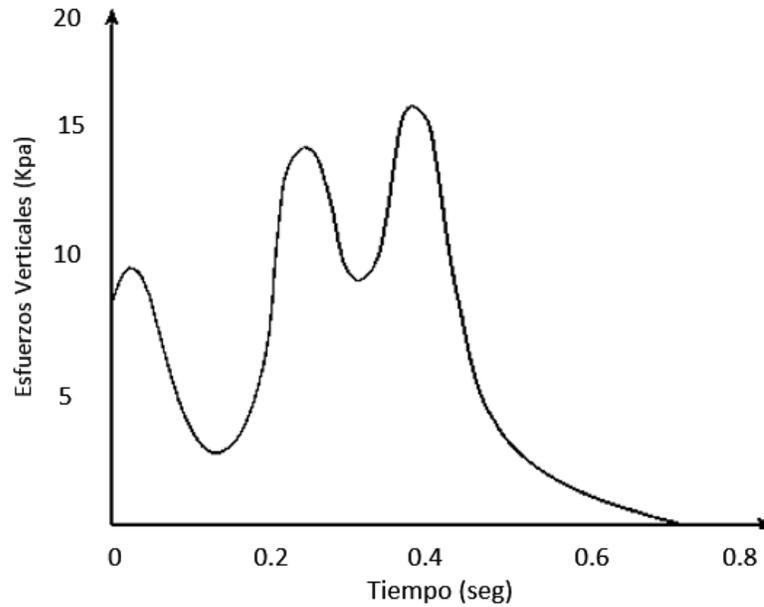
Figura 2-2: Variación típica del esfuerzo en un pavimento con carpeta asfáltica



Fuente: Brown (1996)

Figura 2-3: Variación típica de la deformación vertical resiliente en un pavimento con carpeta asfáltica

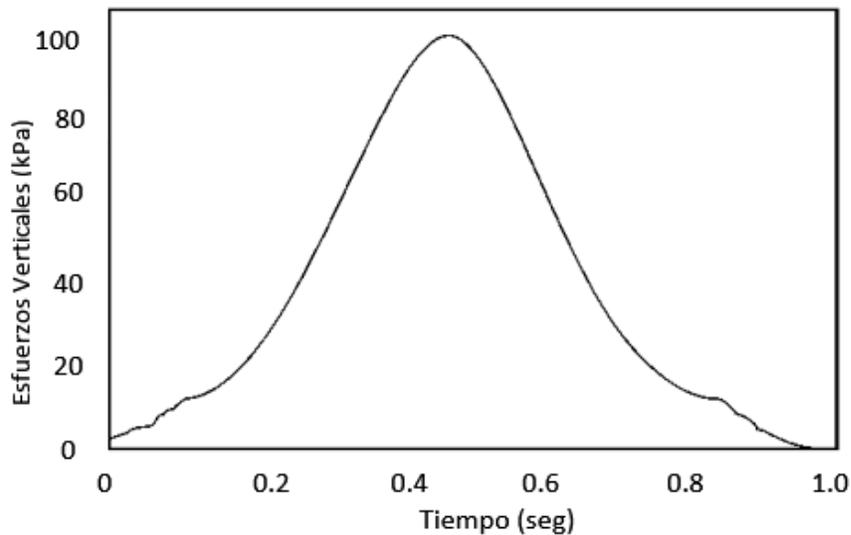
Otro ejemplo de mediciones de esfuerzos en campo se ilustra en la Figura 2-4 en donde se aprecia la variación del esfuerzo vertical medido en la capa subrasante de un pavimento terminado, con carpeta de 165 mm de espesor.



Fuente: (Bown, 1996)

Figura 2-4: Esfuerzos Verticales en Subrasante bajo la Carpeta de 165 mm

En otros estudios se observó que en pavimentos parcialmente construidos, sujetos a las cargas del equipo pesado de construcción, los niveles de esfuerzo son mucho mayores (Figura 2-5). Estos datos fueron obtenidos en un tramo de prueba en una arcilla blanda (Bothkennar, Suecia).



Fuente: (Bothkennar, Suecia)

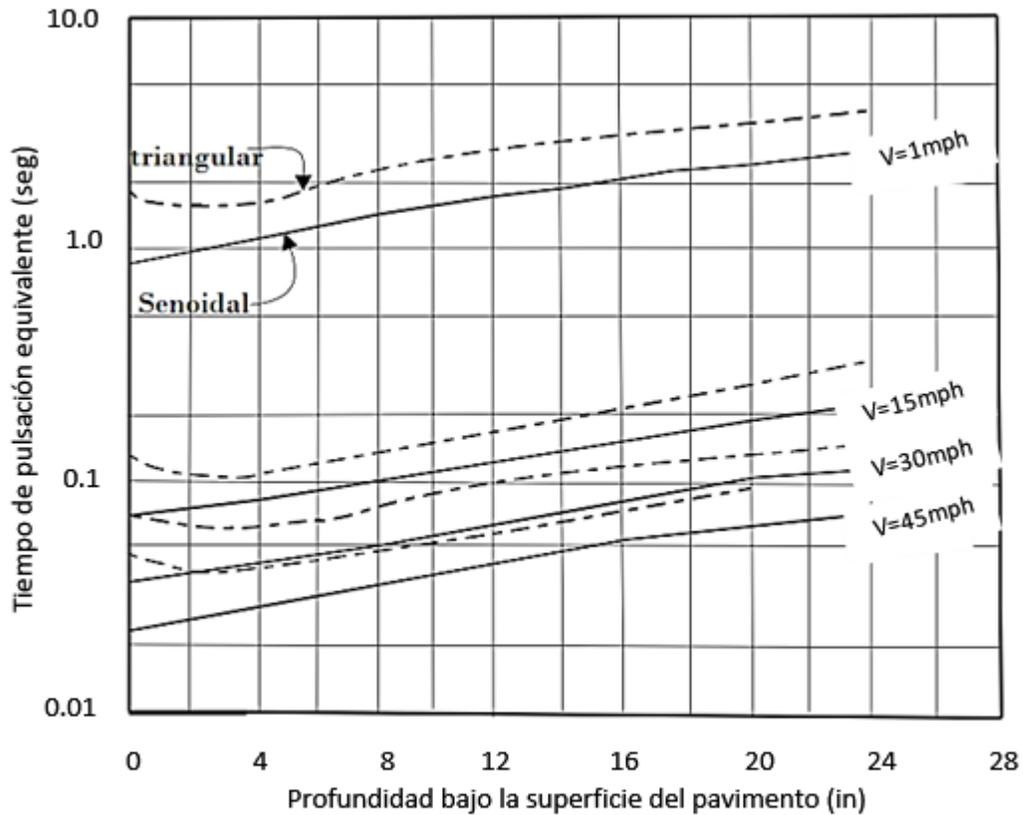
Figura 2-5: Medidas de esfuerzos verticales en subrasantes bajo una capa granular de 350 mm

2.1.3 Influencia de la Velocidad en el Tiempo de Aplicación de Carga.

Con base en los puntos señalados anteriormente, se ha supuesto que los esfuerzos aplicados por una llanta en movimiento se aproximan a una forma senoidal, cuya duración depende de la velocidad del vehículo y de la profundidad del punto al que se está haciendo referencia.

Barksdale (1971) investigó sobre los tiempos de pulsación a diferentes profundidades bajo la superficie del pavimento, así como también a diferentes velocidades. Estos resultados se muestran en la Figura 2.6. Se observa cómo a mayor velocidad del vehículo el tiempo de aplicación de la carga disminuye; también es evidente que simulando el esfuerzo vertical con una onda triangular, los tiempos de aplicación

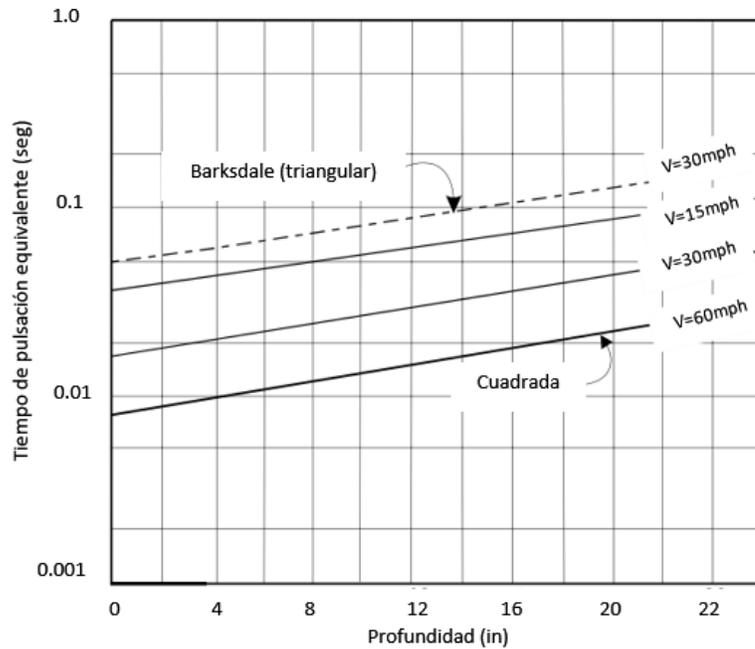
aumentan. También se puede apreciar que el tiempo de duración de la carga aumenta con la profundidad.



Fuente: Barksdale (1971)

Figura 2-6: Tiempo de pulsación para el esfuerzo vertical con carga senoidal y triangular

McLean (1974) determinó el tiempo de carga simulándola con una onda cuadrada (Figura 2-7), sobre la cual sobrepuso los resultados obtenidos por Barksdale (carga triangular y una velocidad de 30 mph). Se puede ver que el tiempo de pulsación basado en una onda cuadrada es más pequeño que la basada en una triangular.



Fuente: (McLean, 1974)

Figura 2-7: Tiempo de pulsación para el esfuerzo vertical con onda tipo cuadrada

En vista de que la velocidad del vehículo no es constante, se recomienda –con fines de estandarización- la onda senoidal con tiempo de duración de 0.1 segundo de aplicación de carga y un periodo de reposo de 0.9 segundos (Huang, 1993).

2.1.4 Mecanismo de deformación de un material sujeto a carga cíclica.

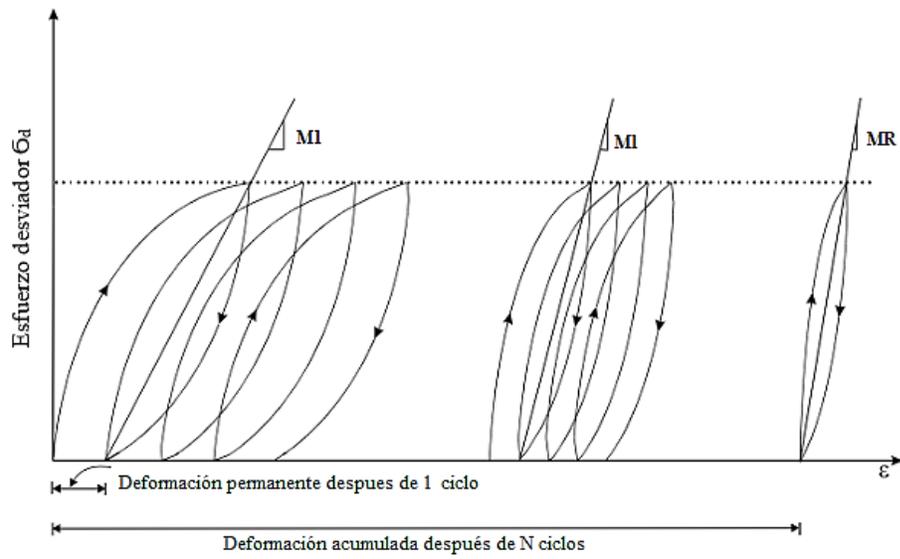
De acuerdo con el diseño estructural del pavimento, el tipo y la magnitud de las sollicitaciones, repeticiones de carga acumuladas, características asociadas al clima y la localización de las diferentes capas de material; el comportamiento esfuerzo-deformación de un suelo puede ser de dos tipos : resiliente y plástico.

Las deformaciones resilientes o elásticas son de recuperación instantánea y suelen denominarse plásticas a aquellas que permanecen en el pavimento después de cesar la causa deformadora. Bajo carga móvil y repetida, la deformación plástica tiende a hacerse acumulativa y puede llegar a alcanzar valores inadmisibles. Paradójicamente, este proceso suele ir acompañado de una “densificación” de los materiales, de manera que el pavimento fallado puede ser más resistente que el original.

En la Figura 2-8, se ilustra el mecanismo por el cual la deformación permanente se va acumulando; debe hacerse notar el hecho de que en los ciclos intermedios la deformación permanente para cada ciclo disminuye, hasta que prácticamente desaparece en los ciclos finales.

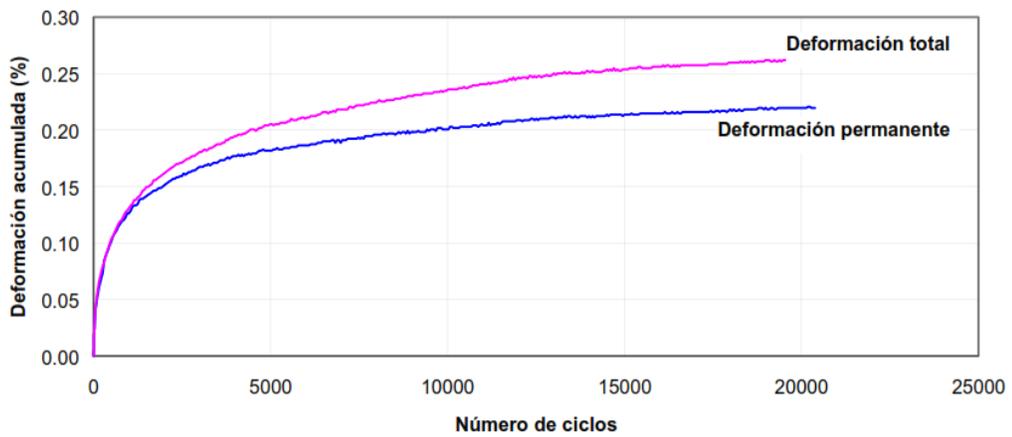
La muestra de suelo llega así a un estado tal en que toda la deformación es recuperable, en ese momento se tiene un comportamiento resiliente (en donde el módulo secante es igual al módulo de resiliencia).

En la Figura 2-9 se muestra la acumulación de las deformaciones total y plástica durante un cierto número de ciclos. La deformación elástica repetida preocupa sobre todo en materiales con resistencia a la tensión -carpetas asfálticas o capas estabilizadas- colocados en la parte superior de la estructura, en los que se puede llegar a generar una falla de agrietamiento por fatiga si el número de repeticiones es importante y los materiales son susceptibles a este efecto.



Fuente: Garnica et al (2001)

Figura 2-8: Deformación acumulada con el número de aplicaciones del esfuerzo desviador



Fuente: Garnica et al (2001)

Figura 2-9: Deformación acumulada con el número de aplicaciones del esfuerzo desviador

2.2 Marco Histórico

Desde épocas muy remotas, se ha sabido que un material expuesto al agua presenta un cambio en sus propiedades mecánicas. En respuesta a ello, los métodos de diseño propuestos desde hace ya varios años han tratado de que esta característica se refleje en los espesores de los materiales colocados en la estructura (materiales de textura fina y granulares). Sin embargo, es importante mencionar que los materiales con mayor cantidad de partículas finas (material que pasa la malla No. 200) son los que se ven más afectados al experimentar una variación en su contenido de agua. Esto se ha reflejado en los métodos de diseño AASHTO que anteceden a la nueva guía de diseño para pavimentos nuevos y rehabilitados (AASHTO 2002) y que se presentan a continuación.

2.2.3 Guía AASHTO 1961

La primera guía de diseño de pavimentos AASHTO se basó en los resultados del tramo de prueba AASHO localizado en Ottawa, Illinois (Huang, 2004). Después de terminar el monitoreo se analizó la información; de esto se obtuvo la ecuación de diseño que relaciona el número de ejes equivalentes (que soporta el pavimento) con el número estructural y el nivel de servicio. La relación mencionada fue expresada con la ecuación 2-1:

$$\log W_{18} = 9.36 \log(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log[(4.2 - P_t)/(4.2 - 1.5)]}{0.4 + 1094/(SN + 1)^{5.19}}$$

Ecuación 2-1: Ecuación AASHTO 1961

Donde:

W_{18} = número de ejes equivalentes de 8.2 toneladas

SN = número estructural

p_t = nivel de servicio final

Como se puede observar, la ecuación no incluye ningún parámetro que tome en cuenta condiciones de materiales diferentes a los utilizados en el tramo de prueba; es decir, la ecuación fue desarrollada únicamente para las condiciones de estudio, de las que se puede resaltar el uso de un solo tipo de material de subrasante (Christopher, et al., 2006).

2.2.4 Guía AASHTO 1972

La guía de diseño de pavimentos de 1972 (provisional) fue el primer intento de incorporar condiciones diferentes a las usadas en el tramo de prueba AASHTO. Por ejemplo, incluyó el valor de soporte del suelo (S_i) para reflejar suelos de cimentación diferentes a los del tramo de prueba. Su valor fue considerado entre 1 y 10; el valor de 3 correspondía a la arcilla limosa (material de cimentación del tramo de prueba) y 10 para material formado por roca triturada (Christopher, et al., 2006).

Para tomar en cuenta las condiciones ambientales de otras regiones, fue agregado a la ecuación un factor regional, R, cuyos valores quedan resumidos en la Tabla 2-1 (el valor promedio era 1.0).

Valor de R según la guía AASHTO 1972

<i>Valores recomendados de R (AASHTO, 1972)</i>	
Material de cimentación	Parámetro R
Congelamiento hasta 13 cm o más (invierno)	0.2 a 1.0
Seco (verano y otoño)	0.3 a 1.5
Húmedo (descongelamiento en primavera)	4.0 a 5.0

Tabla 2-1: Valores R según AASHTO 1972

La ecuación (2-1), por tanto, fue modificada y tomó la siguiente forma:

$$\log W_{18} = 9.36 \log(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log \left[\frac{4.2 - P_t}{4.2 - 1.5} \right]}{0.4 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + \log \left(\frac{1}{R} \right) + 0.372(S_i - 3.0)$$

Ecuación 2-2: Ecuación AASHTO 1972

En donde, S_i es el valor de soporte del suelo y R es el factor regional. Los demás parámetros son los ya mencionados para la ecuación (2-1).

2.2.5 Guía AASHTO 1986

En 1986 fueron realizadas nuevas modificaciones a la guía provisional de 1972.

Los nuevos cambios incluyeron el uso de factores para tomar en cuenta la confiabilidad; con respecto al material que forma la subrasante, éste fue caracterizado por medio del módulo de resiliencia que es una medida de la rigidez del material tomando en consideración un comportamiento no lineal. El valor de módulo de resiliencia efectivo

utilizado en la ecuación de diseño puede ser evaluado a partir de valores estacionales como aparece a continuación.

Considere que conoce la variación mensual del módulo de resiliencia como lo muestra la Tabla 2-2. A partir de estos valores y utilizando la ecuación (2-3) se determina el valor del daño relativo. Una vez que se conoce este valor, se determina el daño relativo promedio y finalmente el módulo de resiliencia efectivo, como lo muestran los cálculos de la Tabla 2-2.

$$M_r = \left[\frac{1.18 \times 10^8}{\bar{u}_f} \right]^{\frac{1}{2.32}}$$

Ecuación 2-3: Módulo de Resiliencia considerando el daño relativo

Calculo del módulo efectivo a partir de valores estacionales

Mes	Mr (psi)	Daño relativo, Uf	Daño relativo promedio
Enero	15900	0.02	$\bar{u}_f = \frac{25.30}{12} = 2.11$
Febrero	27300	0.01	
Marzo	38700	0.00	Por tanto el módulo de resiliencia es: $M_r = \left[\frac{1.18 \times 10^8}{\bar{u}_f} \right]^{-2.32} = 2185psi$
Abril	50000	0.00	
Mayo	900	16.52	
Junio	1620	4.22	
Julio	2340	1.80	
Agosto	3060	0.97	
Septiembre	3780	0.59	
Octubre	4500	0.39	
Noviembre	4500	0.39	
Diciembre	4500	0.39	

$$\Sigma \bar{u}_f = 25.30$$

Fuente: Guía AASHTO 93

Tabla 2-2: Cálculo del módulo de resiliencia efectivo a partir de valores estacionales

La ecuación de diseño que apareció en la guía AASHTO de 1986 fue la siguiente:

$$\log W_{18} = 9.36 \log(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log \left[\frac{4.2 - P_t}{4.2 - 1.5} \right]}{0.4 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + \log M - 8.07$$

Ecuación 2-4: Ecuación AASHTO 1986

Donde:

M_r = módulo de resiliencia (valor calculado como se mostró en la Tabla 2-2)

Es importante resaltar que en las modificaciones antes mencionadas, las variaciones en módulo de resiliencia sólo son tomadas en cuenta para el material que forma la subrasante. Por otro lado, para el caso de los materiales de base o subbase se hace uso de los coeficientes de capa (a_i) y los coeficientes de drenaje (m_i) con los cuales se considera la rigidez del material y su exposición a contenidos de agua cerca de la saturación, respectivamente.

En la guía de diseño antes mencionada, aparece por primera vez el parámetro módulo de resiliencia; por lo que es conveniente definirlo.

Para llevar a cabo el diseño estructural de un elemento, se requiere conocer cómo será su respuesta ante la sollicitación a la que estará sujeto. En el caso de un pavimento, las cargas del tránsito que circularán por dicha vía constituyen la sollicitación. Hace algunos años, la propiedad para caracterizar los materiales era el valor relativo de soporte, propiedad que por la forma en la que es determinada no simula las condiciones a las que

estará expuesto el material en campo. Por esta razón, en 1955, Seed introdujo el concepto módulo de resiliencia; el cual fue definido como la relación entre el esfuerzo desviador y la deformación recuperable. Este parámetro se determina a partir de una prueba de carga cíclica; como ecuación se expresa de la siguiente forma:

$$M_r = \frac{\sigma_d}{\varepsilon_r}$$

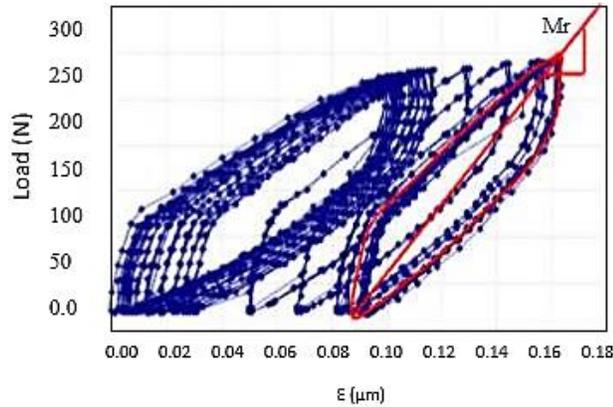
Ecuación 2.5: Ecuación para módulo de resiliencia

Donde:

σ_d =esfuerzo desviador

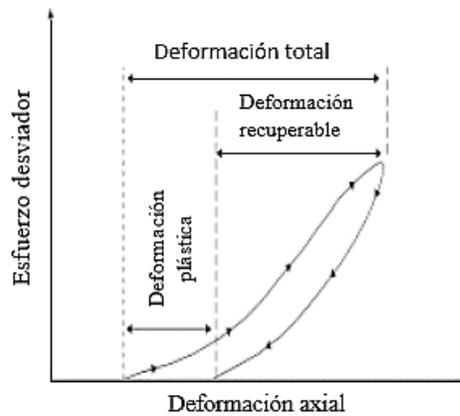
ε_r =deformación recuperable

Lo anterior puede ser explicado como sigue: Primeramente, se aplica al espécimen una carga de cierta amplitud (que está relacionada con la carga a la que va a estar sujeto el material en campo) durante un cierto número de ciclos. Durante la aplicación de ésta, la deformación presentada en el espécimen es de dos tipos: una parte que es recuperable y la otra que es permanente (Figura 2-11). Sin embargo, al llegar a un cierto número de ciclos toda la deformación es recuperable; en ese momento se dice que el material está en un estado elástico y es en esta condición donde se calcula el módulo de resiliencia (Figura 2-10).



Fuente: Garnica et al (2001)

Figura 2-10: Ciclos aplicados para un nivel de carga en una prueba de módulo de resiliencia



Fuente: Garnica et al (2001)

Figura 2-11: Diagrama esquemático de la deformación plástica y recuperable en un ciclo de carga

2.2.6 Guía AASHTO 1993

En esta guía de diseño, sólo fueron incluidos los cambios relacionados con la rehabilitación de pavimentos rígidos y flexibles. Con respecto a parámetros geotécnicos ya establecidos en 1986, no hubo ningún cambio; es decir, la ecuación de diseño siguió siendo la (2-4).

2.3 Marco Conceptual

2.3.3 Aspectos Generales del Suelo.

Conceptos generales de suelo.

Su definición varía según la rama de aplicación, pero en el sentido general de la ingeniería civil se conoce como: agregado no cementado de granos minerales y materia orgánica descompuesta (partículas sólidas) junto con líquidos y gases que ocupan los espacios vacíos entre las partículas sólidas.

El origen de los suelos es generado por la desintegración y alteración física y/o química de las rocas madres (ígneas, metamórficas o sedimentarias), causadas por el intemperismo, cambiándole la composición y mineralogía, así como sus propiedades físicas y mecánicas a través del tiempo.

Son muchos los agentes físicos que provocan una gran variedad de cambios en las rocas, entre ellos figuran la temperatura, el viento, el agua y la humedad. Algunos agentes químicos principales, que podemos mencionar como causantes de cambios en las rocas son la oxidación y la hidratación.

Suelos Residuales.

Son los suelos que permanecen donde se formaron como producto del ataque de los agentes del intemperismo, desintegración mecánica y/o descomposición química que cubren la superficie rocosa de la cual se derivan directamente.

Suelos Transportados.

Son aquellos suelos que fueron removidos o transportados desde su lugar de formación por la erosión fluvial o la erosión eólica y son re-depositados en otras zonas. Así se generan suelos que se depositan sobre otros estratos sin relación directa con ellos.

En la naturaleza existen diferentes agentes de transporte, de los cuales pueden citarse como principales: los glaciares, el viento, los ríos, corrientes de aguas superficiales, los mares y las fuerzas de gravedad.

2.3.4 Clasificación de Suelos.

Un sistema de clasificación de suelos es un ordenamiento de los diferentes suelos en grupos que tienen características y propiedades similares, con el propósito de facilitar al ingeniero un método para estimar las propiedades o aptitudes de un suelo.

a) Asociación americana de funcionarios del transporte y carreteras estatales (AASHTO M-145).

Esta es uno de los sistemas más antiguos para la clasificación de los suelos, desde su introducción en 1929 como Public Road Administration Classification System (Sistema de Clasificación de la Oficina de Caminos Públicos), ha sufrido varias revisiones, modificaciones y se usa ampliamente para evaluar los suelos en la construcción de carreteras y terraplenes. El sistema de clasificación AASHTO bajo la norma M-145,

actualmente en uso, se muestra en la tabla 2-3. El suelo se clasifica en ocho grupos diferentes, designados desde el **A-1** hasta el **A-8**.

El sistema de clasificación se basa en los siguientes criterios:

1. El tamaño del grano.

- Gravas: Fracción que pasa la malla de 3” (76.2 mm) y es retenida en la malla No 10 (2 mm).
- Arenas: Fracción que pasa la malla No 10 (2 mm) y es retenida en la malla No 200 (0.075 mm).
- Limos y arcillas: Fracción que pasa la malla No 200 (0.075 mm).

CLASIFICACION GENERAL	MATERIALES GRANULARES (35% o menos del total pasa el tamiz No. 200)						MATERIALES LIMO-ARCILLOSOS (Más del 35% del total pasa el tamiz No. 200)				
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Clasificación de Grupos	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5 A-7-6
% del Material que pasa el tamiz:											
No. 10 (2 mm)	50 máx.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
No. 40 (0.0425 mm)	30 máx.	50 máx.	51 mín	—	—	—	—	—	—	—	—
No. 200 (0.075 mm)	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín	36 mín	36 mín	36 mín
Características de la fracción que pasa el tamiz No. 40 (0.0425 mm)											
Límite líquido, LL	—	—	40 máx.	41 mín	40 máx.	41 mín	40 máx.	41 mín	40 máx.	41 mín	41 mín
Límite plástico, LP	6 máx.	NP	10	10	11 mín	11 mín	10 máx.	10 máx.	11 mín	11 mín	11 mín
Índice de grupo	0	0	0	4 máx.			8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.	
Tipo de material	Piedra, grava y arena		Arena fina	Gravas y arenas limosas o arcillosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Estimación general del suelo	Excelente a bueno						De pobre a malo				

Fuente: Norma AASHTO M-145
Tabla 2-3: Clasificación de suelos AASHTO M-145.

Plasticidad: El término limoso se aplica cuando las fracciones de finos del suelo tienen un índice de plasticidad de 10 o menor. El término arcilloso se aplica cuando las fracciones de finos tienen un índice de plasticidad de 11 o mayor.

Para clasificar un suelo según la tabla 2.3, los datos de prueba se aplican de izquierda a derecha. Por un proceso de eliminación, el primer grupo desde la izquierda en el que los datos de prueba se ajusten, es la clasificación correcta.

Para la evaluación de la calidad de un suelo como material para subrasante de carreteras, se incorpora también un número llamado índice de grupo (*IG*) junto con los grupos y subgrupos del suelo. Este número se describe en paréntesis después de la designación de grupo o de subgrupo.

El índice de grupo está dado por la ecuación siguiente:

$$IG = (F - 35)[0.2 + 0.005(LL - 40)] + 0.001(F - 15)(IP - 10)$$

Ecuación 2.6: Índice de Grupo

Dónde: *F* = Porcentaje que pasa la malla No 200.

LL = Límite líquido.

IP = índice de plasticidad.

El primer término de la ecuación (2.6) $(F - 35)[0.2 + 0.005(LL - 40)]$, es el índice de grupo parcial determinado a partir del límite líquido. El segundo término $0.001(F - 15)(IP - 10)$, es el índice de grupo parcial determinado a partir del índice de plasticidad. Algunas reglas para determinar el índice de grupo son:

1. Si la ecuación (2.6) da un valor negativo para IG , este es igual a cero.
2. Se redondea al número entero más cercano (Por ejemplo, si $IG = 3.4$ se redondea a 3; $IG = 3.5$ se redondea a 4).
3. No hay un límite superior para el índice de grupo.
4. El índice de grupo de suelos que pertenecen a los grupos A-1-a, A-1-b, A-2-4, A-2-5 y A-3 siempre será cero.
5. Al calcular el índice de grupo para los suelos A-2-6 y A-2-7, use el índice de grupo parcial a partir del índice plástico.

En general, la calidad del comportamiento de un suelo como material para subrasantes es inversamente proporcional al índice de grupo. Cuanto menor es el IG de un suelo, mejores son las cualidades del suelo. Un $IG = 20$ o mayor corresponde a un suelo de muy mala calidad, en condiciones medias de drenaje y compactación.

b) Procedimiento visual-manual (ASTM D-2488).

Para una clasificación apropiada con este procedimiento, esta debe de ser basada en la norma ASTM D-2488 y de conocerse la información a través de la siguiente tabla 2-4.

Además se identifican cada una de las muestras de suelo, detallando el número de perforación, número de muestra, estrato geológico o una descripción del lugar con respecto a un monumento permanente, así como su profundidad y elevación.

Termino	Descripción
Bloques o guijarros	Son partículas de rocas angulosas o generalmente redondeadas que no pasan una abertura cuadrada de 12" (304.8 mm).
Canto rodados o boleos	Partículas de roca que pasan una abertura cuadrada de 12" (304.8 mm) y son retenidos en el tamiz de 3" (76.2 mm).
Grava gruesa	Son partículas que pasan el tamiz de 3" (76.2 mm) y son retenidas en el tamiz de ¾" (19 mm).
Grava fina	Son partículas que pasan el tamiz de ¾" (19 mm) y son retenidas en el tamiz No 4 (4.75 mm).
Arena gruesa	Son partículas que pasan el tamiz No 4 (4.75 mm) y se retienen en el tamiz No 10 (2.00 mm).
Arena media	Son partículas que pasan el tamiz No 10 (2.00 mm) y se retienen en el tamiz No 40 (0.425 mm).
Arena fina	Son partículas que pasan el tamiz No 40 (0.475 mm) y se retienen en el tamiz No 200 (0.075 mm).
Limo	Es un suelo que pasa el tamiz No 200 (0.075 mm), no plástico o muy ligeramente plástico, y posee poca o ninguna resistencia cuando es secado al aire. Es un suelo de grano fino con un IP < 10.
Limo orgánico	Es un limo con un alto contenido de material orgánico que influye en las propiedades del suelo. El valor de su límite líquido después de secado en el horno es menor que el 75% de su valor de límite líquido original.
Arcilla	Suelo que pasa el tamiz No 200 (0.075 mm), puede ser moldeado para mostrar plasticidad dentro de un rango de contenido de agua. Es un suelo de grano fino, con un IP ≥ 10.
Arcilla orgánica	Es una arcilla con suficiente contenido de materia orgánica que influye en las propiedades del suelo. El valor de su límite líquido después de secado en el horno es menor al 75% de su valor de límite líquido original.
Turba	Es un suelo compuesto principalmente de tejido vegetal en varias fases de descomposición, usualmente con un olor orgánico de color café oscuro a negro, con una consistencia esponjosa y una textura que varía de fibrosa a amorfa.

Tabla 2-4: Descripción de las partículas por el procedimiento visual-manual.

Se selecciona para la descripción e identificación correcta de la muestra, la cantidad mínima del espécimen de ensayo, estos datos se proporcionan a través de la tabla 2-5.

Tamaño máximo de partícula, abertura de malla.	Tamaño mínimo del espécimen, peso seco.
4.75mm (No. 4)	100 g (0.25 lb)
9.50 mm (3/8 ")	200 g (0.5 lb)
19.0 mm (3/4 ")	1.0 kg (2.2 lb)
38.1 mm (1 ½ ")	8.0 kg (18.0 lb)
75.0 mm (3 ")	60 kg (132 lb)

Fuente: Norma ASTM D-2488, Volumen 04.08 (American Society for Testing and Material)

Tabla 2-5: Cantidad mínima de espécimen de ensayo por tamaño máximo de partícula

Se registra la información descriptiva de cada una de las muestras a identificar, mediante las características siguientes:

a) Angulosidad: Se describe la angulosidad de las partículas como las gravas, guijarros y boleos de acuerdo a los siguientes criterios: angular, sub-angular, sub-redondeada o redondeada.

b) Forma: Se describe la forma de las partículas de grava, guijarros y cantos rodados, de acuerdo a los criterios establecidos: plana, alargada o plana-alargada.

c) Color: Se observa y se anota el color del suelo en condición húmeda, especialmente al identificar suelos orgánicos.

d) Olor: Se describe el olor del suelo como orgánico o inusual.

e) Condición de humedad: Se describe la condición de humedad del suelo, de acuerdo con los siguientes criterios: seca, húmeda o mojada.

f) Consistencia: Se describe la consistencia de los suelos inalterados de grano fino, presionando con el dedo pulgar el suelo por medio de los siguientes criterios: muy suave, suave, firme, dura o muy dura.

g) Cementación: Se describe la cementación de la muestra de suelo inalterado de grano grueso, según los siguientes criterios: débil, moderada o fuerte.

h) Estructuración: Se observa y se anota la descripción de la estructura de un suelo inalterado, de acuerdo con los siguientes criterios: estratificada, laminar, fisurada, espejo de falla, en forma de bloque, lenticular u homogénea.

i) **Dureza:** Se describe la dureza de la arena gruesa y las partículas más grandes como dura o indique que sucede cuando las partículas son golpeadas con un martillo.

2.3.5 Granulometría.

Independientemente del origen del suelo, los tamaños de las partículas que lo conforman, varían en un amplio rango. Los suelos en general son llamados grava, arena, limo o arcilla, dependiendo del tamaño predominante de las partículas y de su índice de plasticidad. Para describir los suelos por sus partículas se presentan los límites de tamaños de suelo por separado, como puede verse en la figura 2-12, presentado por la Asociación Americana de Funcionarios de Carreteras Estatales y del Transporte (AASHTO).

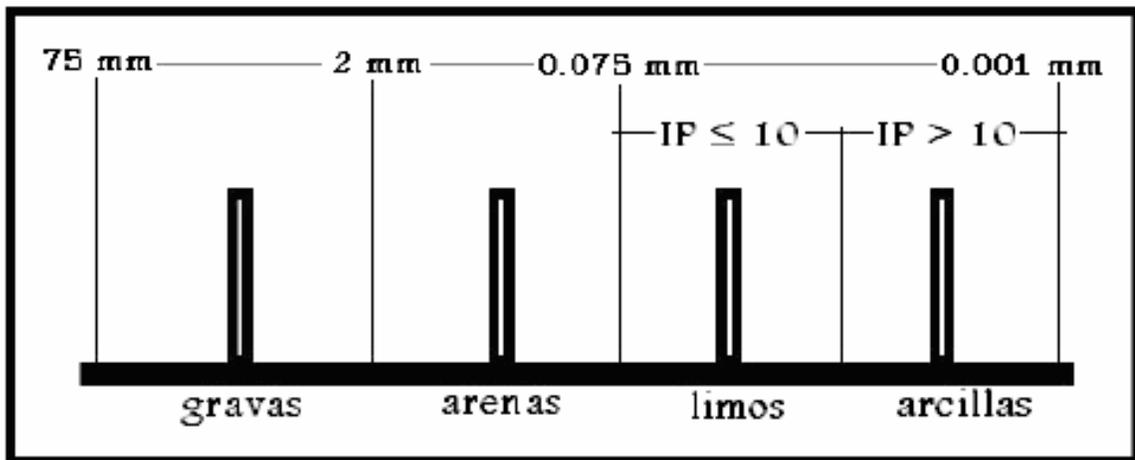


Figura 2-12: Rango de tamaño de partículas de suelo.

a) Gravas.

Son acumulaciones sueltas de fragmentos de roca con partículas de cuarzo, feldespato y otros granos minerales, que varían en su tamaño pasando la malla de 3" (75 mm.) y son retenidas en la malla No. 10 (2 mm.) de diámetro. Si estas son acarreadas por las aguas tienen forma redondeada. Suele encontrarse en forma suelta en los lechos, márgenes y conos de deyección en los ríos, así como en las depresiones de terrenos rellenados.

b) Arenas.

Son partículas que están formadas por granos finos principalmente de cuarzo, feldespato y otros minerales, procedentes de la denudación (erosión) de las rocas o de su trituración artificial, sus tamaños pasan la malla No. 10 (2 mm) y son retenidas en la malla No. 200 (0.075 mm) de diámetro. El origen y la existencia de las arenas es análoga a la de las gravas y las dos suelen encontrarse juntas en el mismo depósito. Las arenas suelen estar limpias y no sufren ningún tipo de contracciones al secarse.

c) Limos.

Son suelos de granos muy finos de cuarzo y algunas partículas en forma de escamas (hojuelas) que son fragmentos de minerales micáceos, con poca o ninguna plasticidad, estos pueden ser inorgánicos como el producido en canteras, o limo orgánico como el que se encuentra en los ríos. El diámetro de las partículas son menores de 0.075 mm y con un índice de plasticidad menor o igual a 10. Su color varía desde gris claro a muy oscuro y su permeabilidad es baja.

a. Arcillas.

Las arcillas pertenecen a una clase particular de minerales denominados silicatos. Son partículas de granos muy finos en forma de escamas de mica, minerales arcillosos y otros minerales, con diámetro menor a 0.075 mm y un índice de plasticidad mayor que 10, cuya masa se vuelve plástica al ser mezclada con agua, químicamente es un silicato de alúmina hidratado, aunque en pocas ocasiones contiene silicatos de hierro o de magnesio hidratados. La estructura de estos minerales se puede ver en la tabla 2-6.

mineral	Representación simbólica	Sustitución isomorfa	Forma de las partículas	Tamaño de las partículas
Caolinita		Al por Si 1 de 400	Aplanada	d=0.3 a 3μ espesor $e = \frac{1}{3}$ a 1/10d
Ilita		Al por Si, 1 de 7 Mg, Fe por Al Fe, Al por Mg	Aplanada	d=0.1 a 2μ $e = 1/10d$
Montmorillonita		Mg por Al, 1 de 6	Aplanada	d=0.1 a 1μ $e = 1/100d$

Fuente: "Mecánica de Suelos", Williams Lambe.

Fuente: Mecánica de Suelos, Williams Lambe
Tabla 2-6: Silicatos de Estructura laminar arcillosa

2.3.4. Fases del Suelo

El suelo está formado por tres fases típicas diferentes, como puede verse en la figura 2.13, una parte sólida, otra gaseosa y la tercera líquida. La sólida está formada en su mayoría por partículas minerales y material orgánico descompuesto mezclados en el suelo; la líquida está constituida por el agua, aunque en los suelos pueden existir otros líquidos de menor importancia; la parte gaseosa la comprende principalmente el aire, pero pueden estar presentes otros gases (anhídrido carbónico, azufre, etc.).

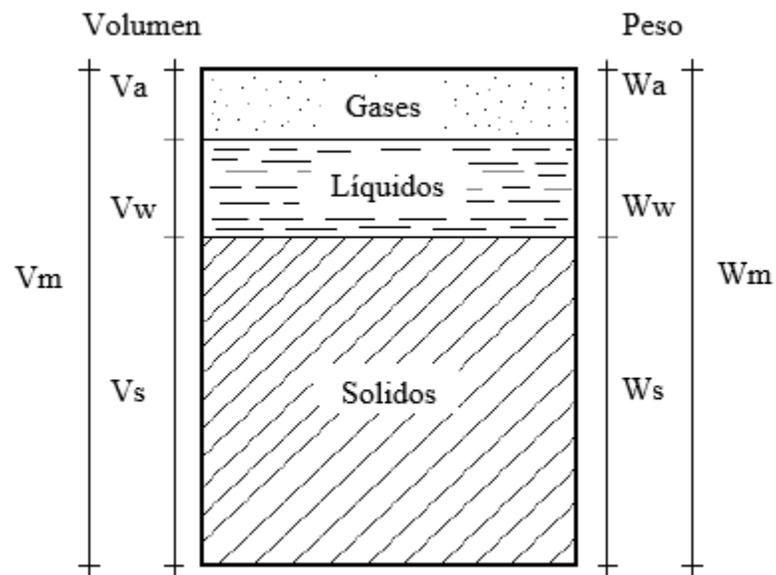


Figura 2-13: Fases del suelo.

Donde.

V_m = Volumen de la muestra de suelo.

V_s = Volumen de los sólidos.

V_w = Volumen del líquido.

V_a = Volumen de los gases.

W_s = Peso de la muestra de suelo.

W_s = Peso de los sólidos.

W_w = Peso del líquido.

W_a = Peso de los gases.

Relación volumétrica y gravimétrica del suelo.

Los suelos siempre presentan relaciones importantes entre su peso y el volumen, entre ellas están:

a) Relación de vacíos, oquedad, o índice de poros (e): es la relación entre el volumen de vacíos y el volumen de los sólidos de un suelo.

$$e = V_v / V_s$$

Ecuación 2-5: Relación de Vacíos

b) Porosidad (n): es la relación entre el volumen de vacíos y el volumen de la masa, se expresa en porcentaje:

$$n(\%) = V_v / V_m (100)$$

Ecuación 2-6: Porosidad

c) Grado de saturación (G_w): es la relación entre el volumen de agua y el volumen de vacíos, es expresado como porcentaje.

$$G_w(\%) = V_w/V_v (100)$$

Ecuación 2-7: Grado de Saturación

G_w varía de cero (suelo seco) a 100% (suelo totalmente saturado).

d) Humedad o contenido de agua (w): es la relación entre el peso de agua contenida en el suelo y el peso de su fase sólida, se expresa en porcentaje.

$$w_w(\%) = W_w/W_s (100)$$

Ecuación 2-8: Contenido de Humedad

e) Peso específico de los sólidos (γ_s): es la relación del peso de los sólidos entre su volumen en el suelo.

$$\gamma_s = W_s/V_s$$

Ecuación 2-9: Peso Específico de los Sólidos

f) Peso específico seco (γ_d): Es la relación del peso de los sólidos por el volumen unitario de suelo excluida el agua.

$$\gamma_d = W_s/V$$

Ecuación 2-10: Peso Específico Seco

g) Gravedad específica (G_s): es la relación entre el peso específico del suelo y el peso específico del agua a una temperatura de 4 °C.

$$G_s = \gamma_s / \gamma_w$$

Ecuación 2-11: Gravedad Específica

2.3.5 Propiedades del Suelo.

Las propiedades físicas o mecánicas de los suelos, tales como la variación volumétrica, resistencia mecánica portante, entre otros, varían según su graduación, su contenido de humedad, su posición vertical con relación a la superficie y su localización geográfica.

a) Variación Volumétrica

La gran mayoría de los suelos de origen arcilloso se expande y se contraen debido a los cambios en su contenido de humedad, provocando variaciones de volumen como efecto de la saturación de agua a través de sus partículas. Las presiones de expansión que se desarrollan debido a incrementos en la humedad deben ser controladas, ya que estas presiones pueden levantar pavimentos, inclinar postes, fracturar muros, romper tubos de drenajes, etc.; por lo cual, es de suma importancia detectar a los suelos expansivos, su composición y el tratamiento más adecuado para evitar las contracciones y la expansión generada por el agua a este tipo de suelos.

b) Resistencia Mecánica Portante.

En los suelos la humedad es muy importante porque determina la capacidad de estos para resistir las cargas y mantener su estructura en condiciones estables de trabajo hasta ciertas humedades, los suelos pueden mantener resistencias aceptables pero cuando hay excesos de agua se debilitan y pierden la resistencia que se manifiesta en hundimientos, grietas, hinchamientos, etc.

En la época lluviosa (invierno) los suelos se vuelven débiles, ya que el agua que absorben los hace perder resistencia hasta llegar a la saturación. En la época seca (verano) pierden humedad y se vuelven muy duros o muy resistentes, pero en la superficie donde los vehículos circulan, la acción abrasiva de las llantas hace que pierdan la cohesión las partículas abundantemente para producir capas de polvo, con lo cual el deterioro superficial llega a ser severo.

2.3.10. Pavimentos Flexibles

Son aquellos que tienen un revestimiento asfáltico sobre una capa base granular. La distribución de tensiones y deformaciones generadas en la estructura por las cargas de rueda del tráfico, se da de tal forma que las capas de revestimiento y base absorben las tensiones verticales de compresión del suelo de fundación por medio de la absorción de tensiones cizallantes. En este proceso ocurren tensiones de deformación y tracción en la fibra inferior del revestimiento asfáltico, que provocará su fisuración por fatiga por la repetición de las cargas de tráfico. Al mismo tiempo la repetición de las tensiones y deformaciones verticales de compresión que actúan en todas las capas del pavimento

producirán la formación de hundimientos en la trilla de rueda, cuando el tráfico tiende a ser canalizado, y la ondulación longitudinal de la superficie cuando la heterogeneidad del pavimento fuera significativa².

a) Funciones de un pavimento.

Un pavimento de una estructura, asentado sobre una fundación apropiada, tiene por finalidad proporcionar una superficie de rodamiento que permita el tráfico seguro y confortable de vehículos, a velocidades operacionales deseadas y bajo cualquier condición climática. Hay una gran diversidad de tipos de pavimento, dependiendo del tipo de vehículos que transitaran y del volumen de tráfico.

La Ingeniería de Pavimentos tiene por objetivo el proyecto, la construcción, el mantenimiento y la gerencia de pavimentos, de tal modo que las funciones sean desempeñadas con el menor costo para la sociedad. Tratándose, esencialmente, de una actividad multidisciplinaria, donde están involucrados conceptos y técnicas de las Ingenierías: Geotecnia, Estructuras, Materiales, transportes y de Sistemas, en vista de la importancia se debe estimar y efectuar el mantenimiento de pavimentos existentes.

En un camino no pavimentado, las condiciones de funcionamiento son precarias, lo que genera limitaciones en las velocidades y las cargas de los vehículos, también se elevan los costos operacionales (mantenimiento y combustible). La utilización de un camino de tierra depende de las condiciones climáticas y de un drenaje satisfactorio. En un camino

²PAVIMENTOS, Texto Guía, UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN SIMÓN FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

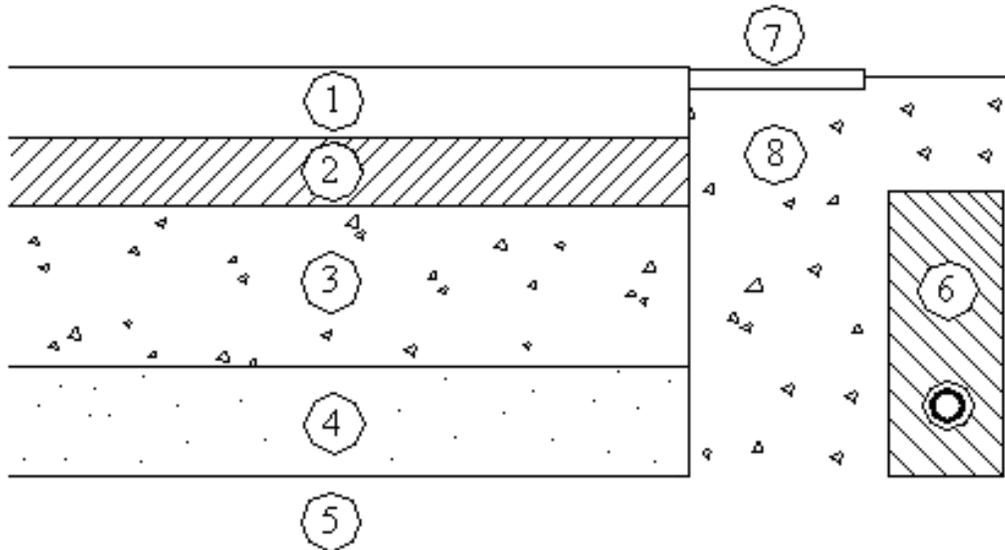
con revestimiento primario (cascajo o un suelo pedregoso arenoso), las condiciones climáticas pueden ser menos importantes pero si un drenaje eficaz.

Un pavimento difícilmente sufre una ruptura catastrófica, a menos que exista un error en el proyecto geotécnico en casos como los de pavimentos asentados en terraplenes sobre suelos expansivos. Esa degradación se da, usualmente, de forma continua a lo largo del tiempo es desde la abertura al tráfico, por medio de mecanismos complejos y que no están íntegramente relacionados, donde gradualmente se van acumulando deformaciones plásticas y siendo formadas a través de las capas (asfálticas o cementadas), provenientes de una combinación entre la acción de las cargas del tráfico y los efectos de la intemperie (variaciones de temperatura y humedad a lo largo del tiempo). Además, la condición de “ruptura” de un pavimento es, hasta cierto punto, indefinida y subjetiva, existiendo divergencias entre los técnicos y administradores en cuanto al mejor momento para restaurar un pavimento que presenta un cierto nivel de deterioro estructural y/o funcional.

b) Componentes de un pavimento.

En la Figura 2.14 se muestra esquemáticamente, los componentes principales de un pavimento asfáltico. Se puede considerar que la estructura de un pavimento está formada por una superestructura encima de una fundación, esta última debe ser el resultado de un estudio geotécnico adecuado. En los pavimentos camineros, la superestructura está

constituida por la capa de revestimiento y la capa base; la fundación está formada por las capas de sub-base y suelo compactado.



Fuente: Instituto Tecnológico de Aeronáutica, Ingeniería de Pavimentos, Brasil, 2000

Figura 2-14: Sección típica de un pavimento.

- | | |
|---------------------|-------------------------------|
| 1. Capa de Rodadura | 5. Subrasante |
| 2. Capa Base | 6. Sub-drenaje longitudinal |
| 3. Capa Sub-base | 7. Revestimiento de Hombreras |
| 4. Suelo Compactado | 8. Sub-base de Hombreras |

2.3.11. Subrasante

Se define capa de terreno de una carretera, que soporta la estructura del pavimento y que se extiende hasta una profundidad en que no le afecte la carga de diseño que corresponde al tránsito previsto³.

La Subrasante es la capa en la que se apoya la estructura del pavimento y la característica especial que define la propiedad de los materiales que componen la subrasante, se conoce como Módulo de Resiliencia (Mr).

Inicialmente cuando se comenzaron a efectuar los primeros diseños de pavimento, este concepto estaba basado en las propiedades de la subrasante tales como:

- Granulometría
- Plasticidad
- Clasificación de suelos
- Resistencia al corte
- Susceptibilidad a las variaciones de temperatura
- Drenaje

Posteriormente se tomaron en cuenta las propiedades básicas de la subrasante y se analizaron otro tipo de ensayos que permitieran conocer en mejor forma el comportamiento de estos suelos. Se efectuaron ensayos utilizando cargas estáticas o de baja velocidad de deformación tales como el CBR, ensayos de compresión simple. Estos se cambiaron por ensayos dinámicos y de repetición de cargas como el del módulo de resiliencia, que son pruebas que demuestran en mejor forma el comportamiento y lo que sucede debajo de los pavimentos en lo que respecta a tensiones y deformaciones.

³ Coronado Iturbide, Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos, Noviembre de 2002; SIECA

2.3.12. Propiedades Físico-mecánicas de los Suelos para Subrasante

Las propiedades físico-mecánicas son las características utilizadas para la selección de los materiales, las especificaciones de construcción y el control de calidad.

La calidad de los suelos en el caso de las subrasantes, se puede relacionar con el módulo de resiliencia, módulo de Poisson, valor soporte del suelo (CBR) y el módulo de reacción de la subrasante.

Estas propiedades de los suelos que constituyen la subrasante, son las variables más importantes que se deben considerar al momento de diseñar una estructura de pavimento. Las propiedades físicas se mantienen invariables aunque se sometan a tratamientos tales como homogenización, compactación, etc., Sin embargo, ambas propiedades cambiarían cuando se realicen en ellos procedimientos de estabilización, a través de procesos de mezclas con otro materiales (cemento, cal, puzolanas, etc.) o mezclas con químicos.

Para conocer las propiedades de los suelos en un proyecto, es necesario tomar muestras en todo el desarrollo del mismo (calicatas), posteriormente en el laboratorio se determinarán sus propiedades:

- Humedad
- Granulometría
- Límites de Atterberg (líquido e índice plástico)
- Valor Soporte (CBR)
- Densidad (Proctor)

Con los datos obtenidos, se elabora un perfil estratigráfico en el cual se detallan los distintos tipos de suelos y su profundidad.

2.3.13. Valor soporte California (CBR, AASHTO T-193)

En este ensayo, se mide la resistencia que opone un suelo a la penetración de un pistón de 3 plg². de área en una muestra de suelo de 6 pulg. (15 cm) de diámetro y 5 pulg. (12.5 cm) de altura, a una velocidad de 1.27 mm/min (0.05 pulg./min). La fuerza necesaria para que el pistón penetre dentro del suelo se mide a determinados intervalos de penetración; estas fuerzas medidas, se comparan con las que se necesitan para producir iguales penetraciones en una muestra que sirve de patrón, la cual es piedra partida bien graduada; la definición del CBR es:

$$CBR = \frac{\textit{esfuerzo necesario para producir una penetración de 0.5 in en un suelo}}{\textit{esfuerzo necesario para producir una penetración de 0.5 in en muestra patrón}}$$

Ecuación 2-12: Relación de Soporte de California (CBR)

Relación que nos da un valor que se indica en porcentaje, el cual puede ser muy variable dependiendo de los suelos analizados; 2 a 4 % en arcillas plásticas hasta un 70 % o más en materiales granulares de buena calidad.

Todos los suelos, tanto finos como gruesos o sus mezclas, se compactan a su humedad óptima. Las muestras elaboradas bajo estos procedimientos, se sumergen en agua durante un período mínimo de 96 horas, antes de proceder a su ensayo, con el objeto de simular las condiciones de saturación a las cuales van a estar sometidos los suelos como la subrasante de una carretera, y en esta forma, obtener los CBR's de los suelos bajo las condiciones más críticas. En el ensayo y en inmersión, se colocan pesos sobre las muestras, con el objeto de simular las cargas tanto vehiculares, como de la estructura de pavimento, a las cuales van a estar sometidos los suelos de la subrasante.

El método del CBR para diseño de pavimentos, fue uno de los primeros en utilizarse y se basa principalmente en que a menor valor de CBR de la subrasante es necesario colocar mayores espesores en la estructura de pavimento para protegerlo de la frecuencia de las cargas de tránsito.

2.3.14. Módulo de Resiliencia (Mr, AASHTO T – 307-99)

Este ensayo se desarrolló con el objeto de analizar la propiedad que tienen los materiales de comportarse bajo cargas dinámicas del tránsito vehicular. Una rueda al moverse transmite cargas dinámicas a todas las capas de pavimento incluyendo a la subrasante y como reacción a estas cargas, cada capa de pavimento se deforma; el resultado de estas cargas de reacción varía desde un valor muy bajo hasta su máximo, en un período muy breve, ya que está en función de la velocidad y peso del vehículo.

Este ensayo no es destructivo, ya que las muestras no siempre fallan durante el análisis. Dichas muestras son de forma cilíndrica y se colocan en una cámara triaxial, la cual permite ejercer variadas presiones de confinamiento; con un dispositivo especial es posible aplicar cargas pulsantes de diferente magnitud. En dicho ensayo se registra la deformación sufrida por la muestra a medida se le aplica la carga y se obtiene el respectivo módulo de resiliencia.

2.3.15. Correlaciones Mr-CBR

a) Heukelom y Klomp (1962)

Heukelom y Klomp (1962), desarrollaron una correlación CBR de referencia común basada en medidas de módulo dinámico y pruebas CBR in situ. Los resultados de la prueba CBR in situ fueron correlacionados con medidas de módulo obtenidas utilizando un compactador vibratorio instrumentado en campo; no mediante ensayos de módulo de resiliencia en laboratorio. Se desarrolló una correlación basada en una combinación de tres conjuntos de datos:

1. Los datos de velocidad de onda reportados por Jones (1958) para valores de CBR entre 2 y 20.
2. Medidas de velocidad de onda realizadas por Heukelom y Klomp (1962) para valores de CBR entre 3 y 200.
3. Medidas de rigidez realizadas por Heukelom y Klomp (1962) para los valores de CBR Entre 3 y 200.

Heukelom y Klomp (1962) utilizaron estos tres conjuntos de datos para calcular un módulo dinámico a partir de la velocidad de la onda. Aunque Heukelom y Klomp (1962) no se refirieron a los módulos como un módulo resiliente, el estudio se presenta aquí porque su ecuación de correlación (ecuación 2-13) es referenciada en varias fuentes; a veces como Heukelom y Klomp (1962) y a veces como el Shell Laboratory (Asphalt

Institute 1982, Drumm et al., 1990, Witczak et al., 1995, Sukumaran et al., 2002, Puppala, 2008).

$$M_r(\text{ksi}) = 1.42(\text{CBR})$$

Ecuación 2-13: Heukelom y Klomp (1962)

Mientras que el coeficiente de regresión de 1.42 proporciona el mejor ajuste para 69 resultados de la prueba con valores CBR que varía de 2 a 200, podría variar fácilmente de 0.7 a 2.8 debido a la gran dispersión en los datos.

La mayoría de las referencias a la ecuación 2-13, en la literatura simplemente redondea el coeficiente a 1.5, lo que es probablemente un resultado de esta amplia gama. Lofti (1984) postuló que la falta de un término para el esfuerzo desviador en el modelo es responsable de la gran dispersión en los datos. La mayoría de las referencias indican la correlación sólo es razonable para suelos con valores de CBR inferiores a 10 ó inferiores a 20.

b) Green & Hall (1975)

El Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los EE. UU. desarrolló la relación CBR mostrada en la ecuación 2-14, comparando las mediciones de propagación de ondas vibratorias con las mediciones CBR in situ obtenidas en varios proyectos de prueba de carretera diferentes (Green y Hall 1975). Similar a Heukelom y Klomp (1962), la correlación proporciona módulo dinámico y no un módulo resiliente. Datos de CBR con

valores entre 2 y 200 se incluyeron en la base de datos utilizada para desarrollar la ecuación 2-14.

$$M_r(\text{ksi}) = 5.409(\text{CBR})^{0.711}$$

Ecuación 2-14: Green & Hall (1975)

c) Powell et al. (1984) TRL

En el curso del desarrollo de un método de diseño estructural para las carreteras de asfalto en el Reino Unido, Powell y al. (1984) crearon una ecuación de correlación para la caracterización de subrasantes por medio de pruebas CBR in situ y técnicas de propagación de ondas. Los autores del estudio no utilizaron ensayo de módulo de resiliencia porque en el momento de su investigación los autores creían que dichos ensayos todavía eran, principalmente, una herramienta de investigación y aún no eran adecuados para aplicaciones de rutina.

Powell et al. (1984) incorporó una base de datos de mediciones originalmente publicada por Jones (1958), que involucró 23 puntos con valores CBR todos menos de 20. La ecuación 2-15, desarrollada por Powell et al. (1984) incluye modificaciones empíricas para tener en cuenta la discontinuidad de la tensión entre ensayos de CBR in situ (alta deformación), ensayos de propagación de ondas (baja deformación) y deformaciones inducidas por el vehículo.

$$M_r(\text{ksi}) = 2.554(\text{CBR})^{0.64}$$

Ecuación 2-15: Powell et al. (1984) TRL

Desafortunadamente, no hay información sobre los tipos de suelo o las correcciones teóricas o empíricas utilizadas para determinar la ecuación 2-15. Powell et al. (1984) indicó que la ecuación sólo es aplicable para suelos con valores de CBR entre 2 y 12.

d) Consejo Sudafricano

El Consejo Sudafricano de Investigación Científica e Industrial (CSIR) utiliza la ecuación 2-16 para la Estimación M_r a partir de los resultados de CBR de laboratorio (informados por Witczak et al., 1995 y Sukumaran et al. (2002):

$$M_r(\text{ksi}) = 2.554(\text{CBR})^{0.64}$$

Ecuación 2-16: Consejo Sudafricano

Ninguna información adicional sobre el método de prueba de módulo elástico o los tipos de suelo usados para desarrollar la ecuación está disponible. La fuente original de la ecuación no fue proporcionada en las referencias cruzadas (Mokwa y Akin., 2009).

CAPÍTULO III

CARACTERIZACIÓN DE SUELOS

3. Caracterización de Suelos

3.1. Propiedades Físicas

En este capítulo se describen los materiales y procedimientos de prueba empleados para la evaluación de los módulos de resiliencia de los estudiados, así como sus características de compactación y propiedades índice.

3.1.1. Granulometría

Los materiales utilizados en esta investigación se muestrearon en diferentes zonas del campus de la Facultad Multidisciplinaria Oriental (UES) como se resume en Tabla 3-1. Cabe señalar que la gran mayoría de los suelos estudiados en esta investigación son de tipo arcilla de alta compresibilidad; este es uno de los materiales que causan un sinnúmero de problemas en el área de ingeniería civil, sin embargo, es importante reconocer que también puede llegar a ser un material de construcción con propiedades mecánicas adecuadas cuando se les agrega productos estabilizantes. Es por ello, que en este caso, el módulo de resiliencia se determinó con humedad y energía de compactación controlados.

	CLASIFICACION AASHTO	coordenada Norte (N)	coordenada Este (E)
PCA-01	A-7-5 (25)	258179.2	590912.36
PCA-02	A-7-5 (22)	258179.2	591162.36
PCA-03	A-7-5 (22)	257929.2	590912.36
PCA-04	A-7-5 (24)	257929.2	591162.36
PCA-05	A-7-5 (16)	257679.2	590912.36
PCA-08	A-7-5 (18)	257429.2	590912.36
PCA-09	A-7-5 (32)	257429.2	591162.36
PCA-12	A-7-5 (23)	257179.2	591162.36
CA-01	A-7-5 (21)	258162.8	591081.45
CA-02	A-7-5 (4)	258034.3	591041.18
CA-03	A-7-5 (8)	257759.5	591040.33
CA-04	A-7-5 (22)	257626.9	591145.50

Fuente: Elaborado por grupo de tesis
Tabla 3-1: Clasificación de los suelos y coordenadas de extracción.

Tabla 3-1: Resumen de los suelos utilizados y su respectiva coordenada de extracción.

Posterior al muestreo se procedió a disgregar y a cribar el material por la malla No. 4, se secó al aire libre, se cuarteó y se almacenó en costales.



Fuente: Elaborado por grupo de tesis.
 Figura 3-1: Extracción de las muestras, secado al aire y almacenaje

En seguida se determinaron los contenidos de agua inicial para posteriormente utilizarlos durante el cálculo de agua a agregar para alcanzar el contenido de agua óptimo o algún otro valor especificado.

	% QUE PASA, N° 10 (2.0mm)	% QUE PASA, N°40(0.425mm)	% QUE PASA, N°200(0.075mm)	CLASIFICACION AASHTO
PCA-01	98.79	97.08	94.84	A-7-5 (25)
PCA-02	96.87	91.71	84.92	A-7-5 (22)
PCA-03	97.59	93.95	87.6	A-7-5 (22)
PCA-04	98.4	94.23	85.44	A-7-5 (24)
PCA-05	99.81	96.86	83.1	A-7-5 (16)
PCA-08	95.58	89.38	80.96	A-7-5 (18)
PCA-09	98.35	95.24	91.65	A-7-5 (32)
PCA-12	98.82	91.58	80.61	A-7-5 (23)
CA-01	98.4	94.14	86.04	A-7-5 (21)
CA-02	81.52	60.94	47.42	A-7-5 (4)
CA-03	85.99	62.61	51.37	A-7-5 (8)
CA-04	99.43	94.87	86.05	A-7-5 (22)

Fuente: Elaborado por grupo de tesis.
 Tabla 3-2: pasantes de la malla número 10, 40 y 200 de acuerdo a la clasificación AASHTO

3.1.2. Límites de Atterberg

En las propiedades físicas se incluyen también de la mezcla de suelo y agua. La Consistencia se define como la resistencia al flujo, que está relacionado con la fuerza de atracción entre partículas y es más fácil de sentir físicamente que de describir cuantitativamente y para ello se realiza el ensayo límites de Atterberg.

De las muestras extraídas del campus de la Facultad Multidisciplinaria Oriental (UES), y mediante el ensayo de límites de consistencia como se muestra en figura 3-2, se determina el porcentaje de contenido de humedad de las muestras ensayadas, para conocer con qué porcentaje de agua el suelo se comporta como un sólido, una masa moldeable o un fluido. En la tabla 3-3, se presenta el resumen de límites de consistencia para las muestras de suelo ensayadas.



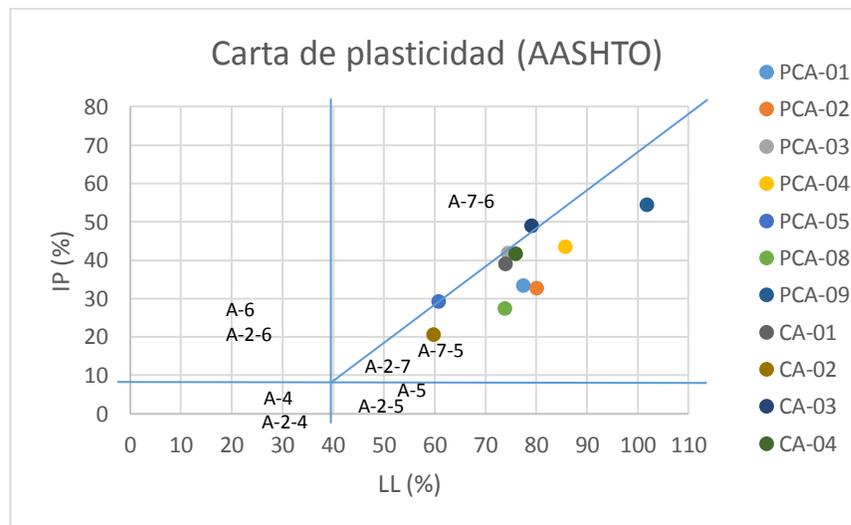
Fuente: Elaborado por grupo de tesis.
Figura 3-2: Calibración del equipo y ensayo de límite líquido

En la tabla 3-3, Se presenta el resumen de límites de consistencia (límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad) con su respectivo índice de grupo (IG) de cada una de las muestras de suelo.

POZOS	CLASIFICACION AASHTO	LIMITES DE CONSISTENCIA			INDICE DE GRUPO
		LIMITE LIQUIDO (%)	LIMITE PLASTICO (%)	INDICE DE PLASTICIDAD (%)	
PCA-01	A-7-5 (25)	77.43	43.95	33.47	25
PCA-02	A-7-5 (22)	80.1	47.28	32.82	22
PCA-03	A-7-5 (22)	74.48	32.59	41.88	22
PCA-04	A-7-5 (24)	85.78	42.24	43.55	24
PCA-05	A-7-5 (16)	60.82	31.58	29.25	16
PCA-08	A-7-5 (18)	73.79	46.36	27.43	18
PCA-09	A-7-5 (32)	101.78	47.19	54.59	32
PCA-12	A-7-5 (23)	92.51	46.16	46.35	23
CA-01	A-7-5 (21)	73.96	34.92	39.05	21
CA-02	A-7-5 (4)	59.72	39.08	20.64	4
CA-03	A-7-5 (8)	79.08	48.98	48.98	8
CA-04	A-7-5 (22)	75.98	34.29	41.69	22

Fuente: Elaborado por grupo de tesis.

Tabla 3-3: Límites de Consistencia e índice de grupo



Fuente: Elaborado por grupo de tesis.

Figura 3-3: Gráfico de valores de límite líquido

La figura 3-3, muestra la posición de cada muestra de suelo en la carta de plasticidad.

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

3.2. Propiedades Mecánicas

Después de obtener las propiedades índice se procedió a evaluar las características de compactación, valor de Soporte de California y el Modulo de Resiliencia. Éstas se obtuvieron conforme a la normativa mencionada anteriormente.

3.2.1. Densidad Proctor

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

La finalidad de la prueba de compactación es disponer de pruebas de laboratorio que asemejen teóricamente las condiciones en campo, y también para poder controlar dichas

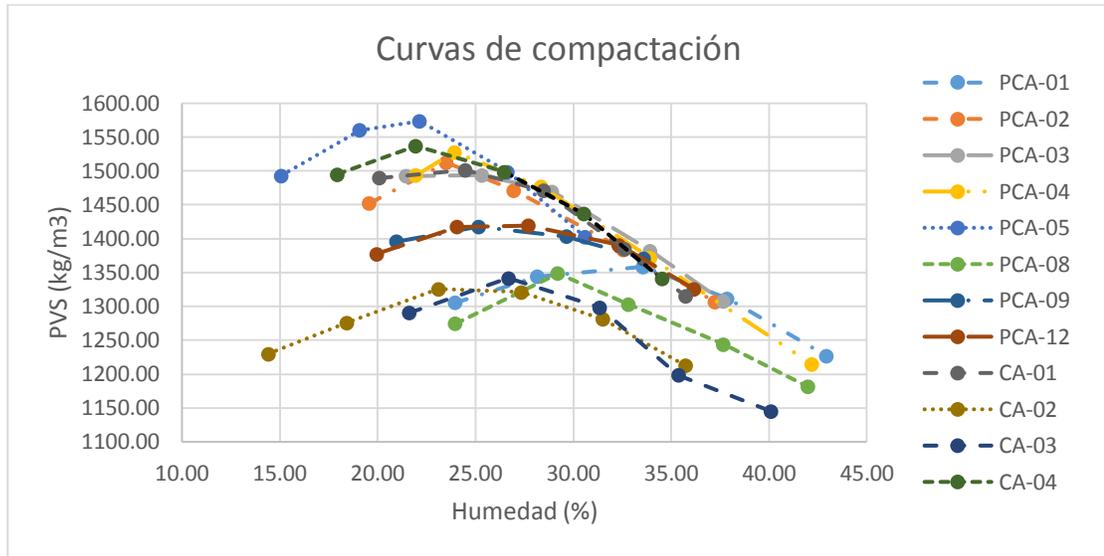
condiciones. La compactación de suelos puede efectuarse de varias maneras, por amasado, vibración, presión o impacto. En la figura 3-4, se muestra la elaboración de especímenes mediante el ensayo proctor por impacto.



Fuente: Elaborado por grupo de tesis
Figura 3-4: Preparación de material y compactación

Para poder elaborar tanto los especímenes para Valor de Soporte de California (CBR) como para los especímenes para la prueba de módulo de resiliencia a los contenidos de agua y pesos volumétricos requeridos, primeramente se obtuvieron las curvas de compactación Proctor modificada.

En la siguiente figura se muestran las curvas de compactación Proctor modificado (AASHTO T-180) de los suelos que incluyen esta investigación. Las respectivas curvas de compactación se encuentran en el Anexo C de manera individual.



Fuente: Elaborado por grupo de tesis.

Figura 3-5: Curvas de compactación Proctor modificada de materiales estudiados

En la tabla 3-4, se muestran los contenidos de agua óptimos para cada una de las muestras y los pesos volumétricos secos máximos obtenidos en cada una de las curvas de compactación de acuerdo a la norma (AASHTO T-180).

	CLASIFICACION AASHTO	PROCTOR MODIFICADO	
		w (%) OPTIMO	PVS (MAXIMO)
PCA-01	A-7-5 (25)	31.00%	1358.76
PCA-02	A-7-5 (22)	24.00%	1504.86
PCA-03	A-7-5 (22)	23.00%	1500
PCA-04	A-7-5 (24)	25.00%	1530.18
PCA-05	A-7-5 (16)	21.00%	1567
PCA-08	A-7-5 (18)	28.92%	1341.92
PCA-09	A-7-5 (32)	26.00%	1415.84
PCA-12	A-7-5 (23)	26.50%	1422.85
CA-01	A-7-5 (21)	23.27%	1507.46
CA-02	A-7-5 (4)	24.79%	1323.8
CA-03	A-7-5 (8)	25.89%	1349.74
CA-04	A-7-5 (22)	22.21%	1532.89

Fuente: Elaborado por grupo de tesis.

Tabla 3-4: Características de compactación de los materiales utilizados (Proctor modificado).

3.2.2. Valor de Soporte de California (CBR)

Mide la resistencia que opone un suelo a la penetración de un pistón de 3 pulg². de área en una muestra de suelo. La fuerza necesaria para que el pistón penetre dentro del suelo se mide a determinados intervalos de penetración; estas fuerzas medidas, se comparan con las que se necesitan para producir iguales penetraciones en una muestra que sirve de patrón, la cual es piedra partida bien graduada.

Para la relación de este ensayo se debe preparar el material de cuerdo a la norma (AASHTO T-193) para tres diferentes especímenes compactados con diferente energía de compactación pero con la misma humedad (humedad optima). En la figura 3-6 se puede ver parte del procedimiento de preparación para poder llevar acabo el ensayo de CBR (Soporte California).



Fuente: Elaborado por grupo de tesis.
Figura 3-6: Humedecimiento de suelo y hermetización.

Todos los suelos, tanto finos como gruesos o sus mezclas, se compactan a diferentes contenidos de humedad tanto arriba como bajo de su humedad óptima. Las muestras

elaboradas bajo estos procedimientos, se sumergen en agua durante un período mínimo de 96 horas tal como se muestra en la figura 3-7, también durante ese periodo de inmersión se medirá el hinchamiento del espécimen, antes de proceder a su ensayo, con el objeto de simular las condiciones de saturación a las cuales van a estar sometidos los suelos como la subrasante de una carretera, y en esta forma, obtener los CBR's de los suelos bajo las condiciones más críticas. En el ensayo y en inmersión, se colocan pesos sobre las muestras, con el objeto de simular las cargas tanto vehiculares, como de la estructura de pavimento, a las cuales van a estar sometidos los suelos de la subrasante.



**Fuente: Elaborado por grupo de tesis.
Figura 3-7: Inmersión de especímenes**

Los especímenes a ensayar se sumergen durante 96 horas y durante el periodo de inmersión se mide su hinchamiento.

El método del CBR para diseño de pavimentos, fue uno de los primeros en utilizarse y se basa principalmente en que a menor valor de CBR de la subrasante es necesario colocar mayores espesores en la estructura de pavimento para protegerlo de la frecuencia de las cargas de tránsito. En la figura 3-7, se puede observar la realización del ensayo de penetración.



Fuente: Elaborado por grupo de tesis.
 Figura 3-8: Ensayo de CBR

En la Figura 3-8, se muestra el equipo de ensayo CBR y la comparación de dos suelos ensayados en la imagen posterior un suelo altamente arcilloso y en la imagen inferior un suelo limos.

En la tabla 3-5, Se resume los CBR para cada molde y para cada pozo obtenidos de la gráfica Peso Volumétrico Seco (PVS) vrs Índice de Soporte de California (CBR) las cuales se encuentran detalladas en el **Anexo D**.

	CLASIFICACION AASHTO	MOLDES			CBR (%) al 95% de PVS (máximo)
		CBR (%) MOLDE 1 (10 golpes)	CBR (%) MOLDE 2 (25 golpes)	CBR (%) MOLDE 3 (56 golpes)	
PCA-01	A-7-5 (25)	9.48	17.47	31.86	1.75
PCA-02	A-7-5 (22)	12.67	14.91	15.87	1.50
PCA-03	A-7-5 (22)	5.32	9.48	21.31	1.15
PCA-04	A-7-5 (24)	7.56	9.48	12.67	1.15
PCA-05	A-7-5 (16)	9.48	12.37	14.27	1.33
PCA-08	A-7-5 (18)	29.62	46.25	52.64	4.70
PCA-09	A-7-5 (32)	7.24	9.16	10.76	1.00
PCA-12	A-7-5 (23)	7.56	8.52	15.87	1.10
CA-01	A-7-5 (21)	7.88	12.67	15.23	1.30
CA-02	A-7-5 (4)	38.89	148.57	110.20	8.00
CA-03	A-7-5 (8)	14.27	23.87	17.47	1.70
CA-04	A-7-5 (22)	7.24	11.08	17.47	1.40

Fuente: Elaborado por grupo de tesis
 Tabla 3-5: Resumen de CBR (Soporte California) de cada pozo y de cada molde 10, 25, 56 golpes respectivamente.

3.2.3. Módulo de Resiliencia

3.2.3.1. Condiciones de Esfuerzo

Para la determinación del módulo de resiliencia de referencia, es necesario tener la condición de esfuerzo que surge como consecuencia de la aplicación de una carga en la superficie del pavimento, es decir, que se debe determinar el esfuerzo vertical y el esfuerzo lateral por medio de la teoría de capas elásticas, además se incluye la presión de la tierra en reposo; para la determinación de estos valores, es necesario conocer o asumir la densidad y espesor de las capa que componen la estructura y cada estrato de suelo, que están por encima del punto donde se desea calcular el módulo de resiliencia.

Para tales efectos, la guía de diseño AASHTO 2002, describe el procedimiento en este orden:

a) Determinar el coeficiente de presión de tierra en reposo (k_o) para el estrato donde se desea obtener el módulo de resiliencia, para suelos cohesivos, este parámetro es considerado una función de la relación de Poisson:

$$k_o = \frac{\mu}{(1 - \mu)}$$

Ecuación 3-1: Relación de Poisson para suelos cohesivos

En la tabla 3-6, se muestran los valores típicos recomendados para μ

Material	μ_{rango}	$\mu_{\text{típico}}$
Arcilla (saturada)	0.4-0.5	0.45
Arcilla(no saturada)	0.1-0.3	0.2
Arena arcillosa	0.2-0.3	0.25
Limo	0.3-0.35	0.325
Arena densa	0.2-0.4	0.3
Arena gruesa	0.15	0.15
Arena fina	0.25	0.25
Lecho de roca	0.1-0.4	0.25

Fuente: Traducido de Guía AASHTO 2002, p. 2.2.71

Tabla 3-6: Valores típicos de la Relación de Poisson

Para suelos no cohesivos como gravas y arenas, el coeficiente de presión de tierra en reposo, está relacionado con el ángulo de fricción interna (ϕ) a través de esta expresión:

$$k_0 = 1 - \sin \phi$$

Ecuación 3-2: Coeficiente de presión de tierra en reposo para gravas.

Para el caso del suelo tratado en este estudio se utilizará la expresión relacionada con la razón de Poisson, debido a que se trata de un arcilla en estado no saturado, por tanto sustituyendo $\mu=0.2$, en la ecuación 3-1, el valor del Coeficiente de presión de tierra en reposo es:

$$k_0 = \frac{0.2}{(1 - 0.2)}$$

$$k_0 = 0.25$$

Calculado utilizando un $\mu=0.2$ según los valores típicos recomendados y descritos en la tabla 3-6.

b) Asumir valores de módulo de elasticidad, espesor, y peso volumétrico para las capas de la estructura de prueba, incluyendo el estrato de suelo para el cual se quiere calcular el módulo de resiliencia y que ya se ha tratado en el laboratorio.

Capas	Módulo de Elasticidad (psi)	Peso Volumétrico (lb/in ³)	Peso Volumétrico (kg/m ³)	Espesor (in)	Relación de Poisson (μ)
Capa Asfáltica (C1)	500,000	0.079	2200	6	0.3
base (C2)	30,000	0.072	2000	6	0.35
subbase (C3)	25,000	0.065	1800	8	0.3
Subrasante (C4)	12,500	0.054	1500	-	0.2

**Fuente: Elaborado por grupo de tesis.
Tabla 3-7: Estructura de prueba**

c) Calcular el esfuerzo vertical total, σ_z , sobre el punto donde se desea determinar el módulo de resiliencia:

$$\sigma_z = \sigma_l + p_o$$

Ecuación 3-3: Esfuerzo desviador

Donde:

σ_l = Esfuerzo vertical, producido por la carga de la rueda, calculado con la teoría de capa elástica.

p_o = Presión vertical en reposo, producida por la sobrecarga de las otras capas.

$$p_o = (D\gamma)_n + \sum_{i=1}^{n-1} (D\gamma)_i$$

Ecuación 3-4: Presión vertical en reposo.

Donde:

D= Espesor de capa; para la capa n , D es la profundidad del estrato donde se quiere calcular el módulo de resiliencia.

γ = Densidad de capa

i = Capa sobre el estrato de suelo, n , para el cual se está estimando el módulo de resiliencia.

d) Calcular el esfuerzo lateral total o de confinamiento, σ_3 , producido por la carga de la rueda y las sobrecargas de presión de suelo:

$$\sigma_3 = \sigma_{x,y} + k_0(p_0)$$

Ecuación 3-5: Esfuerzo de confinamiento

Donde:

$\sigma_{x,y}$ = Esfuerzo lateral producido por la carga de rueda sobre la superficie del pavimento, calculado mediante la teoría de capa elástica.

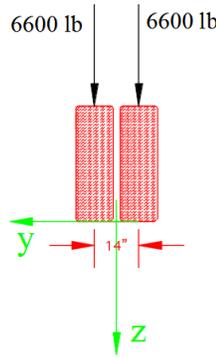
3.2.3.2. Estructura de Prueba

Para realizar los cálculos de esfuerzos (σ_i ; $\sigma_{x,y}$) producidos por la aplicación de carga en la superficie del pavimento, se usa el Software Multicapa Elástica PITRA-PAVE, desarrollado por el Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LANAMME) de la Universidad de Costa Rica (UCR).

Para las cargas que se aplican a la estructura de prueba supondremos un eje tándem, las llantas en uso dual, por simetría, se ejecuta el análisis solo en un par de llantas, tal como se muestra en la figura 3-10, cada llanta se supondrá de tipo 11R24.5, para la cual se especifica una carga máxima en uso dual de 6600 lb, y una presión de inflado en caliente de 120 psi, el espaciamiento típico entre los centros de las dos llantas es de 14 pulg. como se ilustra en la figura 3-9.

La estructura consta de cuatro capas, carpeta asfáltica (C1) con un espesor de 6 pulg.; base (C2) con un espesor de 6 pulg.; sub-base (C3) con un espesor de 8 pulg. y la

subrasante (C4) de espesor que se supondrá infinito, es un criterio que adopta el programa para realizar el análisis multicapa de acuerdo a la teoría elástica.



Fuente: Elaborado por grupo de tesis.
 Figura 3-9: Espaciamiento entre llantas en uso dual.

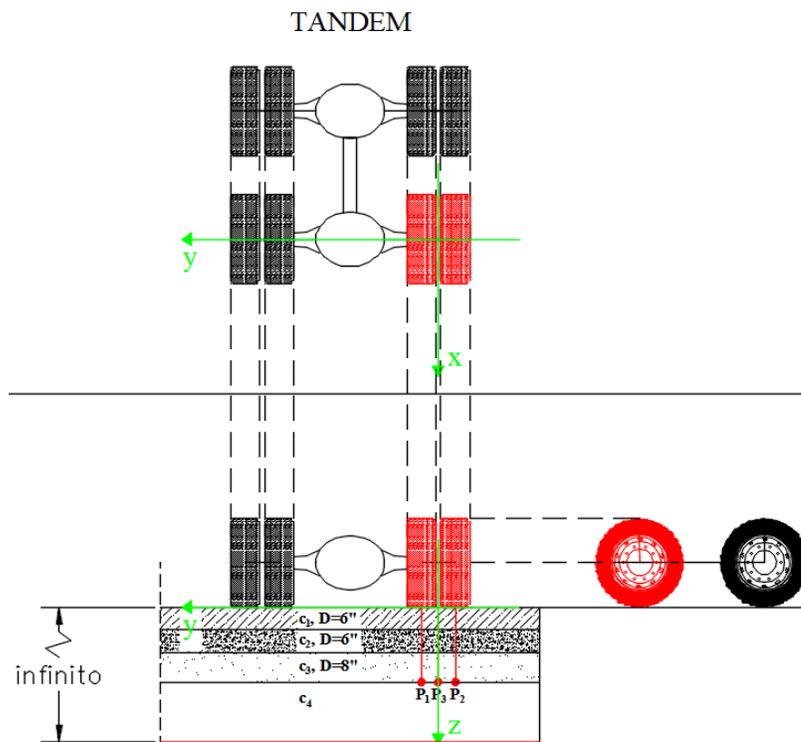
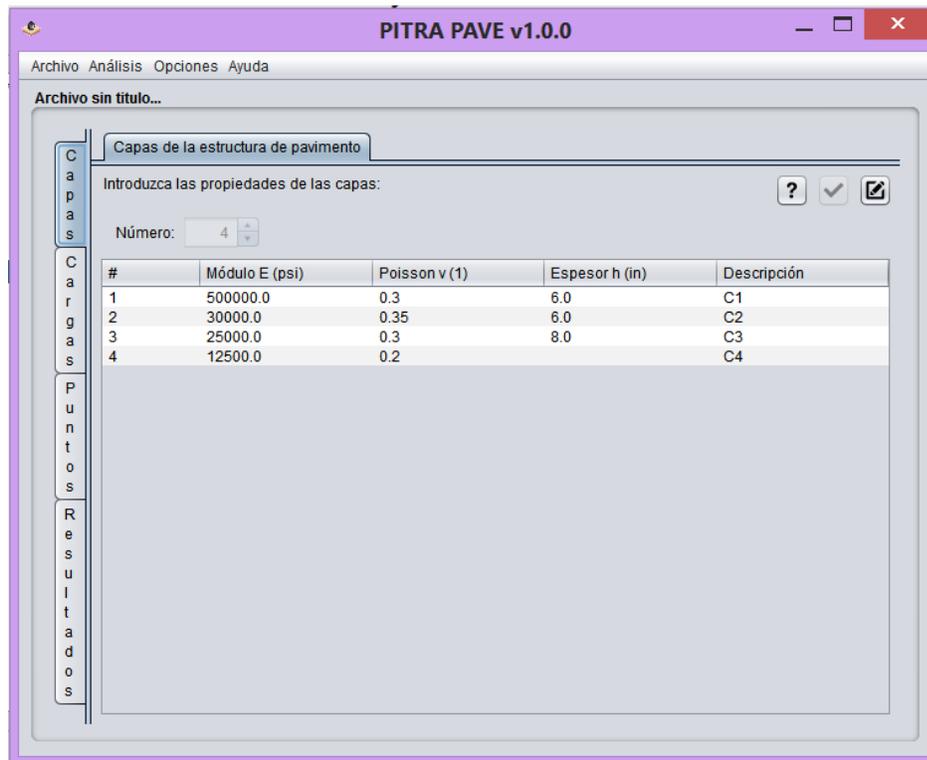


Figura 3-10: Esquema de carga en estructura de prueba.
 Fuente: Elaborado por grupo de tesis.

Capas

La interfaz del programa PITRA PAVE, solicita en la pestaña “Capas” el número de estas, con su respectivo módulo de elasticidad, espesor y relación de Poisson, como se muestra en la figura 3-11. Los datos ingresados son los supuestos en la tabla 3-7.

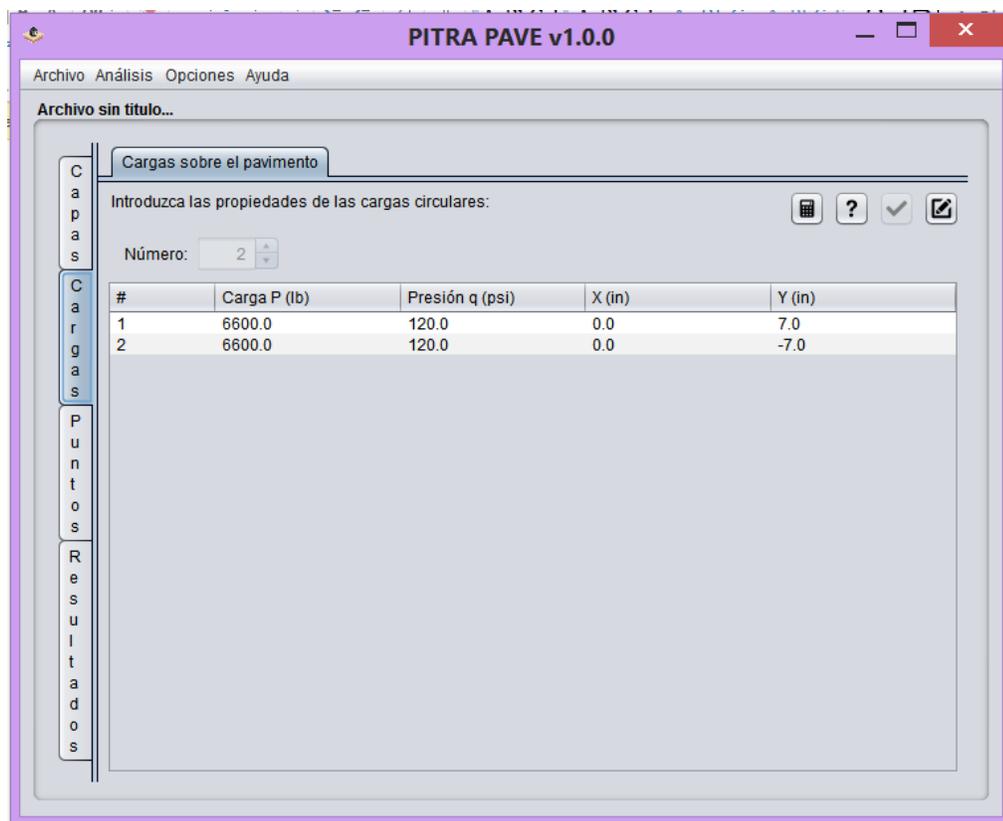


Fuente: Elaborado por grupo de tesis
Figura 3-11: Pestaña “Capas” PITRA PAVE

En la figura 3-11, Se muestran los valores que se han supuesto para los módulos de elasticidad, relación de Poisson y espesores para cada capa, a excepción de la última capa C4 que se supone de un espesor infinito.

Cargas

En esta pestaña, se ingresa el valor de las cargas, para el análisis se suponen dos cargas de 6600 lb, según la máxima carga permisible (Guía AASHTO 2002, p 2.4.29) y una presión de inflado en caliente de 120 psi, la figura 3-12, muestra los valores ingresados y las coordenadas de los centros de cada llanta.



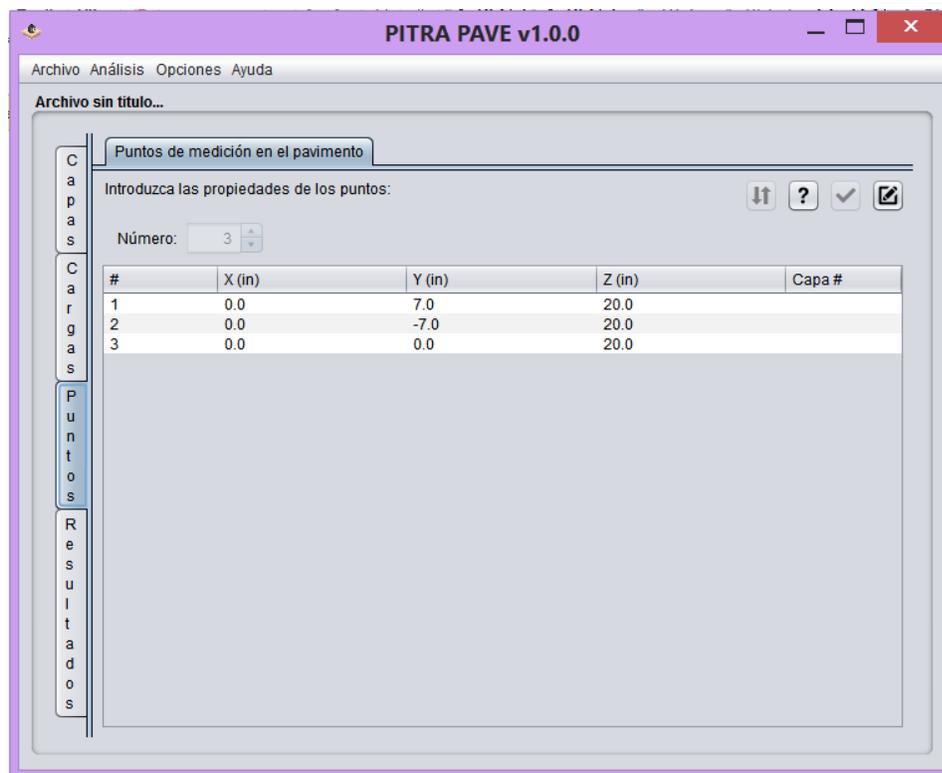
Fuente: Elaborado por grupo de tesis.

Figura 3-12: Pestaña “Cargas” PITRA PAVE.

En la figura 3-12, Se muestran los valores de carga y presión de inflado en caliente, asimismo las coordenadas de ubicación de los centros de las cargas circulares sobre la estructura del pavimento.

Puntos

La pestaña “Puntos” se ingresan las coordenadas “x,y,z” donde se desea conocer los esfuerzos laterales y verticales, para el análisis se establecen tres puntos, según se muestra en la figura 3-10. Se requiere estimar los esfuerzos bajo los centros de las cargas y a la mitad de la distancia en la dirección “y” que hay entre los centros, a profundidad de 20 pulg. donde se encuentra el estrato en el que se desea calcular el módulo de resiliencia.



Fuente: Elaborado por grupo de tesis
Figura 3-13: Pestaña “Puntos” PITRA PAVE

Resultados

La figura 3-14, muestra los resultados para los esfuerzos en los puntos solicitados

#	Sxx (psi)	Syy (psi)	Szz (psi)	Sxy (psi)	Sxz (psi)	Syz (psi)
1	-2.9273e+00	-2.2228e+00	5.0911e+00	4.3133e-17	5.8166e-17	9.4993e-01
2	-2.9273e+00	-2.2228e+00	5.0911e+00	1.2940e-16	-1.7450e-16	-9.4993e-01
3	-3.1610e+00	-2.6215e+00	5.5080e+00	6.6067e-17	-8.4794e-17	0.0000e+00

Fuente: Elaborado por grupo de tesis
Figura 3-14: Pestaña “Resultados” PITRA PAVE

Los resultados (s_{zz}) σ_t , representa los esfuerzos verticales, asimismo (s_{yy} , s_{xx}) $\sigma_{x,y}$, representan los esfuerzos laterales producidos por la carga aplicada en la superficie del pavimento. En el análisis muestra que en el punto P3, situado a la mitad de la distancia entre centros, es donde los esfuerzos son mayores, mientras que por la simetría del problema, las cargas aplicadas sobre P1 y P2 producen un estado de esfuerzo igual en dichos puntos. Por tanto, la condición más desfavorable en este análisis es la del punto

P3, que tiene un $\sigma_l=5.5 \text{ psi}$; y el esfuerzo lateral se tomará el mayor entre s_{xx} y s_{yy} , quedando como esfuerzo lateral $\sigma_{x,y}=3.16 \text{ psi}$.

3.2.3.3. Esfuerzo Desviador y Esfuerzo de Confinamiento

Para la estimación del esfuerzo desviador, se requiere tener la presión total ejercida por las sobrecargas del peso de las capas sobre el estrato y el esfuerzo vertical total por la carga de rueda en el pavimento.

Capas	Módulo de Elasticidad (psi)	Peso Volumétrico (lb/in ³)	Peso Volumétrico (kg/m ³)	Espesor (in)	Relación de Poisson (μ)	presión por peso de capas (psi)
Capa asfáltica	500,000	0.079	2200	6	0.3	0.474
base	30,000	0.072	2000	6	0.35	0.432
subbase	12,500	0.065	1800	8	0.3	0.52
Subrasante	10,000	0.054	1500	-	0.2	1.08
						$p_0=2.506$

Fuente: Elaborado por grupo de tesis.

Tabla 3-8: Cálculo de la presión vertical en reposo

Sustituyendo $p_0=2.5\text{psi}$ y $\sigma_l=5.5 \text{ psi}$ en la ecuación 3-3, se tiene:

$$\sigma_z = 5.5 + 2.5$$

$$\sigma_z = 8 \text{ psi}$$

$\sigma_d = 8 \text{ psi}$; ($\sigma_d \approx 55 \text{ kPa}$) Esfuerzo desviador

Para el cálculo de la presión de confinamiento, σ_3 , se sustituye los valores de $\sigma_{x,y}=3.16 \text{ psi}$, $k_0=0.25$, $p_0=2.5\text{psi}$ en la ecuación 3-5:

$$\sigma_3 = 3.16 + (0.25)(2.5)$$

$$\sigma_3 = 3.16 + 0.625 = 3.77\text{psi}$$

$\sigma_3 \approx 4 \text{ psi}$; ($\sigma_3 \approx 28 \text{ kPa}$) Esfuerzo de Confinamiento

3.2.3.4. Ensayo de Módulo de Resiliencia en Laboratorio.

Los especímenes para el ensayo de módulo resiliente se elaboran a humedad óptima de acuerdo al ensayo proctor modificado. Se elaboran dos especímenes por pozo que se someterán a cargas dinámicas en la cámara triaxial, siguiendo el procedimiento de ensayo establecido en la norma AASHTO T-307 (99).

Los especímenes cilíndricos con un diámetro de 100 ± 2 mm y altura de 200 ± 3 mm, se sometieron a 500 ciclos de carga inicial, luego se aplicaron 100 ciclos de carga por cada configuración de esfuerzo de confinamiento y esfuerzo desviador establecidos en el procedimiento de ensayo.



Fuente: Elaborado por grupo de tesis.
Figura 3-15: Preparación de Especímenes para Módulo de Resiliencia

Para cada espécimen ensayado, se determinaron las constantes requeridas por el modelo $k-\theta$ desarrollado por Seed, este modelo toma en cuenta el primer invariante de tensiones, las constantes se obtienen de la regresión lineal log-log del M_r y el cociente

del primer invariante de tensiones entre la presión atmosférica como se describe en la ecuación 3-6.

$$M_R = k_1 \left(\frac{\theta}{P_a} \right)^{k_2}$$

Ecuación 3-6: Modelo k-θ

Donde:

Mr: Módulo de Resiliencia (kPa)

P_a: Presión Atmosférica (kPa)

k₁, k₂: Constantes de regresión, propias de cada material

θ: Esfuerzo de volumen Bulk (kPa), o primer invariante de tensiones, definido como la suma de todos los esfuerzos normales actuando en un punto.

$$\theta = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3$$

Ecuación 3-7: Invariante de tensiones

σ₁, σ₂, σ₃: Esfuerzos normales aplicados en un punto.

Para efectos de regresión lineal múltiple se llevó a forma logarítmica la ecuación 3-6, del modelo de Seed, quedando de la siguiente manera:

$$M_R = k_1 \left(\frac{\theta}{P_a} \right)^{k_2}$$

$$M_R = k_1 \left(\frac{\theta}{P_a} \right)^{k_2}$$

$$\log(M_R) = \log(k_1) + \log \left(\frac{\theta}{P_a} \right)^{k_2}$$

$$\log(M_R) = \log(k_1) + k_2 \log \left(\frac{\theta}{P_a} \right)$$

Ecuación 3-8: Forma logarítmica del Modelo k-θ de Seed.

El modelo de regresión quedaría como se muestra en la ecuación 3-9:

$$y = \beta_1 + \beta_2 x_1$$

Ecuación 3-9: Modelo de regresión lineal

Donde:

$$y = \log(M_R)$$

$$\beta_1 = \log(k_1)$$

$$\beta_2 = k_2$$

$$x_1 = \theta/\text{Pa}$$

Una vez obtenido el resultado de la regresión lineal a través del programa Microsoft Office Excel 2013, se procede a transformar las constantes y se lleva a la forma del Modelo k- θ de Seed, que define el módulo de resiliencia para la configuración de esfuerzos propuesta. Además la salida del programa evalúa el R cuadrado ajustado, a fin de mostrar en qué medida los resultados del modelo se ajustan a los valores obtenidos directamente del ensayo triaxial de carga repetida en la celda de carga.

Para la de terminación del módulo de referencia para cada espécimen se usó un esfuerzo de confinamiento $\sigma_3=28$ kPa; y esfuerzo desviador $\sigma_d=55$ kPa, este estado de esfuerzo se obtiene del análisis multicapa elástica, el cual se describe detalladamente en la sección 3.2.3.

La tabla 3-9, muestra los valores de módulo de resiliencia correspondientes a la evaluación el estado de esfuerzo con el modelo de Seed, asimismo, se resumen las constantes de regresión para cada espécimen ensayado. Estos valores de módulo producido por la configuración de esfuerzo antes mencionada, serán los que posteriormente se evaluarán gráficamente con el resultado del ensayo CBR del mismo suelo.

Resumen de ensayos de módulo de resiliencia

pozos	constantes de regresión		Esfuerzo desviador(kPa)	Esfuerzo confinamiento (kPa)	σ_1 (kPa)	σ_2 (kPa)	σ_3 (kPa)	θ (kPa)	Mr(kPa)	Mr(Mpa)	CBR
	k1	k2									
PCA-01_1	57909.0399	0.44960982	55	28	83	28	28	139	66169.88	66.17	1.75
PCA-01_2	73146.8873	0.25185212	55	28	83	28	28	139	78820.06	78.82	1.75
PCA-02_1	64964.8174	0.37538268	55	28	83	28	28	139	72615.78	72.62	1.5
PCA-02_2	67925.6694	0.33093965	55	28	83	28	28	139	74931.09	74.93	1.5
PCA-03_1	68316.1495	0.32498581	55	28	83	28	28	139	75228.88	75.23	1.15
PCA-03_2	68183.3911	0.36242217	55	28	83	28	28	139	75921.01	75.92	1.15
PCA-04_1	69097.0722	0.30212215	55	28	83	28	28	139	75574.59	75.57	1.15
PCA-04_2	72526.4811	0.32873636	55	28	83	28	28	139	79954.14	79.95	1.15
PCA-05_1	63698.2292	0.31661287	55	28	83	28	28	139	69969.71	69.97	1.33
PCA-05_2	83091.8646	0.17323269	55	28	83	28	28	139	87472.69	87.47	1.33
PCA-08_1	79506.6168	0.18379674	55	28	83	28	28	139	83961.08	83.96	4.7
PCA-08_2	83910.2438	0.21852834	55	28	83	28	28	139	89528.95	89.53	4.7
PCA-09_1	87609.5197	0.08797016	55	28	83	28	28	139	89925.46	89.93	1
PCA-09_2	92575.3689	0.10989161	55	28	83	28	28	139	95642.41	95.64	1
PCA-12_1	89178.3313	0.19373096	55	28	83	28	28	139	94452.55	94.45	1.1
PCA-12_2	80153.6036	0.27371786	55	28	83	28	28	139	86932.16	86.93	1.1
CA-01_1	72266.2574	0.29099443	55	28	83	28	28	139	78780.44	78.78	1.3
CA-01_2	79287.4431	0.3594321	55	28	83	28	28	139	88206.92	88.21	1.3
CA-02_1	79579.4691	0.27067383	55	28	83	28	28	139	86231.58	86.23	8
CA-02_2	92126.111	0.14036243	55	28	83	28	28	139	96042.34	96.04	8
CA-03_1	72495.2966	0.33356743	55	28	83	28	28	139	80034.35	80.03	1.7
CA-03_2	83128.7546	0.30638354	55	28	83	28	28	139	91036.67	91.04	1.7
CA-04_1	70913.844	0.28744222	55	28	83	28	28	139	77224.71	77.22	1.4
CA-04_2	95805.156	0.12057472	55	28	83	28	28	139	99293.32	99.29	1.4

Fuente: Elaborado por grupo de tesis.
Tabla 3-9: Resumen de ensayos de módulo de resiliencia

Los resultados y resumen completo de la regresión lineal, y el resumen de los valores de módulo correspondientes a los diferentes estados de esfuerzo propuestos por la norma AASHTO T-307(99) se muestran a detalle en el **Anexo E**.

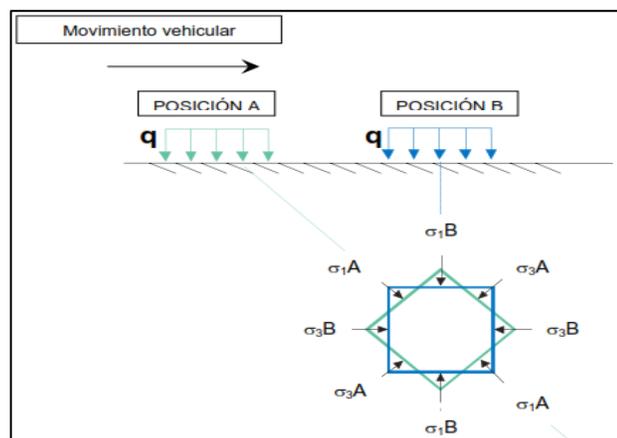
CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE RESULTADOS

4. Análisis y Comparación de Resultados

4.1. Módulos de Resiliencia Obtenidos a través del Ensayo

De la ejecución del ensayo AASHTO T-307-99, se obtuvieron los valores de Módulo de Resiliencia correspondientes a los especímenes procedentes de las exploraciones a cielo abierto, realizadas en el campus de la Facultad Multidisciplinaria Oriental de la Universidad de El Salvador. Las constantes correspondientes a cada pozo se obtuvieron por medio de la regresión lineal, las cuales corresponden al modelo $k-\theta$ de Seed para módulo de resiliencia, el cual es aplicable indistintamente a cualquier material. Para efectos de establecer la comparación entre el módulo de resiliencia y el CBR se tomó de base el esfuerzo desviador de $\sigma_d=55$ kPa (8 psi) y presión de confinamiento $\sigma_3=28$ kPa (4 psi), esta configuración representa el estado de esfuerzo para el cual se determinó el módulo de resiliencia de cada espécimen.



Fuente: Barksdale et al
Figura 4-1: Rotación de ejes de esfuerzos principales

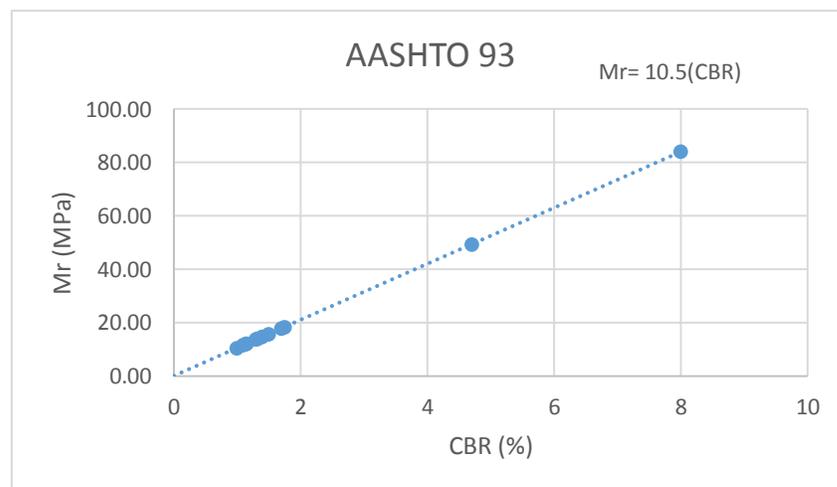
4.2. Módulos de Resiliencia Utilizando Ecuaciones de Correlación

Del uso de las ecuaciones de correlación se obtienen los siguientes módulos de resiliencia en función del CBR para los suelos provenientes de las exploraciones a cielo abierto.

4.2.1. Guía AASHTO 1993

POZOS	CBR %	AASHTO 93	
		Mr = 1500(CBR)	Mr = 10.5(CBR)
		Mr (psi)	Mr (MPa)
PCA-01	1.75	2625	18.38
PCA-02	1.5	2250	15.75
PCA-03	1.15	1725	12.08
PCA-04	1.15	1725	12.08
PCA-05	1.33	1995	13.97
PCA-08	4.7	7050	49.35
PCA-09	1	1500	10.50
PCA-12	1.1	1650	11.55
CA-01	1.3	1950	13.65
CA-02	8	12000	84.00
CA-03	1.7	2550	17.85
CA-04	1.4	2100	14.70

Fuente: Elaborado por grupo de tesis
Tabla 4-1: Correlación Guía AASHTO 93

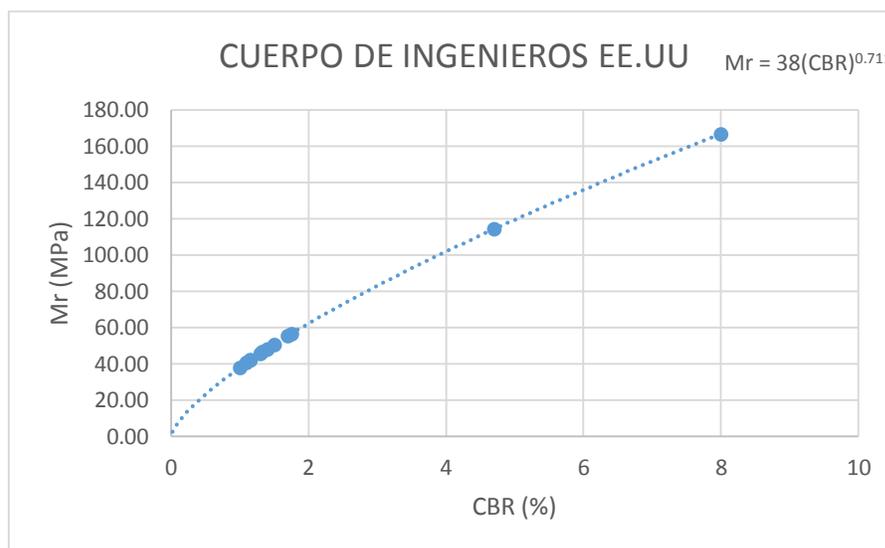


Fuente: Elaborado por grupo de tesis
Figura 4-2: Gráfico correlación AASHTO 93

4.2.2. Green y Hall (1975) Cuerpo de Ingenieros de los EE.UU

POZOS	CBR %	Cuerpo de Ingenieros de EE.UU	
		$Mr = 5409(CBR)^{0.711}$	$Mr = 38(CBR)^{0.711}$
		Mr (psi)	Mr (Mpa)
PCA-01	1.75	8052.25	56.57
PCA-02	1.5	7216.35	50.70
PCA-03	1.15	5974.11	41.97
PCA-04	1.15	5974.11	41.97
PCA-05	1.33	6624.84	46.54
PCA-08	4.7	16254.69	114.19
PCA-09	1	5409.00	38.00
PCA-12	1.1	5788.25	40.66
CA-01	1.3	6518.25	45.79
CA-02	8	23725.42	166.68
CA-03	1.7	7887.99	55.42
CA-04	1.4	6870.91	48.27

Fuente: Elaborado por grupo de tesis
 Tabla 4-2: Correlación Green y Hall

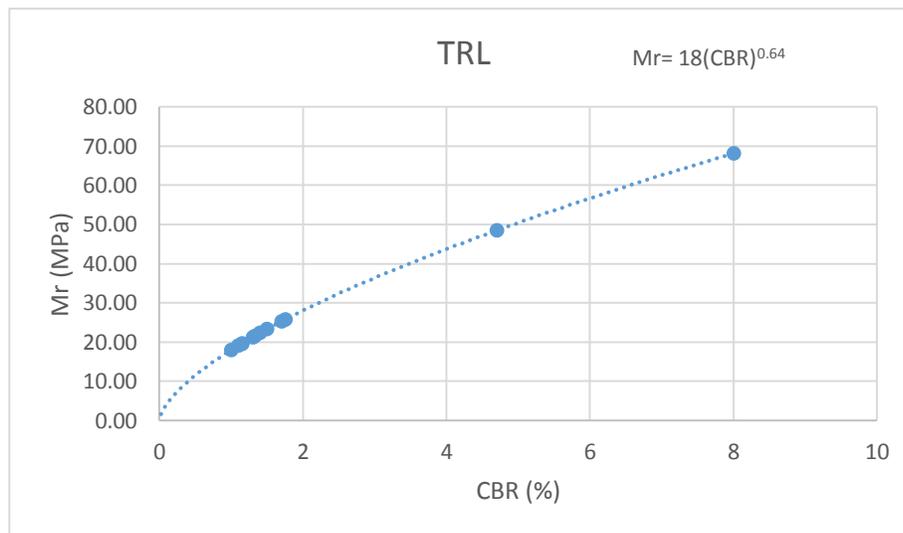


Fuente: Elaborado por grupo de tesis
 Figura 4-3: Gráfico de correlación Cuerpo de Ingenieros de EE.UU

4.2.3. Correlación TRL

POZOS	CBR %	TRL	
		$Mr = 2555(CBR)^{0.64}$	$Mr = 18(CBR)^{0.64}$
		Mr (PSI)	Mr (MPa)
PCA-01	1.75	3655.40	25.75
PCA-02	1.5	3311.99	23.33
PCA-03	1.15	2794.07	19.68
PCA-04	1.15	2794.07	19.68
PCA-05	1.33	3066.59	21.60
PCA-08	4.7	6879.13	48.46
PCA-09	1	2555.00	18.00
PCA-12	1.1	2715.70	19.13
CA-01	1.3	3022.14	21.29
CA-02	8	9668.71	68.12
CA-03	1.7	3588.21	25.28
CA-04	1.4	3168.93	22.33

Fuente: Elaborado por grupo de tesis
Tabla 4-3: Correlación TRL

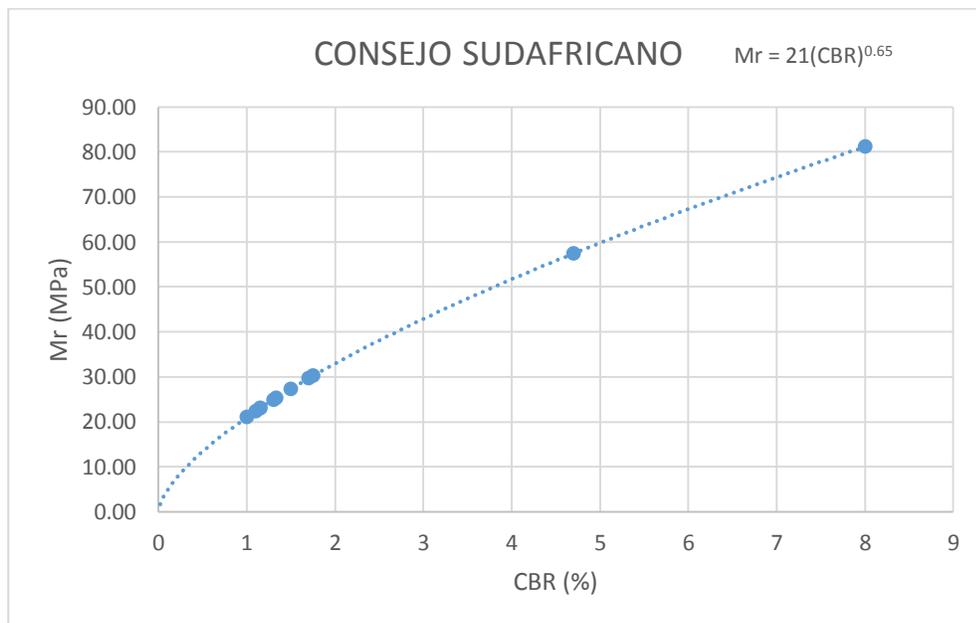


Fuente: Elaborado por grupo de tesis
Figura 4-4: Gráfico de correlación TRL

4.2.4. Consejo Sudafricano

POZOS	CBR %	CONCEJO SUDAFRICANO	
		$Mr = 3000(CBR)^{0.65}$	$Mr = 21(CBR)^{0.65}$
		Mr (PSI)	Mr (MPa)
PCA-01	1.75	4316.14	30.21
PCA-02	1.5	3904.64	27.33
PCA-03	1.15	3285.30	23.00
PCA-04	1.15	3285.30	23.00
PCA-05	1.33	3610.98	25.28
PCA-08	4.7	8203.23	57.42
PCA-09	1	3000.00	21.00
PCA-12	1.1	3191.73	22.34
CA-01	1.3	3557.82	24.90
CA-02	8	11591.24	81.14
CA-03	1.7	4235.58	29.65
CA-04	1.4	3733.40	26.13

Fuente: Elaborado por grupo de tesis
 Tabla 4-4: Correlación del Consejo Sudafricano



Fuente: Elaborado por grupo de tesis
 Figura 4-5: Gráfico de correlación Consejo Sudafricano

4.3. Análisis Comparativo entre el Módulo de Resiliencia y el CBR

Para llevar a cabo el análisis mediante regresión lineal se toman los pares ordenados Mr-CBR descritos en la tabla 3-9 que generan una tendencia más clara, y se llevan a la forma log-log para establecer un modelo de regresión de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}M_R &= k_1(\text{CBR})^{k_2} \\M_R &= k_1(\text{CBR})^{k_2} \\ \log(M_R) &= \log(k_1) + \log(\text{CBR})^{k_2} \\ \log(M_R) &= \log(k_1) + k_2 \log(\text{CBR})\end{aligned}$$

Ecuación 4-1: Forma logarítmica del Modelo Mr-CBR.

El modelo de regresión quedaría como se muestra en la ecuación 4-2:

$$y = \beta_1 + \beta_2 x_1$$

Ecuación 4-2: Modelo de Regresión Mr-CBR

Donde:

$$y = \log(M_R)$$

$$\beta_1 = \log(k_1)$$

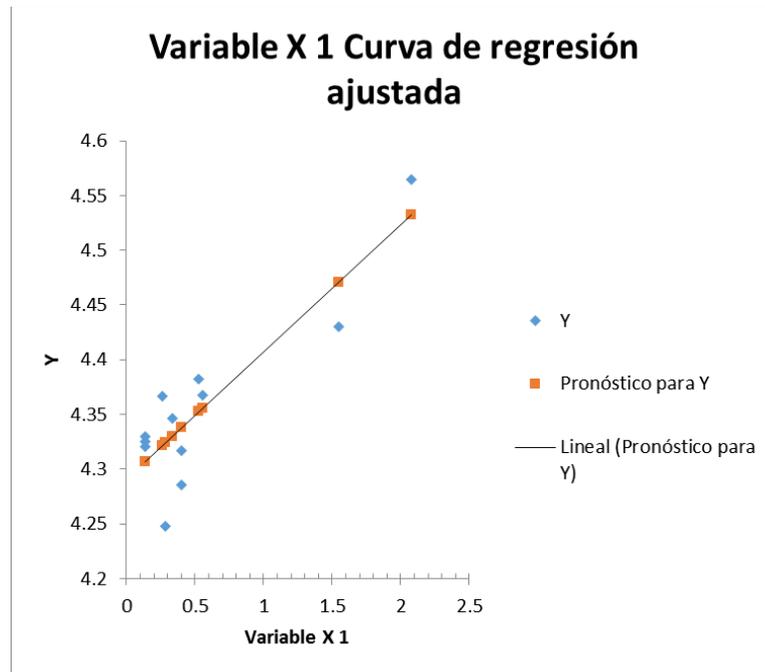
$$\beta_2 = k_2$$

$$x_1 = \text{CBR}$$

La tabla 4-5, Muestra la transformación log-log, para el caso se utiliza logaritmo base e ,

pozos	constantes de regresión		Esfuerzo desviador(kPa)	Esfuerzo confinamiento (kPa)	σ_1 (kPa)	σ_2 (kPa)	σ_3 (kPa)	θ (kPa)	Mr(kPa)	Mr(Mpa)	CBR	y=ln(Mr)	x1=ln(CBR)
	k1	k2											
PCA-01_2	73146.8873	0.25185212	55	28	83	28	28	139	78820.06	78.82	1.75	4.36716755	0.55961579
PCA-02_1	64964.8174	0.37538268	55	28	83	28	28	139	72615.78	72.62	1.5	4.28518232	0.40546511
PCA-02_2	67925.6694	0.33093965	55	28	83	28	28	139	74931.09	74.93	1.5	4.31656891	0.40546511
PCA-03_1	68316.1495	0.32498581	55	28	83	28	28	139	75228.88	75.23	1.15	4.32053522	0.13976194
PCA-03_2	68183.3911	0.36242217	55	28	83	28	28	139	75921.01	75.92	1.15	4.32969345	0.13976194
PCA-04_1	69097.0722	0.30212215	55	28	83	28	28	139	75574.59	75.57	1.15	4.32512015	0.13976194
PCA-05_1	63698.2292	0.31661287	55	28	83	28	28	139	69969.71	69.97	1.33	4.24806242	0.28517894
PCA-08_1	79506.6168	0.18379674	55	28	83	28	28	139	83961.08	83.96	4.7	4.43035337	1.54756251
CA-01_1	72266.2574	0.29099443	55	28	83	28	28	139	78780.44	78.78	1.3	4.36666468	0.26236426
CA-02_2	92126.111	0.14036243	55	28	83	28	28	139	96042.34	96.04	8	4.56478915	2.07944154
CA-03_1	72495.2966	0.33356743	55	28	83	28	28	139	80034.35	80.03	1.7	4.38245597	0.53062825
CA-04_1	70913.844	0.28744222	55	28	83	28	28	139	77224.71	77.22	1.4	4.34671948	0.33647224

Fuente: Elaborado por grupo de tesis.
Tabla 4-5: Transformación de pares ordenados Mr-CBR.



Fuente: Elaborado por grupo de tesis.
Figura 4-6: Curva de regresión ajustada UES (55-28).

Resumen UES (55-28)

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0.880167565
Coefficiente de determinación R ²	0.774694943
R ² ajustado	0.752164437
Error típico	0.040068704
Observaciones	12

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	1	0.05520398	0.05520398	34.38426789	0.00015862
Residuos	10	0.01605501	0.0016055		
Total	11	0.07125899			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>	<i>Inferior 95.0%</i>	<i>Superior 95.0%</i>
Intercepción	4.29068585	0.0161699	265.350193	1.4211E-20	4.25465707	4.32671463	4.25465707	4.32671463
Variable X 1	0.116385105	0.01984803	5.86381001	0.000158618	0.07216093	0.16060928	0.07216093	0.16060928

K1	73.02
k2	0.12

Análisis de los residuales

<i>Observación</i>	<i>Pronóstico para Y</i>	<i>Residuos</i>
1	4.355816792	0.01135075
2	4.337875949	-0.05269363
3	4.337875949	-0.02130704
4	4.306952058	0.01358316
5	4.306952058	0.02274139
6	4.306952058	0.01816809
7	4.323876431	-0.07581401
8	4.470799074	-0.04044571
9	4.321221143	0.04544354
10	4.532701871	0.03208727
11	4.352443075	0.0300129
12	4.329846207	0.01687327

Fuente: Elaborado por grupo de tesis
Tabla 4-6: Resumen de regresión Microsoft Office Excel

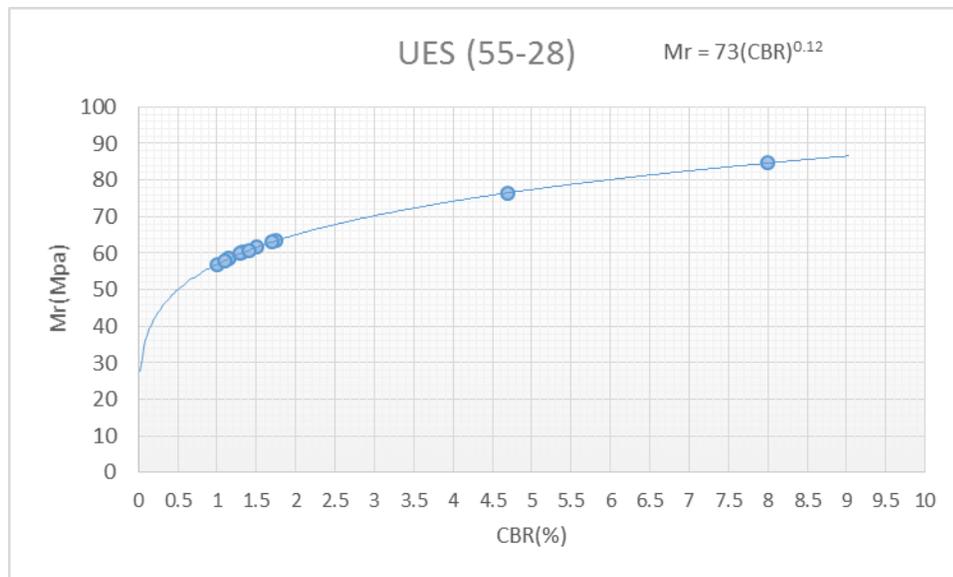
En la tabla 4-6, muestra los detalles de la regresión a través del programa Microsoft Office Excel, se ha realizado el procesamiento de 12 observaciones representativas, asimismo, muestra el R² y R² ajustado, los cuales son 0.77 y 0.75 respectivamente, tomando en cuenta que su valor oscila entre cero y uno, se infiere que las predicciones del modelo describen de manera bastante satisfactoria los valores reales obtenidos en el ensayo de Módulo de Resiliencia.

Para establecer las constantes del Modelo Mr-CBR, se transforma el valor de los coeficientes β_1 y β_2 , y se lleva a la forma potencial, quedando constituido el modelo de la siguiente manera:

$$M_r = 73(\text{CBR})^{0.12}$$

Ecuación 4-3: Modelo Mr-CBR ajustado

El resultado de introducir el CBR en la ecuación 4-3, es el módulo de resiliencia en MPa. La curva descrita por el modelo ajustado se muestra en la figura 4-8.



Fuente: Elaborado por grupo de tesis.
Figura 4-7: Representación gráfica de Mr-CBR

La figura 4-8, representa la relación entre el CBR y el Mr calculado con el modelo de Seed, para un esfuerzo desviador de 55 MPa (8 psi) y un esfuerzo de confinamiento de 28 MPa (4psi) determinados en el análisis de la estructura de prueba en la sección 3.2.3.

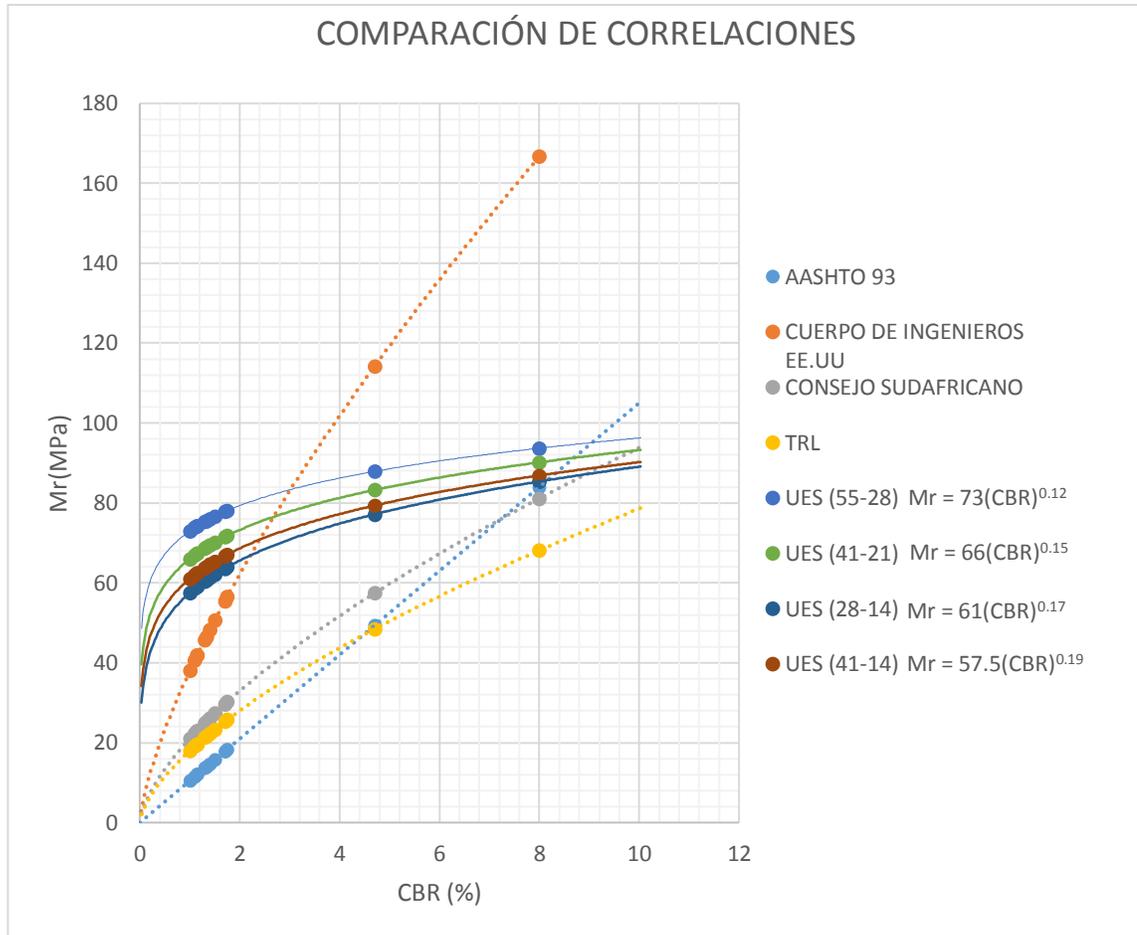
Es notorio que al cambiar el estado de esfuerzo el módulo tendrá variaciones, por lo que se analizan diferentes estados de esfuerzo para comparar de manera gráfica dichas variaciones con respecto a las ecuaciones de correlación descritas en la sección 4.2, de la revisión de literatura se analizarán los modelos resultantes con los siguientes estados de esfuerzo:

correlación	Esfuerzo desviador(kPa)	Esfuerzo confinamiento (kPa)	Esfuerzo desviador(psi)	Esfuerzo confinamiento (psi)
UES (41-21)	41	21	6	3
UES (28-14)	28	14	4	2
UES (41-14)	41	14	6	2

Fuente: Elaborado por grupo de tesis.
Tabla 4-7: Estados de esfuerzo para modelos Mr-CBR.

Los estados de esfuerzo descritos en la tabla 4-7, son los más comúnmente usados por los departamentos de transporte de EE.UU en las correlaciones del módulo de resiliencia con otros parámetros, tales como el R-value, propiedades índices del suelo y el CBR; También el reporte NCHRP 1-28A, en su sección 10.3.3.9 sugiere que para calcular el módulo de referencia para suelos de subrasante se utilice un esfuerzo desviador de 41 kPa y esfuerzo de confinamiento de 14 kPa, para la evaluación estos estados de esfuerzo, se hace uso del modelo $k-\theta$ de Seed, determinando las constantes mediante regresión lineal del resumen de las 15 secuencias del ensayo AASHTO T-307(99), tal como se procedió para el estado de esfuerzo resultante de la evaluación de la estructura de prueba definida en la sección 3.2. Se muestran los detalles de la regresión para los diferentes estados de esfuerzo en el **Anexo H**.

4.3.1. Comparación de Ecuaciones de Correlación



Fuente: Elaborado por grupo de tesis
Figura 4-8: Comparación de Correlaciones

En la figura 4-7, se muestran las diferentes ecuaciones de correlación utilizadas para el cálculo indirecto del módulo de resiliencia en función del CBR, se observa que para valores de CBR hasta 5, la correlación más conservadora es la propuesta en la guía AASHTO 93. La que genera valores más elevados de módulo de resiliencia es la propuestas por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los EE.UU; mientras que la

correlación TRL y la propuesta por el Concejo Sudafricano, ocupan un lugar intermedio entre las antes mencionadas, sin embargo comparando los valores de Módulo que producen estas correlaciones se puede observar que en relación con los resultados del ensayo triaxial dinámico, estas generan valores bastante conservadores, cabe destacar que las correlaciones antes mencionadas, no han sido desarrolladas utilizando ensayos de carga triaxial repetida, sino que se desarrollaron con datos de velocidad de propagación de onda y valores de CBR in situ, entre estas correlaciones es preferible el uso de la ecuación TRL, aclarando que es aplicable en intervalo de CBR entre 2 y 12, (Mokwa y Akin., 2009).

Las correlaciones desarrolladas en este estudio se realizaron con cuatro estados de esfuerzo distintos, tal como se indica en la tabla 4-8:

correlación	r ² ajustado	Esfuerzo desviador(kPa)	Esfuerzo confinamiento (kPa)	Esfuerzo desviador(psi)	Esfuerzo confinamiento (psi)
UES (55-28)	0.77	55	28	8	4
UES (41-21)	0.8	41	21	6	3
UES (28-14)	0.82	28	14	4	2
UES (41-14)	0.81	41	14	6	2

Fuente: Elaborado por grupo de tesis.
Tabla 4-8: r² ajustado y Estados de esfuerzo Mr-CBR

En la tabla 4-8, se muestra el r² ajustado obtenido de las regresiones lineales aplicadas a la transformación log-log de los pares ordenados Mr-CBR para los distintos estados de esfuerzo, correspondiendo a la correlación UES (55-28) un valor r² ajustado de 0.77 el estado de esfuerzo utilizado se obtuvo del análisis de la estructura de prueba en la sección 3.2.3. La correlación UES (41-21) presenta un r² ajustado de 0.8, mientras que la

correlación UES (28-14) presenta un r^2 ajustado de 0.82, para ambas correlaciones los estados de esfuerzo se tomaron de (Mokwa y Akin., 2009) que describe varias correlaciones con otros parámetros que ha sido desarrolladas usando ensayos de carga cíclica con estos estados de esfuerzo. La correlación UES (41-14) presenta un r^2 ajustado de 0.81, el reporte NCHRP 1-28A, en su sección 10.3.3.9 sugiere que para calcular el M_r de referencia para suelos de subrasante se utilice un esfuerzo desviador de 41 kPa y esfuerzo de confinamiento de 14 kPa, esta configuración es utilizada en UES (41-14). Las correlaciones que representan un mejor r^2 ajustado son UES (28-14) y UES (41-14), 0.82 y 0.81 respectivamente, tomando en cuenta que la diferencia es relativamente pequeña, según los análisis y procedimientos realizados en este estudio se considera como referente la correlación UES (41-14), y por los intervalos de CBR medidos se recomienda su uso con valores de CBR entre 1 y 10.

Gráficamente se puede apreciar que hay una diferencia significativa en el intervalo de CBR entre 1 y 8, para las correlaciones determinadas en este estudio comparadas con las ya establecidas y comúnmente utilizadas en la estimación del módulo de resiliencia, sin embargo en el intervalo de 8 a 10 los valores producidos por las correlaciones de este estudio son menores que los producidos por las correlaciones AASHTO 93 y Consejo Sudafricano, mientras que la correlación propuesta por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los EE.UU presenta valores mucho mayores que todas las correlaciones representadas en la figura 4-6. La correlación TRL presenta valores inferiores a todas desde 5 hasta 10, por lo que es preferible su uso en la determinación del módulo de resiliencia.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5. Conclusiones y Recomendaciones

5.1. Conclusiones

- Los especímenes preparados para el ensayo del Índice de Soporte de California (CBR) fueron compactados a humedad óptima y sumergidos en agua durante 96 horas simulando las condiciones más desfavorables antes de realizado el ensayo, tal y como lo establece la Norma AASHTO T-193, los valores de CBR obtenidos oscilan entre 1% y 8%.
- Realizadas las comparaciones de las correlaciones existentes, los valores de módulo de resiliencia obtenidos mediante estas, son inferiores a los valores de módulo de resiliencia obtenidos directamente del ensayo AASHTO T-307-99. Por lo cual se concluye que son conservadoras, en cuanto al cálculo del valor de Módulo de Resiliencia obtenido a través del CBR, excluyendo a la correlación del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de EE.UU que produce valores de módulo de resiliencia mucho mayores que los medidos en laboratorio para CBR mayores que 3; siendo la correlación propuesta en la guía AASHTO 93 la que genera valores más bajos en el intervalo de 1 a 5; en cuanto a la correlación propuesta por TRL, esta genera valores bastante similares a los de la guía AASHTO 93 en el mismo intervalo; pero produce los valores más pequeños cuando se evalúan CBR mayores que 5. Tomando en cuenta lo anterior, es preferible el uso de la correlación TRL.

- Los especímenes preparados para módulo de resiliencia se compactaron utilizando el método de compactación para el ensayo de proctor modificado y a humedad óptima sin considerar variaciones de humedad para representar condiciones que pudieran afectarlo en las diferentes épocas del año. obteniendo un módulo de resiliencia promedio de la serie de valores de módulo que pudiera tener el material al variar las condiciones de humedad.
- La correlación UES (41-14) $M_r \text{ (MPa)} = 57.5(\text{CBR})^{0.19}$, con un R^2 ajustado de 0.81, utilizando un esfuerzo desviador de 41 kPa y una presión de confinamiento de 14 kPa ambos parámetros incluidos en el invariante de tensiones del modelo $k-\theta$ de Seed, se considera satisfactoria en la predicción de los valores de módulo de resiliencia para suelos con un Índice de Soporte de California incluido en el intervalo de 1 a 10.
- Las correlaciones propuestas en esta investigación, generan valores mayores que los obtenidos haciendo uso de las correlaciones difundidas en la literatura, para el intervalo de 1 a 8, un aspecto relevante es que las ecuaciones citadas fueron obtenidas mediante propagación de ondas y ensayos CBR in situ, a diferencia de las propuestas en este estudio que se han elaborado con datos obtenidos de la aplicación del protocolo armonizado AASHTO T-307 (99).

5.2. Recomendaciones

- Se debe ampliar con más investigaciones la caracterización del suelo regional con fines ingenieriles, ya sea obteniendo muestras de diferentes lugares u obtenerlas de proyectos específicos, sean estos viales o de edificaciones. Por tanto, para tener un amplio margen de resultados que cubra la clasificación AASHTO M- 145, se recomienda para estudios posteriores relacionados incluir otros tipos de suelo de los cuales no se abordaron en esta investigación.
- Se recomienda utilizar la correlación TRL, para la obtención del Módulo de Resiliencia de forma indirecta ingresando como parámetro el CBR, debido a que en nuestro medio el ensayo AASHTO T-307 (99) es una implementación reciente.
- Se sugiere continuar investigando sobre esta base los distintos tipos de suelos a fin de obtener una correlación específica de los suelos regionales, ya que en nuestro país se siguen utilizando principalmente otros parámetros, tal es el caso del CBR, para la obtención del Módulo de Resiliencia, principalmente por la complejidad y el acceso al equipo adecuado para su determinación mediante el estándar AASHTO T-307 (99).

Bibliografía

- AASHTO, (1993). Guide for Design of Pavement Structures; American Association of State Highway and Transportation Officials.
- Aquino, Manuel Zarate. (2011). Diseño de Pavimentos Flexibles, Primera Parte. Tercera Edición. Asociación Mexicana de Asfalto.
- Asphalt Institute, 1991. Thickness Design-Asphalt Pavements for Highways & Streets, Manual Series No. 1; Asphalt Institute.
- California Department of Transportation, 2008. Highway Design Manual.
- Garnica, P., Pérez, N. y Gómez, J.(2000).“Módulo de Resiliencia en Suelos Finos y Materiales Granulares”. Publicación Técnica No. 142. Instituto Mexicano del Transporte. Querétaro, Méx.
- Garnica, P., Correa, A. (2004). Conceptos mecanicistas en pavimentos. Publicación Técnica No. 258. Instituto Mexicano del Transporte. Querétaro, Méx.
- Huang, Y.H. (2004). Pavement Analysis and Design. Second Edition. Pearson, Prentice Hall.
- Montejo Fonseca, Alfonso (2006). Ingeniería de Pavimentos. Fundamentos, estudios básicos y diseño. Tercera Edición. Universidad Católica de Colombia Ediciones y Publicaciones.

- McLeod, N.W., (1970). “Influence of Hardness of Asphalt Cement on Low Temperature Transverse Pavement Cracking,” Proceedings, Canadian Good Roads Association.
- Rico A., Téllez, R. y Garnica, P.(1998). “Pavimentos flexibles. Problemática, metodologías y tendencias”. Publicación Técnica No. 104. Instituto Mexicano del Transporte. Querétaro, Méx.
- Rico R, Alfonso, Del Castillo Hermilo (1992). La ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres. Primera Edición. Volumen 2. Editorial Limusa
- Van Til, C.J., B.F. McCullough, B.A. Vallergera, and R.G. Hicks, (1972). Evaluation of AASHO Interim Guides for Design of Pavement Structures, NCHRP 128; Highway Research Board.
- Shell International Petroleum Company Limited, Shell Pavement Design Manual, London, 1978.
- Mokwa R., Akin M., (2009). Measurement and Evaluation of Subgrade Soil Parameters: Phase I, Synthesis of Literature. The State of Montana, Department of Transportation.

ANEXOS

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO: AGREGADO FINO (AASHTO T-11/ ASTM C-117)						
TIPO DE MUESTRA	SUELO DE SUBRASANTE					
PROCEDENCIA DE LA MUESTRA:	UES FMO					
ID DE LA MUESTRA	PCA-02					
FECHA DE MUESTREO: 25-04-16				MUESTREADO POR: GRUPO DE TESIS		
FECHA DE ENSAYO: 21-07-16				ENSAYADO POR: GRUPO DE TESIS		
CORRECCIÓN POR HUMEDAD						
TARA (g) A	179		PESO SECO (g) E= D-A		1518	
PESO HÚMEDO + TARA (g) B	2079		PESO DE AGUA (g) F=B-D		382	
PESO HÚMEDO (g) C	1900		% DE AGUA $G=100 \times (F/E)$		25.1646904	
PESO SECO + TARA (g) D	1697		PESO DE MUESTRA SECA CORREGIDA			
MATERIAL ANTES DEL LAVADO		MATERIAL LAVADO		Revestimiento de material (menor a 75 μm (N° 200) adherido al agregado despues del primer tamizado en seco		
				UNIDADES	g	%
Peso Bruto Seco (g)	1697	Peso Seco Lavado + tara (g)	411.8	cálculo del pasante de la malla 75 μm (N° 200) por lavado	1285.2	84.6640316
Tara (g)	179	Peso Tara (g)	179	pasante de la malla 75 μm (N° 200) depués de ser tamizado seco	4.2	0.27667984
Peso Seco Neto sin Lavar (g)	1518	Peso Seco Neto Lavado (g)	232.8	Revestimiento adherido al agregado	1289.4	84.9407115
Malla	peso	porcentaje	porcentaje	porcentaje	Especificación	
	Retenido parcial	Retenido parcial	Ret. Acumulado	que pasa	min.	máx.
3"	0	0.00	0.00	100.00		
3/4 "	0	0.00	0.00	100.00		
4	12	0.79	0.79	99.21		
10	35.5	2.34	3.13	96.87		
40	78.3	5.16	8.29	91.71		
200	103.1	6.79	15.08	84.92		
FONDO	4.2	0.28	15.36			
TOTALES	233.1	15.36				
FONDO	1289.4	84.94	100.02			
TOTALES	1518.3					

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO: AGREGADO FINO (AASHTO T-11/ ASTM C-117)						
TIPO DE MUESTRA	SUELO DE SUBRASANTE					
PROCEDENCIA DE LA MUESTRA: UES FMO						
ID DE LA MUESTRA	PCA-03					
FECHA DE MUESTREO: 06-05-16				MUESTREO POR: GRUPO DE TESIS		
FECHA DE ENSAYO: 19-07-16				ENSAYADO POR: GRUPO DE TESIS		
CORRECCIÓN POR HUMEDAD						
TARA (g) A	184	PESO SECO (g) E= D-A			1653	
PESO HÚMEDO + TARA (g) B	2084	PESO DE AGUA (g) F=B-D			247	
PESO HÚMEDO (g) C	1900	% DE AGUA $G=100 \times (F/E)$			14.9425287	
PESO SECO + TARA (g) D	1837	PESO DE MUESTRA SECA CORREGIDA				
MATERIAL ANTES DEL LAVADO		MATERIAL LAVADO		Revestimiento de material (menor a 75 μm (N° 200) adherido al agregado después del primer tamizado en seco		
				UNIDADES	g	%
Peso Bruto Seco (g)	1837	Peso Seco Lavado + tara (g)	390.6	cálculo del pasante de la malla 75 μm (N° 200) por lavado	1446.4	87.5015124
Tara (g)	184	Peso Tara (g)	184	pasante de la malla 75 μm (N° 200) después de ser tamizado seco	4.1	0.24803388
Peso Seco Neto sin Lavar (g)	1653	Peso Seco Neto Lavado (g)	206.6	Revestimiento adherido al agregado	1450.5	87.7495463
Malla	peso	porcentaje	porcentaje	porcentaje	Especificación	
	Retenido parcial	Retenido parcial	Ret. Acumulado	que pasa	min.	máx.
3"	0	0.00	0.00	100.00		
3/4 "	0	0.00	0.00	100.00		
4	14.4	0.87	0.87	99.13		
10	25.4	1.54	2.41	97.59		
40	60.2	3.64	6.05	93.95		
200	105	6.35	12.40	87.60		
FONDO	4.1	0.25	12.65			
TOTALES	209.1	12.65				
FONDO	1450.5	87.75	100.15			
TOTALES	1655.5	100.40				

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO: AGREGADO FINO (AASHTO T-11/ ASTM C-117)						
TIPO DE MUESTRA	SUELO DE SUBRASANTE					
PROCEDENCIA DE LA MUESTRA:	UES FMO					
ID DE LA MUESTRA	PCA-04					
FECHA DE MUESTREO: 07-05-16				MUESTREADO POR: GRUPO DE TESIS		
FECHA DE ENSAYO: 19-07-16				ENSAYADO POR: GRUPO DE TESIS		
CORRECCIÓN POR HUMEDAD						
TARA (g) A	217		PESO SECO (g) E= D-A		1535.5	
PESO HÚMEDO + TARA (g) B	2117		PESO DE AGUA (g) F=B-D		364.5	
PESO HÚMEDO (g) C	1900		% DE AGUA $G=100 \times (F/E)$		23.738196	
PESO SECO + TARA (g) D	1752.5		PESO DE MUESTRA SECA CORREGIDA			
MATERIAL ANTES DEL LAVADO		MATERIAL LAVADO		Revestimiento de material (menor a 75 µm (N° 200) adherido al agregado después del primer tamizado en seco		
				UNIDADES	g	%
Peso Bruto Seco (g)	1752.5	Peso Seco Lavado + tara (g)	444.9	cálculo del pasante de la malla 75 µm (N° 200) por lavado	1307.6	85.157929
Tara (g)	217	Peso Tara (g)	217	pasante de la malla 75 µm (N° 200) después de ser tamizado seco	7.2	0.46890264
Peso Seco Neto sin Lavar (g)	1535.5	Peso Seco Neto Lavado (g)	227.9	Revestimiento adherido al agregado	1314.8	85.6268317
Malla	peso	porcentaje	porcentaje	porcentaje	Especificación	
	Retenido parcial	Retenido parcial	Ret. Acumulado	que pasa	min.	máx.
3"	0	0.00	0.00	100.00		
3/4 "	0	0.00	0.00	100.00		
4	10.1	0.66	0.66	99.34		
10	14.5	0.94	1.60	98.40		
40	64	4.17	5.77	94.23		
200	135	8.79	14.56	85.44		
FONDO	7.2	0.47	15.03			
TOTALES	230.8	15.03				
FONDO	1314.8	85.63	100.19			
TOTALES	1538.4	100.66				

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO: AGREGADO FINO (AASHTO T-11/ ASTM C-117)						
TIPO DE MUESTRA	SUELO DE SUBRASANTE					
PROCEDENCIA DE LA MUESTRA: UES FMO						
ID DE LA MUESTRA	PCA-05					
FECHA DE MUESTREO:				MUESTREADO POR: GRUPO DE TESIS		
FECHA DE ENSAYO: 28-07-16				ENSAYADO POR: GRUPO DE TESIS		
CORRECCIÓN POR HUMEDAD						
TARA (g) A	206.7		PESO SECO (g) E= D-A		910.8	
PESO HÚMEDO + TARA (g) B	1206.7		PESO DE AGUA (g) F=B-D		89.2	
PESO HÚMEDO (g) C	1000		% DE AGUA $G=100 \times (F/E)$		9.79358805	
PESO SECO + TARA (g) D	1117.5		PESO DE MUESTRA SECA CORREGIDA			
MATERIAL ANTES DEL LAVADO		MATERIAL LAVADO		Revestimiento de material (menor a 75 µm (N° 200) adherido al agregado después del primer tamizado en seco		
				UNIDADES	g	%
Peso Bruto Seco (g)	1117.5	Peso Seco Lavado + tara (g)	367	cálculo del pasante de la malla 75 µm (N° 200) por lavado	750.5	82.4000878
Tara (g)	206.7	Peso Tara (g)	206.7	pasante de la malla 75 µm (N° 200) después de ser tamizado seco	5.7	0.62582345
Peso Seco Neto sin Lavar (g)	910.8	Peso Seco Neto Lavado (g)	160.3	Revestimiento adherido al agregado	756.2	83.0259113
Malla	peso	porcentaje	porcentaje	porcentaje	Especificación	
	Retenido parcial	Retenido parcial	Ret. Acumulado	que pasa	min.	máx.
3"	0	0.00	0.00	100.00		
3/4 "	0	0.00	0.00	100.00		
4	0.1	0.01	0.01	99.99		
10	1.6	0.18	0.19	99.81		
40	26.9	2.95	3.14	96.86		
200	125.3	13.76	16.90	83.10		
FONDO	5.7	0.63	17.52			
TOTALES	159.6	17.52				
FONDO	756.2	83.03	99.92			
TOTALES	910.1	100.55				

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO: AGREGADO FINO (AASHTO T-11/ ASTM C-117)						
TIPO DE MUESTRA	SUELO DE SUBRASANTE					
PROCEDENCIA DE LA MUESTRA: UES FMO						
ID DE LA MUESTRA	PCA-08					
FECHA DE MUESTREO:				MUESTREADO POR: GRUPO DE TESIS		
FECHA DE ENSAYO: 08-08-16				ENSAYADO POR: GRUPO DE TESIS		
CORRECCIÓN POR HUMEDAD						
TARA (g) A	252.6	PESO SECO (g) E= D-A			868.2	
PESO HÚMEDO + TARA (g) B	1252.6	PESO DE AGUA (g) F=B-D			131.8	
PESO HÚMEDO (g) C	1000	% DE AGUA $G=100 \times (F/E)$			15.1808339	
PESO SECO + TARA (g) D	1120.8	PESO DE MUESTRA SECA CORREGIDA				
MATERIAL ANTES DEL LAVADO		MATERIAL LAVADO		Revestimiento de material (menor a 75 µm (N° 200) adherido al agregado después del primer tamizado en seco		
				UNIDADES	g	%
Peso Bruto Seco (g)	1120.8	Peso Seco Lavado + tara (g)	421.5	cálculo del pasante de la malla 75 µm (N° 200) por lavado	699.3	80.5459572
Tara (g)	252.6	Peso Tara (g)	252.6	pasante de la malla 75 µm (N° 200) después de ser tamizado seco	3.4	0.39161484
Peso Seco Neto sin Lavar (g)	868.2	Peso Seco Neto Lavado (g)	168.9	Revestimiento adherido al agregado	702.7	80.937572
Malla	peso	porcentaje	porcentaje	porcentaje	Especificación	
	Retenido parcial	Retenido parcial	Ret. Acumulado	que pasa	min.	máx.
3"	0	0.00	0.00	100.00		
3/4 "	0	0.00	0.00	100.00		
4	9.4	1.08	1.08	98.92		
10	29	3.34	4.42	95.58		
40	53.8	6.20	10.62	89.38		
200	73.1	8.42	19.04	80.96		
FONDO	3.4	0.39	19.43			
TOTALES	168.7	19.43				
FONDO	702.7	80.94	99.98			
TOTALES	868	100.37				

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO: AGREGADO FINO (AASHTO T-11/ ASTM C-117)						
TIPO DE MUESTRA	SUELO DE SUBRASANTE					
PROCEDENCIA DE LA MUESTRA: UES FMO						
ID DE LA MUESTRA	PCA-09					
FECHA DE MUESTREO:				MUESTREADO POR: GRUPO DE TESIS		
FECHA DE ENSAYO: 16-08-16				ENSAYADO POR: GRUPO DE TESIS		
CORRECCIÓN POR HUMEDAD						
TARA (g) A	184.2		PESO SECO (g) E= D-A		893.6	
PESO HÚMEDO + TARA (g) B	1184.2		PESO DE AGUA (g) F=B-D		106.4	
PESO HÚMEDO (g) C	1000		% DE AGUA $G=100x(F/E)$		11.9068935	
PESO SECO + TARA (g) D	1077.8		PESO DE MUESTRA SECA CORREGIDA			
MATERIAL ANTES DEL LAVADO		MATERIAL LAVADO		Revestimiento de material (menor a 75 µm (N° 200) adherido al agregado después del primer tamizado en seco		
				UNIDADES	g	%
Peso Bruto Seco (g)	1077.8	Peso Seco Lavado + tara (g)	259.1	cálculo del pasante de la malla 75 µm (N° 200) por lavado	818.7	91.6181737
Tara (g)	184.2	Peso Tara (g)	184.2	pasante de la malla 75 µm (N° 200) después de ser tamizado seco	0.7	0.07833483
Peso Seco Neto sin Lavar (g)	893.6	Peso Seco Neto Lavado (g)	74.9	Revestimiento adherido al agregado	819.4	91.6965085
Malla	peso	porcentaje	porcentaje	porcentaje	Especificación	
	Retenido parcial	Retenido parcial	Ret. Acumulado	que pasa	min.	máx.
3"	0	0.00	0.00	100.00		
3/4 "	0	0.00	0.00	100.00		
4	2.8	0.31	0.31	99.69		
10	11.9	1.33	1.65	98.35		
40	27.8	3.11	4.76	95.24		
200	32.1	3.59	8.35	91.65		
FONDO	0.7	0.08	8.43			
TOTALES	75.3	8.43				
FONDO	819.4	91.70	100.04			
TOTALES	894	100.12				

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO: AGREGADO FINO (AASHTO T-11/ ASTM C-117)						
TIPO DE MUESTRA	SUELO DE SUBRASANTE					
PROCEDENCIA DE LA MUESTRA: UES FMO						
ID DE LA MUESTRA	PCA-12					
FECHA DE MUESTREO:				MUESTREADO POR: GRUPO DE TESIS		
FECHA DE ENSAYO: 23-08-16				ENSAYADO POR: GRUPO DE TESIS		
CORRECCIÓN POR HUMEDAD						
TARA (g) A	184.6	PESO SECO (g) E= D-A			930.3	
PESO HÚMEDO + TARA (g) B	1184.6	PESO DE AGUA (g) F=B-D			69.7	
PESO HÚMEDO (g) C	1000	% DE AGUA $G=100 \times (F/E)$			7.49220682	
PESO SECO + TARA (g) D	1114.9	PESO DE MUESTRA SECA CORREGIDA				
MATERIAL ANTES DEL LAVADO		MATERIAL LAVADO		Revestimiento de material (menor a 75 µm (N° 200) adherido al agregado después del primer tamizado en seco		
				UNIDADES	g	%
Peso Bruto Seco (g)	1114.9	Peso Seco Lavado + tara (g)	366.1	cálculo del pasante de la malla 75 µm (N° 200) por lavado	748.8	80.4901645
Tara (g)	184.6	Peso Tara (g)	184.6	pasante de la malla 75 µm (N° 200) después de ser tamizado seco	2.5	0.26873052
Peso Seco Neto sin Lavar (g)	930.3	Peso Seco Neto Lavado (g)	181.5	Revestimiento adherido al agregado	751.3	80.758895
Malla	peso	porcentaje	porcentaje	porcentaje	Especificación	
	Retenido parcial	Retenido parcial	Ret. Acumulado	que pasa	min.	máx.
3"	0	0.00	0.00	100.00		
3/4 "	0	0.00	0.00	100.00		
4	0.8	0.09	0.09	99.91		
10	10.2	1.10	1.18	98.82		
40	67.3	7.23	8.42	91.58		
200	102.1	10.97	19.39	80.61		
FONDO	2.5	0.27	19.66			
TOTALES	182.9	19.66				
FONDO	751.3	80.76	100.15			
TOTALES	931.7	100.42				

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO: AGREGADO FINO (AASHTO T-11/ ASTM C-117)						
TIPO DE MUESTRA	SUELO DE SUBRASANTE					
PROCEDENCIA DE LA MUESTRA: UES FMO						
ID DE LA MUESTRA	CA-01					
FECHA DE MUESTREO:				MUESTREADO POR: GRUPO DE TESIS		
FECHA DE ENSAYO: 19-09-16				ENSAYADO POR: GRUPO DE TESIS		
CORRECCIÓN POR HUMEDAD						
TARA (g) A	224.8		PESO SECO (g) E= D-A		902.8	
PESO HÚMEDO + TARA (g) B	1224.8		PESO DE AGUA (g) F=B-D		97.2	
PESO HÚMEDO (g) C	1000		% DE AGUA $G=100 \times (F/E)$		10.7665042	
PESO SECO + TARA (g) D	1127.6		PESO DE MUESTRA SECA CORREGIDA			
MATERIAL ANTES DEL LAVADO		MATERIAL LAVADO		Revestimiento de material (menor a 75 μm (N° 200) adherido al agregado después del primer tamizado en seco		
				UNIDADES	g	%
Peso Bruto Seco (g)	1127.6	Peso Seco Lavado + tara (g)	351.9	cálculo del pasante de la malla 75 μm (N° 200) por lavado	775.7	85.9215773
Tara (g)	224.8	Peso Tara (g)	224.8	pasante de la malla 75 μm (N° 200) después de ser tamizado seco	3.2	0.35445281
Peso Seco Neto sin Lavar (g)	902.8	Peso Seco Neto Lavado (g)	127.1	Revestimiento adherido al agregado	778.9	86.2760301
Malla	peso	porcentaje	porcentaje	porcentaje	Especificación	
	Retenido parcial	Retenido parcial	Ret. Acumulado	que pasa	min.	máx.
3"	0	0.00	0.00	100.00		
3/4 "	0	0.00	0.00	100.00		
4	3.4	0.38	0.38	99.62		
10	11	1.22	1.60	98.40		
40	38.5	4.26	5.86	94.14		
200	73.1	8.10	13.96	86.04		
FONDO	3.2	0.35	14.31			
TOTALES	129.2	14.31				
FONDO	778.9	86.28	100.23			
TOTALES	904.9	100.59				

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO: AGREGADO FINO (AASHTO T-11/ ASTM C-117)						
TIPO DE MUESTRA	SUELO DE SUBRASANTE					
PROCEDENCIA DE LA MUESTRA: UES FMO						
ID DE LA MUESTRA	CA-02					
FECHA DE MUESTREO:				MUESTREADO POR: GRUPO DE TESIS		
FECHA DE ENSAYO: 20-09-16				ENSAYADO POR: GRUPO DE TESIS		
CORRECCIÓN POR HUMEDAD						
TARA (g) A	219.4	PESO SECO (g) E= D-A		868.5		
PESO HÚMEDO + TARA (g) B	1219.4	PESO DE AGUA (g) F=B-D		131.5		
PESO HÚMEDO (g) C	1000	% DE AGUA $G=100 \times (F/E)$		15.1410478		
PESO SECO + TARA (g) D	1087.9	PESO DE MUESTRA SECA CORREGIDA				
MATERIAL ANTES DEL LAVADO		MATERIAL LAVADO		Revestimiento de material (menor a 75 μm (N° 200) adherido al agregado después del primer tamizado en seco		
				UNIDADES	g	%
Peso Bruto Seco (g)	1087.9	Peso Seco Lavado + tara (g)	720.7	cálculo del pasante de la malla 75 μm (N° 200) por lavado	367.2	42.2797927
Tara (g)	219.4	Peso Tara (g)	219.4	pasante de la malla 75 μm (N° 200) después de 1er tamizado seco	8.3	0.9556707
Peso Seco Neto sin Lavar (g)	868.5	Peso Seco Neto Lavado (g)	501.3	Revestimiento adherido al agregado	375.5	43.2354634
Malla	peso	porcentaje	porcentaje	porcentaje	Especificación	
	Retenido parcial	Retenido parcial	Ret. Acumulado	que pasa	min.	máx.
3"	0	0.00	0.00	100.00		
3/4 "	0	0.00	0.00	100.00		
4	45.2	5.20	5.20	94.80		
10	115.3	13.28	18.48	81.52		
40	178.7	20.58	39.06	60.94		
200	117.5	13.53	52.58	47.42		
FONDO	8.3	0.96	53.54			
TOTALES	465	53.54				
FONDO	375.5	43.24	95.82			
TOTALES	832.2	96.78				

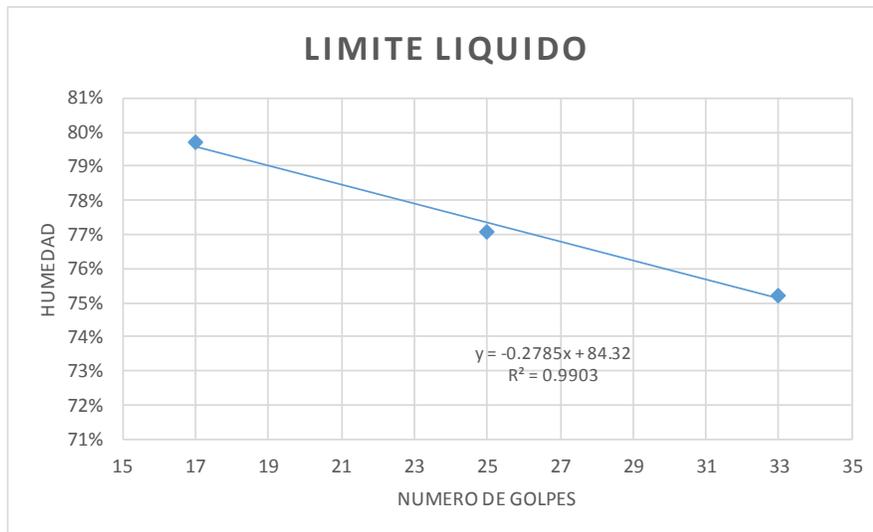
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO: AGREGADO FINO (AASHTO T-11/ ASTM C-117)						
TIPO DE MUESTRA	SUELO DE SUBRASANTE					
PROCEDENCIA DE LA MUESTRA: UES FMO						
ID DE LA MUESTRA	CA-03					
FECHA DE MUESTREO:				MUESTREADO POR: GRUPO DE TESIS		
FECHA DE ENSAYO: 20-09-16				ENSAYADO POR: GRUPO DE TESIS		
CORRECCIÓN POR HUMEDAD						
TARA (g) A	228.5	PESO SECO (g) E= D-A			831.8	
PESO HÚMEDO + TARA (g) B	1228.5	PESO DE AGUA (g) F=B-D			168.2	
PESO HÚMEDO (g) C	1000	% DE AGUA $G=100 \times (F/E)$			20.221207	
PESO SECO + TARA (g) D	1060.3	PESO DE MUESTRA SECA CORREGIDA				
MATERIAL ANTES DEL LAVADO		MATERIAL LAVADO		Revestimiento de material (menor a 75 μm (N° 200) adherido al agregado despues del primer tamizado en seco		
				UNIDADES	g	%
Peso Bruto Seco (g)	1060.3	Peso Seco Lavado + tara (g)	637.9	cálculo del pasante de la malla 75 μm (N° 200) por lavado	422.4	50.7814378
Tara (g)	228.5	Peso Tara (g)	228.5	pasante de la malla 75 μm (N° 200) después de ser tamizado seco	8.7	1.0459245
Peso Seco Neto sin Lavar (g)	831.8	Peso Seco Neto Lavado (g)	409.4	Revestimiento adherido al agregado	431.1	51.8273623
Malla	peso	porcentaje	porcentaje	porcentaje	Especificación	
	Retenido parcial	Retenido parcial	Ret. Acumulado	que pasa	min.	máx.
3"	0	0.00	0.00	100.00		
3/4 "	0	0.00	0.00	100.00		
4	50.9	6.12	6.12	93.88		
10	65.6	7.89	14.01	85.99		
40	194.5	23.38	37.39	62.61		
200	93.5	11.24	48.63	51.37		
FONDO	8.7	1.05	49.68			
TOTALES	413.2	49.68				
FONDO	431.1	51.83	100.46			
TOTALES	835.6	101.50				

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO: AGREGADO FINO (AASHTO T-11/ ASTM C-117)						
TIPO DE MUESTRA	SUELO DE SUBRASANTE					
PROCEDENCIA DE LA MUESTRA: UES FMO						
ID DE LA MUESTRA	CA-04					
FECHA DE MUESTREO:				MUESTREADO POR: GRUPO DE TESIS		
FECHA DE ENSAYO: 20-09-16				ENSAYADO POR: GRUPO DE TESIS		
CORRECCIÓN POR HUMEDAD						
TARA (g) A	190.3	PESO SECO (g) E= D-A		909.7		
PESO HÚMEDO + TARA (g) B	1190.3	PESO DE AGUA (g) F=B-D		90.3		
PESO HÚMEDO (g) C	1000	% DE AGUA $G=100 \times (F/E)$		9.92634935		
PESO SECO + TARA (g) D	1100	PESO DE MUESTRA SECA CORREGIDA				
MATERIAL ANTES DEL LAVADO		MATERIAL LAVADO		Revestimiento de material (menor a 75 μm (N° 200) adherido al agregado despues del primer tamizado en seco		
				UNIDADES	g	%
Peso Bruto Seco (g)	1100	Peso Seco Lavado + tara (g)	320.1	cálculo del pasante de la malla 75 μm (N° 200) por lavado	779.9	85.7315599
Tara (g)	190.3	Peso Tara (g)	190.3	pasante de la malla 75 μm (N° 200) depués de 1er tamizado seco	3.1	0.34077168
Peso Seco Neto sin Lavar (g)	909.7	Peso Seco Neto Lavado (g)	129.8	Revestimiento adherido al agregado	783	86.0723315
Malla	peso	porcentaje	porcentaje	porcentaje	Especificación	
	Retenido parcial	Retenido parcial	Ret. Acumulado	que pasa	min.	máx.
3"	0	0.00	0.00	100.00		
3/4 "	0	0.00	0.00	100.00		
4	1.1	0.12	0.12	99.88		
10	4.1	0.45	0.57	99.43		
40	41.5	4.56	5.13	94.87		
200	80.2	8.82	13.95	86.05		
FONDO	3.1	0.34	14.29			
TOTALES	130	14.29				
FONDO	783	86.07	100.02			
TOTALES	909.9	100.36				

Anexo B. Ensayos de Límites de Consistencia

PCA: PCA-01
 PROYECTO: COMPARATIVA CBR vrs Mr
 LABORATORISTA: GRUPO DE TESIS
 MATERIAL: ARCILLA
 FECHA: 26/07/2016

ENSAYO N°	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO		
	G	F	J	B	N	1
Recipiente	G	F	J	B	N	1
Golpes	25	33	17			
P. Suelo w + Recip (g)	29.0205	28.8041	30.0947	27.2871	25.3621	28.0731
P. suelo s + Recip (g)	25.5277	25.6477	26.2468	25.4535	24.1311	25.9484
P. Agua	3.4928	3.1564	3.8479	1.8336	1.231	2.1247
Peso de Recip (g)	20.9976	21.4535	21.4196	21.2412	21.2434	21.2989
P. suelo Seco	4.5301	4.1942	4.8272	4.2123	2.8877	4.6495
Humedad (%)	77.10	75.26	79.71	43.53	42.63	45.70



$$y = Ax + B$$

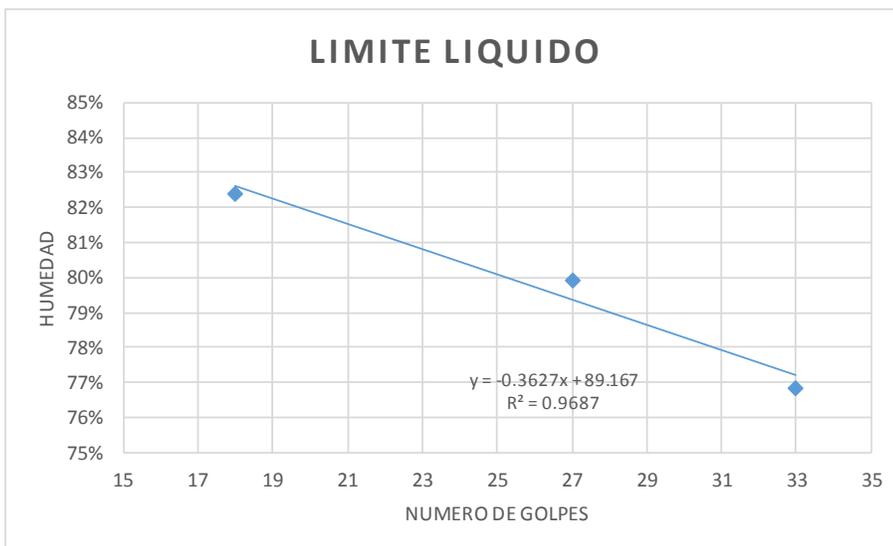
$$A = -0.2758$$

$$B = 84.32$$

LÍMITE LÍQUIDO	77.43
LÍMITE PLÁSTICO	43.95
ÍNDICE PLÁSTICO	33.47

PCA: PCA-02
 PROYECTO: COMPARATIVA CBR vrs Mr
 LABORATORISTA: GRUPO DE TESIS
 MATERIAL: ARCILLA
 FECHA: 26/07/2016

ENSAYO N°	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO		
	O	L	K	H	M	E
Recipiente						
Golpes	18	27	33			
P. Suelo w + Recip (g)	31.9172	32.93	32.2705	24.0711	26.9761	25.2861
P. suelo s + Recip (g)	27.0418	27.7902	27.4798	23.1594	25.3452	23.983
P. Agua	4.8754	5.1398	4.7907	0.9117	1.6309	1.3031
Peso de Recip (g)	21.126	21.3606	21.2468	21.4083	21.4736	21.2488
P. suelo Seco	5.9158	6.4296	6.233	1.7511	3.8716	2.7342
Humedad (%)	82.41	79.94	76.86	52.06	42.12	47.66



$$y = Ax + B$$

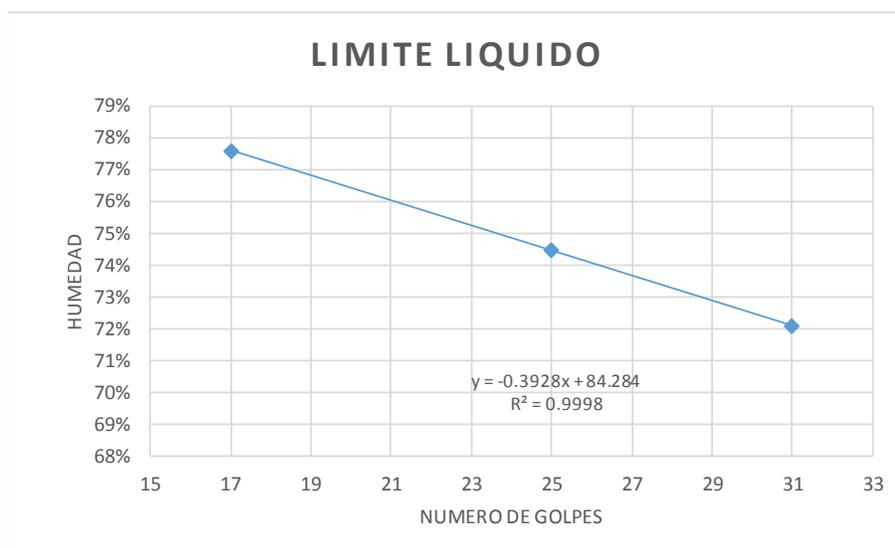
$$A = -0.3627$$

$$B = 89.167$$

LÍMITE LÍQUIDO	80.10
LÍMITE PLÁSTICO	47.28
ÍNDICE PLÁSTICO	32.82

PCA: PCA-03
 PROYECTO: COMPARATIVA CBR vrs Mr
 LABORATORISTA: GRUPO DE TESIS
 MATERIAL: ARCILLA
 FECHA: 27/07/2016

ENSAYO N°	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO		
	G	F	P	B	N	1
Recipiente						
Golpes	17	31	25			
P. Suelo w + Recip (g)	28.2311	29.3476	31.6818	26.6699	27.6965	27.3553
P. suelo s + Recip (g)	25.0708	26.0409	27.2677	25.8781	25.9324	25.5317
P. Agua	3.1603	3.3067	4.4141	0.7918	1.7641	1.8236
Peso de Recip (g)	20.9976	21.4535	21.3434	21.2412	21.2434	21.2989
P. suelo Seco	4.0732	4.5874	5.9243	4.6369	4.689	4.2328
Humedad (%)	77.59	72.08	74.51	17.08	37.62	43.08



$$y = Ax + B$$

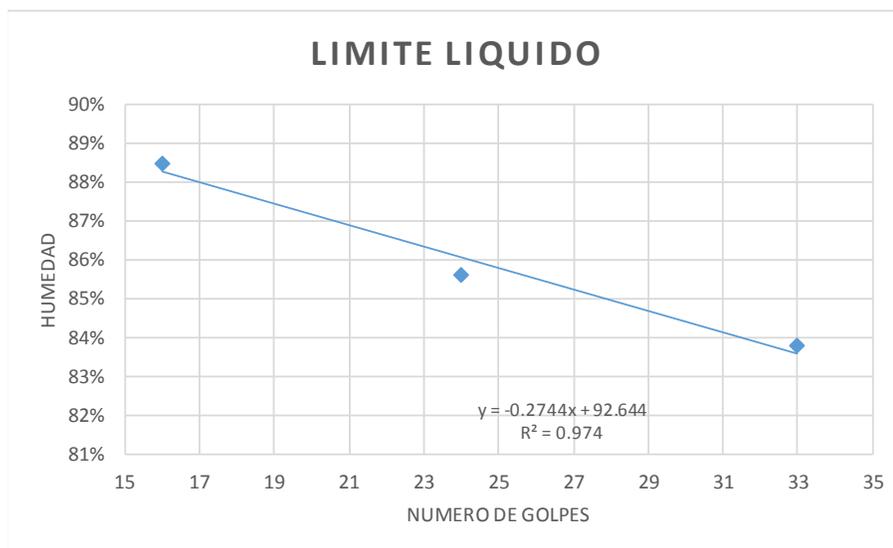
$$A = -0.3926$$

$$B = 84.29$$

LÍMITE LÍQUIDO	74.48
LÍMITE PLÁSTICO	32.59
ÍNDICE PLÁSTICO	41.88

PCA: PCA-04
 PROYECTO: COMPARATIVA CBR vrs Mr
 LABORATORISTA: GRUPO DE TESIS
 MATERIAL: ARCILLA
 FECHA: 28/07/2016

ENSAYO N°	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO		
	H	E	M	K	L	A
Recipiente						
Golpes	24	16	33			
P. Suelo w + Recip (g)	30.1578	29.7388	29.9418	30.0926	28.869	25.6961
P. suelo s + Recip (g)	26.122	25.7531	26.081	27.3514	26.6327	24.4448
P. Agua	4.0358	3.9857	3.8608	2.7412	2.2363	1.2513
Peso de Recip (g)	21.4083	21.2488	21.4736	21.2468	21.3606	21.2682
P. suelo Seco	4.7137	4.5043	4.6074	6.1046	5.2721	3.1766
Humedad (%)	85.62	88.49	83.80	44.90	42.42	39.39



$$y = Ax + B$$

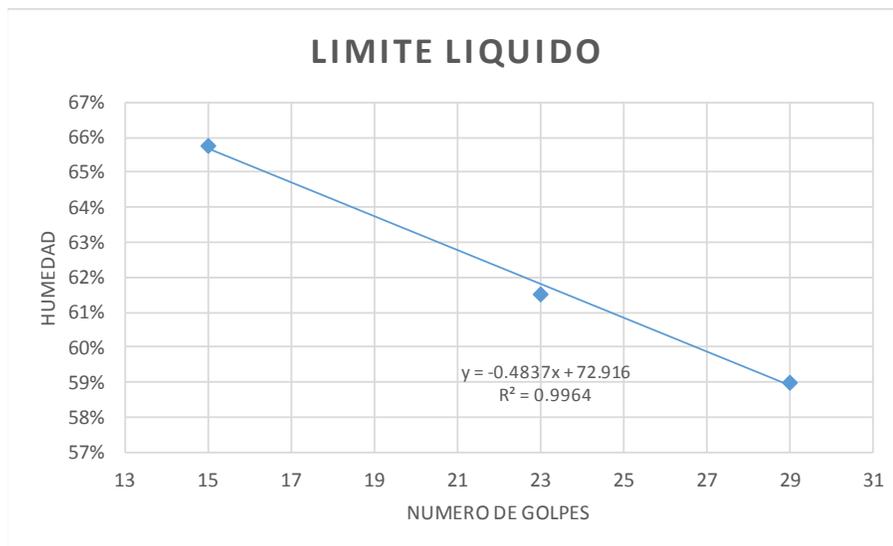
$$A = -0.2744$$

$$B = 92.644$$

LÍMITE LÍQUIDO	85.78
LÍMITE PLÁSTICO	42.24
ÍNDICE PLÁSTICO	43.55

PCA: PCA-05
 PROYECTO: COMPARATIVA CBR vrs Mr
 LABORATORISTA: GRUPO DE TESIS
 MATERIAL: ARCILLA
 FECHA: 02/08/2016

ENSAYO N°	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO		
	J	R	F	N	1	B
Recipiente	J	R	F	N	1	B
Golpes	15	23	29			
P. Suelo w + Recip (g)	29.3584	31.4396	30.7196	25.4373	25.0003	26.2093
P. suelo s + Recip (g)	26.2089	27.5789	27.2804	24.4216	24.1157	25.0231
P. Agua	3.1495	3.8607	3.4392	1.0157	0.8846	1.1862
Peso de Recip (g)	21.4196	21.3072	21.4535	21.2434	21.2989	21.2412
P. suelo Seco	4.7893	6.2717	5.8269	3.1782	2.8168	3.7819
Humedad (%)	65.76	61.56	59.02	31.96	31.40	31.37



$$y = Ax + B$$

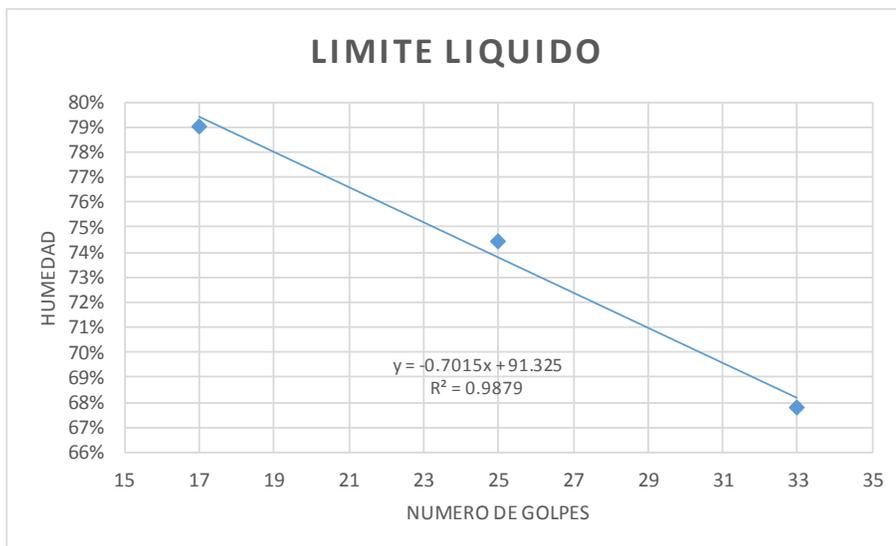
$$A = -0.4837$$

$$B = 72.916$$

LÍMITE LÍQUIDO	60.82
LÍMITE PLÁSTICO	31.58
ÍNDICE PLÁSTICO	29.25

PCA: PCA-08
 PROYECTO: COMPARATIVA CBR vrs Mr
 LABORATORISTA: GRUPO DE TESIS
 MATERIAL: ARCILLA
 FECHA: 10/08/2016

ENSAYO N°	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO		
	A	B	E	H	J	K
Recipiente	A	B	E	H	J	K
Golpes	33	17	25			
P. Suelo w + Recip (g)	31.0114	30.9864	28.4796	24.4548	23.451	24.8807
P. suelo s + Recip (g)	27.0759	26.6853	25.3943	23.4776	22.8235	23.7174
P. Agua	3.9355	4.3011	3.0853	0.9772	0.6275	1.1633
Peso de Recip (g)	21.2728	21.2437	21.2532	21.4078	21.4211	21.2483
P. suelo Seco	5.8031	5.4416	4.1411	2.0698	1.4024	2.4691
Humedad (%)	67.82	79.04	74.50	47.21	44.74	47.11



$$y = Ax + B$$

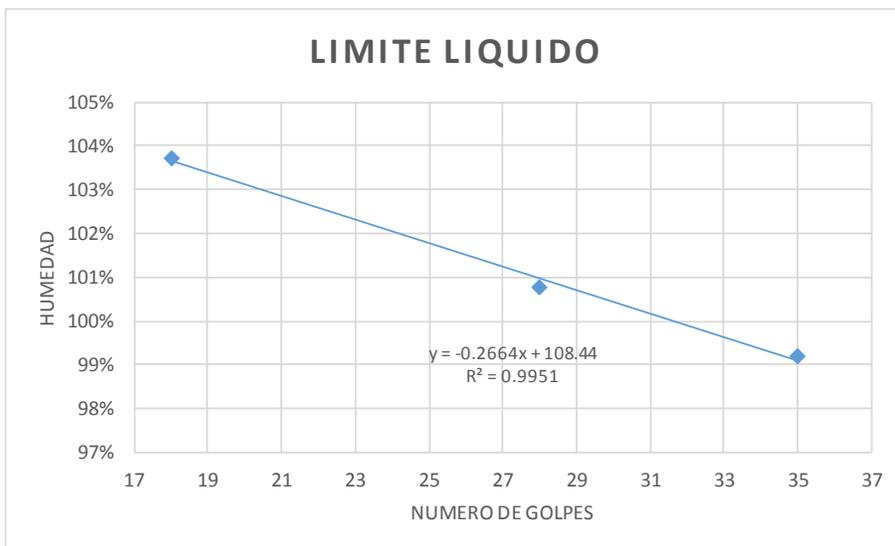
$$A = -0.7015$$

$$B = 91.325$$

LÍMITE LÍQUIDO	73.79
LÍMITE PLÁSTICO	46.36
ÍNDICE PLÁSTICO	27.43

PCA: PCA-09
 PROYECTO: COMPARATIVA CBR vrs Mr
 LABORATORISTA: GRUPO DE TESIS
 MATERIAL: ARCILLA
 FECHA: 16/08/2016

ENSAYO N°	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO		
	G	J	F	H	A	K
Recipiente	G	J	F	H	A	K
Golpes	28	35	18			
P. Suelo w + Recip (g)	28.7965	28.1738	28.5599	24.2653	23.1257	24.1354
P. suelo s + Recip (g)	24.8807	24.8082	24.9387	23.3222	22.5494	23.2052
P. Agua	3.9158	3.3656	3.6212	0.9431	0.5763	0.9302
Peso de Recip (g)	20.9958	21.4162	21.4473	21.4026	21.2682	21.2446
P. suelo Seco	3.8849	3.392	3.4914	1.9196	1.2812	1.9606
Humedad (%)	100.80	99.22	103.72	49.13	44.98	47.44



$$y = Ax + B$$

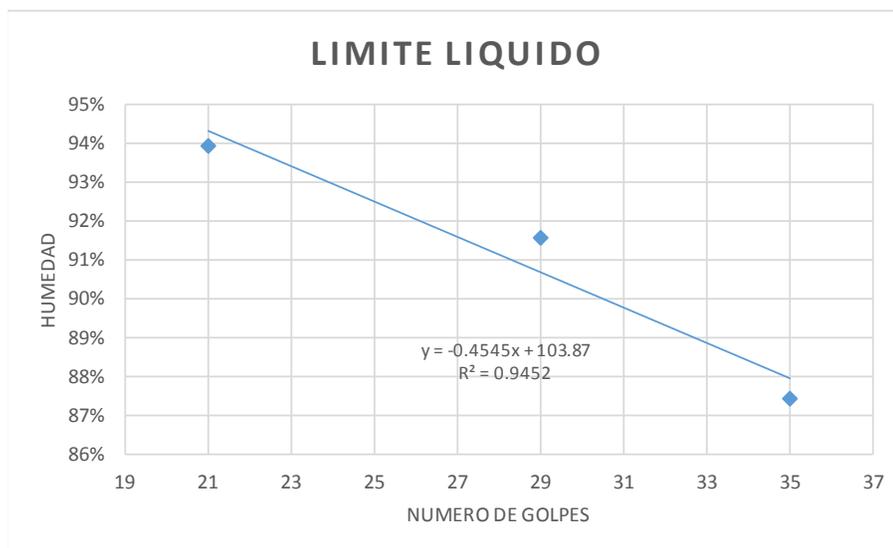
$$A = -0.2664$$

$$B = 108.44$$

LÍMITE LÍQUIDO	101.78
LÍMITE PLÁSTICO	47.19
ÍNDICE PLÁSTICO	54.59

PCA: PCA-12
 PROYECTO: COMPARATIVA CBR vrs Mr
 LABORATORISTA: GRUPO DE TESIS
 MATERIAL: ARCILLA
 FECHA: 19/08/2016

ENSAYO N°	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO		
	M	C	B	E	1	N
Recipiente	M	C	B	E	1	N
Golpes	21	29	35			
P. Suelo w + Recip (g)	29.2198	28.5585	28.7869	23.2326	23.6278	24.1303
P. suelo s + Recip (g)	25.4906	25.1327	25.266	22.6135	22.8963	23.1993
P. Agua	3.7292	3.4258	3.5209	0.6191	0.7315	0.931
Peso de Recip (g)	21.5209	21.3915	21.2399	21.2495	21.2945	21.2364
P. suelo Seco	3.9697	3.7412	4.0261	1.364	1.6018	1.9629
Humedad (%)	93.94	91.57	87.45	45.39	45.67	47.43



$$y = Ax + B$$

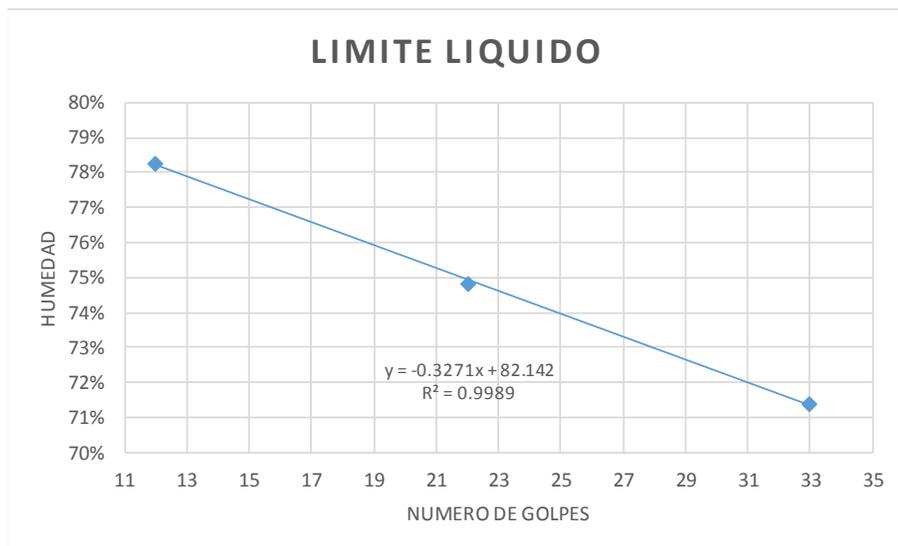
$$A = -0.4545$$

$$B = 103.87$$

LÍMITE LÍQUIDO	92.51
LÍMITE PLÁSTICO	46.16
ÍNDICE PLÁSTICO	46.35

PCA: CA-01
 PROYECTO: COMPARATIVA CBR vrs Mr
 LABORATORISTA: GRUPO DE TESIS
 MATERIAL: ARCILLA
 FECHA: 30/08/2016

ENSAYO N°	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO		
	R	F	J	K	P	A
Recipiente						
Golpes	12	33	22			
P. Suelo w + Recip (g)	28.051	28.5428	28.9104	24.5591	23.9628	24.3504
P. suelo s + Recip (g)	25.0896	25.5878	25.7052	23.6891	23.2844	23.5659
P. Agua	2.9614	2.955	3.2052	0.87	0.6784	0.7845
Peso de Recip (g)	21.3068	21.4498	21.421	21.2459	21.346	21.2682
P. suelo Seco	3.7828	4.138	4.2842	2.4432	1.9384	2.2977
Humedad (%)	78.29	71.41	74.81	35.61	35.00	34.14



$$y = Ax + B$$

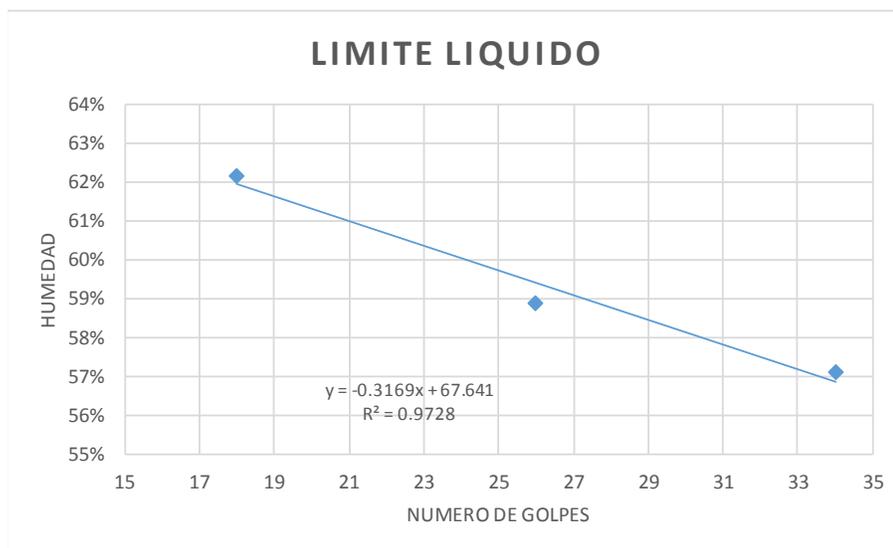
$$A = -0.3271$$

$$B = 82.142$$

LÍMITE LÍQUIDO	73.96
LÍMITE PLÁSTICO	34.92
ÍNDICE PLÁSTICO	39.05

PCA: CA-02
 PROYECTO: COMPARATIVA CBR vrs Mr
 LABORATORISTA: GRUPO DE TESIS
 MATERIAL: ARCILLA
 FECHA: 19/09/2016

ENSAYO N°	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO		
	N	E	F	1	K	M
Recipiente	N	E	F	1	K	M
Golpes	26	18	34			
P. Suelo w + Recip (g)	29.1948	29.7433	30.3872	24.9239	23.3392	23.95
P. suelo s + Recip (g)	26.2438	26.4869	27.1386	23.9109	22.7573	23.2542
P. Agua	2.951	3.2564	3.2486	1.013	0.5819	0.6958
Peso de Recip (g)	21.2346	21.25	21.4504	21.2926	21.2473	21.5152
P. suelo Seco	5.0092	5.2369	5.6882	2.6183	1.51	1.739
Humedad (%)	58.91	62.18	57.11	38.69	38.54	40.01



$$y = Ax + B$$

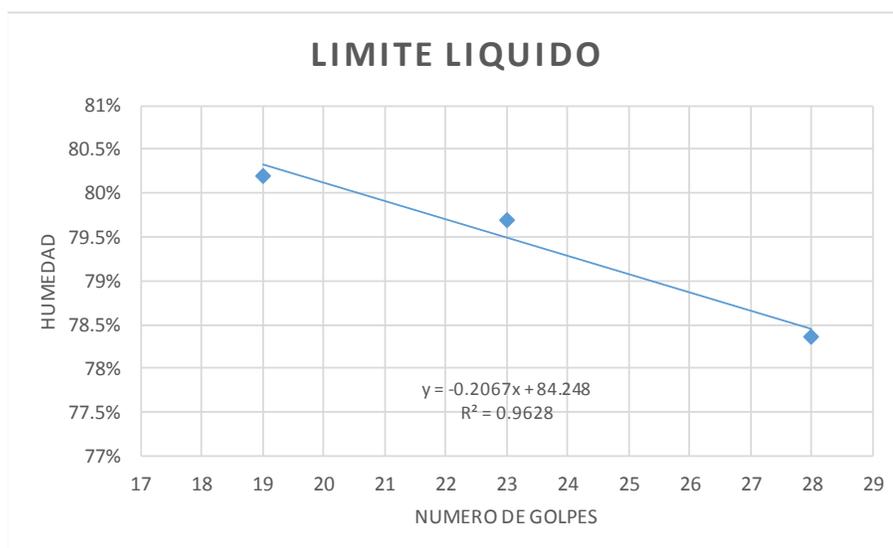
$$A = -0.3169$$

$$B = 67.641$$

LÍMITE LÍQUIDO	59.72
LÍMITE PLÁSTICO	39.08
ÍNDICE PLÁSTICO	20.64

PCA: CA-03
 PROYECTO: COMPARATIVA CBR vrs Mr
 LABORATORISTA: GRUPO DE TESIS
 MATERIAL: ARCILLA
 FECHA: 21/09/2016

ENSAYO N°	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO		
	P	A	B	G	O	J
Recipiente	P	A	B	G	O	J
Golpes	19	23	28			
P. Suelo w + Recip (g)	28.767	29.4895	29.466	22.9085	22.586	23.9252
P. suelo s + Recip (g)	25.4638	25.8428	25.8513	22.2667	22.1219	23.0949
P. Agua	3.3032	3.6467	3.6147	0.6418	0.4641	0.8303
Peso de Recip (g)	21.3453	21.2676	21.2388	20.9969	21.1306	21.4202
P. suelo Seco	4.1185	4.5752	4.6125	1.2698	0.9913	1.6747
Humedad (%)	80.20	79.71	78.37	50.54	46.82	49.58



$$y = Ax + B$$

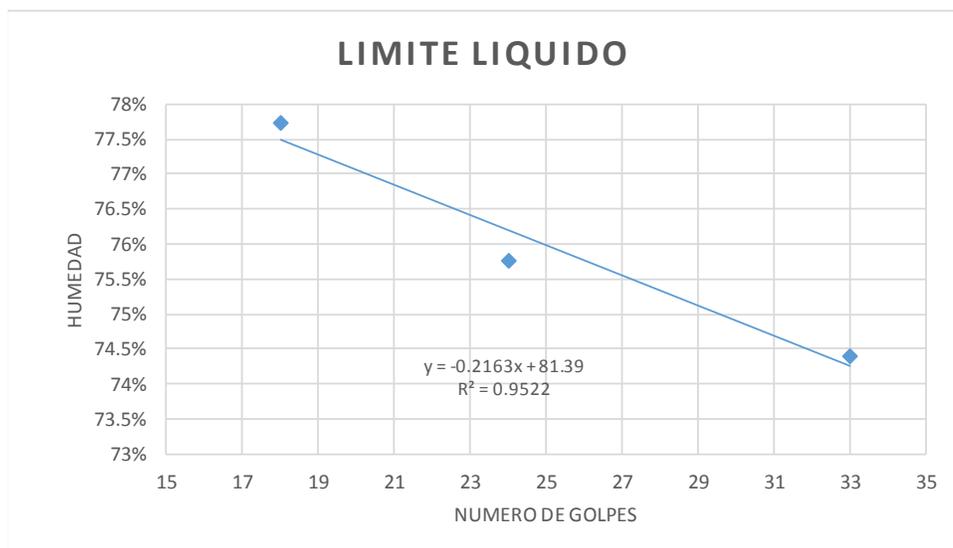
$$A = -0.2067$$

$$B = 84.248$$

LÍMITE LÍQUIDO	79.08
LÍMITE PLÁSTICO	48.98
ÍNDICE PLÁSTICO	30.10

PCA: CA-04
 PROYECTO: COMPARATIVA CBR vrs Mr
 LABORATORISTA: GRUPO DE TESIS
 MATERIAL: ARCILLA
 FECHA: 27/09/2016

ENSAYO N°	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO		
	A	R	J	O	P	L
Recipiente	A	R	J	O	P	L
Golpes	33	18	24			
P. Suelo w + Recip (g)	28.0852	28.3409	29.7958	23.4407	23.9166	24.5588
P. suelo s + Recip (g)	25.1766	25.2648	26.1854	22.859	23.2528	23.7358
P. Agua	2.9086	3.0761	3.6104	0.5817	0.6638	0.823
Peso de Recip (g)	21.2682	21.3083	21.421	21.1269	21.3403	21.3556
P. suelo Seco	3.9084	3.9565	4.7644	1.7321	1.9125	2.3802
Humedad (%)	74.42	77.75	75.78	33.58	34.71	34.58



$$y = Ax + B$$

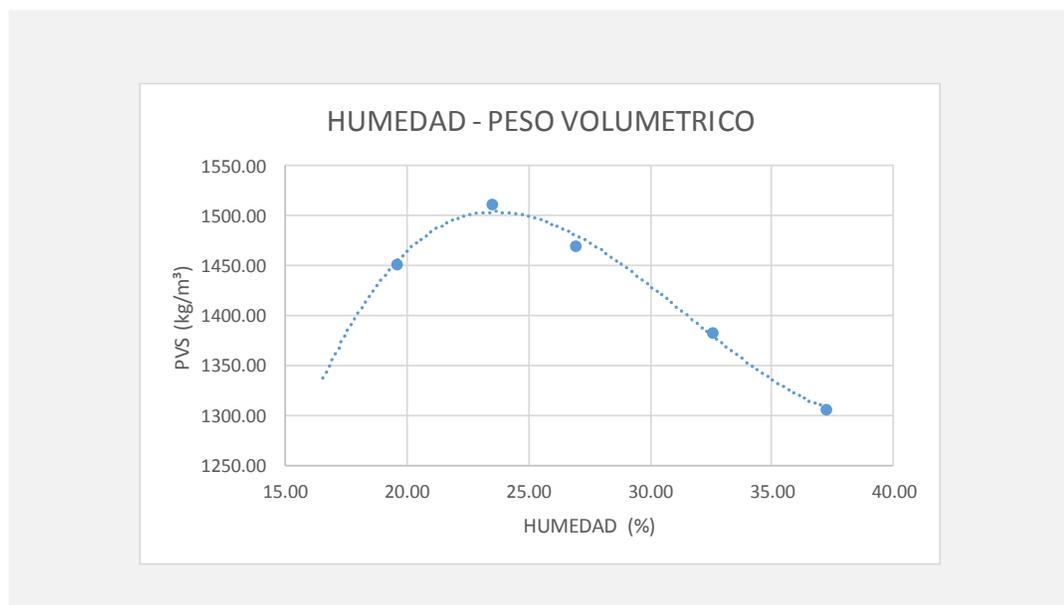
$$A = -0.2163$$

$$B = 81.39$$

LÍMITE LÍQUIDO	75.98
LÍMITE PLÁSTICO	34.29
ÍNDICE PLÁSTICO	41.69

PROCTOR MODIFICADO (AASHTO T-180)

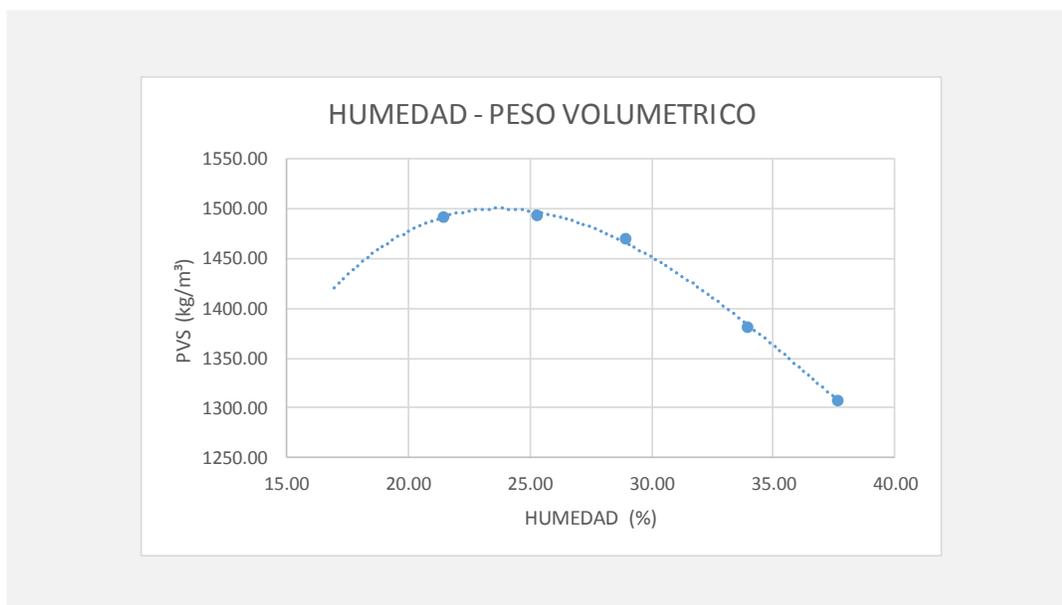
Proyecto:	Mr-CBR				
Material:	A-7-5				
Procedencia de la muestra:	PCA-02	MUESTRA No:	PCA-02		
Fecha de muestreo:	02/05/2016				
Fecha de ensayo:	20/07/2016				
	1	2	3	4	5
Agua Agregada cc:	275	375	475	575	675
% Humedad de prueba	11	15	19	23	27
Peso de muestra húmeda + molde	6160	6284	6284	6253	6214
Peso del Molde	4524	4524	4524	4524	4524
Peso Muestra Húmeda	1636	1760	1760	1729	1690
Capacidad del Molde	942.4	942.4	942.4	942.4	942.4
Peso Volumétrico Húmedo P.V.H	1735.99	1867.57	1867.57	1834.68	1793.29
Peso Volumétrico Seco P.V.S	1451.87	1512.11	1471.02	1383.96	1306.71
DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD					
TARA	102.5	139.2	139.2	69.7	119.4
PESO HUMEDO + TARA	402.5	439.2	439.2	369.7	419.4
PESO SECO + TARA	353.4	382.1	375.5	296	338
PESO DE AGUA	49.1	57.1	63.7	73.7	81.4
PESO SECO	250.9	242.9	236.3	226.3	218.6
% DE HUMEDAD	19.57	23.51	26.96	32.57	37.24



Humedad Óptima	24.00%
P.V.S Máximo	1504.86

PROCTOR MODIFICADO (AASHTO T-180)

Proyecto:	Mr-CBR				
Material:	A-7-5				
Procedencia de la muestra:	PCA-03	MUESTRA No:	PCA-03		
Fecha de muestreo:	06/05/2016				
Fecha de ensayo:	27/07/2016				
	1	2	3	4	5
Agua Agregada cc:	250	350	450	550	650
% Humedad de prueba	10	14	18	22	26
Peso de muestra húmeda + molde	6232	6288	6309	6268	6220
Peso del Molde	4524	4524	4524	4524	4524
Peso Muestra Húmeda	1708	1764	1785	1744	1696
Capacidad del Molde	942.4	942.4	942.4	942.4	942.4
Peso Volumétrico Húmedo P.V.H	1812.39	1871.82	1894.10	1850.59	1799.66
Peso Volumétrico Seco P.V.S	1492.20	1493.71	1469.19	1381.78	1307.15
DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD					
TARA	113.1	117.3	217.3	139	119
PESO HUMEDO + TARA	413.1	417.3	517.3	439	419
PESO SECO + TARA	360.1	356.7	450	363	336.9
PESO DE AGUA	53	60.6	67.3	76	82.1
PESO SECO	247	239.4	232.7	224	217.9
% DE HUMEDAD	21.46	25.31	28.92	33.93	37.68



Humedad Óptima

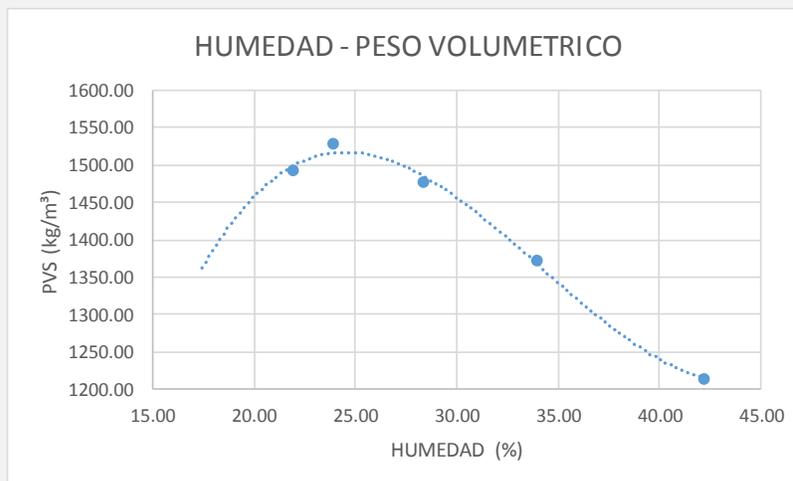
23.00%

P.V.S Máximo

1500

PROCTOR MODIFICADO (AASHTO T-180)

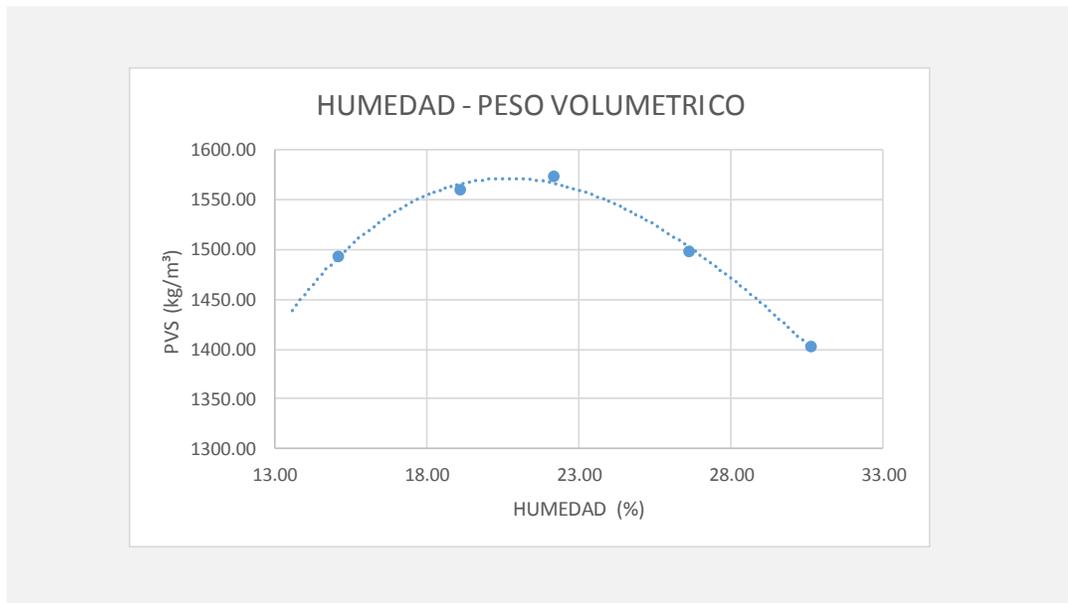
Proyecto:	Mr-CBR				
Material:	A-7-5				
Procedencia de la muestra:	PCA-04	MUESTRA No:	PCA-04		
Fecha de muestreo:	07/05/2016				
Fecha de ensayo:	09/09/2007				
	1	2	3	4	5
Agua Agregada cc:	250	350	450	550	650
% Humedad de prueba	10	14	18	22	6
Peso de muestra húmeda + molde	6308	6310	6255	6152	6240
Peso del Molde	4524	4524	4524	4524	4524
Peso Muestra Húmeda	1784	1786	1731	1628	1716
Capacidad del Molde	942.4	942.4	942.4	942.4	942.4
Peso Volumétrico Húmedo P.V.H	1893.04	1895.16	1836.80	1727.50	1820.88
Peso Volumétrico Seco P.V.S	1527.68	1476.33	1371.48	1215.01	1493.12
DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD					
TARA	115.1	117.3	117.3	217.3	138.6
PESO HUMEDO + TARA	415.1	417.3	417.3	517.3	438.6
PESO SECO + TARA	357.2	351	341.3	428.3	384.6
PESO DE AGUA	57.9	66.3	76	89	54
PESO SECO	242.1	233.7	224	211	246
% DE HUMEDAD	23.92	28.37	33.93	42.18	21.95



Humedad Óptima	25.00%
P.V.S Máximo	1530.18

PROCTOR MODIFICADO (AASHTO T-180)

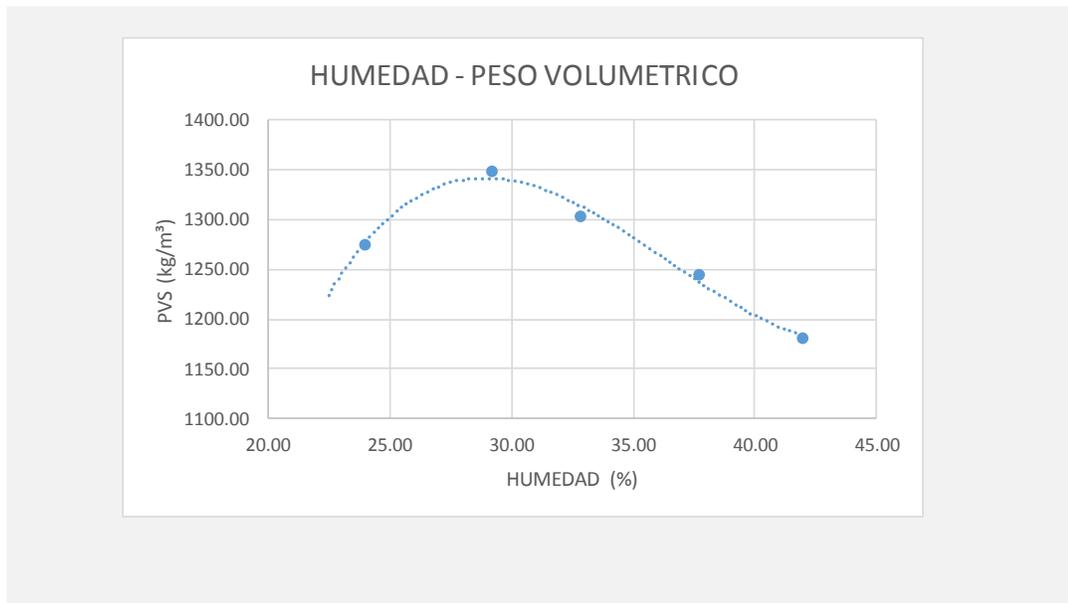
Proyecto:	Mr-CBR				
Material:	A-7-5				
Procedencia de la muestra:	PCA-05	MUESTRA No:	PCA-05		
Fecha de muestreo:	11/05/2016				
Fecha de ensayo:	09/09/2016				
	1	2	3	4	5
Agua Agregada cc:	300	400	500	100	200
% Humedad de prueba	12	16	20	4	8
Peso de muestra húmeda + molde	6335	6312	6250	6143	6275
Peso del Molde	4524	4524	4524	4524	4524
Peso Muestra Húmeda	1811	1788	1726	1619	1751
Capacidad del Molde	942.4	942.4	942.4	942.4	942.4
Peso Volumétrico Húmedo P.V.H	1921.69	1897.28	1831.49	1717.95	1858.02
Peso Volumétrico Seco P.V.S	1573.22	1498.22	1402.31	1492.90	1560.12
DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD					
TARA	138.7	138.7	138.7	219.5	138.8
PESO HUMEDO + TARA	438.7	438.7	438.7	519.5	438.8
PESO SECO + TARA	384.3	375.6	368.4	480.2	390.7
PESO DE AGUA	54.4	63.1	70.3	39.3	48.1
PESO SECO	245.6	236.9	229.7	260.7	251.9
% DE HUMEDAD	22.15	26.64	30.61	15.07	19.09



Humedad Óptima 21.00%
 P.V.S Máximo 1567

PROCTOR MODIFICADO (AASHTO T-180)

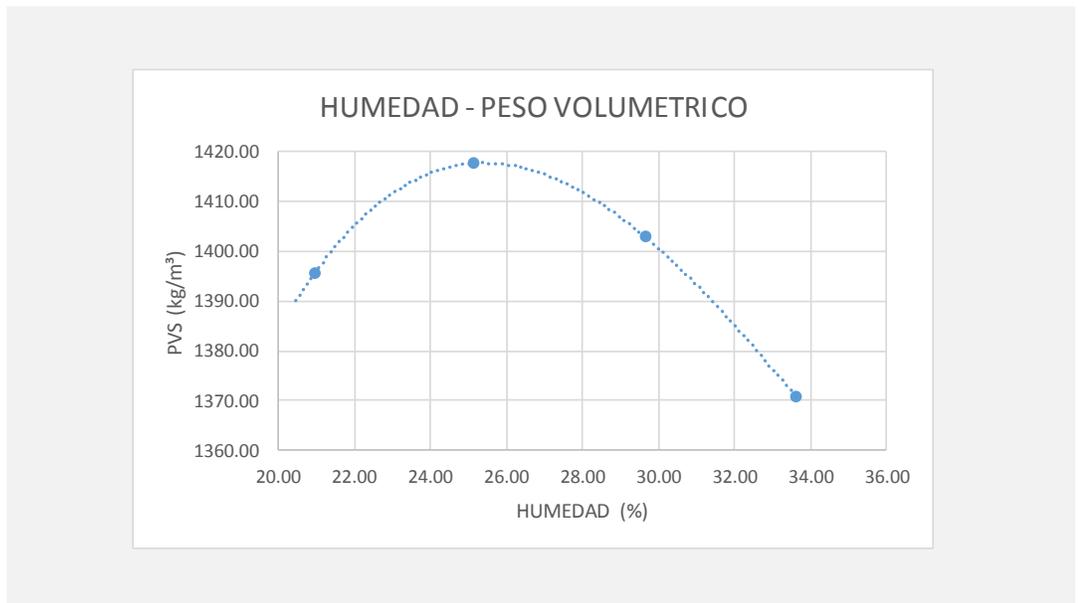
Proyecto:	Mr-CBR				
Material:	A-7-5				
Procedencia de la muestra:	PCA-08	MUESTRA No:	PCA-08		
Fecha de muestreo:	14/05/2016				
Fecha de ensayo:	10/08/2016				
	1	2	3	4	5
Agua Agregada cc:	200	300	400	500	600
% Humedad de prueba	8	12	16	20	24
Peso de muestra húmeda + molde	6013	6166	6155	6138	6105
Peso del Molde	4524	4524	4524	4524	4524
Peso Muestra Húmeda	1489	1642	1631	1614	1581
Capacidad del Molde	942.4	942.4	942.4	942.4	942.4
Peso Volumétrico Húmedo P.V.H	1580.01	1742.36	1730.69	1712.65	1677.63
Peso Volumétrico Seco P.V.S	1274.54	1348.44	1303.21	1243.95	1181.61
DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD					
TARA	118.8	115.2	102.7	117.5	70
PESO HUMEDO + TARA	418.8	402.7	402.7	417.5	370
PESO SECO + TARA	360.8	337.7	328.6	335.4	281.3
PESO DE AGUA	58	65	74.1	82.1	88.7
PESO SECO	242	222.5	225.9	217.9	211.3
% DE HUMEDAD	23.97	29.21	32.80	37.68	41.98



Humedad Óptima	28.92%
P.V.S Máximo	1341.92

PROCTOR MODIFICADO (AASHTO T-180)

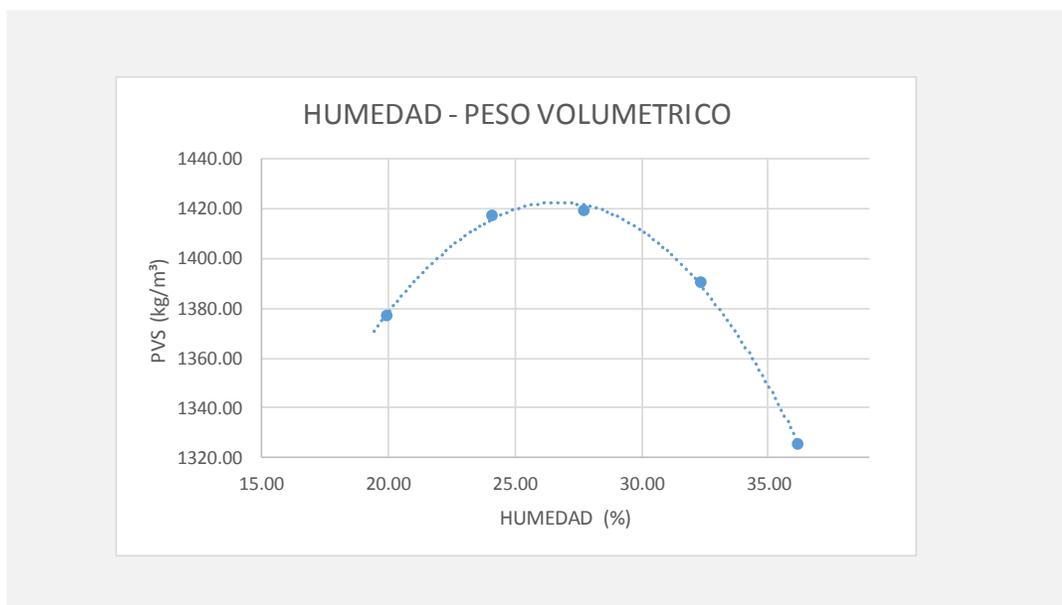
Proyecto:	Mr-CBR				
Material:	A-7-5				
Procedencia de la muestra:	PCA-09	MUESTRA No:	PCA-09		
Fecha de muestreo:	18/05/2016				
Fecha de ensayo:	17/08/2016				
	1	2	3	4	5
Agua Agregada cc:	200	300	400	500	600
% Humedad de prueba	8	12	16	20	24
Peso de muestra húmeda + molde	6115	6196	6238	6250	6190
Peso del Molde	4524	4524	4524	4524	4524
Peso Muestra Húmeda	1591	1672	1714	1726	1666
Capacidad del Molde	942.4	942.4	942.4	942.4	942.4
Peso Volumétrico Húmedo P.V.H	1688.24	1774.19	1818.76	1831.49	1767.83
Peso Volumétrico Seco P.V.S	1395.61	1417.58	1402.87	1370.87	
DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD					
TARA	216.9	114.5	117.1	118.8	116.9
PESO HUMEDO + TARA	516.9	414.5	417.1	418.8	416.9
PESO SECO + TARA	464.9	354.2	348.5	343.35	340.7
PESO DE AGUA	52	60.3	68.6	75.45	76.2
PESO SECO	248	239.7	231.4	224.55	223.8
% DE HUMEDAD	20.97	25.16	29.65	33.60	



Humedad Óptima	26.00%
P.V.S Máximo	1415.84

PROCTOR MODIFICADO (AASHTO T-180)

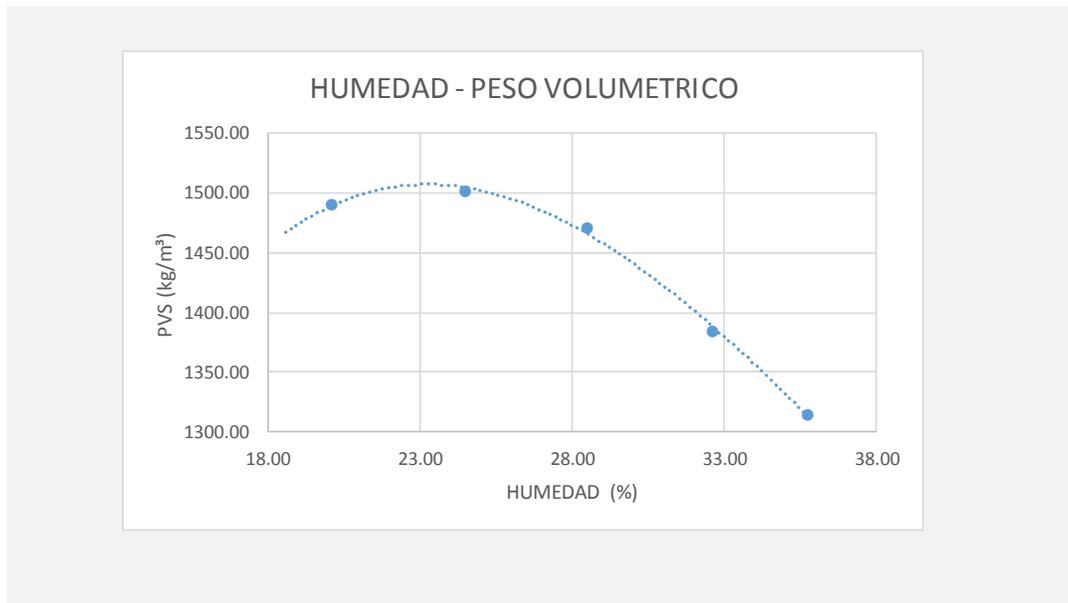
Proyecto:	Mr-CBR				
Material:	A-7-5				
Procedencia de la muestra:	PCA-12	MUESTRA No:	PCA-12		
Fecha de muestreo:	21/05/2016				
Fecha de ensayo:	23/008/2016				
	1	2	3	4	5
Agua Agregada cc:					
% Humedad de prueba	10	14	18	22	26
Peso de muestra húmeda + molde	6081	6181	6232	6258	6225
Peso del Molde	4524	4524	4524	4524	4524
Peso Muestra Húmeda	1557	1657	1708	1734	1701
Capacidad del Molde	942.4	942.4	942.4	942.4	942.4
Peso Volumétrico Húmedo P.V.H	1652.16	1758.28	1812.39	1839.98	1804.97
Peso Volumétrico Seco P.V.S	1377.35	1417.17	1419.10	1390.41	1325.45
DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD					
TARA	97.2	92.5	119.1	117.5	117.4
PESO HUMEDO + TARA	397.2	392.5	419.1	417.5	417.4
PESO SECO + TARA	347.3	334.3	354	344.2	337.7
PESO DE AGUA	49.9	58.2	65.1	73.3	79.7
PESO SECO	250.1	241.8	234.9	226.7	220.3
% DE HUMEDAD	19.95	24.07	27.71	32.33	36.18



Humedad Óptima	26.50%
P.V.S Máximo	1422.85

PROCTOR MODIFICADO (AASHTO T-180)

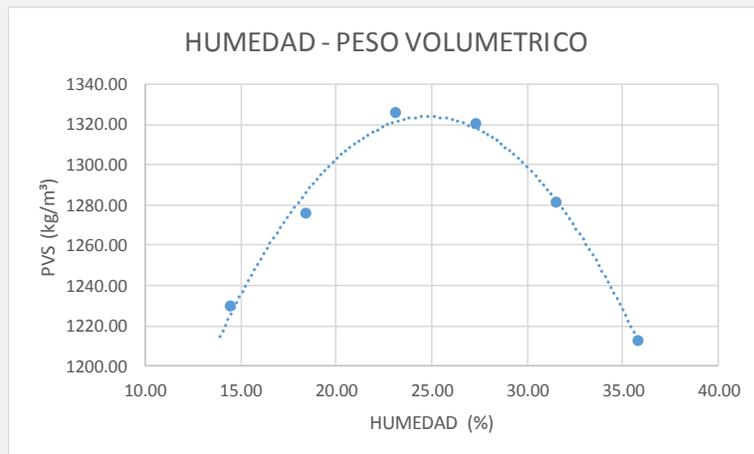
Proyecto:	Mr-CBR				
Material:	A-7-5				
Procedencia de la muestra:	CA1	MUESTRA No:	CA1		
Fecha de muestreo:	11/08/2016				
Fecha de ensayo:	05/09/2016				
	1	2	3	4	5
Agua Agregada cc:					
% Humedad de prueba	10	14	18	22	24
Peso de muestra húmeda + molde	6210	6285	6305	6254	6206
Peso del Molde	4524	4524	4524	4524	4524
Peso Muestra Húmeda	1686	1761	1781	1730	1682
Capacidad del Molde	942.4	942.4	942.4	942.4	942.4
Peso Volumétrico Húmedo P.V.H	1789.05	1868.63	1889.86	1835.74	1784.80
Peso Volumétrico Seco P.V.S	1489.68	1501.14	1470.94	1384.15	1314.81
DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD					
TARA	92.9	119	91.1	91.4	118
PESO HUMEDO + TARA	392.9	419	391.1	391.4	418
PESO SECO + TARA	342.7	360	324.6	317.6	339
PESO DE AGUA	50.2	59	66.5	73.8	79
PESO SECO	249.8	241	233.5	226.2	221
% DE HUMEDAD	20.10	24.48	28.48	32.63	35.75



Humedad Óptima	23.27%
P.V.S Máximo	1507.46

PROCTOR MODIFICADO (AASHTO T-180)

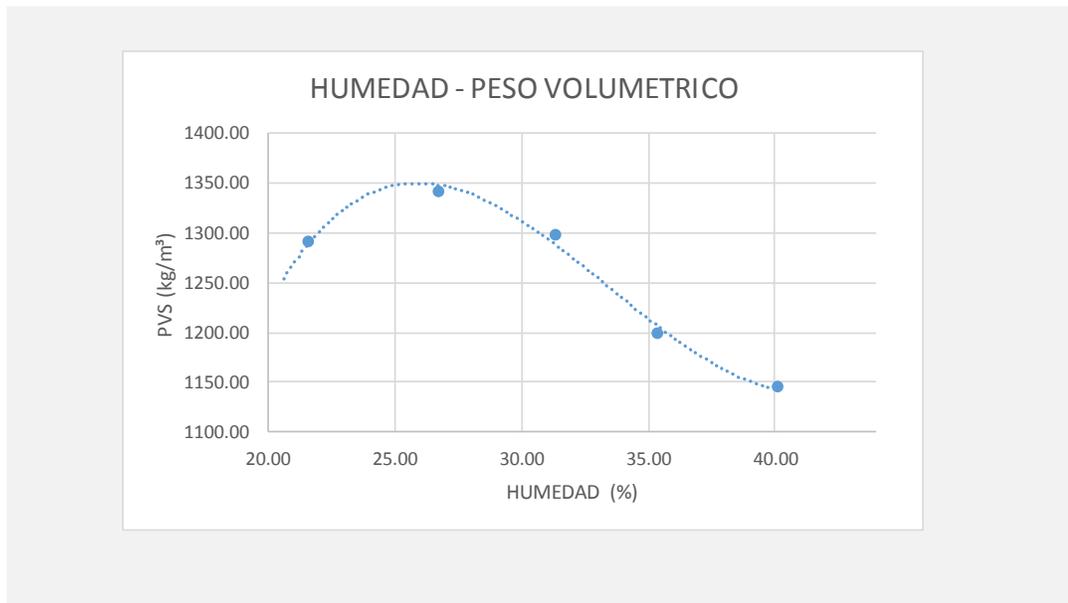
Proyecto:	Mr-CBR					
Material:	A-7-5					
Procedencia de la muestra:	CA2		MUESTRA No: CA2			
Fecha de muestreo:	13/09/2016					
Fecha de ensayo:	19/09/2016					
	1	2	3	4	5	6
Agua Agregada cc:	0	100	200	300	400	500
% Humedad de prueba	0	4	8	12	16	20
Peso de muestra húmeda + molde	5850	5948	6062	6109	6112	6075
Peso del Molde	4524	4524	4524	4524	4524	4524
Peso Muestra Húmeda	1326	1424	1538	1585	1588	1551
Capacidad del Molde	942.4	942.4	942.4	942.4	942.4	942.4
Peso Volumétrico Húmedo P.V.H	1407.05	1511.04	1632.00	1681.88	1685.06	1645.80
Peso Volumétrico Seco P.V.S	1229.76	1275.82	1325.73	1320.83	1281.21	1212.40
DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD						
TARA	102.3	138.7	92.9	116.7	114.9	118
PESO HUMEDO + TARA	402.3	438.7	392.9	416.7	414.9	418
PESO SECO + TARA	364.5	392	336.6	352.3	343	339
PESO DE AGUA	37.8	46.7	56.3	64.4	71.9	79
PESO SECO	262.2	253.3	243.7	235.6	228.1	221
% DE HUMEDAD	14.42	18.44	23.10	27.33	31.52	35.75



Humedad Óptima	24.79%
P.V.S Máximo	1323.8

PROCTOR MODIFICADO (AASHTO T-180)

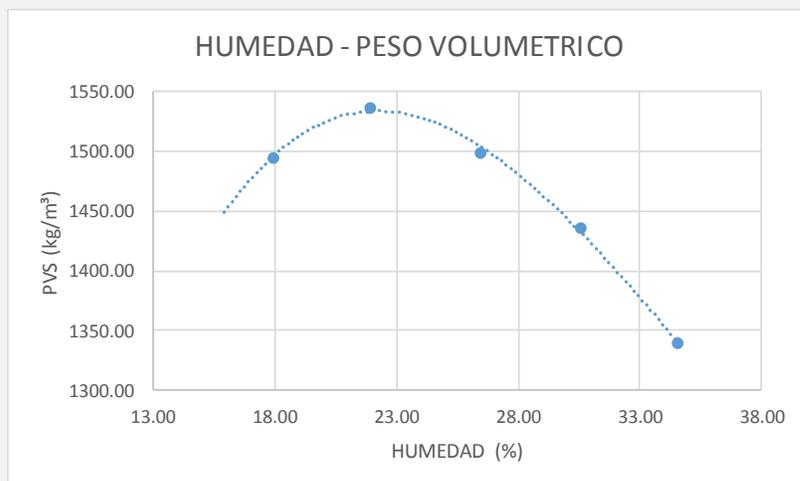
Proyecto:	Mr-CBR				
Material:	A-7-5				
Procedencia de la muestra:	CA3	MUESTRA No:	CA3		
Fecha de muestreo:	03/09/2016				
Fecha de ensayo:	20/09/2016				
	1	2	3	4	5
Agua Agregada cc:	100	200	300	400	500
% Humedad de prueba	4	8	12	16	20
Peso de muestra húmeda + molde	6003	6126	6131	6053	6036
Peso del Molde	4524	4524	4524	4524	4524
Peso Muestra Húmeda	1479	1602	1607	1529	1512
Capacidad del Molde	942.4	942.4	942.4	942.4	942.4
Peso Volumétrico Húmedo P.V.H	1569.40	1699.92	1705.22	1622.45	1604.41
Peso Volumétrico Seco P.V.S	1290.57	1341.80	1298.24	1198.45	1145.02
DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD					
TARA	92.5	121.5	118.7	92.9	89.9
PESO HUMEDO + TARA	392.5	421.5	418.7	392.9	389.9
PESO SECO + TARA	339.2	358.3	347.1	314.5	304
PESO DE AGUA	53.3	63.2	71.6	78.4	85.9
PESO SECO	246.7	236.8	228.4	221.6	214.1
% DE HUMEDAD	21.61	26.69	31.35	35.38	40.12



Humedad Óptima	25.89%
P.V.S Máximo	1349.74

PROCTOR MODIFICADO (AASHTO T-180)

Proyecto:	Mr-CBR				
Material:	A-7-5				
Procedencia de la muestra:	CA4				
Fecha de muestreo:	10/09/2016				
Fecha de ensayo:	20/09/2016				
	MUESTRA No: CA4				
	1	2	3	4	5
Agua Agregada cc:	200	300	400	500	600
% Humedad de prueba	8	12	16	20	24
Peso de muestra húmeda + molde	6185	6290	6310	6291	6223
Peso del Molde	4524	4524	4524	4524	4524
Peso Muestra Húmeda	1661	1766	1786	1767	1699
Capacidad del Molde	942.4	942.4	942.4	942.4	942.4
Peso Volumétrico Húmedo P.V.H	1762.52	1873.94	1895.16	1875.00	1802.84
Peso Volumétrico Seco P.V.S	1494.62	1536.63	1498.44	1436.25	1340.11
DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD					
TARA	92.9	116.7	114.9	117	102.3
PESO HUMEDO + TARA	392.9	416.7	414.9	417	402.3
PESO SECO + TARA	347.3	362.7	352.1	346.8	325.3
PESO DE AGUA	45.6	54	62.8	70.2	77
PESO SECO	254.4	246	237.2	229.8	223
% DE HUMEDAD	17.92	21.95	26.48	30.55	34.53



Humedad Óptima	22.21%
P.V.S Máximo	1532.89

Anexo D. Ensayos California Bearing Ratio (CBR)

FECHA DE ENSAYO: 25-AGO-2016
TIPO DE MATERIAL: A-7-5
MUESTREO: PCA-01

MÉTODO DE PRUEBA ESTANDAR PARA DETERMINAR EL VALOR RELATIVO DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R) DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO.- ASTM-D1883 Y AASHTO T-193

Humedad Óptima	(%)	31
Máxima Densidad Seca	(kg/m ³)	1358.76

Nº de Molde		1(10 golpes)	2(25 golpes)	3(56 golpes)
Peso Suelo Húm. + Peso Molde	(g)	11347	11667	11898
Peso de Molde	(g)	8048	7909	7983
Peso Suelo Húmedo	(g)	3299	3758	3915
Volumen del Molde	(cm ³)	2113.08	2122.65	2136.4
Densidad del Suelo Húmedo	(kg/m ³)	1561.23	1770.43	1832.52

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD Y % DE COMPACTACIÓN DEL ESPECIMEN

Nº de Recipiente						
Peso Suelo h. + Peso de Recipiente	(g)	290.3	315.5	302.8	317.2	339
Peso Suelo S. + Peso de Recipiente	(g)	237.7	262.6	250.1	264.3	285.4
Peso del Agua	(g)	52.6	52.9	52.7	52.9	53.6
Peso del Recipiente	(g)	90.3	115.5	102.8	117.2	139
Peso Suelo Seco	(g)	147.4	147.1	147.3	147.1	146.4
Humedad	(%)	35.69	35.96	35.78	35.96	36.61
Humedad Promedio	(%)	35.82		35.87		36.33
Densidad de Suelo Seco	(kg/m ³)	1149.45		1303.03		1344.15
% de Compactación (según Densidad Máx.)		84.60		95.90		98.92

DETERMINACIÓN DE LA EXPANSIÓN

FECHA	HORA	DETERMINACIÓN DE LA EXPANSIÓN					
		1"	mm	1"	mm	1"	mm
01/09/2016	08:20 a.m.	0	0.00	0	0.00	0	0.00
		0	0.00	0	0.00	0	0.00
		0	0.00	0	0.00	0	0.00
		0	0.00	0	0.00	0	0.00
05/09/2016	08:20 a.m.	0.241	6.12	0.163	4.14	0.218	5.54
% de Hinchamiento		5.28%	5.28%	3.55%	3.55%	4.71%	4.71%

DETERMINACIÓN DEL % DE AGUA ABSORBIDA DURANTE EL PROCESO DE SATURACIÓN (96 HORAS)

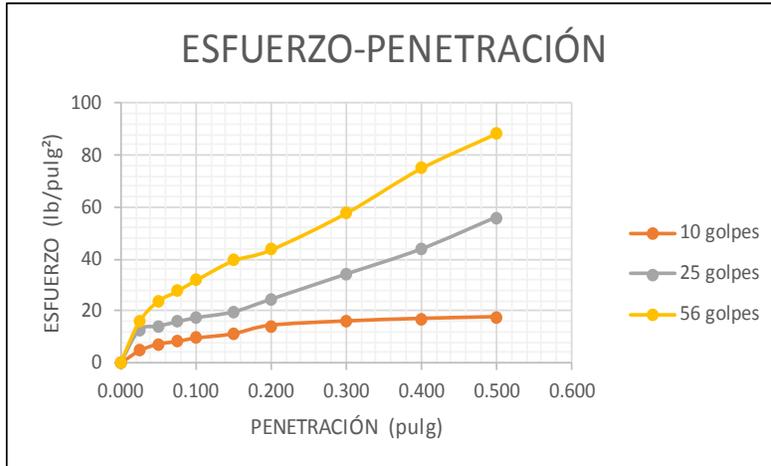
Peso Molde + Suelo Saturado	(g)	11687	11803	12007
Peso Molde	(g)	8048	7909	7983
Peso Suelo Saturado	(g)	3639	3894	4024
Peso Suelo Humedad Óptima	(g)	3299	3758	3915
Agua Absorbida	(g)	340	136	109
Peso Suelo Seco	(g)	2428.89	2765.89	2871.64
Humedad Absorbida	(%)	14.00	4.92	3.80

DETERMINACIÓN DEL VALOR RELATIVO DE SOPORTE

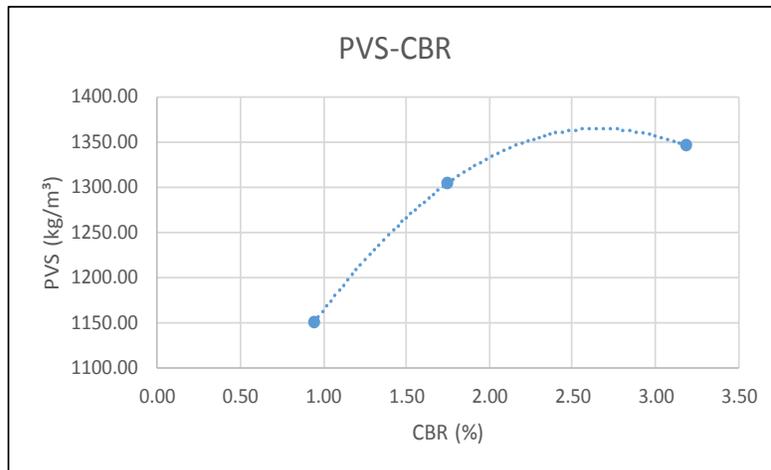
PENETRACIÓN (in)	Lectura Dial	ESFUERZO DE PENETRACIÓN (lb/pulg ²)	Lectura Dial	ESFUERZO DE PENETRACIÓN (lb/pulg ²)	Lectura Dial	ESFUERZO DE PENETRACIÓN (lb/pulg ²)
0.000	0	0	0	0	0	0
0.025	1	4.68	3.5	12.67	4.5	15.87
0.050	1.8	7.24	4	14.27	7	23.87
0.075	2.1	8.20	4.5	15.87	8.2	27.70
0.100	2.5	9.48	5	17.47	9.5	31.86
0.150	3	11.08	5.7	19.71	11.9	39.53
0.200	4	14.27	7.2	24.50	13.2	43.69
0.300	4.5	15.87	10.2	34.10	17.6	57.76
0.400	4.8	16.83	13.2	43.69	23	75.03
0.500	5	17.47	17	55.84	27.2	88.46

AGUA ABSORBIDA

MOLDE	TARA (g)	TARA +Mh (g)	TARA +Ms (g)	W agua (g)	SUELO SECO (g)	% HUMEDAD
1	138.7	338.7	268.8	69.9	130.1	53.73
2	138.4	338.4	272.5	65.9	134.1	49.14
3	138.7	338.7	274	64.7	135.3	47.82



MOLDE	PENETRACIÓN (pulg)	PRESIÓN APLICADA (lb/pulg²)	PRESIÓN PATRÓN (lb/pulg²)	CBR (%)	DENSIDAD SECA
1	0.1	9.48	1000	0.95	1149.45
2	0.1	17.47	1000	1.75	1303.03
3	0.1	31.86	1000	3.19	1344.15



Densidad proctor	1358.76
95% Densidad proctor	1290.82
CBR	1.75%

FECHA DE ENSAYO: 18-ago-2016
TIPO DE MATERIAL: A-7-5
MUESTREO: PCA-02

MÉTODO DE PRUEBA ESTANDAR PARA DETERMINAR EL VALOR RELATIVO DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R) DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO.- ASTM-D1883 Y AASHTO T-193

Humedad Óptima	(%)	24
Máxima Densidad Seca	(kg/m³)	1504.86

Nº de Molde		1(10 golpes)	2(25 golpes)	3(56 golpes)
Peso Suelo Húm. + Peso Molde	(g)	11219	11728	11972
Peso de Molde	(g)	7967	7989	7977
Peso Suelo Húmedo	(g)	3252	3739	3995
Volumen del Molde	(cm³)	2113.08	2122.65	2136.4
Densidad del Suelo Húmedo	(kg/m³)	1538.99	1761.48	1869.97

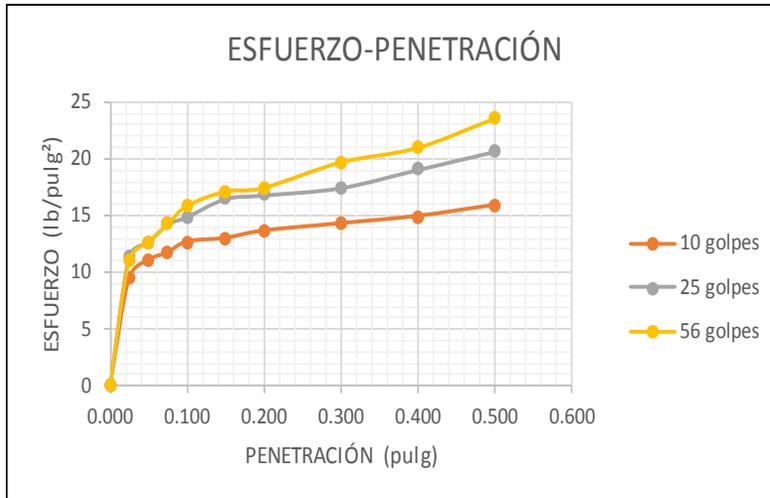
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD Y % DE COMPACTACIÓN DEL ESPECIMEN							
Nº de Recipiente							
Peso Suelo h. + Peso de Recipiente	(g)	292.6	289.7	291.9	293.5	290.2	297.3
Peso Suelo S. + Peso de Recipiente	(g)	251	248.8	251.4	253.7	251.4	255.2
Peso del Agua	(g)	41.6	40.9	40.5	39.8	38.8	42.1
Peso del Recipiente	(g)	92.6	89.7	91.9	93.5	90.2	97.3
Peso Suelo Seco	(g)	158.4	159.1	159.5	160.2	161.2	157.9
Humedad	(%)	26.26	25.71	25.39	24.84	24.07	26.66
Humedad Promedio	(%)	25.98		25.12		25.37	
Densidad de Suelo Seco	(kg/m³)	1221.56		1407.85		1491.61	
% de Compactación (según Densidad Máx.)		81.17		93.55		99.12	

FECHA	HORA	DETERMINACIÓN DE LA EXPANSIÓN					
		1"	mm	1"	mm	1"	mm
19/08/2016	07:45 a.m.	0	0.00	0	0.00	0	0.00
		0	0.00	0	0.00	0	0.00
		0	0.00	0	0.00	0	0.00
		0	0.00	0	0.00	0	0.00
22/08/2016	07:40 a.m.	0.704	17.88	0.485	12.32	0.44	11.18
% de Hinchamiento		15.42%	15.42%	10.57%	10.57%	9.51%	9.51%

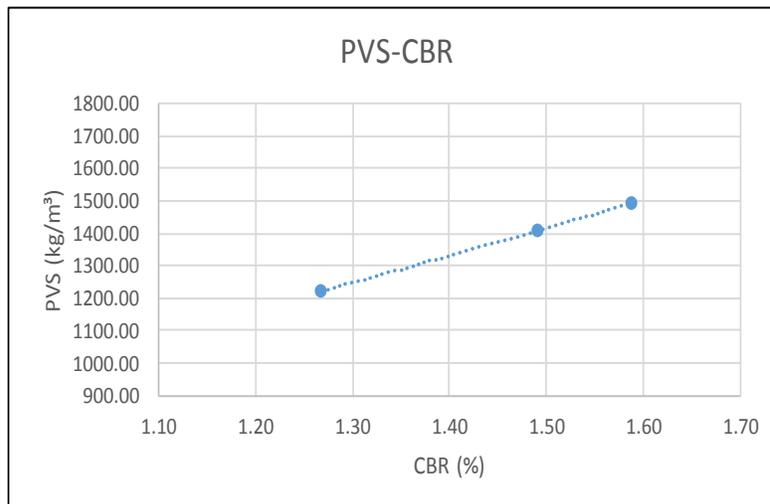
DETERMINACIÓN DEL % DE AGUA ABSORBIDA DURANTE EL PROCESO DE SATURACIÓN (96 HORAS)			
Peso Molde + Suelo Saturado	(g)	11864	12045
Peso Molde	(g)	7967	7989
Peso Suelo Saturado	(g)	3897	4056
Peso Suelo Humedad Óptima	(g)	3252	3739
Agua Absorbida	(g)	645	317
Peso Suelo Seco	(g)	2581.26	2988.38
Humedad Absorbida	(%)	24.99	10.61

DETERMINACIÓN DEL VALOR RELATIVO DE SOPORTE						
PENETRACIÓN (in)	Lectura Dial	ESFUERZO DE PENETRACIÓN (lb/pulg²)	Lectura Dial	ESFUERZO DE PENETRACIÓN (lb/pulg²)	Lectura Dial	ESFUERZO DE PENETRACIÓN (lb/pulg²)
0.000	0	0	0	0	0	0
0.025	2.5	9.48	3.1	11.39	3	11.08
0.050	3	11.08	3.5	12.67	3.5	12.67
0.075	3.2	11.71	4	14.27	4	14.27
0.100	3.5	12.67	4.2	14.91	4.5	15.87
0.150	3.6	12.99	4.7	16.51	4.9	17.15
0.200	3.8	13.63	4.8	16.83	5	17.47
0.300	4	14.27	5	17.47	5.7	19.71
0.400	4.2	14.91	5.5	19.07	6.1	20.99
0.500	4.5	15.87	6	20.67	6.9	23.55

MOLDE	TARA (g)	TARA +Mh (g)	TARA +Ms (g)	W agua (g)	SUELO SECO (g)	% HUMEDAD
1	138.6	338.6	273.1	65.5	134.5	48.70
2	92.6	292.6	227.7	64.9	135.1	48.04
3	90.7	290.7	225.3	65.4	134.6	48.59



MOLDE	PENETRACIÓN (pulg)	PRESIÓN APLICADA (lb/pulg²)	PRESIÓN PATRÓN (lb/pulg²)	CBR (%)	DENSIDAD SECA
1	0.1	12.67	1000	1.27	1221.56
2	0.1	14.91	1000	1.49	1407.85
3	0.1	15.87	1000	1.59	1491.61



Densidad proctor	1504.86
95% Densidad proctor	1429.62
CBR	1.50%

FECHA DE ENSAYO: 18-AGO-2016
 TIPO DE MATERIAL: A-7-5
 MUESTREO: PCA-03

MÉTODO DE PRUEBA ESTANDAR PARA DETERMINAR EL VALOR RELATIVO DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R) DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO.- ASTM-D1883 Y AASHTO T-193

Humedad Óptima	(%)	23		
Máxima Densidad Seca	(kg/m³)	1500		
Nº de Molde		4(10 golpes)	5(25 golpes)	7(56 golpes)
Peso Suelo Húm. + Peso Molde	(g)	11021	11496	11670
Peso de Molde	(g)	7950	7928	7742
Peso Suelo Húmedo	(g)	3071	3568	3928
Volumen del Molde	(cm³)	2110.41	2115.73	2118.88
Densidad del Suelo Húmedo	(kg/m³)	1455.17	1686.42	1853.81

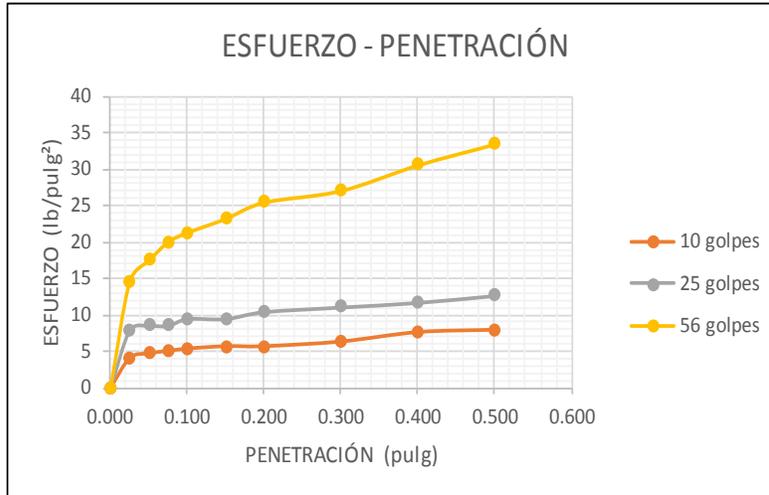
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD Y % DE COMPACTACIÓN DEL ESPECIMEN							
Nº de Recipiente							
Peso Suelo h. + Peso de Recipiente	(g)	319.2	315.1	339.2	317.1	338.8	317.7
Peso Suelo S. + Peso de Recipiente	(g)	280.4	276.2	300.5	279.5	301.9	281.2
Peso del Agua	(g)	38.8	38.9	38.7	37.6	36.9	36.5
Peso del Recipiente	(g)	119.2	115.1	139.2	117.1	138.8	117.7
Peso Suelo Seco	(g)	161.2	161.1	161.3	162.4	163.1	163.5
Humedad	(%)	24.07	24.15	23.99	23.15	22.62	22.32
Humedad Promedio	(%)	24.11		23.57		22.47	
Densidad de Suelo Seco	(kg/m³)	1172.50		1364.72		1513.63	
% de Compactación (según Densidad Máx.)		78.17		90.98		100.91	

FECHA	HORA	DETERMINACIÓN DE LA EXPANSIÓN					
		1"	mm	1"	mm	1"	mm
19/08/2016	07:55 a.m.	0	0.00	0	0.00	0	0.00
		0	0.00	0	0.00	0	0.00
		0	0.00	0	0.00	0	0.00
22/08/2016	07:40 a.m.	0.797	20.24	0.51	12.95	0.333	8.46
		% de Hinchamiento					
		17.39%	17.39%	11.11%	11.11%	7.27%	7.27%

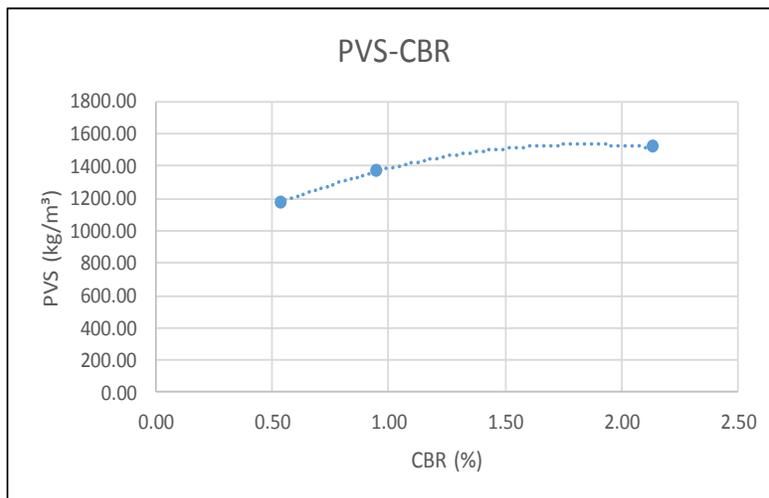
DETERMINACIÓN DEL % DE AGUA ABSORBIDA DURANTE EL PROCESO DE SATURACIÓN (96 HORAS)				
Peso Molde + Suelo Saturado	(g)	11852	11884	11902
Peso Molde	(g)	7950	7928	7742
Peso Suelo Saturado	(g)	3902	3956	4160
Peso Suelo Humedad Óptima	(g)	3071	3568	3928
Agua Absorbida	(g)	831	388	232
Peso Suelo Seco	(g)	2474.46	2887.37	3207.21
Humedad Absorbida	(%)	33.58	13.44	7.23

DETERMINACIÓN DEL VALOR RELATIVO DE SOPORTE						
PENETRACIÓN (in)	Lectura Dial	ESFUERZO DE PENETRACIÓN (lb/pulg²)		ESFUERZO DE PENETRACIÓN (lb/pulg²)		ESFUERZO DE PENETRACIÓN (lb/pulg²)
		Lectura Dial		Lectura Dial		
0.000	0	0		0	0	0
0.025	0.8	4.04		2	7.88	14.59
0.050	1	4.68		2.2	8.52	17.47
0.075	1.1	5.00		2.2	8.52	20.03
0.100	1.2	5.32		2.5	9.48	21.31
0.150	1.3	5.64		2.5	9.48	23.23
0.200	1.3	5.64		2.8	10.44	25.46
0.300	1.5	6.28		3	11.08	27.06
0.400	1.9	7.56		3.2	11.71	30.58
0.500	2	7.88		3.5	12.67	33.46

MOLDE	TARA (g)	TARA +Mh (g)	TARA +Ms (g)	W agua (g)	SUELO SECO (g)	% HUMEDAD
1	138.8	338.8	325	13.8	186.2	7.41
2	117.1	317.1	313.8	3.3	196.7	1.68
3	90.2	290.2	288.2	2	198	1.01



MOLDE	PENETRACIÓN (pulg)	PRESIÓN APLICADA (lb/pulg²)	PRESIÓN PATRÓN (lb/pulg²)	CBR (%)	DENSIDAD SECA
1	0.1	5.32	1000	0.53	1172.50
2	0.1	9.48	1000	0.95	1364.72
3	0.1	21.31	1000	2.13	1513.63



Densidad proctor	1500
95% Densidad proctor	1425.00
CBR	1.15%

FECHA DE ENSAYO: 25-AGO-2016
TIPO DE MATERIAL: A-7-5
MUESTREO: PCA-04

MÉTODO DE PRUEBA ESTANDAR PARA DETERMINAR EL VALOR RELATIVO DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R) DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO.- ASTM-D1883 Y AASHTO T-193

Humedad Óptima	(%)	25.12
Máxima Densidad Seca	(kg/m³)	1530.18

Nº de Molde		1(10 golpes)	2(25 golpes)	3(56 golpes)
Peso Suelo Húm. + Peso Molde	(g)	11261	11674	11767
Peso de Molde	(g)	7950	7929	7738
Peso Suelo Húmedo	(g)	3311	3745	4029
Volumen del Molde	(cm³)	2110.41	2115.73	2112.94
Densidad del Suelo Húmedo	(kg/m³)	1568.89	1770.07	1906.82

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD Y % DE COMPACTACIÓN DEL ESPECIMEN							
Nº de Recipiente							
Peso Suelo h. + Peso de Recipiente	(g)	293.4	338.7	317.4	319.5	289.9	292
Peso Suelo S. + Peso de Recipiente	(g)	252.9	298	276	277.8	246.8	251.1
Peso del Agua	(g)	40.5	40.7	41.4	41.7	43.1	40.9
Peso del Recipiente	(g)	93.4	138.7	117.4	119.5	89.9	92
Peso Suelo Seco	(g)	159.5	159.3	158.6	158.3	156.9	159.1
Humedad	(%)	25.39	25.55	26.10	26.34	27.47	25.71
Humedad Promedio	(%)	25.47		26.22		26.59	
Densidad de Suelo Seco	(kg/m³)	1250.40		1402.34		1506.32	
% de Compactación (según Densidad Máx.)		81.72		91.65		98.44	

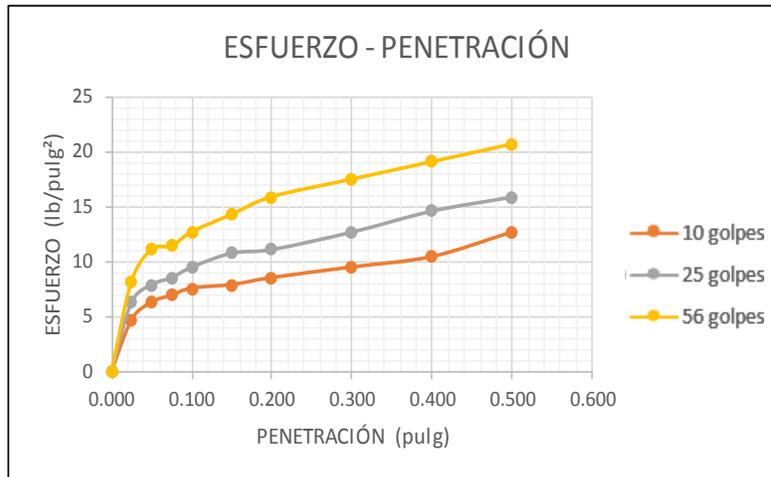
FECHA	HORA	DETERMINACIÓN DE LA EXPANSIÓN					
		1"	mm	1"	mm	1"	mm
01/09/2016	08:20 a.m.	0	0.00	0	0.00	0	0.00
		0	0.00	0	0.00	0	0.00
		0	0.00	0	0.00	0	0.00
		0	0.00	0	0.00	0	0.00
05/09/2016	08:20 a.m.	0.667	16.94	0.494	12.55	0.565	14.35
		% de Hinchamiento	14.55%	14.55%	10.77%	10.77%	12.40%

DETERMINACIÓN DEL % DE AGUA ABSORBIDA DURANTE EL PROCESO DE SATURACIÓN (96 HORAS)			
Peso Molde + Suelo Saturado	(g)	11898	12005
Peso Molde	(g)	7950	7929
Peso Suelo Saturado	(g)	3948	4076
Peso Suelo Humedad Óptima	(g)	3311	3745
Agua Absorbida	(g)	637	331
Peso Suelo Seco	(g)	2638.87	2966.97
Humedad Absorbida	(%)	24.14	11.16

DETERMINACIÓN DEL VALOR RELATIVO DE SOPORTE						
PENETRACIÓN (in)	Lectura Dial	ESFUERZO DE PENETRACIÓN (lb/pulg²)	Lectura Dial	ESFUERZO DE PENETRACIÓN (lb/pulg²)	Lectura Dial	ESFUERZO DE PENETRACIÓN (lb/pulg²)
0.000	0	0	0	0	0	0
0.025	1	4.68	1.5	6.28	2.1	8.20
0.050	1.5	6.28	2	7.88	3	11.08
0.075	1.7	6.92	2.2	8.52	3.1	11.39
0.100	1.9	7.56	2.5	9.48	3.5	12.67
0.150	2	7.88	2.9	10.76	4	14.27
0.200	2.2	8.52	3	11.08	4.5	15.87
0.300	2.5	9.48	3.5	12.67	5	17.47
0.400	2.8	10.44	4.1	14.59	5.5	19.07
0.500	3.5	12.67	4.5	15.87	6	20.67

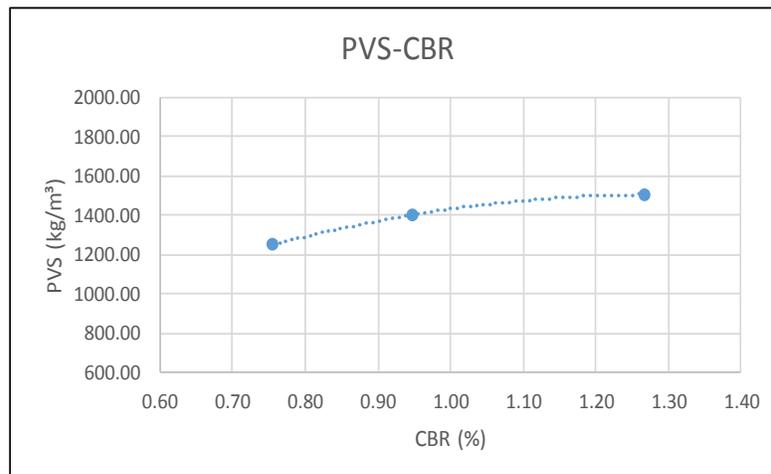
HUMEDAD ABSORBIDA

MOLDE	TARA (g)	TARA +Mh (g)	TARA +Ms (g)	W agua (g)	SUELO SECO (g)	% HUMEDAD
1	117	317	244.8	72.2	127.8	56.49
2	115.1	315.1	245.7	69.4	130.6	53.14
3	117.3	317.3	247.3	70	130	53.85



DETERMINACIÓN DEL CBR

MOLDE	PENETRACIÓN (pulg)	PRESIÓN APLICADA (lb/pulg²)	PRESIÓN PATRÓN (lb/pulg²)	CBR (%)	DENSIDAD SECA
1	0.1	7.56	1000	0.76	1250.40
2	0.1	9.48	1000	0.95	1402.34
3	0.1	12.67	1000	1.27	1506.32



Densidad proctor	1530.18
95% Densidad proctor	1453.67
CBR	1.15%

FECHA DE ENSAYO: 25-AGO-2016
TIPO DE MATERIAL: A-7-5
MUESTREO: PCA-05

MÉTODO DE PRUEBA ESTANDAR PARA DETERMINAR EL VALOR RELATIVO DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R) DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO.- ASTM-D1883 Y AASHTO T-193

Humedad Óptima	(%)	21		
Máxima Densidad Seca	(kg/m³)	1567		
Nº de Molde		7(10 golpes)	8(25 golpes)	9(56 golpes)
Peso Suelo Húm. + Peso Molde	(g)	11192	11645	12016
Peso de Molde	(g)	7975	7964	7946
Peso Suelo Húmedo	(g)	3217	3681	4070
Volumen del Molde	(cm³)	2118.88	2123.38	2121.71
Densidad del Suelo Húmedo	(kg/m³)	1518.25	1733.56	1918.26

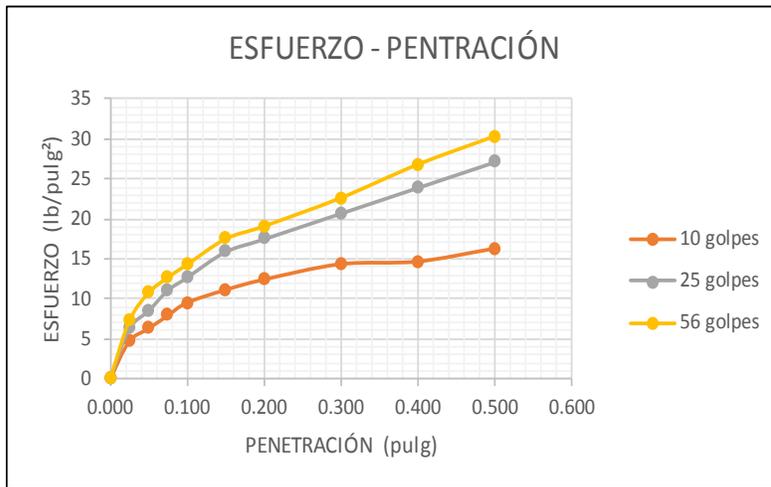
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD Y % DE COMPACTACIÓN DEL ESPECIMEN							
Nº de Recipiente							
Peso Suelo h. + Peso de Recipiente	(g)	319.1	318.1	297.4	292.5	315	278
Peso Suelo S. + Peso de Recipiente	(g)	284	281.8	261.9	258.1	280	242.5
Peso del Agua	(g)	35.1	36.3	35.5	34.4	35	35.5
Peso del Recipiente	(g)	119.1	118.1	97.4	92.5	115	78
Peso Suelo Seco	(g)	164.9	163.7	164.5	165.6	165	164.5
Humedad	(%)	21.29	22.17	21.58	20.77	21.21	21.58
Humedad Promedio	(%)	21.73		21.18		21.40	
Densidad de Suelo Seco	(kg/m³)	1247.23		1430.60		1580.17	
% de Compactación (según Densidad Máx.)		79.59		91.30		100.84	

FECHA	HORA	DETERMINACIÓN DE LA EXPANSIÓN					
		1"	mm	1"	mm	1"	mm
01/09/2016	08:20 a.m.	0	0.00	0	0.00	0	0.00
		0	0.00	0	0.00	0	0.00
		0	0.00	0	0.00	0	0.00
		0	0.00	0	0.00	0	0.00
05/09/2016	08:20 a.m.	0.473	12.01	0.471	11.96	0.382	9.70
% de Hinchamiento		10.33%	10.33%	10.27%	10.27%	8.34%	8.34%

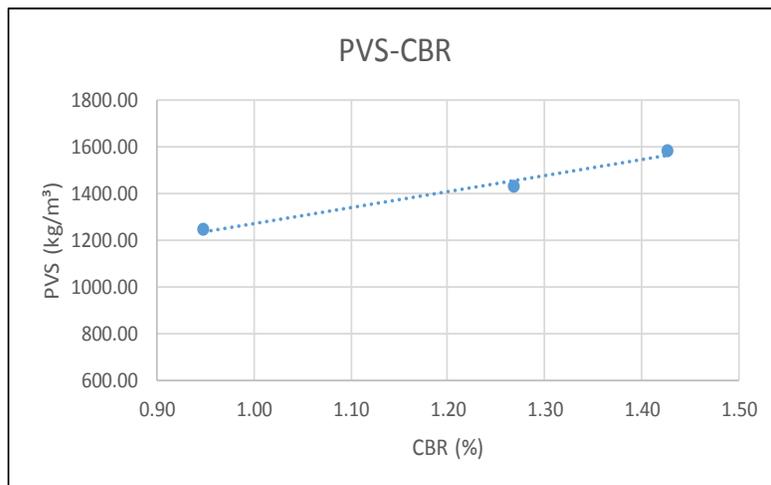
DETERMINACIÓN DEL % DE AGUA ABSORBIDA DURANTE EL PROCESO DE SATURACIÓN (96 HORAS)			
Peso Molde + Suelo Saturado	(g)	11814	12021
Peso Molde	(g)	7975	7964
Peso Suelo Saturado	(g)	3839	4057
Peso Suelo Humedad Óptima	(g)	3217	3681
Agua Absorbida	(g)	622	376
Peso Suelo Seco	(g)	2642.73	3037.71
Humedad Absorbida	(%)	23.54	12.38

DETERMINACIÓN DEL VALOR RELATIVO DE SOPORTE						
PENETRACIÓN (in)	Lectura Dial	ESFUERZO DE PENETRACIÓN (lb/pulg²)	Lectura Dial	ESFUERZO DE PENETRACIÓN (lb/pulg²)	Lectura Dial	ESFUERZO DE PENETRACIÓN (lb/pulg²)
0.000	0	0	0	0	0	0
0.025	1	4.68	1.5	6.28	1.8	7.24
0.050	1.5	6.28	2.2	8.52	2.9	10.76
0.075	2	7.88	3	11.08	3.5	12.67
0.100	2.5	9.48	3.5	12.67	4	14.27
0.150	3	11.08	4.5	15.87	5	17.47
0.200	3.4	12.35	5	17.47	5.5	19.07
0.300	4	14.27	6	20.67	6.6	22.59
0.400	4.1	14.59	7	23.87	7.9	26.74
0.500	4.6	16.19	8	27.06	9	30.26

MOLDE	TARA (g)	TARA +Mh (g)	TARA +Ms (g)	W agua (g)	SUELO SECO (g)	% HUMEDAD
1	115	315	247.1	67.9	132.1	51.40
2	102.6	302.6	238.6	64	136	47.06
3	118	318	256.7	61.3	138.7	44.20



MOLDE	PENETRACIÓN (pulg)	PRESIÓN APLICADA (lb/pulg²)	PRESIÓN PATRÓN (lb/pulg²)	CBR (%)	DENSIDAD SECA
1	0.1	9.48	1000	0.95	1247.23
2	0.1	12.67	1000	1.27	1430.60
3	0.1	14.27	1000	1.43	1580.17



Densidad proctor	1567
95% Densidad proctor	1488.65
CBR	1.33%

FECHA DE ENSAYO: 08-AGO-2016
TIPO DE MATERIAL: A-7-5
MUESTREO: PCA-08

MÉTODO DE PRUEBA ESTANDAR PARA DETERMINAR EL VALOR RELATIVO DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R) DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO.- ASTM-D1883 Y AASHTO T-193

Humedad Óptima	(%)	29
Máxima Densidad Seca	(kg/m³)	1341

Nº de Molde		1(10 golpes)	2(25 golpes)	3(56 golpes)
Peso Suelo Húm. + Peso Molde	(g)	11100	11386	11685
Peso de Molde	(g)	8048	7912	7983
Peso Suelo Húmedo	(g)	3052	3474	3702
Volumen del Molde	(cm³)	2113.08	2122.65	2136.4
Densidad del Suelo Húmedo	(kg/m³)	1444.34	1636.63	1732.82

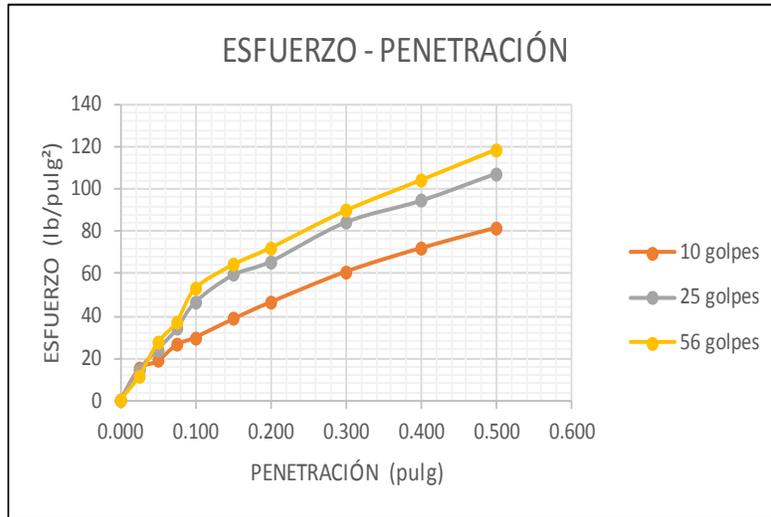
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD Y % DE COMPACTACIÓN DEL ESPECIMEN							
Nº de Recipiente							
Peso Suelo h. + Peso de Recipiente	(g)	338.6	338.5	292.6	291.4	290.7	291.1
Peso Suelo S. + Peso de Recipiente	(g)	293.4	292.1	247.7	245.3	245.3	245.2
Peso del Agua	(g)	45.2	46.4	44.9	46.1	45.4	45.9
Peso del Recipiente	(g)	138.6	138.5	92.6	91.4	90.7	91.1
Peso Suelo Seco	(g)	154.8	153.6	155.1	153.9	154.6	154.1
Humedad	(%)	29.20	30.21	28.95	29.95	29.37	29.79
Humedad Promedio	(%)	29.70		29.45		29.58	
Densidad de Suelo Seco	(kg/m³)	1113.57		1264.28		1337.30	
% de Compactación (según Densidad Máx.)		83.04		94.28		99.72	

FECHA	HORA	DETERMINACIÓN DE LA EXPANSIÓN					
		1"	mm	1"	mm	1"	mm
01/09/2016	08:20 a.m.	0	0.00	0	0.00	0	0.00
		0	0.00	0	0.00	0	0.00
		0	0.00	0	0.00	0	0.00
		0	0.00	0	0.00	0	0.00
05/09/2016	08:20 a.m.	0.138	3.51	0.196	4.98	0.222	5.64
% de Hinchamiento		3.02%	3.02%	4.27%	4.27%	4.80%	4.80%

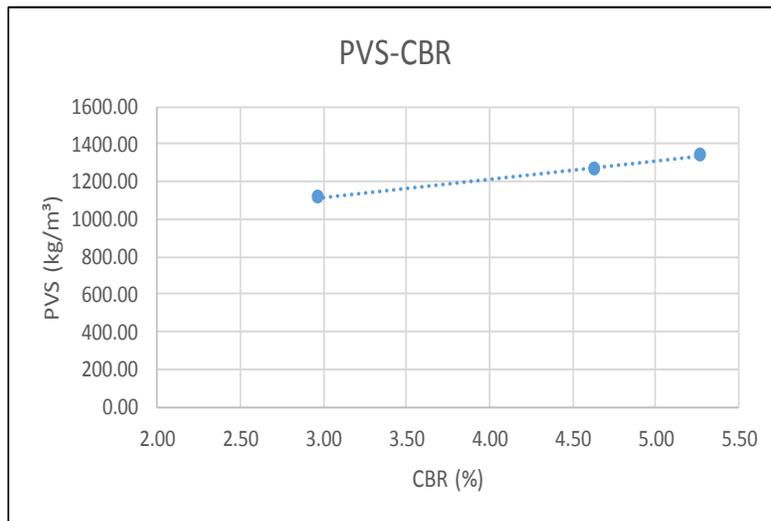
DETERMINACIÓN DEL % DE AGUA ABSORBIDA DURANTE EL PROCESO DE SATURACIÓN (96 HORAS)				
Peso Molde + Suelo Saturado	(g)	11517	11688	11888
Peso Molde	(g)	8048	7912	7983
Peso Suelo Saturado	(g)	3469	3776	3905
Peso Suelo Humedad Óptima	(g)	3052	3474	3702
Agua Absorbida	(g)	417	302	203
Peso Suelo Seco	(g)	2353.06	2683.62	2857.01
Humedad Absorbida	(%)	17.72	11.25	7.11

DETERMINACIÓN DEL VALOR RELATIVO DE SOPORTE						
PENETRACIÓN (in)	Lectura Dial	ESFUERZO DE PENETRACIÓN (lb/pulg²)	Lectura Dial	ESFUERZO DE PENETRACIÓN (lb/pulg²)	Lectura Dial	ESFUERZO DE PENETRACIÓN (lb/pulg²)
0.000	0	0	0	0	0	0
0.025	4.1	14.59	4	14.27	3	11.08
0.050	5.3	18.43	7	23.87	8	27.06
0.075	7.7	26.10	10	33.46	11	36.66
0.100	8.8	29.62	14	46.25	16	52.64
0.150	11.5	38.25	18	59.04	19.5	63.83
0.200	14	46.25	20	65.43	22	71.83
0.300	18.5	60.64	25.8	83.98	27.5	89.42
0.400	22	71.83	29	94.21	32	103.80
0.500	25	81.42	33	107.00	36.5	118.19

MOLDE	TARA (g)	TARA +Mh (g)	TARA +Ms (g)	W agua (g)	SUELO SECO (g)	% HUMEDAD
1	138.6	338.6	273.1	65.5	134.5	48.70
2	92.6	292.6	227.7	64.9	135.1	48.04
3	90.7	290.7	225.3	65.4	134.6	48.59



MOLDE	PENETRACIÓN (pulg)	PRESIÓN APLICADA (lb/pulg²)	PRESIÓN PATRÓN (lb/pulg²)	CBR (%)	DENSIDAD SECA
1	0.1	29.62	1000	2.96	1113.57
2	0.1	46.25	1000	4.62	1264.28
3	0.1	52.64	1000	5.26	1337.30



Densidad proctor	1341
95% Densidad proctor	1273.95
CBR	4.70%

FECHA DE ENSAYO: 01-SEP-2016
TIPO DE MATERIAL: A-7-5
MUESTREO: PCA-09

MÉTODO DE PRUEBA ESTANDAR PARA DETERMINAR EL VALOR RELATIVO DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R) DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO.- ASTM-D1883 Y AASHTO T-193

Humedad Óptima	(%)	26
Máxima Densidad Seca	(kg/m ³)	1415.84

Nº de Molde		4(10 golpes)	5(25 golpes)	6(56 golpes)
Peso Suelo Húm. + Peso Molde	(g)	10896	11287	11529
Peso de Molde	(g)	7949	7929	7734
Peso Suelo Húmedo	(g)	2947	3358	3795
Volumen del Molde	(cm ³)	2110.41	2115.73	2136.4
Densidad del Suelo Húmedo	(kg/m ³)	1396.41	1587.16	1776.35

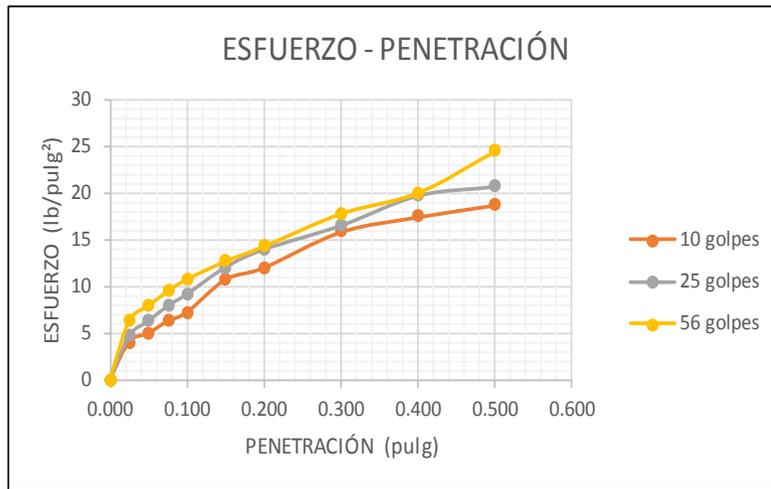
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD Y % DE COMPACTACIÓN DEL ESPECIMEN							
Nº de Recipiente							
Peso Suelo h. + Peso de Recipiente	(g)	314.7	317.4	316.7	302.7	338.6	318
Peso Suelo S. + Peso de Recipiente	(g)	272.9	275.7	274.5	260.3	296.8	275.7
Peso del Agua	(g)	41.8	41.7	42.2	42.4	41.8	42.3
Peso del Recipiente	(g)	114.7	117.4	116.7	102.7	138.6	118
Peso Suelo Seco	(g)	158.2	158.3	157.8	157.6	158.2	157.7
Humedad	(%)	26.42	26.34	26.74	26.90	26.42	26.82
Humedad Promedio	(%)	26.38		26.82		26.62	
Densidad de Suelo Seco	(kg/m ³)	1104.91		1251.47		1402.87	
% de Compactación (según Densidad Máx.)		78.04		88.39		99.08	

FECHA	HORA	DETERMINACIÓN DE LA EXPANSIÓN					
		1"	mm	1"	mm	1"	mm
01/09/2016	07:00 a.m.	0	0.00	0	0.00	0	0.00
		0	0.00	0	0.00	0	0.00
		0	0.00	0	0.00	0	0.00
		0	0.00	0	0.00	0	0.00
05/09/2016	07:20 a.m.	0.785	19.94	0.898	22.81	0.588	14.94
% de Hinchamiento		17.13%	17.13%	19.57%	19.57%	12.91%	12.91%

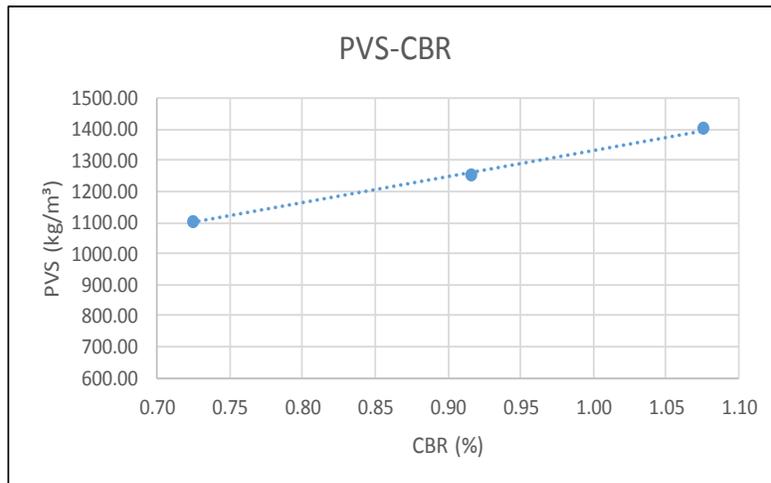
DETERMINACIÓN DEL % DE AGUA ABSORBIDA DURANTE EL PROCESO DE SATURACIÓN (96 HORAS)			
Peso Molde + Suelo Saturado	(g)	11728	11958
Peso Molde	(g)	7949	7929
Peso Suelo Saturado	(g)	3779	4029
Peso Suelo Humedad Óptima	(g)	2947	3358
Agua Absorbida	(g)	832	671
Peso Suelo Seco	(g)	2331.81	2647.78
Humedad Absorbida	(%)	35.68	25.34

DETERMINACIÓN DEL VALOR RELATIVO DE SOPORTE						
PENETRACIÓN (in)	Lectura Dial	ESFUERZO DE PENETRACIÓN (lb/pulg ²)	Lectura Dial	ESFUERZO DE PENETRACIÓN (lb/pulg ²)	Lectura Dial	ESFUERZO DE PENETRACIÓN (lb/pulg ²)
0.000	0	0	0	0	0	0
0.025	0.8	4.04	1	4.68	1.5	6.28
0.050	1.1	5.00	1.5	6.28	2	7.88
0.075	1.5	6.28	2	7.88	2.5	9.48
0.100	1.8	7.24	2.4	9.16	2.9	10.76
0.150	2.9	10.76	3.3	12.03	3.5	12.67
0.200	3.3	12.03	3.9	13.95	4	14.27
0.300	4.5	15.87	4.7	16.51	5.1	17.79
0.400	5	17.47	5.7	19.71	5.8	20.03
0.500	5.4	18.75	6	20.67	7.2	24.50

MOLDE	TARA (g)	TARA +Mh (g)	TARA +Ms (g)	W agua (g)	SUELO SECO (g)	% HUMEDAD
1	114.7	314.7	233.2	81.5	118.5	68.78
2	117.4	317.4	237.5	79.9	120.1	66.53
3	138.6	338.6	262.2	76.4	123.6	61.81



MOLDE	PENETRACIÓN (pulg)	PRESIÓN APLICADA (lb/pulg²)	PRESIÓN PATRÓN (lb/pulg²)	CBR (%)	DENSIDAD SECA
1	0.1	7.24	1000	0.72	1104.91
2	0.1	9.16	1000	0.92	1251.47
3	0.1	10.76	1000	1.08	1402.87



Densidad proctor	1415.84
95% Densidad proctor	1345.05
CBR	1%

FECHA DE ENSAYO: 01-SEP-2016
TIPO DE MATERIAL: A-7-5
MUESTREO: PCA-12

MÉTODO DE PRUEBA ESTANDAR PARA DETERMINAR EL VALOR RELATIVO DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R) DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO.- ASTM-D1883 Y AASHTO T-193

Humedad Óptima	(%)	26.5
Máxima Densidad Seca	(kg/m³)	1422.85

Nº de Molde		7(10 golpes)	8(25 golpes)	9(56 golpes)
Peso Suelo Húm. + Peso Molde	(g)	10825	11338	11657
Peso de Molde	(g)	7973	7966	7948
Peso Suelo Húmedo	(g)	2852	3372	3709
Volumen del Molde	(cm³)	2118.88	2123.38	2121.71
Densidad del Suelo Húmedo	(kg/m³)	1345.99	1588.03	1748.12

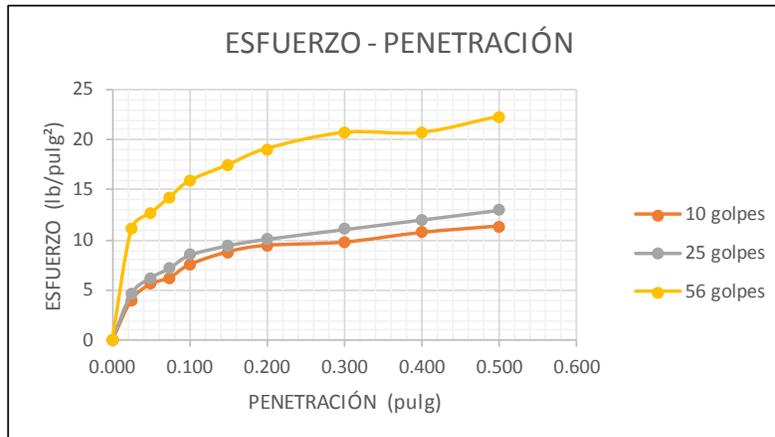
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD Y % DE COMPACTACIÓN DEL ESPECIMEN							
Nº de Recipiente							
Peso Suelo h. + Peso de Recipiente	(g)	314.7	292.9	297.2	317.4	318	319
Peso Suelo S. + Peso de Recipiente	(g)	272.8	251.5	256	275.7	276	276.8
Peso del Agua	(g)	41.9	41.4	41.2	41.7	42	42.2
Peso del Recipiente	(g)	114.7	92.9	97.2	117.4	118	119
Peso Suelo Seco	(g)	158.1	158.6	158.8	158.3	158	157.8
Humedad	(%)	26.50	26.10	25.94	26.34	26.58	26.74
Humedad Promedio	(%)	26.30		26.14		26.66	
Densidad de Suelo Seco	(kg/m³)	1065.69		1258.91		1380.14	
% de Compactación (según Densidad Máx.)		74.90		88.48		97.00	

FECHA	HORA	DETERMINACIÓN DE LA EXPANSIÓN					
		1"	mm	1"	mm	1"	mm
01/09/2016	07:20 a.m.	0	0.00	0	0.00	0	0.00
		0	0.00	0	0.00	0	0.00
		0	0.00	0	0.00	0	0.00
		0	0.00	0	0.00	0	0.00
05/09/2016	07:40 a.m.	0.594	15.09	0.873	22.17	0.698	17.73
% de Hinchamiento		12.97%	12.97%	19.04%	19.04%	15.24%	15.24%

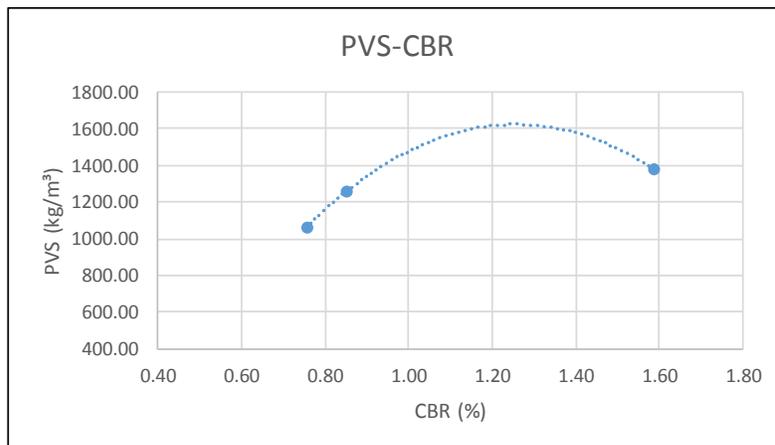
DETERMINACIÓN DEL % DE AGUA ABSORBIDA DURANTE EL PROCESO DE SATURACIÓN (96 HORAS)				
Peso Molde + Suelo Saturado	(g)	11617	12072	12106
Peso Molde	(g)	7973	7966	7948
Peso Suelo Saturado	(g)	3644	4106	4158
Peso Suelo Humedad Óptima	(g)	2852	3372	3709
Agua Absorbida	(g)	792	734	449
Peso Suelo Seco	(g)	2258.07	2673.15	2928.25
Humedad Absorbida	(%)	35.07	27.46	15.33

DETERMINACIÓN DEL VALOR RELATIVO DE SOPORTE						
PENETRACIÓN (in)	Lectura Dial	ESFUERZO DE PENETRACIÓN (lb/pulg²)	Lectura Dial	ESFUERZO DE PENETRACIÓN (lb/pulg²)	Lectura Dial	ESFUERZO DE PENETRACIÓN (lb/pulg²)
0.000	0	0	0	0	0	0
0.025	0.8	4.04	1	4.68	3	11.08
0.050	1.3	5.64	1.5	6.28	3.5	12.67
0.075	1.5	6.28	1.8	7.24	4	14.27
0.100	1.9	7.56	2.2	8.52	4.5	15.87
0.150	2.3	8.84	2.5	9.48	5	17.47
0.200	2.5	9.48	2.7	10.12	5.5	19.07
0.300	2.6	9.80	3	11.08	6	20.67
0.400	2.9	10.76	3.3	12.03	6	20.67
0.500	3.1	11.39	3.6	12.99	6.5	22.27

MOLDE	TARA (g)	TARA +Mh (g)	TARA +Ms (g)	W agua (g)	SUELO SECO (g)	% HUMEDAD
1	114.7	314.7	235.7	79	121	65.29
2	97.2	297.2	220	77.2	122.8	62.87
3	118	318	243.7	74.3	125.7	59.11



MOLDE	PENETRACIÓN (pulg)	PRESIÓN APLICADA (lb/pulg²)	PRESIÓN PATRÓN (lb/pulg²)	CBR (%)	DENSIDAD SECA
1	0.1	7.56	1000	0.76	1065.69
2	0.1	8.52	1000	0.85	1258.91
3	0.1	15.87	1000	1.59	1380.14



Densidad proctor	1422.85
95% Densidad proctor	1351.71
CBR	1.10%

FECHA DE ENSAYO: 23-SEP-2016
TIPO DE MATERIAL: A-7-5
MUESTREO: CA-01

MÉTODO DE PRUEBA ESTANDAR PARA DETERMINAR EL VALOR RELATIVO DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R) DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO.- ASTM-D1883 Y AASHTO T-193

Humedad Óptima	(%)	23.27
Máxima Densidad Seca	(kg/m³)	1507.46

Nº de Molde		1(10 golpes)	2(25 golpes)	3(56 golpes)
Peso Suelo Húm. + Peso Molde	(g)	11244	11587	12007
Peso de Molde	(g)	8047	7909	7981
Peso Suelo Húmedo	(g)	3197	3678	4026
Volumen del Molde	(cm³)	2113.08	2122.65	2136.4
Densidad del Suelo Húmedo	(kg/m³)	1512.96	1732.74	1884.48

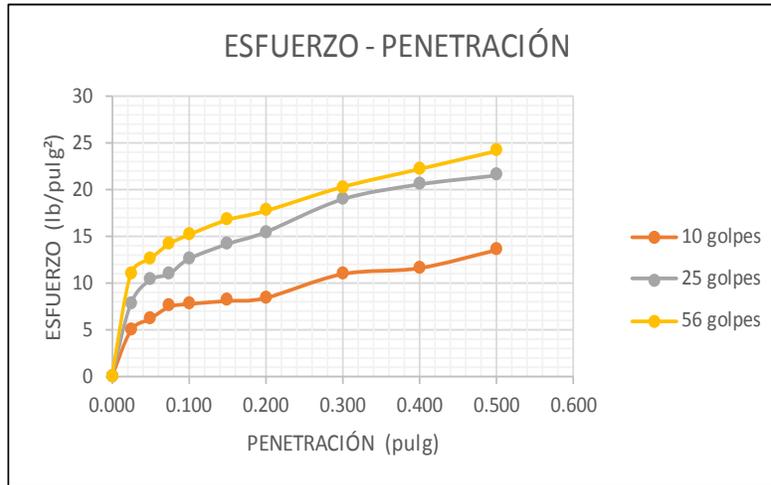
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD Y % DE COMPACTACIÓN DEL ESPECIMEN							
Nº de Recipiente							
Peso Suelo h. + Peso de Recipiente	(g)	338.8	338.4	317.6	321.5	289.4	292.6
Peso Suelo S. + Peso de Recipiente	(g)	302.7	303.4	282	285.9	254.4	257
Peso del Agua	(g)	36.1	35	35.6	35.6	35	35.6
Peso del Recipiente	(g)	138.8	138.4	117.6	121.5	89.4	92.6
Peso Suelo Seco	(g)	163.9	165	164.4	164.4	165	164.4
Humedad	(%)	22.03	21.21	21.65	21.65	21.21	21.65
Humedad Promedio	(%)	21.62		21.65		21.43	
Densidad de Suelo Seco	(kg/m³)	1244.02		1424.31		1551.86	
% de Compactación (según Densidad Máx.)		82.52		94.48		102.95	

FECHA	HORA	DETERMINACIÓN DE LA EXPANSIÓN					
		1"	mm	1"	mm	1"	mm
22/09/2016	08:20 a.m.	0	0.00	0	0.00	0	0.00
		0	0.00	0	0.00	0	0.00
		0	0.00	0	0.00	0	0.00
		0	0.00	0	0.00	0	0.00
26/09/2016	08:20 a.m.	0.629	15.98	0.524	13.31	0.465	11.81
% de Hinchamiento		13.75%	13.75%	11.41%	11.41%	10.09%	10.09%

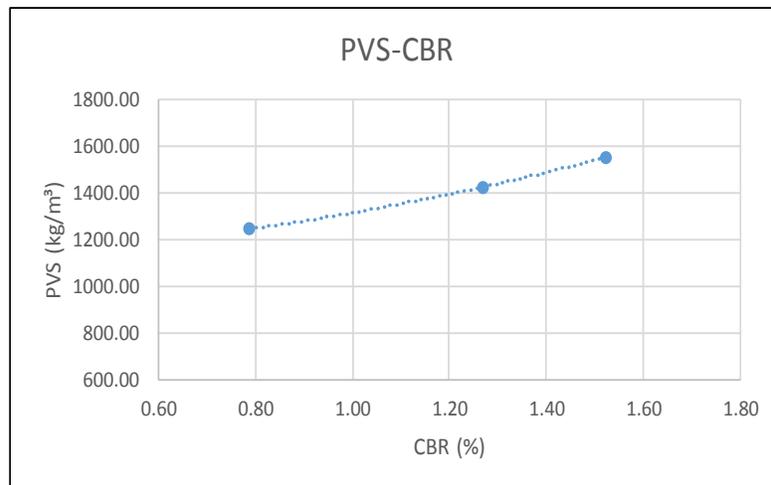
DETERMINACIÓN DEL % DE AGUA ABSORBIDA DURANTE EL PROCESO DE SATURACIÓN (96 HORAS)				
Peso Molde + Suelo Saturado	(g)	11925	11954	12267
Peso Molde	(g)	8047	7909	7981
Peso Suelo Saturado	(g)	3878	4045	4286
Peso Suelo Humedad Óptima	(g)	3197	3678	4026
Agua Absorbida	(g)	681	367	260
Peso Suelo Seco	(g)	2628.70	3023.32	3315.40
Humedad Absorbida	(%)	25.91	12.14	7.84

DETERMINACIÓN DEL VALOR RELATIVO DE SOPORTE						
PENETRACIÓN (in)	Lectura Dial	ESFUERZO DE PENETRACIÓN (lb/pulg²)	Lectura Dial	ESFUERZO DE PENETRACIÓN (lb/pulg²)	Lectura Dial	ESFUERZO DE PENETRACIÓN (lb/pulg²)
0.000	0	0	0	0	0	0
0.025	1.1	5.00	2	7.88	3	11.08
0.050	1.5	6.28	2.8	10.44	3.5	12.67
0.075	1.9	7.56	3	11.08	4	14.27
0.100	2	7.88	3.5	12.67	4.3	15.23
0.150	2.1	8.20	4	14.27	4.8	16.83
0.200	2.2	8.52	4.4	15.55	5.1	17.79
0.300	3	11.08	5.5	19.07	5.9	20.35
0.400	3.2	11.71	6	20.67	6.5	22.27
0.500	3.8	13.63	6.3	21.63	7.1	24.19

MOLDE	TARA (g)	TARA +Mh (g)	TARA +Ms (g)	W agua (g)	SUELO SECO (g)	% HUMEDAD
1	117.4	317.4	245	72.4	127.6	56.74
2	121.5	321.5	251.6	69.9	130.1	53.73
3	138.7	338.7	267.8	70.9	129.1	54.92



MOLDE	PENETRACIÓN (pulg)	PRESIÓN APLICADA (lb/pulg²)	PRESIÓN PATRÓN (lb/pulg²)	CBR (%)	DENSIDAD SECA
1	0.1	7.88	1000	0.79	1244.02
2	0.1	12.67	1000	1.27	1424.31
3	0.1	15.23	1000	1.52	1551.86



Densidad proctor	1507.46
95% Densidad proctor	1432.09
CBR	1.30%

FECHA DE ENSAYO: 10-OCT-2016
TIPO DE MATERIAL: A-7-5
MUESTREO: CA-02

MÉTODO DE PRUEBA ESTANDAR PARA DETERMINAR EL VALOR RELATIVO DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R) DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO.- ASTM-D1883 Y AASHTO T-193

Humedad Óptima	(%)	24.79
Máxima Densidad Seca	(kg/m³)	1323.58

Nº de Molde		7(10 golpes)	8(25 golpes)	9(56 golpes)
Peso Suelo Húm. + Peso Molde	(g)	10977	11380	11565
Peso de Molde	(g)	7973	7966	7948
Peso Suelo Húmedo	(g)	3004	3414	3617
Volumen del Molde	(cm³)	2118.88	2123.38	2121.71
Densidad del Suelo Húmedo	(kg/m³)	1417.73	1607.81	1704.76

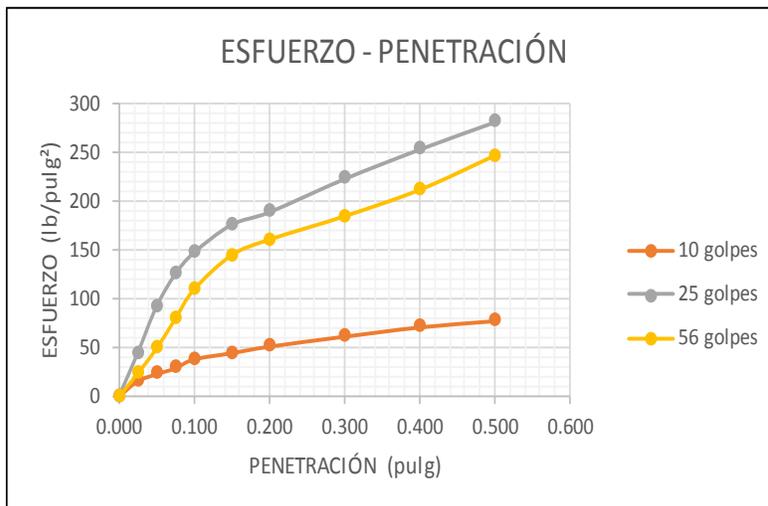
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD Y % DE COMPACTACIÓN DEL ESPECIMEN							
Nº de Recipiente							
Peso Suelo h. + Peso de Recipiente	(g)	321	292.4	318.3	317.4	319	317
Peso Suelo S. + Peso de Recipiente	(g)	279.1	250.5	276.8	275.5	277.2	276.2
Peso del Agua	(g)	41.9	41.9	41.5	41.9	41.8	40.8
Peso del Recipiente	(g)	121	92.4	118.3	117.4	119	117
Peso Suelo Seco	(g)	158.1	158.1	158.5	158.1	158.2	159.2
Humedad	(%)	26.50	26.50	26.18	26.50	26.42	25.63
Humedad Promedio	(%)	26.50		26.34		26.03	
Densidad de Suelo Seco	(kg/m³)	1120.72		1272.58		1352.71	
% de Compactación (según Densidad Máx.)		84.67		96.15		102.20	

FECHA	HORA	DETERMINACIÓN DE LA EXPANSIÓN					
		1"	mm	1"	mm	1"	mm
06/10/2016	08:00 a.m.	0	0.00	0	0.00	0	0.00
		0	0.00	0	0.00	0	0.00
		0	0.00	0	0.00	0	0.00
		0	0.00	0	0.00	0	0.00
10/10/2016	08:00 a.m.	0.7	17.78	0.65	16.51	0.96	24.38
% de Hinchamiento		15.29%	15.29%	14.18%	14.18%	20.97%	20.97%

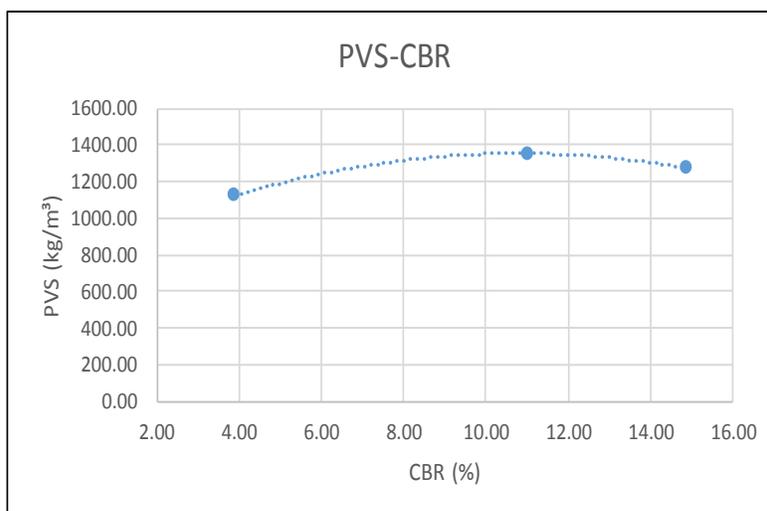
DETERMINACIÓN DEL % DE AGUA ABSORBIDA DURANTE EL PROCESO DE SATURACIÓN (96 HORAS)			
Peso Molde + Suelo Saturado	(g)	11388	11639
Peso Molde	(g)	7973	7966
Peso Suelo Saturado	(g)	3415	3673
Peso Suelo Humedad Óptima	(g)	3004	3414
Agua Absorbida	(g)	411	259
Peso Suelo Seco	(g)	2374.66	2702.18
Humedad Absorbida	(%)	17.31	9.58

DETERMINACIÓN DEL VALOR RELATIVO DE SOPORTE						
PENETRACIÓN (in)	Lectura Dial	ESFUERZO DE PENETRACIÓN (lb/pulg²)	Lectura Dial	ESFUERZO DE PENETRACIÓN (lb/pulg²)	Lectura Dial	ESFUERZO DE PENETRACIÓN (lb/pulg²)
0.000	0	0	0	0	0	0
0.025	4.6	16.19	13.5	44.65	7	23.87
0.050	6.9	23.55	28.5	92.61	15	49.45
0.075	8.8	29.62	39	126.19	24.5	79.82
0.100	11.7	38.89	46	148.57	34	110.20
0.150	13.7	45.29	55	177.35	45	145.37
0.200	15.8	52.00	59	190.14	50	161.36
0.300	19	62.24	69.7	224.35	57.5	185.34
0.400	22	71.83	79.2	254.73	66	212.52
0.500	24	78.22	88	282.87	77	247.70

MOLDE	TARA (g)	TARA +Mh (g)	TARA +Ms (g)	W agua (g)	SUELO SECO (g)	% HUMEDAD
1	117	317	255.7	61.3	138.7	44.20
2	118.3	318.3	260.3	58	142	40.85
3	119	319	260	59	141	41.84



MOLDE	PENETRACIÓN (pulg)	PRESIÓN APLICADA (lb/pulg²)	PRESIÓN PATRÓN (lb/pulg²)	CBR (%)	DENSIDAD SECA
1	0.1	38.89	1000	3.89	1120.72
2	0.1	148.57	1000	14.86	1272.58
3	0.1	110.20	1000	11.02	1352.71



Densidad proctor	1323.58
95% Densidad proctor	1257.40
CBR	8.00%

FECHA DE ENSAYO: 03-OCT-2016
TIPO DE MATERIAL: A-7-5
MUESTREO: CA-03

MÉTODO DE PRUEBA ESTANDAR PARA DETERMINAR EL VALOR RELATIVO DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R) DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO.- ASTM-D1883 Y AASHTO T-193

Humedad Óptima	(%)	25.89
Máxima Densidad Seca	(kg/m³)	1349.74

Nº de Molde		1(10 golpes)	2(25 golpes)	3(56 golpes)
Peso Suelo Húm. + Peso Molde	(g)	10862	11088	11662
Peso de Molde	(g)	8047	7909	7981
Peso Suelo Húmedo	(g)	2815	3179	3681
Volumen del Molde	(cm³)	2113.08	2122.65	2136.4
Densidad del Suelo Húmedo	(kg/m³)	1332.18	1497.66	1722.99

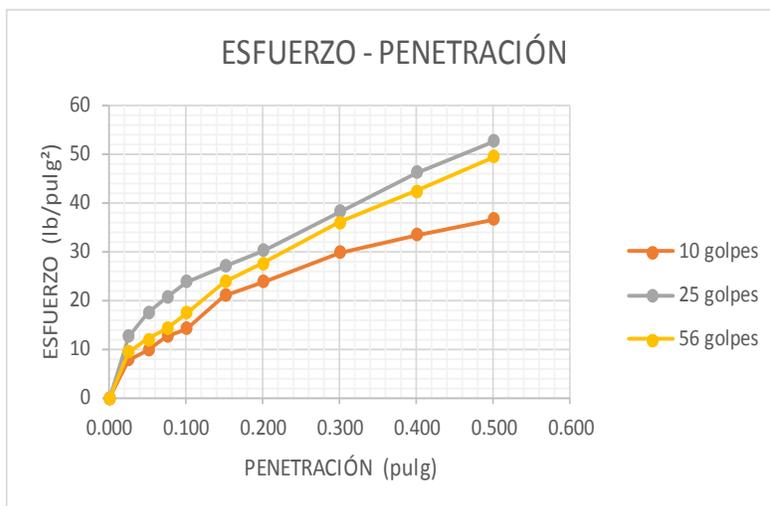
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD Y % DE COMPACTACIÓN DEL ESPECIMEN							
Nº de Recipiente							
Peso Suelo h. + Peso de Recipiente	(g)	316.5	319	338.7	317.4	320.5	292.8
Peso Suelo S. + Peso de Recipiente	(g)	275	277.7	297	276.4	278.9	251.5
Peso del Agua	(g)	41.5	41.3	41.7	41	41.6	41.3
Peso del Recipiente	(g)	116.5	119	138.7	117.4	120.5	92.8
Peso Suelo Seco	(g)	158.5	158.7	158.3	159	158.4	158.7
Humedad	(%)	26.18	26.02	26.34	25.79	26.26	26.02
Humedad Promedio	(%)	26.10		26.06		26.14	
Densidad de Suelo Seco	(kg/m³)	1056.42		1188.01		1365.90	
% de Compactación (según Densidad Máx.)		78.27		88.02		101.20	

FECHA	HORA	DETERMINACIÓN DE LA EXPANSIÓN					
		1"	mm	1"	mm	1"	mm
12/10/2016	08:20 a.m.	0	0.00	0	0.00	0	0.00
		0	0.00	0	0.00	0	0.00
		0	0.00	0	0.00	0	0.00
		0	0.00	0	0.00	0	0.00
16/10/2016	08:20 a.m.	0.26	6.60	0.361	9.17	0.497	12.62
% de Hinchamiento		5.68%	5.68%	7.86%	7.86%	10.79%	10.79%

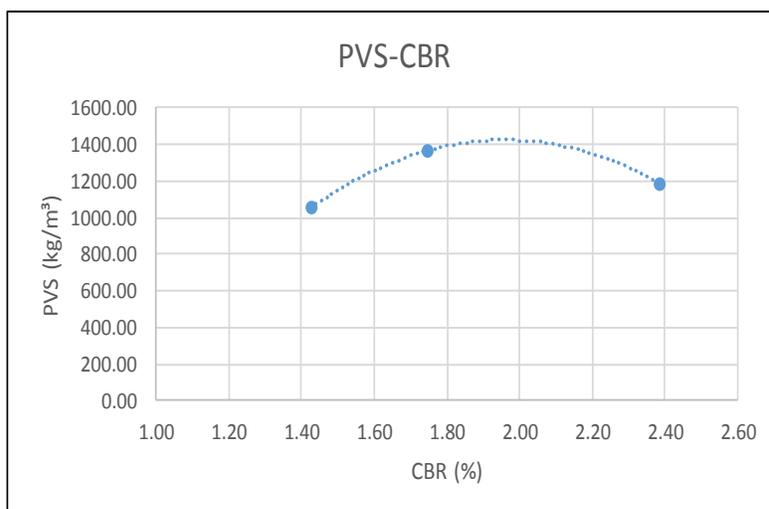
DETERMINACIÓN DEL % DE AGUA ABSORBIDA DURANTE EL PROCESO DE SATURACIÓN (96 HORAS)			
Peso Molde + Suelo Saturado	(g)	11504	11635
Peso Molde	(g)	8047	7909
Peso Suelo Saturado	(g)	3457	3726
Peso Suelo Humedad Óptima	(g)	2815	3179
Agua Absorbida	(g)	642	547
Peso Suelo Seco	(g)	2232.29	2521.73
Humedad Absorbida	(%)	28.76	21.69

DETERMINACIÓN DEL VALOR RELATIVO DE SOPORTE						
PENETRACIÓN (in)	Lectura Dial	ESFUERZO DE PENETRACIÓN (lb/pulg²)	Lectura Dial	ESFUERZO DE PENETRACIÓN (lb/pulg²)	Lectura Dial	ESFUERZO DE PENETRACIÓN (lb/pulg²)
0.000	0	0	0	0	0	0
0.025	2	7.88	3.5	12.67	2.5	9.48
0.050	2.6	9.80	5	17.47	3.3	12.03
0.075	3.5	12.67	6	20.67	4	14.27
0.100	4	14.27	7	23.87	5	17.47
0.150	6.1	20.99	8	27.06	7	23.87
0.200	7	23.87	9	30.26	8.2	27.70
0.300	8.9	29.94	11.5	38.25	10.8	36.02
0.400	10	33.46	14	46.25	12.8	42.41
0.500	11	36.66	16	52.64	15	49.45

MOLDE	TARA (g)	TARA +Mh (g)	TARA +Ms (g)	W agua (g)	SUELO SECO (g)	% HUMEDAD
1	115	315	240.1	74.9	125.1	59.87
2	117.7	317.7	241.8	75.9	124.1	61.16
3	117	317	249.3	67.7	132.3	51.17



MOLDE	PENETRACIÓN (pulg)	PRESIÓN APLICADA (lb/pulg²)	PRESIÓN PATRÓN (lb/pulg²)	CBR (%)	DENSIDAD SECA
1	0.1	14.27	1000	1.43	1056.42
2	0.1	23.87	1000	2.39	1188.01
3	0.1	17.47	1000	1.75	1365.90



Densidad proctor	1349.74
95% Densidad proctor	1282.25
CBR	1.70%

FECHA DE ENSAYO: 29-SEP-2016
TIPO DE MATERIAL: A-7-5
MUESTREO: CA-04

MÉTODO DE PRUEBA ESTANDAR PARA DETERMINAR EL VALOR RELATIVO DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R) DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO.- ASTM-D1883 Y AASHTO T-193

Humedad Óptima	(%)	22.21		
Máxima Densidad Seca	(kg/m³)	1532.89		
Nº de Molde		4(10 golpes)	5(25 golpes)	6(56 golpes)
Peso Suelo Húm. + Peso Molde	(g)	10975	11428	11638
Peso de Molde	(g)	7949	7929	7734
Peso Suelo Húmedo	(g)	3026	3499	3904
Volumen del Molde	(cm³)	2110.41	2115.73	2136.4
Densidad del Suelo Húmedo	(kg/m³)	1433.84	1653.80	1827.37

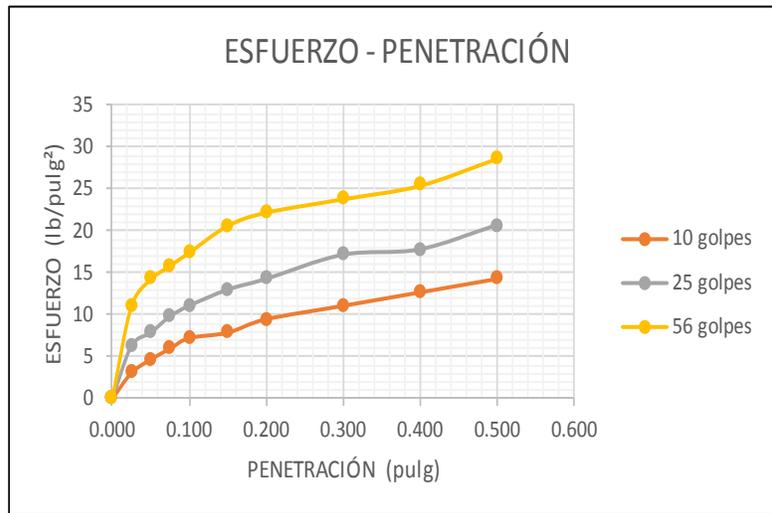
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD Y % DE COMPACTACIÓN DEL ESPECIMEN							
Nº de Recipiente							
Peso Suelo h. + Peso de Recipiente	(g)	338.3	338.3	296.9	291.8	289.6	292.7
Peso Suelo S. + Peso de Recipiente	(g)	301.7	302.5	261.6	257.8	254.1	257.7
Peso del Agua	(g)	36.6	35.8	35.3	34	35.5	35
Peso del Recipiente	(g)	138.3	138.3	96.9	91.8	89.6	92.7
Peso Suelo Seco	(g)	163.4	164.2	164.7	166	164.5	165
Humedad	(%)	22.40	21.80	21.43	20.48	21.58	21.21
Humedad Promedio	(%)	22.10			20.96		
Densidad de Suelo Seco	(kg/m³)	1174.31			1367.26		
% de Compactación (según Densidad Máx.)		76.61			89.19		
					98.20		

FECHA	HORA	DETERMINACIÓN DE LA EXPANSIÓN					
		1"	mm	1"	mm	1"	mm
29/09/2016	08:20 a.m.	0	0.00	0	0.00	0	0.00
		0	0.00	0	0.00	0	0.00
		0	0.00	0	0.00	0	0.00
		0	0.00	0	0.00	0	0.00
03/10/2016	08:20 a.m.	0.589	14.96	0.776	19.71	0.465	11.81
% de Hinchamiento		12.85%	12.85%	16.91%	16.91%	10.21%	10.21%

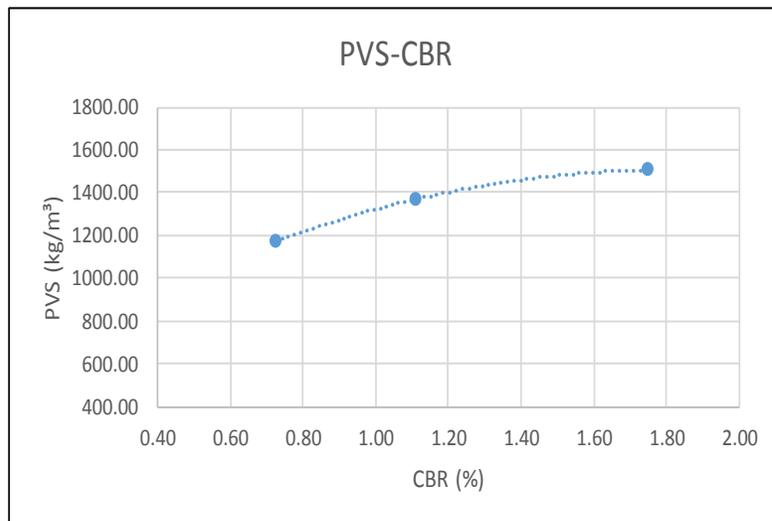
DETERMINACIÓN DEL % DE AGUA ABSORBIDA DURANTE EL PROCESO DE SATURACIÓN (96 HORAS)			
Peso Molde + Suelo Saturado	(g)	11741	12027
Peso Molde	(g)	7949	7929
Peso Suelo Saturado	(g)	3792	4098
Peso Suelo Humedad Óptima	(g)	3026	3499
Agua Absorbida	(g)	766	599
Peso Suelo Seco	(g)	2478.28	2892.75
Humedad Absorbida	(%)	30.91	20.71

DETERMINACIÓN DEL VALOR RELATIVO DE SOPORTE						
PENETRACIÓN (in)	Lectura Dial	ESFUERZO DE PENETRACIÓN (lb/pulg²)		ESFUERZO DE PENETRACIÓN (lb/pulg²)		ESFUERZO DE PENETRACIÓN (lb/pulg²)
		Lectura Dial		Lectura Dial		
0.000	0	0	0	0	0	0
0.025	0.5	3.08	1.5	6.28	3	11.08
0.050	1	4.68	2	7.88	4	14.27
0.075	1.4	5.96	2.6	9.80	4.5	15.87
0.100	1.8	7.24	3	11.08	5	17.47
0.150	2	7.88	3.6	12.99	6	20.67
0.200	2.5	9.48	4	14.27	6.5	22.27
0.300	3	11.08	4.9	17.15	7	23.87
0.400	3.5	12.67	5.1	17.79	7.5	25.46
0.500	4	14.27	6	20.67	8.5	28.66

MOLDE	TARA (g)	TARA +Mh (g)	TARA +Ms (g)	W agua (g)	SUELO SECO (g)	% HUMEDAD
1	138.3	338.3	256.5	81.8	118.2	69.20
2	96.9	296.9	228.5	68.4	131.6	51.98
3	89.6	289.6	224.6	65	135	48.15



MOLDE	PENETRACIÓN (pulg)	PRESIÓN APLICADA (lb/pulg²)	PRESIÓN PATRÓN (lb/pulg²)	CBR (%)	DENSIDAD SECA
1	0.1	7.24	1000	0.72	1174.31
2	0.1	11.08	1000	1.11	1367.26
3	0.1	17.47	1000	1.75	1505.30



Densidad proctor	1532.89
95% Densidad proctor	1456.25
CBR	1.40%

Anexo E. Ensayos de Módulo de Resiliencia.

Resumen de ensayo de pozo CA-1_1

Resilient Modulus (MPa)	Resilient Modulus (PSI)	σ_1	σ_2	σ_3	θ	$y=\text{Log}(M_r)$	$x1=\text{Log}(\theta/\text{Pa})$
65.36	9479.66	39.84	21.31	21.31	82.46	11.08767	-0.20602
72.98	10584.85	58.17	21.00	21.00	100.17	11.19794	-0.01146
78.74	11420.27	76.89	21.21	21.21	119.31	11.27391	0.16339
72.05	10449.97	66.30	35.23	35.23	136.76	11.18512	0.29989
83.82	12157.06	96.87	35.19	35.19	167.25	11.33643	0.50116
96.17	13948.28	127.61	35.17	35.17	197.95	11.47387	0.66968
95.66	13874.31	132.33	69.94	69.94	272.21	11.46856	0.98824
110.03	15958.50	192.77	69.93	69.93	332.63	11.60851	1.18870
112.69	16344.30	253.72	70.18	70.18	394.08	11.63240	1.35822
99.74	14466.06	167.07	104.66	104.66	376.39	11.51032	1.31229
106.12	15391.40	197.14	104.75	104.75	406.64	11.57233	1.38960
116.47	16892.54	287.91	104.54	104.54	496.99	11.66539	1.59024
113.16	16412.47	232.23	139.17	139.17	510.57	11.63656	1.61719
116.44	16888.19	262.15	139.17	139.17	540.49	11.66513	1.67414
120.69	17504.60	382.67	139.14	139.14	660.95	11.70098	1.87535

Constantes de regresión lineal múltiple:

pozos	constantes		Esfuerzo desviador (kPa)	Esfuerzo confinamiento (kPa)	σ_1 (kPa)	σ_2 (kPa)	σ_3 (kPa)	θ (kPa)	Mr(kPa)	Mr (Mpa)
	k1	k2								
CA-01_1	72266.26	0.290994	55	28	83	28	28	139	78780.44	78.78

Modelo K- θ PARA CA-1_1

$$M_R = k_1 \left(\frac{\theta}{P_a} \right)^{k_2}$$

$$M_R = 72266.26 \left(\frac{\theta}{P_a} \right)^{0.290994}$$

AASHTO T 307-99: Resilient Modulus of Subgrade Soils and Untreated Base/Subbase Materials

Lab Address
El Salvador

Test temperature (DegC)	20.0
Air void content (%)	0
Diameter (mm)	102.0
Height (mm)	203.0

Date of Test mar_11 de oct de 2016 @ 08:15

Report Number

Operator Ricardo Flores Escoto

Specimen ID CA1

Client Name

Seq. No.	Nominal Chamber Confining Pressure (kPa)	Chamber Confining Pressure (kPa)	Nominal Maximum Axial Stress (kPa)	Cycle No.	Actual Applied Max. Axial Load (N)	Actual Applied Max. Axial Stress (kPa)	Actual Applied Contact Load (N)	Actual Applied Max. Axial Stress (kPa)	Actual Applied Cyclic Axial Stress (kPa)	Actual Applied Contact Axial Stress (kPa)	Recov. Def. LVDT1 (mm)	Recov. Def. LVDT2 (mm)	Average Recov. Def. LVDT 1&2 (mm)	Resilient Strain (mm/mm)	Resilient Modulus (MPa)
1	20.70	21.31	20.70		168.42	151.39	17.03	20.62	18.53	2.08	0.0567	0.0590	0.0576	0.000284	65.36
2	20.70	21.00	41.40		336.51	303.60	32.91	41.20	37.17	4.03	0.1003	0.1070	0.1034	0.000509	72.98
3	20.70	21.21	62.10		504.06	454.83	49.23	61.71	55.68	6.03	0.1374	0.1499	0.1436	0.000707	78.74
4	34.50	35.23	34.50		283.75	253.82	29.93	34.74	31.07	3.66	0.0852	0.0902	0.0876	0.000431	72.05
5	34.50	35.19	68.90		558.34	503.84	54.49	68.36	61.68	6.67	0.1428	0.1565	0.1494	0.000736	83.82
6	34.50	35.17	103.40		834.77	755.06	79.71	102.20	92.44	9.76	0.1865	0.2043	0.1951	0.000961	96.17
7	68.90	69.94	68.90		570.65	509.65	61.00	69.86	62.39	7.47	0.1294	0.1357	0.1324	0.000652	95.66
8	68.90	69.93	137.90		1108.00	1003.41	104.60	135.65	122.84	12.81	0.2200	0.2338	0.2266	0.001116	110.03
9	68.90	70.18	206.80		1651.92	1499.17	152.75	202.24	183.54	18.70	0.3240	0.3377	0.3306	0.001629	112.69
10	103.40	104.66	68.90		571.19	509.81	61.38	69.93	62.41	7.51	0.1200	0.1345	0.1270	0.000626	99.74
11	103.40	104.75	103.40		834.77	754.63	80.14	102.20	92.39	9.81	0.1675	0.1862	0.1767	0.000871	106.12
12	103.40	104.54	206.80		1649.04	1497.76	151.28	201.89	183.37	18.52	0.3084	0.3311	0.3196	0.001574	116.47
13	137.90	139.17	103.40		853.59	760.16	93.43	104.50	93.06	11.44	0.1615	0.1727	0.1669	0.000822	113.16
14	137.90	139.17	137.90		1110.66	1004.54	106.12	135.98	122.98	12.99	0.2064	0.2227	0.2144	0.001056	116.44
15	137.90	139.14	275.80		2183.42	1989.13	194.28	267.31	243.53	23.79	0.3923	0.4273	0.4096	0.002018	120.69

Data File

CA1_1.tdms

Signed

Notes

Record details about the specimen in this area:
 Bulk Density:
 Poisson's Ratio:
 Description of asphaltic material:
 How it was mixed:
 How it was compacted:
 How bulk density was determined:

Date



Resumen CA1_1

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0.970265471
Coefficiente de determinación R ²	0.941415084
R ² ajustado	0.936908552
Error típico	0.050797382
Observaciones	15

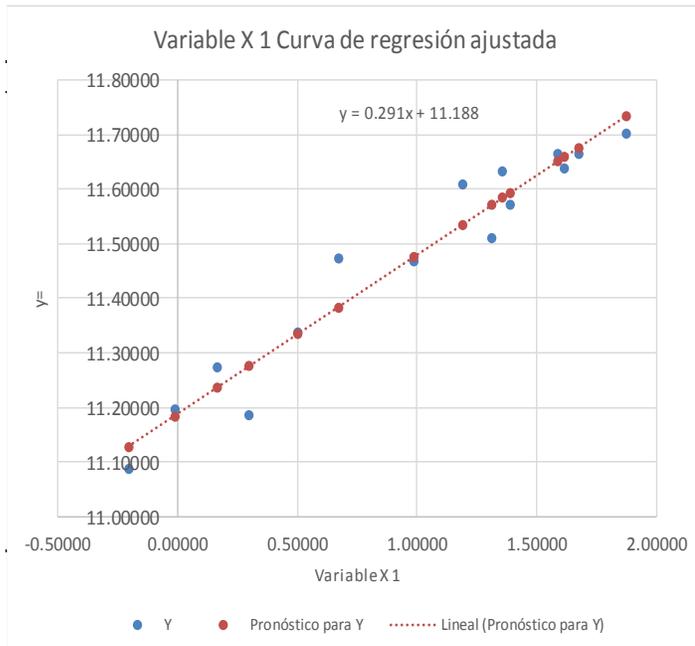
ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	1	0.539040442	0.539040442	208.9001206	2.1805E-09
Residuos	13	0.033544862	0.002580374		
Total	14	0.572585304			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>
Intercepción	11.1881126	0.023369775	478.742843	5.44223E-29	11.13762527	11.23859993
Variable X 1	0.290994425	0.020133317	14.45337748	2.1805E-09	0.247499039	0.334489811

k1= 72266.2574

k2= 0.290994425



FORMATO RESUMEN DEL MÓDULO

Resumen de ensayo de pozo CA-1_2

Resilient Modulus (MPa)	Resilient Modulus (PSI)	σ_1	σ_2	σ_3	θ	$y=\text{Log}(M_r)$	$x=\text{Log}(\theta/P_a)$
63.45	9202.64	40.08	2149	2149	83.06	1105801	-0.19877
79.13	11476.83	58.37	2107	2107	100.51	1127885	-0.00808
88.96	12902.55	77.08	2149	2149	120.06	1139594	0.16966
94.08	13645.15	66.22	35.28	35.28	136.78	1145190	0.30004
96.62	14013.54	97.20	35.53	35.53	168.26	1147854	0.50718
98.57	14296.37	127.72	35.42	35.42	198.56	1149852	0.67276
117.79	17083.99	132.64	70.13	70.13	272.90	1167666	0.99077
130.17	18879.56	192.91	70.19	70.19	333.29	1177660	1.19068
130.14	18875.21	253.32	69.96	69.96	393.24	1177637	1.35609
136.41	19784.59	167.05	104.67	104.67	376.39	1182342	1.31229
135.02	19582.99	197.27	104.67	104.67	406.61	1181318	1.38952
134.96	19574.29	288.32	104.71	104.71	497.74	1181273	1.59174
143.19	20767.95	232.10	139.06	139.06	510.22	1187193	1.61651
141.55	20530.09	261.82	138.90	138.90	539.62	1186041	1.67253
137.1	19884.67	382.29	138.79	138.79	659.87	1182847	1.87371

Constantes de regresión lineal múltiple:

pozos	constantes		Esfuerzo desviador (kPa)	Esfuerzo confinamiento (kPa)	σ_1 (kPa)	σ_2 (kPa)	σ_3 (kPa)	θ (kPa)	Mr(kPa)	Mr (Mpa)
	k1	k2								
CA-01_2	79287.44	0.359432	55	28	83	28	28	139	88206.92	88.21

Modelo K- θ PARA CA-1_2

$$M_R = k_1 \left(\frac{\theta}{P_a} \right)^{k_2}$$

$$M_R = 79287.44 \left(\frac{\theta}{P_a} \right)^{0.359432}$$

AASHTO T 307-99: Resilient Modulus of Subgrade Soils and Untreated Base/Subbase Materials

Date of Test mar, 11 de oct de 2016 @ 08:57
 Report Number
 Operator Ricardo Flores Escoto
 Specimen ID CA1
 Client Name

Test temperature (DegC) 20.0
 Air void content (%) 0
 Diameter (mm) 102.0
 Height (mm) 203.0

Lab Address
 El Salvador

Seq. No.	Nominal Chamber Confining Pressure (kPa)	Nominal Maximum Axial Stress (kPa)	Cycle No.	Actual Applied Max. Axial Load (N)	Actual Applied Cycle Axial Load (N)	Actual Applied Contact Load (N)	Actual Applied Max. Axial Stress (kPa)	Actual Applied Cycle Axial Stress (kPa)	Actual Applied Contact Axial Stress (kPa)	Recov. Def. LVD11 (mm)	Recov. Def. LVD12 (mm)	Average Recov. Def. LVD1 & 2 (mm)	Resilient Strain (mm/mm)	Resilient Modulus (MPa)
1	20.70	20.70	21.49	169.07	151.93	17.13	20.69	18.59	2.10	0.0582	0.0613	0.0595	0.000293	63.45
2	20.70	41.40	21.07	337.60	304.79	32.81	41.31	37.30	4.01	0.0922	0.0994	0.0957	0.000471	79.13
3	20.70	62.10	21.49	503.47	454.23	49.23	61.61	55.59	6.03	0.1207	0.1334	0.1268	0.000625	88.96
4	34.50	34.50	35.28	283.16	252.79	30.37	34.65	30.94	3.72	0.0635	0.0707	0.0668	0.000329	94.08
5	34.50	68.90	35.53	558.61	503.90	54.71	68.36	61.67	6.70	0.1219	0.1375	0.1296	0.000638	96.62
6	34.50	103.40	35.42	834.17	754.19	79.98	102.09	92.30	9.79	0.1780	0.2025	0.1901	0.000936	98.57
7	68.90	68.90	70.13	571.95	510.79	61.16	70.00	62.51	7.49	0.1040	0.1119	0.1077	0.000531	117.79
8	68.90	137.90	70.19	1107.57	1002.81	104.76	135.54	122.72	12.82	0.1883	0.1950	0.1914	0.000943	130.17
9	68.90	206.80	69.96	1651.11	1498.25	152.86	202.06	183.36	18.71	0.2860	0.2864	0.2860	0.001409	130.14
10	103.40	103.40	104.67	570.86	509.70	61.16	69.86	62.38	7.49	0.0922	0.0939	0.0928	0.000457	136.41
11	103.40	103.40	104.67	836.51	756.69	79.82	102.37	92.60	9.77	0.1382	0.1407	0.1392	0.000686	135.02
12	103.40	206.80	104.71	1651.59	1500.31	151.28	202.12	183.61	18.51	0.2760	0.2768	0.2762	0.001361	134.96
13	137.90	137.90	139.06	853.69	760.27	93.43	104.47	93.04	11.43	0.1259	0.1381	0.1319	0.000650	143.19
14	137.90	137.90	138.90	1110.88	1004.44	106.44	135.95	122.92	13.03	0.1689	0.1841	0.1763	0.000868	141.55
15	137.90	275.80	138.79	2184.07	1989.68	194.39	267.29	243.50	23.79	0.3500	0.3714	0.3605	0.001776	137.10

Data File
 CA1_2.tdms

Signed

Notes

Record details about the specimen in this area:
 Bulk Density:
 Poisson's Ratio:
 Description of asphaltic material:
 How it was mixed:
 How it was compacted:
 How bulk density was determined:

Date



Resumen CA-1_2

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación múltiple	0.96459657
Coefficiente de determinación R ²	0.93044654
R ² ajustado	0.92509628
Error típico	0.06851939
Observaciones	15

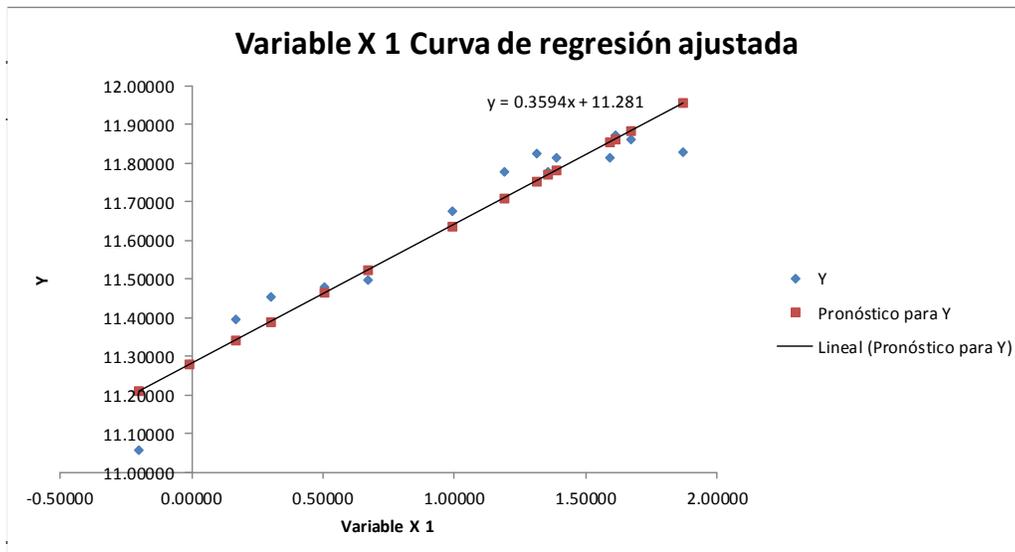
ANÁLISIS DE VARIANZA

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	0.81647537	0.81647537	173.906597	6.6867E-09
Residuos	13	0.0610338	0.00469491		
Total	14	0.87750917			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Intercepción	11.280835	0.03164046	356.531972	2.5102E-27	11.21248	11.3491901	11.21248	11.3491901
Variable X 1	0.3594321	0.02725579	13.1873651	6.6867E-09	0.30054954	0.41831466	0.30054954	0.41831466

k1= 79287.4431

k2= 0.3594321



FORMATO RESUMEN DEL MÓDULO

Resumen de ensayo de pozo CA-2_1

Resilient Modulus (MPa)	Resilient Modulus (PSI)	σ_1	σ_2	σ_3	θ	$y=\text{Log}(M_r)$	$x1=\text{Log}(\theta/P_a)$
69.61	10096.07	39.92	21.12	21.12	82.16	11.15066	-0.20966
83.09	12051.18	58.13	21.17	21.17	100.47	11.32768	-0.00847
89.2	12937.36	77.50	21.60	21.60	120.70	11.39864	0.17497
81.7	11849.58	65.92	35.31	35.31	136.54	11.31081	0.29828
89.75	13017.13	96.91	35.28	35.28	167.47	11.40478	0.50247
97.06	14077.36	127.83	35.51	35.51	198.85	11.48308	0.67422
106.07	15384.15	132.61	70.16	70.16	272.93	11.57185	0.99088
117	16969.41	192.52	69.91	69.91	332.34	11.66993	1.18783
119.07	17269.64	253.50	70.07	70.07	393.64	11.68747	1.35710
110.09	15967.20	167.22	104.73	104.73	376.68	11.60905	1.31306
114.79	16648.88	197.06	104.73	104.73	406.52	11.65086	1.38930
122.34	17743.91	287.99	104.64	104.64	497.27	11.71456	1.59080
121.37	17603.23	232.57	139.23	139.23	511.03	11.70660	1.61810
123.18	17865.74	262.04	139.08	139.08	540.20	11.72140	1.67361
128.69	18664.90	382.10	138.98	138.98	660.06	11.76516	1.87400

Constantes de regresión lineal múltiple:

pozos	constantes		Esfuerzo desviador (kPa)	Esfuerzo confinamiento (kPa)	σ_1 (kPa)	σ_2 (kPa)	σ_3 (kPa)	θ (kPa)	Mr (kPa)	Mr (Mpa)
	k1	k2								
CA-02_1	79579.47	0.270674	55	28	83	28	28	139	86231.58	86.23

Modelo K- θ PARA CA-2_1

$$M_R = k_1 \left(\frac{\theta}{P_a} \right)^{k_2}$$

$$M_R = 79579.47 \left(\frac{\theta}{P_a} \right)^{0.270674}$$

AASHTO T 307-99: Resilient Modulus of Subgrade Soils and Untreated Base/Subbase Materials

Date of Test: mar, 11 de oct de 2016 @ 09:40
 Report Number:
 Operator: Ricardo Flores Escoto
 Specimen ID: CAZ
 Client Name:

Test temperature (DegC)	20.0
Air void content (%)	0
Diameter (mm)	102.2
Height (mm)	204.0

Lab Address
 El Salvador

Seq. No.	Nominal Chamber Confining Pressure (kPa)	Chamber Confining Pressure (kPa)	Nominal Maximum Axial Stress (kPa)	Cycle No.	Actual Applied Max. Axial Load (N)	Actual Applied Cyclic Axial Load (N)	Actual Applied Contact Load (N)	Actual Applied Max. Axial Stress (kPa)	Actual Applied Cyclic Axial Stress (kPa)	Actual Applied Contact Stress (kPa)	Actual Def. LVD11 (mm)	Recov. Def. LVD11 (mm)	Average Recov. Def. LVD1 & 2 (mm)	Resilient Strain (mm/mm)	Resilient Modulus (MPa)
1	20.70	21.12	20.70		171.02	154.10	16.92	20.87	18.80	2.06	0.0548	0.0558	0.0551	0.000270	69.61
2	20.70	21.17	41.40		335.97	302.89	33.08	41.00	36.96	4.04	0.0875	0.0943	0.0907	0.000445	83.09
3	20.70	21.60	62.10		507.59	458.08	49.51	61.94	55.90	6.04	0.1207	0.1355	0.1278	0.000627	89.20
4	34.50	35.31	34.50		281.09	250.84	30.26	34.30	30.61	3.69	0.0739	0.0792	0.0764	0.000375	81.70
5	34.50	35.28	68.90		559.86	505.09	54.77	68.31	61.63	6.68	0.1318	0.1488	0.1401	0.000687	89.75
6	34.50	35.51	103.40		836.61	756.58	80.03	102.08	92.32	9.77	0.1822	0.2063	0.1940	0.000951	97.06
7	68.90	70.16	68.90		572.93	511.76	61.16	69.91	62.45	7.46	0.1181	0.1224	0.1201	0.000589	106.07
8	68.90	69.91	137.90		1109.41	1004.87	104.54	135.37	122.61	12.76	0.2081	0.2200	0.2138	0.001048	117.00
9	68.90	70.07	206.80		1656.47	1503.24	153.24	202.12	183.43	18.70	0.3083	0.3205	0.3142	0.001540	119.07
10	103.40	104.73	68.90		573.63	512.14	61.49	69.99	62.49	7.50	0.1106	0.1214	0.1158	0.000568	110.09
11	103.40	104.73	103.40		836.89	756.63	80.25	102.12	92.33	9.79	0.1562	0.1724	0.1641	0.000804	114.79
12	103.40	104.64	206.80		1654.25	1502.64	151.61	201.85	183.35	18.50	0.2961	0.3157	0.3057	0.001499	122.34
13	137.90	139.23	103.40		858.47	764.93	93.54	104.75	93.34	11.41	0.1460	0.1681	0.1569	0.000769	121.37
14	137.90	139.08	137.90		1114.29	1007.69	106.60	135.97	122.96	13.01	0.1912	0.2165	0.2036	0.000998	123.18
15	137.90	138.98	275.80		2187.21	1992.44	194.77	266.89	243.12	23.77	0.3663	0.4048	0.3854	0.001889	128.69

Data File
 CA2_1.tdms

Notes

Record details about the specimen in this area:

Bulk Density:
 Poisson's Ratio:
 Description of asphaltic material:
 How it was mixed:
 How bulk density was determined:

Signed

Date



Resumen CA-2_1

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación múltiple	0.97522545
Coefficiente de determinación R ²	0.95106467
R ² ajustado	0.94730042
Error típico	0.0428983
Observaciones	15

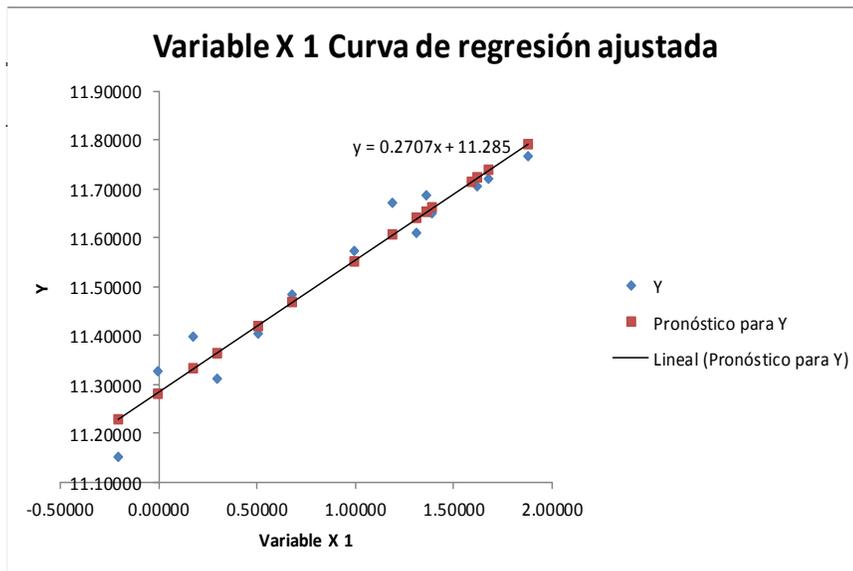
ANÁLISIS DE VARIANZA

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	0.46495524	0.46495524	252.656745	6.7389E-10
Residuos	13	0.02392344	0.00184026		
Total	14	0.48887868			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Intercepción	11.2845114	0.01977144	570.748129	5.5383E-30	11.2417978	11.327225	11.2417978	11.327225
Variable X 1	0.27067383	0.01702867	15.8951799	6.7389E-10	0.23388562	0.30746204	0.23388562	0.30746204

k1= 79579.469

k2= 0.2706738



FORMATO RESUMEN DEL MÓDULO

Resumen de ensayo de pozo CA-2_2

Resilient Modulus (MPa)	Resilient Modulus (PSI)	σ_1	σ_2	σ_3	θ	$y=\text{Log}(M_r)$	$x=\text{Log}(\theta/P_a)$
93.6	13575.53	39.31	21.12	21.12	8155	11.44679	-0.21712
93.57	13571.18	58.11	21.07	21.07	100.25	11.44647	-0.01067
92.49	13414.54	77.29	21.47	21.47	120.23	11.43486	0.17107
94.88	13761.18	66.56	35.20	35.20	136.96	11.46037	0.30136
91.36	13250.64	97.21	35.48	35.48	168.17	11.42256	0.50664
99.22	14390.64	128.03	35.40	35.40	198.83	11.50509	0.67412
109.26	15846.82	132.30	69.85	69.85	272.00	11.60149	0.98747
109.72	15913.54	192.88	69.98	69.98	332.84	11.60569	1.18933
107.43	15581.40	253.76	69.74	69.74	393.24	11.58459	1.35609
116.26	16862.08	166.71	104.39	104.39	375.49	11.66358	1.30990
114.54	16612.62	196.86	104.44	104.44	405.74	11.64868	1.38738
112.94	16380.56	288.23	104.50	104.50	497.23	11.63461	1.59072
119.03	17263.84	231.70	138.88	138.88	509.46	11.68713	1.61502
118.21	17144.91	261.75	138.88	138.88	539.51	11.68022	1.67233
116.3	16867.88	382.55	138.89	138.89	660.33	11.66393	1.87441

Constantes de regresión lineal múltiple:

pozos	constantes		Esfuerzo desviador (kPa)	Esfuerzo confinamiento (kPa)	σ_1 (kPa)	σ_2 (kPa)	σ_3 (kPa)	θ (kPa)	Mr (kPa)	Mr (Mpa)
	k1	k2								
CA-02_2	92126.11	0.140362	55	28	83	28	28	139	96042.34	96.04

Modelo K- θ PARA CA-2_2

$$M_R = k_1 \left(\frac{\theta}{P_a} \right)^{k_2}$$

$$M_R = 92126.11 \left(\frac{\theta}{P_a} \right)^{0.140362}$$

Date of Test: mar, 11 de oct de 2016 @ 10:25
 Report Number:
 Operator: Ricardo Flores Escoto
 Specimen ID: CAZ
 Client Name:
 Lab Address: El Salvador

Test temperature (DegC)	20.0
Air void content (%)	0
Diameter (mm)	102.0
Height (mm)	204.0

Seq. No.	Nominal Chamber Confining Pressure (kPa)	Chamber Confining Pressure (kPa)	Nominal Maximum Axial Stress (kPa)	Cycle No.	Actual Applied Max. Axial Load (N)	Actual Applied Cyclic Axial Load (N)	Actual Applied Contact Load (N)	Actual Applied Max. Axial Stress (kPa)	Actual Applied Cyclic Axial Stress (kPa)	Actual Applied Contact Stress (kPa)	Actual Applied Cyclic Axial Stress (kPa)	Actual Applied Contact Stress (kPa)	Recov. Def. LVD1 (mm)	Recov. Def. LVD2 (mm)	Average Recov. Def. LVD1 & LVD2 (mm)	Resilient Strain (mm/mm)	Resilient Modulus (MPa)
1	20.70	21.12	20.70		165.82	148.79	17.03	20.27	18.19	2.08	18.19	2.08	0.0380	0.0416	0.0396	0.000194	93.60
2	20.70	21.07	41.40		336.02	303.00	33.02	41.08	37.04	4.04	37.04	4.04	0.0776	0.0844	0.0808	0.000396	93.57
3	20.70	21.47	62.10		506.01	456.56	49.45	61.87	55.82	6.05	55.82	6.05	0.1175	0.1291	0.1231	0.000604	92.49
4	34.50	35.20	34.50		286.63	256.53	30.09	35.04	31.36	3.68	31.36	3.68	0.0657	0.0695	0.0674	0.000331	94.88
5	34.50	35.48	68.90		559.64	504.87	54.77	68.42	61.73	6.70	61.73	6.70	0.1320	0.1442	0.1378	0.000676	91.36
6	34.50	35.40	103.40		837.59	757.61	79.98	102.40	92.63	9.78	92.63	9.78	0.1822	0.1991	0.1904	0.000934	99.22
7	68.90	69.85	68.90		571.95	510.79	61.16	69.93	62.45	7.48	62.45	7.48	0.1147	0.1190	0.1166	0.000572	109.26
8	68.90	69.98	137.90		1110.12	1005.20	104.92	135.72	122.90	12.83	122.90	12.83	0.2234	0.2339	0.2285	0.001120	109.72
9	68.90	69.74	206.80		1658.26	1505.19	153.07	202.74	184.02	18.71	184.02	18.71	0.3448	0.3544	0.3494	0.001713	107.43
10	103.40	104.39	68.90		570.70	509.70	61.00	69.77	62.32	7.46	62.32	7.46	0.1037	0.1155	0.1093	0.000536	116.26
11	103.40	104.44	103.40		836.23	755.93	80.30	102.24	92.42	9.82	92.42	9.82	0.1561	0.1733	0.1646	0.000807	114.54
12	103.40	104.50	206.80		1654.58	1502.80	151.77	202.29	183.73	18.56	183.73	18.56	0.3206	0.3435	0.3319	0.001627	112.94
13	137.90	138.88	103.40		852.50	759.24	93.26	104.23	92.82	11.40	92.82	11.40	0.1479	0.1706	0.1591	0.000780	119.03
14	137.90	138.88	137.90		1111.36	1004.98	106.39	135.88	122.87	13.01	122.87	13.01	0.1985	0.2260	0.2120	0.001039	118.21
15	137.90	138.89	275.80		2187.76	1992.98	194.77	267.47	243.66	23.81	243.66	23.81	0.4083	0.4470	0.4274	0.002095	116.30

Data File: CA2_2.tdms
 Signed: _____
 Date: _____

Notes:
 Record details about the specimen in this area:
 Bulk Density:
 Poisson's Ratio:
 Description of asphaltic material:
 How it was mixed:
 How it was compacted:
 How bulk density was determined:



Resumen CA-2_2

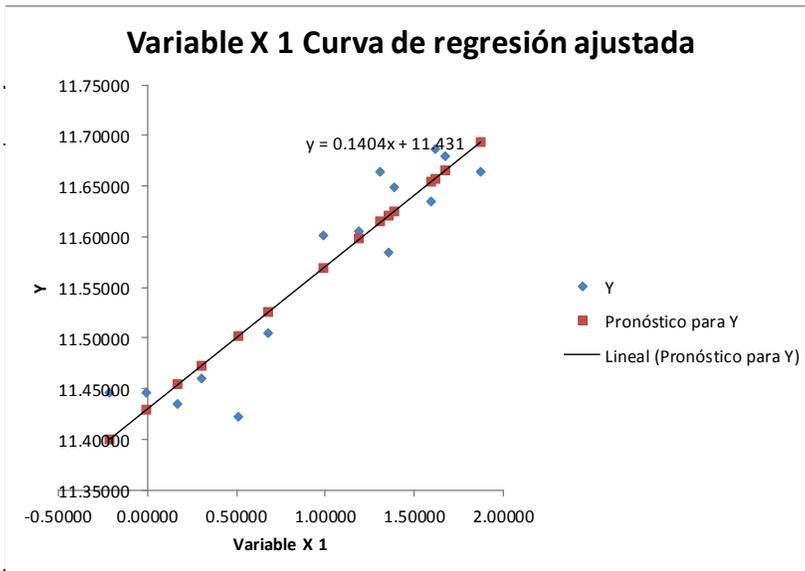
Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación múltiple	0.93685587
Coefficiente de determinación R ²	0.87769892
R ² ajustado	0.86829115
Error típico	0.03663932
Observaciones	15

ANÁLISIS DE VARIANZA

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	0.12524299	0.12524299	93.2950577	2.6872E-07
Residuos	13	0.01745172	0.00134244		
Total	14	0.14269471			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Intercepción	11.4309137	0.01686216	677.903171	5.9156E-31	11.3944852	11.4673422	11.3944852	11.4673422
Variable X 1	0.14036243	0.01453187	9.65893668	2.6872E-07	0.10896823	0.17175663	0.10896823	0.17175663

k1= 92126.111
k2= 0.1403624



FORMATO RESUMEN DEL MÓDULO

Resumen de ensayo de pozo CA-3_1

Resilient Modulus (MPa)	Resilient Modulus (PSI)	σ_1	σ_2	σ_3	θ	$y=\text{Log}(M_r)$	$x1=\text{Log}(\theta/P_a)$
59.64	8650.05	39.55	2102	2102	8159	10.99608	-0.21663
75.19	10905.38	58.63	2105	2105	100.73	11.22777	-0.00589
82.96	12032.33	76.71	2105	2105	118.81	11.32611	0.15919
73.75	10696.53	66.08	35.02	35.02	136.12	11.20844	0.29520
86.28	12513.85	96.70	34.97	34.97	166.64	11.36535	0.49750
99.2	14387.74	127.41	34.93	34.93	197.27	11.50489	0.66624
102.59	14879.42	132.09	69.69	69.69	271.47	11.53850	0.98552
117.06	16978.11	192.53	69.90	69.90	332.33	11.67044	1.18780
121.23	17582.92	253.55	69.81	69.81	393.17	11.70544	1.35591
106.91	15505.98	166.94	104.52	104.52	375.98	11.57974	1.31120
113.5	16461.78	196.62	104.26	104.26	405.14	11.63956	1.38590
125.02	18132.61	288.19	104.54	104.54	497.27	11.73623	1.59080
117.17	16994.07	231.61	138.73	138.73	509.07	11.67138	1.61425
121.36	17601.78	261.51	138.46	138.46	538.43	11.70652	1.67032
131.43	19062.30	382.19	138.67	138.67	659.53	11.78623	1.87319

Constantes de regresión lineal múltiple:

pozos	constantes		Esfuerzo desviador (kPa)	Esfuerzo confinamiento (kPa)	σ_1 (kPa)	σ_2 (kPa)	σ_3 (kPa)	θ (kPa)	Mr(kPa)	Mr (Mpa)
	k1	k2								
CA-03_1	72495.3	0.333567	55	28	83	28	28	139	80034.35	80.03

Modelo K- θ PARA CA-3_1

$$M_R = k_1 \left(\frac{\theta}{P_a} \right)^{k_2}$$

$$M_R = 72495.3 \left(\frac{\theta}{P_a} \right)^{0.333567}$$

Lab Address
El Salvador

Test temperature (DegC)	20.0
Air void content (%)	0
Diameter (mm)	101.2
Height (mm)	203.5

Date of Test mar, 11 de oct de 2016 @ 11:47
 Report Number
 Operator Ricardo Flores Escoto
 Specimen ID CA3
 Client Name

Seq. No.	Nominal Chamber Confining Pressure (kPa)	Chamber Confining Pressure (kPa)	Nominal Maximum Axial Stress (kPa)	Cycle No.	Actual Applied Max. Axial Load (N)	Actual Applied Cyclic Axial Load (N)	Actual Applied Contact Load (N)	Actual Applied Max. Axial Stress (kPa)	Actual Applied Cyclic Axial Stress (kPa)	Actual Applied Contact Stress (kPa)	Actual Applied Axial Stress (kPa)	Actual Applied Cyclic Axial Stress (kPa)	Actual Applied Contact Stress (kPa)	Recov. Def. LVD11 (mm)	Recov. Def. LVD12 (mm)	Average Recov. Def. LVD1 & 2 (mm)	Resilient Strain (mm/mm)	Resilient Modulus (MPa)
1	20.70	21.02	20.70		165.76	149.17	16.59	20.60	18.53	2.06	0.0589	0.0680	0.0680	0.0680	0.1017	0.0632	0.000311	59.64
2	20.70	21.05	41.40		334.72	302.46	32.26	41.59	37.58	4.01	0.0956	0.1081	0.0956	0.1081	0.1365	0.1017	0.000500	75.19
3	20.70	21.05	62.10		496.74	447.99	48.75	61.72	55.66	6.06	0.1284	0.1451	0.1284	0.1451	0.1365	0.000671	82.96	
4	34.50	35.02	34.50		279.58	249.97	29.61	34.74	31.06	3.68	0.0814	0.0907	0.0814	0.0907	0.0857	0.000421	73.75	
5	34.50	34.97	68.90		550.80	496.85	53.95	68.44	61.73	6.70	0.1377	0.1539	0.1377	0.1539	0.1456	0.000715	86.28	
6	34.50	34.93	103.40		823.00	744.33	78.68	102.26	92.48	9.78	0.1798	0.2001	0.1798	0.2001	0.1897	0.000932	99.20	
7	68.90	69.69	68.90		562.41	502.22	60.19	69.88	62.40	7.48	0.1206	0.1276	0.1206	0.1276	0.1238	0.000608	102.59	
8	68.90	69.90	137.90		1089.84	986.98	102.86	135.41	122.63	12.78	0.2070	0.2198	0.2070	0.2198	0.2132	0.001048	117.06	
9	68.90	69.81	206.80		1629.52	1478.78	150.74	202.47	183.74	18.73	0.3031	0.3141	0.3031	0.3141	0.3084	0.001516	121.23	
10	103.40	104.52	68.90		562.51	502.38	60.13	69.89	62.42	7.47	0.1102	0.1278	0.1102	0.1278	0.1188	0.000584	106.91	
11	103.40	104.26	103.40		822.14	743.35	78.79	102.15	92.36	9.79	0.1549	0.1767	0.1549	0.1767	0.1656	0.000814	113.50	
12	103.40	104.54	206.80		1627.52	1478.08	149.44	202.22	183.65	18.57	0.2870	0.3113	0.2870	0.3113	0.2989	0.001469	125.02	
13	137.90	138.73	103.40		839.49	747.53	91.96	104.31	92.88	11.43	0.1488	0.1742	0.1488	0.1742	0.1613	0.000793	117.17	
14	137.90	138.46	137.90		1094.93	990.39	104.54	136.04	123.05	12.99	0.1914	0.2217	0.1914	0.2217	0.2063	0.001014	121.36	
15	137.90	138.67	275.80		2151.70	1959.91	191.79	267.35	243.52	23.83	0.3567	0.3977	0.3567	0.3977	0.3770	0.001853	131.43	

Data File
CA3_1.tdms

Signed

Notes

Record details about the specimen in this area:
 Bulk Density:
 Poisson's Ratio:
 Description of asphaltic material:
 How it was mixed:
 How it was compacted:
 How bulk density was determined:

Date



Resumen CA-3_1

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación múltiple	0.961361065
Coefficiente de determinación R ²	0.924215096
R ² ajustado	0.918385488
Error típico	0.066911569
Observaciones	15

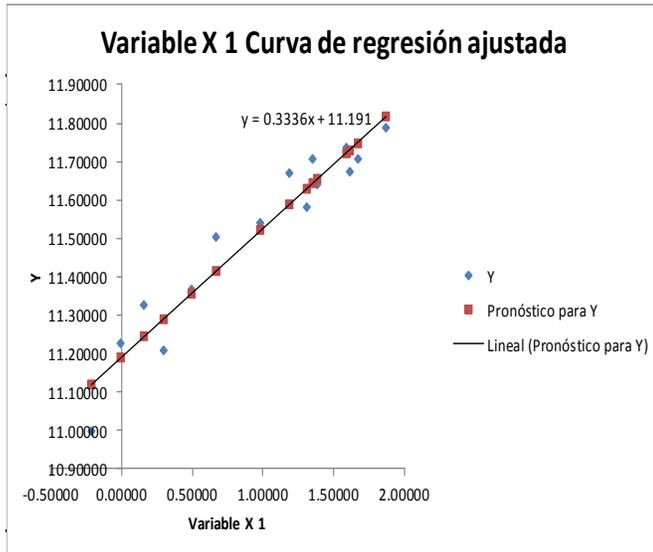
ANÁLISIS DE VARIANZA

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	0.709800231	0.709800231	158.5381213	1.17133E-08
Residuos	13	0.058203055	0.004477158		
Total	14	0.768003286			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	11.19127696	0.03070245	364.507615	1.88284E-27	11.12494835	11.25760558
Variable X 1	0.33356743	0.026492124	12.59119221	1.17133E-08	0.276334675	0.390800185

k1= 72495.29657

k2= 0.33356743



FORMATO RESUMEN DEL MÓDULO

Resumen de ensayo de pozo CA-3_2

Resilient Modulus (MPa)	Resilient Modulus (PSI)	σ_1	σ_2	σ_3	θ	y=Log(Mr)	x1=Log(θ /Pa)
75.39	10934.39	39.62	20.79	20.79	81.20	11.23043	-0.22142
83.94	12174.46	57.76	20.63	20.63	99.02	11.33786	-0.02301
89.57	12991.03	76.68	21.06	21.06	118.80	11.40278	0.15911
86.1	12487.75	65.99	34.82	34.82	135.63	11.36326	0.29160
93.36	13540.72	96.43	34.75	34.75	165.93	11.44422	0.49323
105.09	15242.01	127.62	35.03	35.03	197.68	11.56257	0.66832
118.48	17184.07	131.88	69.40	69.40	270.68	11.68250	0.98260
125.51	18203.68	192.66	69.61	69.61	331.88	11.74014	1.18644
131.73	19105.82	253.18	69.45	69.45	392.08	11.78851	1.35313
123.71	17942.61	166.60	104.04	104.04	374.68	11.72570	1.30774
126.26	18312.46	196.61	104.18	104.18	404.97	11.74610	1.38548
135.95	19717.88	287.40	103.93	103.93	495.26	11.82004	1.58675
131.36	19052.15	231.53	138.45	138.45	508.43	11.78570	1.61299
134.02	19437.95	261.56	138.51	138.51	538.58	11.80574	1.67060
143.81	20857.87	382.31	138.74	138.74	659.79	11.87625	1.87359

Constantes de regresión lineal múltiple:

pozos	constantes		Esfuerzo desviador (kPa)	Esfuerzo confinamiento (kPa)	σ_1 (kPa)	σ_2 (kPa)	σ_3 (kPa)	θ (kPa)	Mr (kPa)	Mr (Mpa)
	k1	k2								
CA-03_2	83128.75	0.306384	55	28	83	28	28	139	91036.67	91.04

Modelo K- θ PARA CA-3_2

$$M_R = k_1 \left(\frac{\theta}{P_a} \right)^{k_2}$$

$$M_R = 83128.75 \left(\frac{\theta}{P_a} \right)^{0.306384}$$

Date of Test: mar, 11 de oct. de 2016 @ 12:39
 Report Number:
 Operator: Ricardo Flores Escoto
 Specimen ID: CA3
 Client Name:

Test temperature (DegC)	20.0
Air void content (%)	0
Diameter (mm)	101.8
Height (mm)	204.0

Lab Address
 El Salvador

Seq. No.	Nominal Chamber Confining Pressure (kPa)	Chamber Confining Pressure (kPa)	Nominal Maximum Axial Stress (kPa)	Cycle No.	Actual Applied Max. Axial Load (N)	Actual Applied Cyclic Axial Load (N)	Actual Applied Contact Load (N)	Actual Applied Max. Axial Stress (kPa)	Actual Applied Cyclic Axial Stress (kPa)	Actual Applied Contact Stress (kPa)	Recov. Def. LVD11 (mm)	Recov. Def. LVD12 (mm)	Average Recov. Def. LVD182 (mm)	Resilient Strain (mm/mm)	Resilient Modulus (MPa)
1	20.70	20.79	20.70		170.34	153.29	17.05	20.93	18.83	2.10	0.0500	0.0522	0.0510	0.000250	75.39
2	20.70	20.63	41.40		335.07	302.24	32.83	41.17	37.13	4.03	0.0865	0.0944	0.0902	0.000442	83.94
3	20.70	21.06	62.10		501.92	452.71	49.21	61.67	55.62	6.05	0.1200	0.1340	0.1267	0.000621	89.57
4	34.50	34.82	34.50		283.83	253.71	30.12	34.87	31.17	3.70	0.0707	0.0774	0.0739	0.000362	86.10
5	34.50	34.75	68.90		556.52	502.06	54.47	68.38	61.68	6.69	0.1273	0.1425	0.1348	0.000661	93.36
6	34.50	35.03	103.40		833.01	753.65	79.36	102.34	92.59	9.75	0.1697	0.1901	0.1797	0.000881	105.09
7	68.90	69.40	68.90		569.59	508.56	61.03	69.98	62.48	7.50	0.1044	0.1110	0.1076	0.000527	118.48
8	68.90	69.61	137.90		1105.59	1001.51	104.08	135.83	123.05	12.79	0.1928	0.2077	0.2000	0.000980	125.51
9	68.90	69.45	206.80		1647.61	1495.43	152.18	202.43	183.73	18.70	0.2767	0.2926	0.2845	0.001395	131.73
10	103.40	104.04	68.90		570.13	509.16	60.97	70.05	62.56	7.49	0.0965	0.1102	0.1032	0.000506	123.71
11	103.40	104.18	103.40		832.03	752.35	79.68	102.22	92.43	9.79	0.1401	0.1588	0.1493	0.000732	126.26
12	103.40	103.93	206.80		1644.08	1493.31	150.77	201.99	183.47	18.52	0.2643	0.2868	0.2753	0.001349	135.95
13	137.90	138.45	103.40		850.52	757.61	92.91	104.50	93.08	11.42	0.1323	0.1571	0.1446	0.000709	131.36
14	137.90	138.51	137.90		1107.38	1001.51	105.87	136.05	123.05	13.01	0.1724	0.2025	0.1873	0.000918	134.02
15	137.90	138.74	275.80		2176.45	1982.52	193.93	267.40	243.57	23.83	0.3244	0.3669	0.3455	0.001694	143.81

Data File
 CA3_2.tdms

Signed

Notes

Record details about the specimen in this area:
 Bulk Density:
 Poisson's Ratio:
 Description of asphaltic material:
 How it was mixed:
 How bulk density was determined:

Date



Resumen CA-3_2

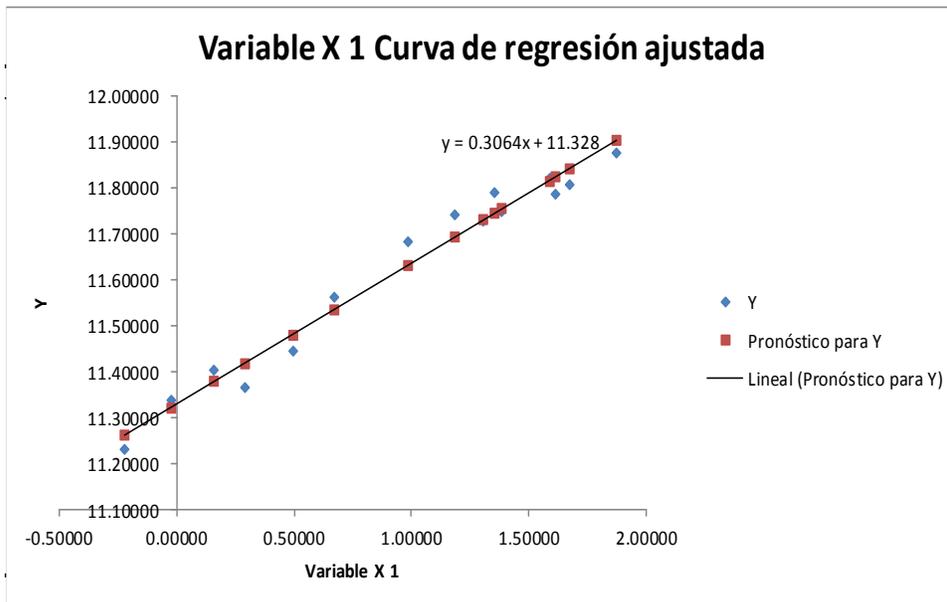
Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación múltiple	0.985826196
Coefficiente de determinación R^2	0.971853289
R^2 ajustado	0.969688157
Error típico	0.036641508
Observaciones	15

ANÁLISIS DE VARIANZA

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	0.60264711	0.60264711	448.8656857	1.83345E-11
Residuos	13	0.017453801	0.0013426		
Total	14	0.620100911			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	11.32814595	0.016742015	676.6297676	6.06202E-31	11.29197702	11.3643149
Variable X 1	0.306383538	0.014461296	21.18645052	1.83345E-11	0.275141806	0.33762527

k1= 83128.7546
k2= 0.306383538



FORMATO RESUMEN DEL MÓDULO

Resumen de ensayo de pozo CA-4_1

Resilient Modulus (MPa)	Resilient Modulus (PSI)	σ_1	σ_2	σ_3	θ	$y=\text{Log}(M_r)$	$x1=\text{Log}(\theta/\text{Pa})$
58.51	8486.16	39.18	20.64	20.64	80.46	10.97695	-0.23057
73.34	10637.06	57.96	20.66	20.66	99.28	11.20286	-0.02039
78.21	11343.40	76.32	20.66	20.66	117.64	11.26715	0.14930
74.99	10876.38	65.80	34.70	34.70	135.20	11.22511	0.28842
81.9	11878.59	96.35	34.63	34.63	165.61	11.31325	0.49130
87.67	12715.46	127.29	34.94	34.94	197.17	11.38134	0.66573
102.21	14824.30	131.95	69.46	69.46	270.87	11.53478	0.98331
104.26	1512163	192.34	69.55	69.55	331.44	11.55464	1.18511
107.73	15624.91	252.97	69.35	69.35	391.67	11.58738	1.35209
107.82	15637.96	166.79	104.29	104.29	375.37	11.58822	1.30958
103.01	14940.33	196.48	104.09	104.09	404.66	11.54258	1.38471
110.7	16055.67	287.38	103.98	103.98	495.34	11.61458	1.58691
109.39	15865.67	231.41	138.51	138.51	508.43	11.60267	1.61299
108.23	15697.43	261.49	138.46	138.46	538.41	11.59201	1.67029
116.46	16891.09	381.82	138.33	138.33	658.48	11.66530	1.87160

Constantes de regresión lineal múltiple:

pozos	constantes		Esfuerzo desviador (kPa)	Esfuerzo confinamiento (kPa)	σ_1 (kPa)	σ_2 (kPa)	σ_3 (kPa)	θ (kPa)	Mr(kPa)	Mr (Mpa)
	k1	k2								
CA-04_1	70913.84	0.287442	55	28	83	28	28	139	77224.71	77.22

Modelo K- θ PARA CA-4_1

$$M_R = k_1 \left(\frac{\theta}{\text{Pa}} \right)^{k_2}$$

$$M_R = 70913.84 \left(\frac{\theta}{\text{Pa}} \right)^{0.287442}$$

Date of Test	mar, 11 de oct. de 2016 @ 01:22
Report Number	
Operator	Ricardo Flores Escoto
Specimen ID	CA4
Client Name	

Test temperature (DegC)	20.0
Air void content (%)	0
Diameter (mm)	102.0
Height (mm)	203.5

Lab Address	El Salvador
-------------	-------------

Seq. No.	Nominal Chamber Confining Pressure (kPa)	Chamber Confining Pressure (kPa)	Nominal Maximum Axial Stress (kPa)	Cycle No.	Actual Applied Max. Axial Load (N)	Actual Applied Cyclic Axial Load (N)	Actual Applied Contact Load (N)	Actual Applied Max. Axial Stress (kPa)	Actual Applied Cyclic Axial Stress (kPa)	Actual Applied Contact Stress (kPa)	Recov. Def. LVD11 (mm)	Recov. Def. LVD2 (mm)	Average Recov. Def. LVDT 1&2 (mm)	Resilient Strain (mm/mm)	Resilient Modulus (MPa)
1	20.70	20.64	20.70		168.53	151.66	16.86	20.60	18.54	2.06	0.0640	0.0654	0.0645	0.000317	58.51
2	20.70	20.66	41.40		337.98	305.12	32.86	41.32	37.30	4.02	0.1009	0.1063	0.1035	0.000509	73.34
3	20.70	20.66	62.10		504.71	455.26	49.45	61.71	55.66	6.05	0.1400	0.1501	0.1448	0.000712	78.21
4	34.50	34.70	34.50		285.11	254.36	30.74	34.86	31.10	3.76	0.0823	0.0868	0.0844	0.000415	74.99
5	34.50	34.63	68.90		559.53	504.82	54.71	68.41	61.72	6.69	0.1483	0.1585	0.1534	0.000754	81.90
6	34.50	34.94	103.40		835.37	755.33	80.03	102.13	92.35	9.78	0.2067	0.2225	0.2144	0.001053	87.67
7	68.90	69.46	68.90		572.44	511.16	61.27	69.99	62.49	7.49	0.1218	0.1274	0.1244	0.000611	102.21
8	68.90	69.55	137.90		1108.76	1004.33	104.43	135.56	122.79	12.77	0.2332	0.2466	0.2397	0.001178	104.26
9	68.90	69.35	206.80		1655.12	1501.88	153.24	202.35	183.62	18.73	0.3415	0.3525	0.3469	0.001704	107.73
10	103.40	104.29	68.90		572.49	511.22	61.27	69.99	62.50	7.49	0.1097	0.1267	0.1180	0.000580	107.82
11	103.40	104.09	103.40		835.80	755.71	80.09	102.18	92.39	9.79	0.1712	0.1943	0.1825	0.000897	103.01
12	103.40	103.98	206.80		1651.65	1500.09	151.55	201.93	183.40	18.53	0.3238	0.3508	0.3372	0.001657	110.70
13	137.90	138.51	103.40		853.59	759.83	93.75	104.36	92.90	11.46	0.1607	0.1854	0.1728	0.000849	109.39
14	137.90	138.46	137.90		1112.23	1006.28	105.95	135.98	123.03	12.95	0.2171	0.2459	0.2313	0.001137	108.23
15	137.90	138.33	275.80		2186.62	1991.57	195.04	267.34	243.49	23.85	0.4077	0.4436	0.4255	0.002091	116.46

Data File
CA4_1.tdms

Signed

Notes

Record details about the specimen in this area:

Bulk Density:

Poisson's Ratio:

Description of asphaltic material:

How it was mixed:

How it was compacted:

How bulk density was determined:

Date



Resumen CA-4_1

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación	0.964594958
Coefficiente de determinación	0.930443433
R ² ajustado	0.925092928
Error típico	0.055379659
Observaciones	15

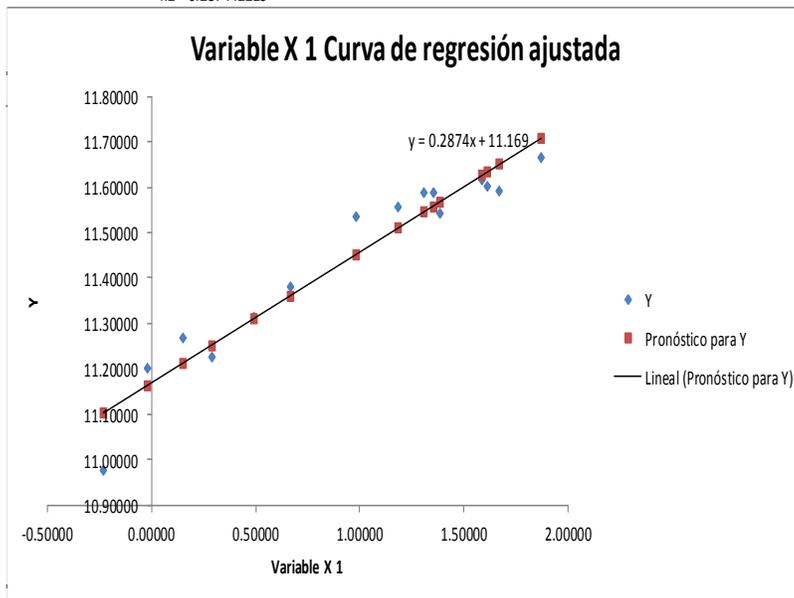
ANÁLISIS DE VARIANZA

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	0.533329658	0.533329658	173.8982406	6.68861E-09
Residuos	13	0.039869786	0.003066907		
Total	14	0.573199444			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	11.16922095	0.025224917	442.7852487	1.50166E-28	11.11472583	11.22371607
Variable X 1	0.287442219	0.021797313	13.18704822	6.68861E-09	0.240351987	0.334532451

k1= 70913.84395

k2= 0.287442219



FORMATO RESUMEN DEL MÓDULO

Resumen de ensayo de pozo CA-4_2

Resilient Modulus (MPa)	Resilient Modulus (PSI)	σ_1	σ_2	σ_3	θ	$y=\text{Log}(Mr)$	$x1=\text{Log}(\theta/\text{Pa})$
82.97	12033.78	38.88	20.34	20.34	79.56	11.32623	-0.24182
96.2	13952.63	57.65	20.43	20.43	98.51	11.47418	-0.02818
101.38	14703.92	76.51	20.85	20.85	118.21	11.52663	0.15413
103.17	14963.54	65.72	34.55	34.55	134.82	11.54413	0.28561
105.38	15284.07	96.43	34.75	34.75	165.93	11.56533	0.49323
104.86	15208.65	127.03	34.68	34.68	196.39	11.56038	0.66177
115.91	16811.32	131.78	69.27	69.27	270.32	11.66057	0.98127
108.26	15701.78	192.12	69.21	69.21	330.54	11.59229	1.18239
107.22	15550.94	253.01	69.40	69.40	391.81	11.58264	1.35244
118.25	17150.71	166.50	103.93	103.93	374.36	11.68056	1.30688
111.16	16122.39	196.30	103.96	103.96	404.22	11.61873	1.38363
113.06	16397.96	287.43	104.09	104.09	495.61	11.63567	1.58746
118.18	17140.56	231.75	138.57	138.57	508.89	11.67996	1.61390
115.06	16688.04	261.46	138.45	138.45	538.36	11.65321	1.67019
117.22	17001.32	381.78	138.64	138.64	659.06	11.67181	1.87248

Constantes de regresión lineal múltiple:

pozos	constantes		Esfuerzo desviador (kPa)	Esfuerzo confinamiento (kPa)	σ_1 (kPa)	σ_2 (kPa)	σ_3 (kPa)	θ (kPa)	Mr(kPa)	Mr (Mpa)
	k1	k2								
CA-04_2	95805.16	0.120575	55	28	83	28	28	139	99293.32	99.29

Modelo K- θ PARA CA-4_2

$$M_R = k_1 \left(\frac{\theta}{P_a} \right)^{k_2}$$

$$M_R = 95805.16 \left(\frac{\theta}{P_a} \right)^{0.120575}$$

Date of Test: mar, 11 de oct de 2016 @ 02:05
 Report Number:
 Operator: Ricardo Flores Escoto
 Specimen ID: CA4
 Client Name:
 Lab Address: El Salvador

Test temperature (DegC)	20.0
Air void content (%)	0
Diameter (mm)	101.8
Height (mm)	203.0

Seq. No.	Nominal Chamber Confining Pressure (kPa)	Chamber Confining Pressure (kPa)	Nominal Maximum Axial Stress (kPa)	Cycle No.	Actual Applied Max. Axial Load (N)	Actual Applied Cyclic Axial Load (N)	Actual Applied Contact Load (N)	Actual Applied Max. Axial Stress (kPa)	Actual Applied Cyclic Axial Stress (kPa)	Actual Applied Contact Stress (kPa)	Recov. Def. LVD11 (mm)	Recov. Def. LVD12 (mm)	Average Recov. Def. LVD18.2 (mm)	Resilient Strain (mm/mm)	Resilient Modulus (MPa)
1	20.70	20.34	20.70		167.55	150.74	16.81	20.61	18.54	2.07	0.0469	0.0443	0.0454	0.000223	82.97
2	20.70	20.43	41.40		335.53	302.62	32.91	41.26	37.22	4.05	0.0782	0.0791	0.0785	0.000387	96.20
3	20.70	20.85	62.10		501.68	452.55	49.13	61.70	55.66	6.04	0.1091	0.1141	0.1114	0.000549	101.38
4	34.50	34.55	34.50		283.70	253.44	30.26	34.89	31.17	3.72	0.0603	0.0629	0.0613	0.000302	103.17
5	34.50	34.75	68.90		556.06	501.57	54.49	68.39	61.68	6.70	0.1149	0.1231	0.1188	0.000585	105.38
6	34.50	34.68	103.40		830.11	750.89	79.22	102.09	92.35	9.74	0.1713	0.1869	0.1788	0.000881	104.86
7	68.90	69.27	68.90		568.97	508.29	60.68	69.97	62.51	7.46	0.1055	0.1139	0.1095	0.000539	115.91
8	68.90	69.21	137.90		1103.23	999.39	103.84	135.68	122.91	12.77	0.2199	0.2414	0.2305	0.001135	108.26
9	68.90	69.40	206.80		1644.92	1492.99	151.93	202.30	183.61	18.69	0.3333	0.3626	0.3476	0.001712	107.22
10	103.40	103.93	68.90		569.62	508.78	60.84	70.05	62.57	7.48	0.1081	0.1071	0.1074	0.000529	118.25
11	103.40	103.96	103.40		830.49	750.83	79.65	102.13	92.34	9.80	0.1665	0.1712	0.1686	0.000831	111.16
12	103.40	104.09	206.80		1641.67	1490.82	150.85	201.90	183.34	18.55	0.3200	0.3388	0.3292	0.001622	113.06
13	137.90	138.57	103.40		850.77	757.66	93.10	104.63	93.18	11.45	0.1597	0.1608	0.1601	0.000788	118.18
14	137.90	138.45	137.90		1105.78	1000.21	105.57	135.99	123.01	12.98	0.2150	0.2197	0.2170	0.001069	115.06
15	137.90	138.64	275.80		2170.73	1977.04	193.69	266.96	243.14	23.82	0.4113	0.4312	0.4211	0.002074	117.22

Data File: CA4_2.tdms
 Signed: _____
 Date: _____

Notes:
 Record details about the specimen in this area:
 Bulk Density:
 Poisson's Ratio:
 Description of asphaltic material:
 How it was mixed:
 How bulk density was determined:



Resumen CA-4_2

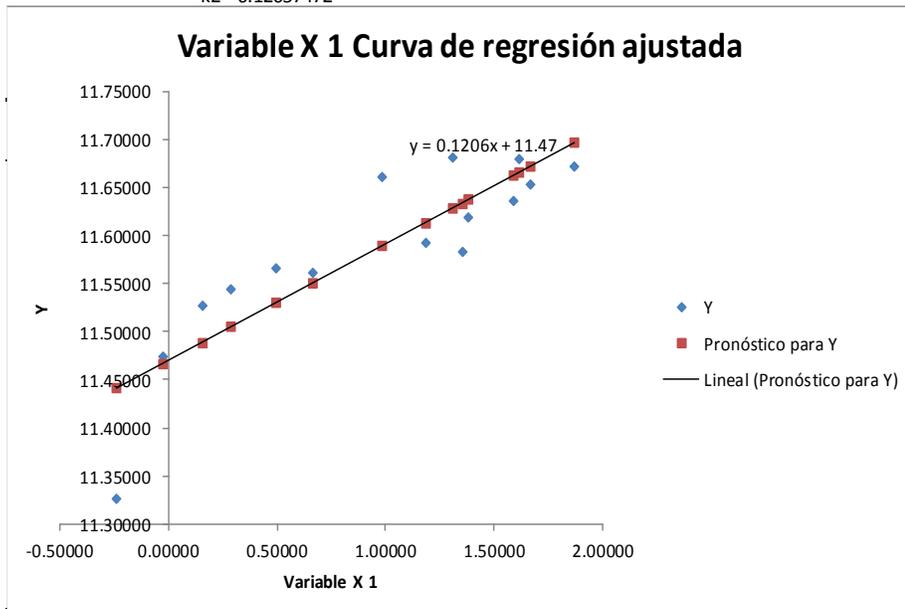
<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0.86857849
Coefficiente de determinación R^2	0.7544286
R^2 ajustado	0.73553849
Error típico	0.0486164
Observaciones	15

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	1	0.09439507	0.09439507	39.9377607	2.6604E-05
Residuos	13	0.03072621	0.00236355		
Total	14	0.12512128			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>	<i>Inferior 95.0%</i>	<i>Superior 95.0%</i>
Intercepción	11.4700718	0.02207426	519.612907	1.8762E-29	11.4223832	11.5177603	11.4223832	11.5177603
Variable X 1	0.12057472	0.01907939	6.31963296	2.6604E-05	0.07935621	0.16179323	0.07935621	0.16179323

k1= 95805.156
k2= 0.12057472



FORMATO RESUMEN DEL MÓDULO

Resumen de ensayo de pozo PCA-1_1

Resilient Modulus (MPa)	Resilient Modulus (PSI)	σ_1	σ_2	σ_3	θ	$y=\text{Log}(M_r)$	$x1=\text{Log}(\theta/\text{Pa})$
44.64	6474.48	39.54	20.60	20.60	80.74	10.70639	-0.22710
58.56	8493.41	57.93	20.61	20.61	99.15	10.97781	-0.02170
69.66	10103.33	76.63	20.99	20.99	118.61	11.15138	0.15751
62.01	8993.79	66.07	35.08	35.08	136.23	11.03505	0.29601
75.01	10879.28	96.65	34.96	34.96	166.57	11.22538	0.49708
84.71	12286.14	127.35	34.85	34.85	197.05	11.34699	0.66512
95.37	13832.25	132.00	69.57	69.57	271.14	11.46552	0.98430
99.77	14470.41	192.84	69.86	69.86	332.56	11.51062	1.18849
112.79	16358.80	252.85	69.59	69.59	392.03	11.63328	1.35301
102.46	14860.56	166.89	104.35	104.35	375.59	11.53723	1.31016
105.92	15362.39	196.77	104.51	104.51	405.79	11.57044	1.38750
123.91	1797162	287.43	104.14	104.14	495.71	11.72731	1.58766
112.22	16276.13	231.91	138.93	138.93	509.77	11.62822	1.61563
116.08	16835.98	261.70	138.79	138.79	539.28	11.66203	1.67190
129.11	18725.82	381.87	138.67	138.67	659.21	11.76842	1.87271

Constantes de regresión lineal múltiple:

pozos	constantes		Esfuerzo desviador (kPa)	Esfuerzo confinamiento (kPa)	σ_1 (kPa)	σ_2 (kPa)	σ_3 (kPa)	θ (kPa)	Mr (kPa)	Mr (Mpa)
	k1	k2								
PCA-01_1	57909.04	0.44961	55	28	83	28	28	139	66169.88	66.17

Modelo K- θ PARA PCA-1_1

$$M_R = k_1 \left(\frac{\theta}{\text{Pa}} \right)^{k_2}$$

$$M_R = 57909.04 \left(\frac{\theta}{\text{Pa}} \right)^{0.44961}$$

AASHTO T 307-99: Resilient Modulus of Subgrade Soils and Untreated Base Subbase Materials

Date of Test	mar, 04 de oct de 2016 @ 08:42
Report Number	
Operator	Ricardo Flores Escoto
Specimen ID	PCA1
Client Name	

Test temperature (DegC)	20.0
Air void content (%)	0
Diameter (mm)	102.2
Height (mm)	202.5

Lab Address	El Salvador
-------------	-------------

Seq. No.	Nominal Chamber Confining Pressure (kPa)	Chamber Confining Pressure (kPa)	Nominal Maximum Axial Stress (kPa)	Cycle No.	Actual Applied Max. Axial Load (N)	Actual Applied Max. Axial Stress (kPa)	Actual Applied Contact Load (N)	Actual Applied Max. Axial Stress (kPa)	Actual Applied Cyclic Axial Stress (kPa)	Actual Applied Contact Stress (kPa)	Recov. Def. LVD11 (mm)	Average Recov. Def. LVD182 (mm)	Resilient Strain (mm/mm)	Resilient Modulus (MPa)
1	20.70	20.60	20.70		172.27	155.40	16.86	20.99	18.94	2.05	0.0869	0.0855	0.000424	44.64
2	20.70	20.61	41.40		339.17	306.25	32.91	41.33	37.32	4.01	0.1243	0.1344	0.000637	58.56
3	20.70	20.99	62.10		506.01	456.62	49.40	61.66	55.64	6.02	0.1507	0.1733	0.000799	69.66
4	34.50	35.08	34.50		285.32	254.36	30.96	34.77	30.99	3.77	0.0971	0.1058	0.000500	62.01
5	34.50	34.96	68.90		561.10	506.23	54.87	68.37	61.69	6.69	0.1534	0.1665	0.000822	75.01
6	34.50	34.85	103.40		839.22	759.07	80.14	102.26	92.50	9.77	0.2002	0.2424	0.001092	84.71
7	68.90	69.57	68.90		574.06	512.36	61.71	69.95	62.43	7.52	0.1206	0.1450	0.000655	95.37
8	68.90	69.86	137.90		1114.08	1009.26	104.81	135.75	122.98	12.77	0.2262	0.2794	0.001233	99.77
9	68.90	69.59	206.80		1657.23	1503.94	153.29	201.94	183.26	18.68	0.3071	0.3523	0.001625	112.79
10	103.40	104.35	68.90		574.93	513.28	61.65	70.06	62.54	7.51	0.1142	0.1337	0.000610	102.46
11	103.40	104.51	103.40		837.59	757.18	80.41	102.06	92.26	9.80	0.1602	0.1933	0.000871	105.92
12	103.40	104.14	206.80		1656.09	1504.21	151.88	201.80	183.29	18.51	0.2829	0.3171	0.001479	123.91
13	137.90	138.93	103.40		857.11	763.03	94.08	104.44	92.98	11.46	0.1489	0.1873	0.000829	112.22
14	137.90	138.79	137.90		1115.16	1008.67	106.49	135.89	122.91	12.98	0.1917	0.2377	0.001059	116.08
15	137.90	138.67	275.80		2191.50	1995.86	195.64	267.04	243.20	23.84	0.3603	0.4035	0.001884	129.11

Data File
PCA1_1.tdms

Signed

Notes

Record details about the specimen in this area:

Bulk Density:

Poisson's Ratio:

Description of asphaltic material:

How it was mixed:

How it was compacted:

How bulk density was determined:

Date



Resumen PCA-1_1

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coeficiente de correlación múltiple	0.97446918
Coeficiente de determinación R ²	0.94959019
R ² ajustado	0.94571251
Error típico	0.07288366
Observaciones	15

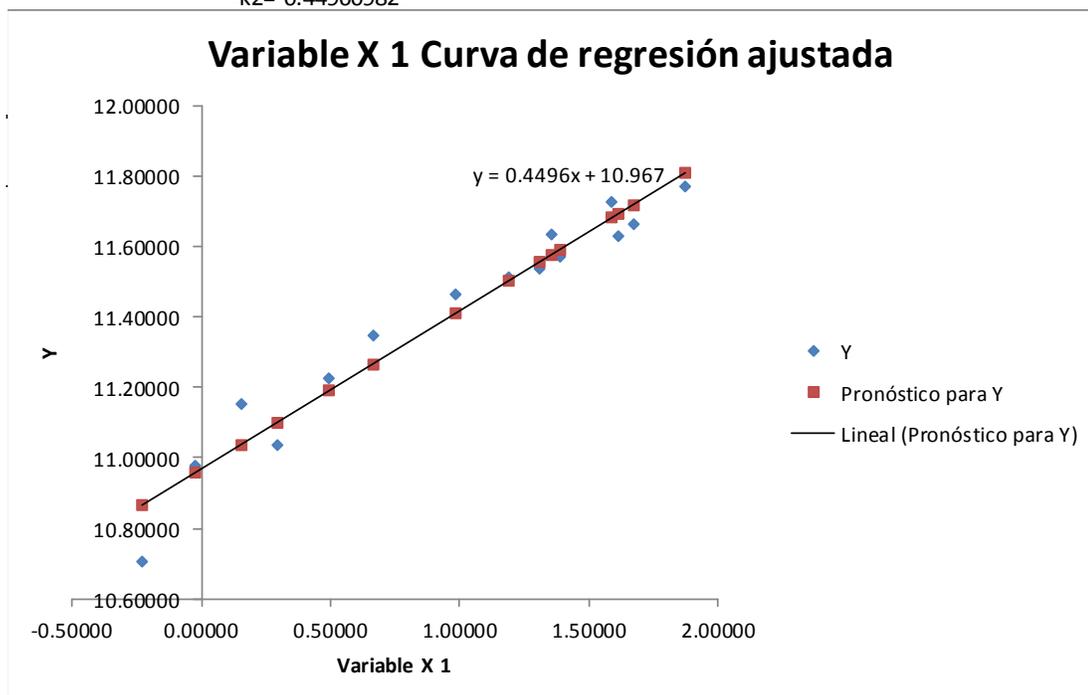
ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	1	1.30084276	1.30084276	244.886296	8.1786E-10
Residuos	13	0.06905636	0.00531203		
Total	14	1.36989912			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>
Intercepción	10.9666288	0.03329251	329.402237	7.0226E-27	10.8947047	11.0385529
Variable X 1	0.44960982	0.02873119	15.6488433	8.1786E-10	0.38753987	0.51167978

k1= 57909.0399

k2= 0.44960982



FORMATO RESUMEN DEL MÓDULO

Resumen de ensayo de pozo PCA-1_2

Resilient Modulus (MPa)	Resilient Modulus (PSI)	σ_1	σ_2	σ_3	θ	y=Log(Mr)	x1=Log(θ /Pa)
64.57	9365.08	40.12	21.44	21.44	83.00	11.07551	-0.19949
74.56	10814.01	58.54	21.43	21.43	101.40	11.21936	0.00074
81.29	11790.11	76.97	21.39	21.39	119.75	11.30578	0.16707
77.16	11191.11	66.55	35.45	35.45	137.45	11.25364	0.30493
84.29	12225.23	97.00	35.35	35.35	167.70	11.34202	0.50384
88.85	12886.60	127.92	35.57	35.57	199.06	11.39470	0.67527
90.33	13101.26	132.41	70.02	70.02	272.45	11.41122	0.98912
102.77	14905.52	192.90	70.18	70.18	333.26	11.54025	1.19059
107.08	15530.64	253.39	69.93	69.93	393.25	11.58133	1.35611
99.9	14489.27	167.24	104.74	104.74	376.72	11.51192	1.31317
103.85	15062.17	197.22	104.80	104.80	406.82	11.55070	1.39004
111.93	16234.07	288.32	104.82	104.82	497.96	11.62563	1.59219
106.56	15455.22	232.37	139.40	139.40	511.17	11.57646	1.61837
108.75	15772.85	262.26	139.26	139.26	540.78	11.59681	1.67468
115.58	16763.46	382.46	139.14	139.14	660.74	11.65772	1.87503

Constantes de regresión lineal múltiple:

pozos	constantes		Esfuerzo desviador (kPa)	Esfuerzo confinamiento (kPa)	σ_1 (kPa)	σ_2 (kPa)	σ_3 (kPa)	θ (kPa)	Mr(kPa)	Mr (Mpa)
	k1	k2								
PCA-01_2	73146.89	0.251852	55	28	83	28	28	139	78820.06	78.82

Modelo K- θ PARA PCA-1_2

$$M_R = k_1 \left(\frac{\theta}{P_a} \right)^{k_2}$$

$$M_R = 73146.89 \left(\frac{\theta}{P_a} \right)^{0.251852}$$

AASHTO T 307-99: Resilient Modulus of Subgrade Soils and Untreated Base/Subbase Materials

Date of Test	mar, 04 de oct de 2016 @ 10:13
Report Number	
Operator	Ricardo Flores Escoto
Specimen ID	PCA1
Client Name	

Test temperature (DegC)	20.0
Air void content (%)	0
Diameter (mm)	102.0
Height (mm)	203.5

Lab Address	El Salvador
-------------	-------------

Seq. No.	Nominal Chamber Confining Pressure (kPa)	Chamber Confining Pressure (kPa)	Nominal Maximum Axial Stress (kPa)	Cycle No.	Actual Applied Max. Axial Load (N)	Actual Applied Max. Axial Stress (kPa)	Actual Applied Contact Load (N)	Actual Applied Max. Axial Stress (kPa)	Actual Applied Cyclic Axial Load (N)	Actual Applied Contact Load (N)	Actual Applied Max. Axial Stress (kPa)	Actual Applied Cyclic Axial Stress (kPa)	Actual Applied Contact Stress (kPa)	Actual Applied Axial Stress (kPa)	Recov. Def. LVDT1 (mm)	Recov. Def. LVDT2 (mm)	Average Recov. Def. LVDT 1&2 (mm)	Resilient Strain (mm/mm)	Resilient Modulus (MPa)
1	20.70	21.44	20.70		169.56	169.56	152.64	16.92	152.64	16.92	20.75	18.68	2.07	2.07	0.0571	0.0612	0.0589	0.000289	64.57
2	20.70	21.43	41.40		336.29	336.29	303.27	33.02	303.27	33.02	41.16	37.11	4.04	4.04	0.0945	0.1083	0.1013	0.000498	74.56
3	20.70	21.39	62.10		503.41	503.41	454.18	49.23	454.18	49.23	61.61	55.58	6.03	6.03	0.1265	0.1520	0.1391	0.000684	81.29
4	34.50	35.45	34.50		284.35	284.35	254.15	30.20	254.15	30.20	34.80	31.10	3.70	3.70	0.0782	0.0866	0.0820	0.000403	77.16
5	34.50	35.35	68.90		558.39	558.39	503.74	54.66	503.74	54.66	68.34	61.65	6.69	6.69	0.1365	0.1618	0.1488	0.000731	84.29
6	34.50	35.57	103.40		834.72	834.72	754.63	80.09	754.63	80.09	102.15	92.35	9.80	9.80	0.1922	0.2313	0.2115	0.001039	88.85
7	68.90	70.02	68.90		570.70	570.70	509.81	60.89	509.81	60.89	69.84	62.39	7.45	7.45	0.1326	0.1491	0.1406	0.000691	90.33
8	68.90	70.18	137.90		1107.41	1107.41	1002.76	104.65	1002.76	104.65	135.52	122.72	12.81	12.81	0.2244	0.2618	0.2430	0.001194	102.77
9	68.90	69.93	206.80		1651.86	1651.86	1499.06	152.80	1499.06	152.80	202.15	183.46	18.70	18.70	0.3375	0.3607	0.3486	0.001713	107.08
10	103.40	104.74	68.90		571.79	571.79	510.73	61.06	510.73	61.06	69.98	62.50	7.47	7.47	0.1219	0.1329	0.1273	0.000626	99.90
11	103.40	104.80	103.40		834.93	834.93	755.17	79.76	755.17	79.76	102.18	92.42	9.76	9.76	0.1724	0.1900	0.1811	0.000890	103.85
12	103.40	104.82	206.80		1650.56	1650.56	1499.44	151.12	1499.44	151.12	202.00	183.50	18.49	18.49	0.3219	0.3456	0.3336	0.001639	111.93
13	137.90	139.40	103.40		852.94	852.94	759.67	93.26	759.67	93.26	104.38	92.97	11.41	11.41	0.1668	0.1885	0.1775	0.000872	106.56
14	137.90	139.26	137.90		1111.26	1111.26	1005.03	106.22	1005.03	106.22	136.00	123.00	13.00	13.00	0.2153	0.2453	0.2302	0.001131	108.75
15	137.90	139.14	275.80		2182.50	2182.50	1988.27	194.23	1988.27	194.23	267.09	243.32	23.77	23.77	0.4111	0.4461	0.4284	0.002105	115.58

Data File

PCA1_2.tdms

Signed

Notes

Record details about the specimen in this area:

- Bulk Density:
- Poisson's Ratio:
- Description of asphaltic material:
- How it was mixed:
- How it was compacted:
- How bulk density was determined:

Date



Resumen PCA-1_2

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación múltiple	0.97740993
Coefficiente de determinación R ²	0.95533016
R ² ajustado	0.95189402
Error típico	0.03795141
Observaciones	15

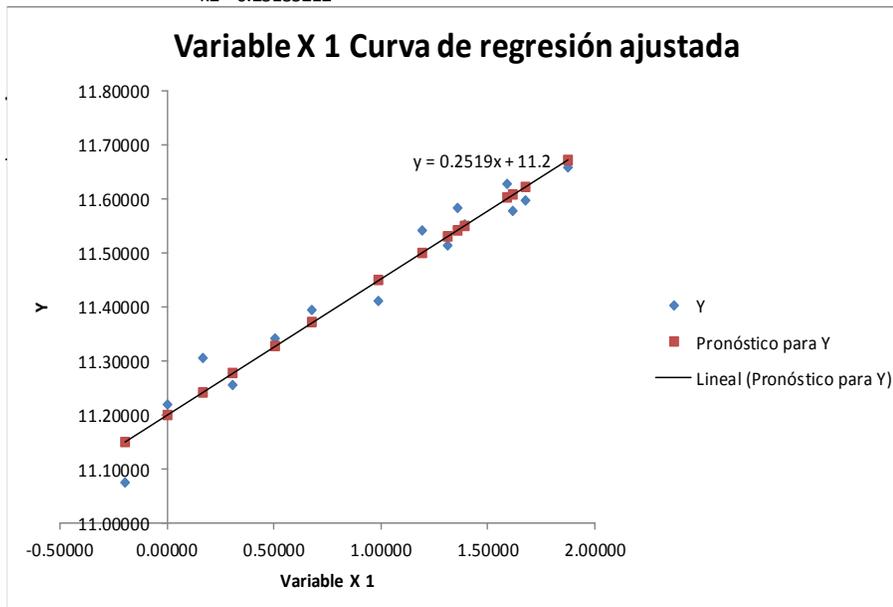
ANÁLISIS DE VARIANZA

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	0.40044075	0.40044075	278.024127	3.7179E-10
Residuos	13	0.01872402	0.00144031		
Total	14	0.41916477			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Intercepción	11.2002249	0.01754392	638.410548	1.2908E-30	11.1623235	11.2381262	11.1623235	11.2381262
Variable X 1	0.25185212	0.01510443	16.6740555	3.7179E-10	0.21922098	0.28448326	0.21922098	0.28448326

k1= 73146.8873

k2= 0.25185212



FORMATO RESUMEN DEL MÓDULO

Resumen de ensayo de pozo PCA-2_1

Resilient Modulus (MPa)	Resilient Modulus (PSI)	σ_1	σ_2	σ_3	θ	$y=\text{Log}(Mr)$	$x1=\text{Log}(\theta/Pa)$
54.54	7910.36	39.76	21.18	21.18	82.12	10.90669	-0.21015
66.65	9666.76	58.46	21.21	21.21	100.88	11.10721	-0.00440
75.27	10916.99	76.86	21.20	21.20	119.26	11.22884	0.16297
67.21	9747.98	66.06	35.03	35.03	136.12	11.11558	0.29520
78.64	11405.76	97.02	35.36	35.36	167.74	11.27264	0.50408
86.02	12476.14	127.67	35.29	35.29	198.25	11.36234	0.67120
101.09	14661.86	132.42	70.02	70.02	272.46	11.52377	0.98916
107.19	15546.59	192.92	70.02	70.02	332.96	11.58236	1.18969
118.6	17201.47	253.28	69.85	69.85	392.98	11.68351	1.35543
105.12	15246.36	166.62	104.21	104.21	375.04	11.56286	1.30870
102.02	14796.75	196.82	104.34	104.34	405.50	11.53292	1.38679
121.2	17578.57	287.89	104.39	104.39	496.67	11.70520	1.58959
111.99	16242.77	232.12	139.02	139.02	510.16	11.62616	1.61639
113.33	16437.12	262.03	139.01	139.01	540.05	11.63806	1.67333
130.92	18988.34	382.39	139.01	139.01	660.41	11.78234	1.87453

Constantes de regresión lineal múltiple:

pozos	constantes		Esfuerzo desviador (kPa)	Esfuerzo confinamiento (kPa)	σ_1 (kPa)	σ_2 (kPa)	σ_3 (kPa)	θ (kPa)	Mr(kPa)	Mr (Mpa)
	k1	k2								
PCA-02_1	64964.82	0.375383	55	28	83	28	28	139	72615.78	72.62

Modelo K- θ PARA PCA-2_1

$$M_R = k_1 \left(\frac{\theta}{P_a} \right)^{k_2}$$

$$M_R = 64964.82 \left(\frac{\theta}{P_a} \right)^{0.375383}$$

Resumen PCA-2_1

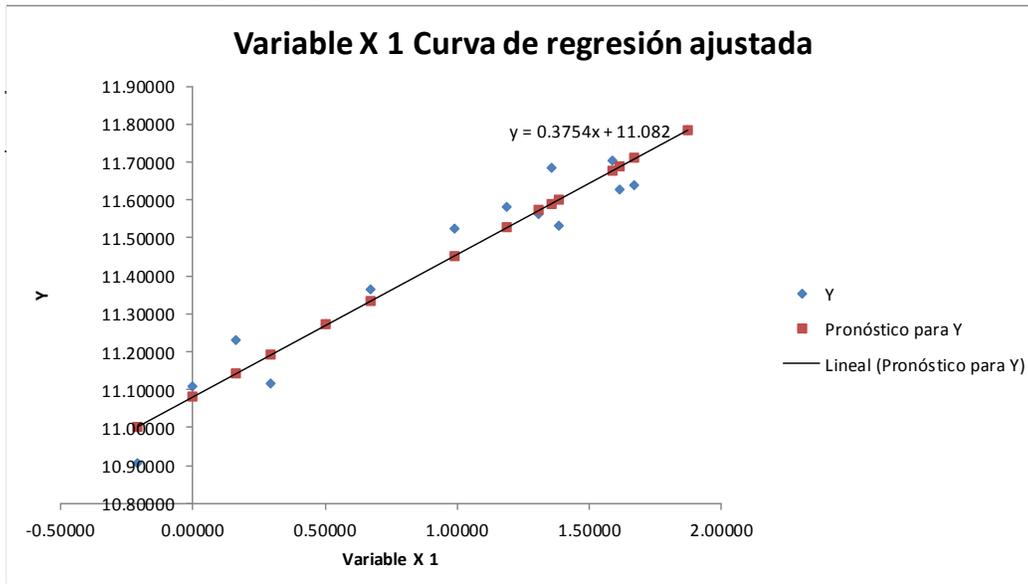
<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0.97044632
Coefficiente de determinación R^2	0.94176606
R^2 ajustado	0.93728653
Error típico	0.06525905
Observaciones	15

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	1	0.89534779	0.89534779	210.237531	2.0966E-09
Residuos	13	0.05536367	0.00425874		
Total	14	0.95071146			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>	<i>Inferior 95.0%</i>	<i>Superior 95.0%</i>
Intercepción	11.0816011	0.03003057	369.01065	1.6051E-27	11.016724	11.1464782	11.016724	11.1464782
Variable X 1	0.37538268	0.02588923	14.49957	2.0966E-09	0.3194524	0.43131296	0.3194524	0.43131296

k1= 64964.8174
k2= 0.37538268



FORMATO RESUMEN DEL MÓDULO

Resumen de ensayo de pozo PCA-2_2

Resilient Modulus (MPa)	Resilient Modulus (PSI)	σ_1	σ_2	σ_3	θ	$y=\text{Log}(M_r)$	$x1=\text{Log}(\theta/\text{Pa})$
57.99	8410.74	38.79	20.04	20.04	78.87	10.96803	-0.25053
70.85	10275.92	57.30	20.07	20.07	97.44	11.16832	-0.03910
78.59	11398.51	75.26	19.63	19.63	114.52	11.27200	0.12242
68.44	9926.38	64.88	33.82	33.82	132.52	11.13371	0.26840
80.26	11640.73	95.41	33.76	33.76	162.93	11.29303	0.47499
87.3	12661.79	126.45	34.01	34.01	194.47	11.37711	0.65194
87.03	12622.63	131.01	68.55	68.55	268.11	11.37401	0.97306
108.09	15677.12	191.59	68.75	68.75	329.09	11.59072	1.17800
120.44	17468.34	251.98	68.59	68.59	389.16	11.69891	1.34566
92.48	13413.09	165.75	103.38	103.38	372.51	11.43475	1.30193
101.17	14673.46	195.76	103.30	103.30	402.36	11.52456	1.37901
122.13	17713.45	286.75	103.29	103.29	493.33	11.71284	1.58285
107.27	15558.19	230.63	137.71	137.71	506.05	11.58310	1.60830
113.23	16422.62	260.83	137.88	137.88	536.59	11.63718	1.66690
133.45	19355.28	381.19	137.87	137.87	656.93	11.80148	1.86924

Constantes de regresión lineal múltiple:

pozos	constantes		Esfuerzo desviador (kPa)	Esfuerzo confinamiento (kPa)	σ_1 (kPa)	σ_2 (kPa)	σ_3 (kPa)	θ (kPa)	Mr(kPa)	Mr (Mpa)
	k1	k2								
PCA-02_2	67925.67	0.33094	55	28	83	28	28	139	74931.09	74.93

Modelo K- θ PARA PCA-2_2

$$M_R = k_1 \left(\frac{\theta}{\text{Pa}} \right)^{k_2}$$

$$M_R = 67925.67 \left(\frac{\theta}{\text{Pa}} \right)^{0.33094}$$

AASHTO T 307-99: Resilient Modulus of Subgrade Soils and Untreated Base/Subbase Materials

Lab Address
El Salvador

Test temperature (DegC)	20.0
Air void content (%)	0
Diameter (mm)	101.9
Height (mm)	203.0

Date of Test mié, 05 de oct de 2016 @ 06:56
 Report Number
 Operator Ricardo Flores Escoto
 Specimen ID PCA2
 Client Name

Seq. No.	Nominal Chamber Confining Pressure (kPa)	Chamber Confining Pressure (kPa)	Nominal Maximum Axial Stress (kPa)	Cycle No.	Actual Applied Max. Axial Load (N)	Actual Applied Max. Axial Stress (kPa)	Actual Applied Contact Load (N)	Actual Applied Max. Axial Stress (kPa)	Actual Applied Cyclic Axial Stress (kPa)	Actual Applied Contact Stress (kPa)	Recov. Def. LVDT1 (mm)	Average Recov. Def. LVDT 1&2 (mm)	Resilient Strain (mm/mm)	Resilient Modulus (MPa)
1	20.70	20.04	20.70		170.15	20.85	17.13	20.85	18.75	2.10	0.0658	0.0658	0.000323	57.99
2	20.70	20.07	41.40		336.57	41.25	32.81	41.25	37.23	4.02	0.1043	0.1092	0.000525	70.85
3	20.70	19.63	62.10		503.19	61.67	49.29	61.67	55.63	6.04	0.1374	0.1437	0.000708	78.59
4	34.50	33.82	34.50		283.43	34.73	29.99	34.73	31.06	3.67	0.0900	0.0947	0.000454	68.44
5	34.50	33.76	68.90		557.31	68.30	54.28	68.30	61.65	6.65	0.1480	0.1559	0.000768	80.26
6	34.50	34.01	103.40		833.85	754.36	79.49	102.19	92.44	9.74	0.2014	0.2289	0.001059	87.30
7	68.90	68.55	68.90		570.86	62.46	61.16	62.46	62.46	7.50	0.1400	0.1457	0.000718	87.03
8	68.90	68.75	137.90		1106.97	135.66	104.60	135.66	122.84	12.82	0.2201	0.2416	0.001136	108.09
9	68.90	68.59	206.80		1648.99	202.08	152.53	202.08	183.39	18.69	0.2983	0.3202	0.001523	120.44
10	103.40	103.38	68.90		570.16	69.87	61.22	69.87	62.37	7.50	0.1306	0.1435	0.000674	92.48
11	103.40	103.30	103.40		834.34	754.47	79.87	102.25	92.46	9.79	0.1764	0.1950	0.000914	101.17
12	103.40	103.29	206.80		1648.23	201.99	151.18	201.99	183.46	18.53	0.2941	0.3162	0.001502	122.13
13	137.90	137.71	103.40		851.91	104.40	93.70	104.40	92.92	11.48	0.1626	0.1894	0.000866	107.27
14	137.90	137.88	137.90		1109.47	135.96	106.17	135.96	122.95	13.01	0.2047	0.2364	0.001086	113.23
15	137.90	137.87	275.80		2179.51	267.09	194.01	267.09	243.32	23.78	0.3550	0.3856	0.001823	133.45

Data File
PCA2_2.tdms

Signed

Notes
 Record details about the specimen in this area:
 Bulk Density:
 Poisson's Ratio:
 Description of asphaltic material:
 How it was mixed:
 How it was compacted:
 How bulk density was determined:

Date



Resumen PCA-2_2

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación múltiple	0.94420847
Coefficiente de determinación R ²	0.89152963
R ² ajustado	0.88318576
Error típico	0.08220282
Observaciones	15

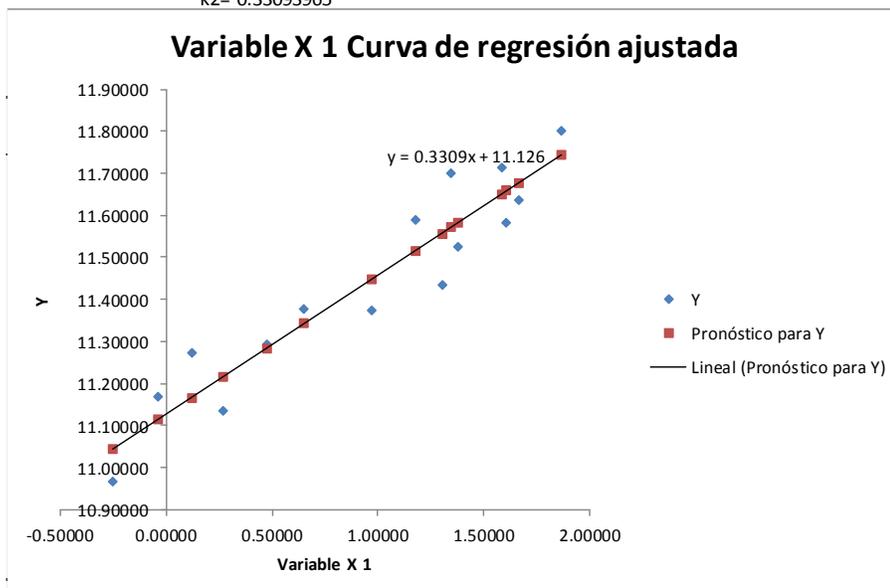
ANÁLISIS DE VARIANZA

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	0.7220071	0.7220071	106.848401	1.2235E-07
Residuos	13	0.08784495	0.0067573		
Total	14	0.80985205			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Intercepción	11.1261693	0.03688419	301.651474	2.2045E-26	11.0464858	11.2058527	11.0464858	11.2058527
Variable X 1	0.33093965	0.03201583	10.33675	1.2235E-07	0.26177365	0.40010565	0.26177365	0.40010565

k1= 67925.6694

k2= 0.33093965



FORMATO RESUMEN DEL MÓDULO

Resumen de ensayo de pozo PCA-3_1

Resilient Modulus (MPa)	Resilient Modulus (PSI)	σ_1	σ_2	σ_3	θ	$y=\text{Log}(M_r)$	$x1=\text{Log}(\theta/P_a)$
58.21	8442.64	38.61	20.00	20.00	78.61	10.97181	-0.25383
70.2	10181.65	57.77	20.45	20.45	98.67	11.15910	-0.02655
78.36	11365.15	76.19	20.42	20.42	117.03	11.26907	0.14410
70.32	10199.05	65.42	34.29	34.29	134.00	11.16081	0.27951
80.67	11700.19	95.84	34.17	34.17	164.18	11.29812	0.48263
87.47	12686.45	126.78	34.37	34.37	195.52	11.37905	0.65733
88.31	12808.28	131.67	69.19	69.19	270.05	11.38861	0.98027
105.89	15358.04	191.97	69.16	69.16	330.29	11.57016	1.18164
114.69	16634.37	252.53	69.23	69.23	390.99	11.64999	1.35035
99.35	14409.50	166.34	103.81	103.81	373.96	11.50640	1.30582
105.93	15363.84	196.28	103.87	103.87	404.02	11.57053	1.38313
118.26	17152.16	287.33	103.85	103.85	495.03	11.68064	1.58629
111.31	16144.15	231.32	138.27	138.27	507.86	11.62007	1.61187
114.89	16663.38	261.21	138.12	138.12	537.45	11.65173	1.66850
123.55	17919.41	381.61	138.26	138.26	658.13	11.72440	1.87107

Constantes de regresión lineal múltiple:

pozos	constantes		Esfuerzo desviador (kPa)	Esfuerzo confinamiento (kPa)	σ_1 (kPa)	σ_2 (kPa)	σ_3 (kPa)	θ (kPa)	Mr(kPa)	Mr (Mpa)
	k1	k2								
PCA-03_1	68316.15	0.324986	55	28	83	28	28	139	75228.88	75.23

Modelo K- θ PARA PCA-3_1

$$M_R = k_1 \left(\frac{\theta}{P_a} \right)^{k_2}$$

$$M_R = 68316.15 \left(\frac{\theta}{P_a} \right)^{0.324986}$$

AASHTO T 307-99: Resilient Modulus of Subgrade Soils and Untreated Base/Subbase Materials

Date of Test: mié, 05 de oct de 2016 @ 07:50
 Report Number:
 Operator: Ricardo Flores Escoto
 Specimen ID: PCA3
 Client Name:

Test temperature (DegC): 20.0
 Air void content (%): 0
 Diameter (mm): 102.0
 Height (mm): 203.0

Lab Address:
 El Salvador

Seq. No.	Nominal Chamber Confining Pressure (kPa)	Chamber Confining Pressure (kPa)	Nominal Maximum Axial Stress (kPa)	Cycle No.	Actual Applied Max. Axial Load (N)	Actual Applied Cyclic Axial Load (N)	Actual Applied Contact Load (N)	Actual Applied Max. Axial Stress (kPa)	Actual Applied Cyclic Axial Stress (kPa)	Actual Applied Contact Axial Stress (kPa)	Recov. Def. LVDT1 (mm)	Recov. Def. LVDT2 (mm)	Average Recov. Def. LVDT 1&2 (mm)	Resilient Strain (mm/mm)	Resilient Modulus (MPa)
1	20.70	20.00	20.70		169.29	152.21	17.08	20.70	18.61	2.09	0.0665	0.0635	0.0649	0.000320	58.21
2	20.70	20.45	41.40		338.46	305.28	33.18	41.38	37.32	4.06	0.1077	0.1086	0.1079	0.000532	70.20
3	20.70	20.42	62.10		505.36	456.13	49.23	61.79	55.77	6.02	0.1408	0.1486	0.1445	0.000712	78.36
4	34.50	34.29	34.50		284.94	254.63	30.31	34.84	31.13	3.71	0.0898	0.0902	0.0899	0.000443	70.32
5	34.50	34.17	68.90		559.15	504.44	54.71	68.36	61.67	6.69	0.1501	0.1606	0.1552	0.000765	80.67
6	34.50	34.37	103.40		835.75	755.88	79.87	102.18	92.41	9.77	0.2030	0.2264	0.2145	0.001057	87.47
7	68.90	69.19	68.90		572.27	511.00	61.27	69.97	62.48	7.49	0.1384	0.1493	0.1436	0.000707	88.31
8	68.90	69.16	137.90		1109.09	1004.49	104.60	135.60	122.81	12.79	0.2257	0.2454	0.2354	0.001160	105.89
9	68.90	69.23	206.80		1652.24	1499.23	153.02	202.00	183.30	18.71	0.3171	0.3320	0.3244	0.001598	114.69
10	103.40	103.81	68.90		572.65	511.49	61.16	70.01	62.53	7.48	0.1245	0.1316	0.1278	0.000629	99.35
11	103.40	103.87	103.40		835.75	755.88	79.87	102.18	92.41	9.77	0.1712	0.1834	0.1771	0.000872	105.93
12	103.40	103.85	206.80		1652.24	1500.74	151.50	202.00	183.48	18.52	0.3069	0.3236	0.3149	0.001551	118.26
13	137.90	138.27	103.40		854.45	761.08	93.37	104.47	93.05	11.42	0.1623	0.1775	0.1697	0.000836	111.31
14	137.90	138.12	137.90		1113.32	1006.82	106.49	136.11	123.09	13.02	0.2075	0.2278	0.2175	0.001071	114.89
15	137.90	138.26	275.80		2185.10	1990.44	194.66	267.15	243.35	23.80	0.3887	0.4115	0.3999	0.001970	123.55

Data File

PCA3_1.tdms

Signed

Notes

Record details about the specimen in this area:

Bulk Density:
 Poisson's Ratio:
 Description of asphaltic material:
 How it was mixed:
 How it was compacted:
 How bulk density was determined:



Resumen PCA-3_1

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación múltiple	0.97273
Coefficiente de determinación R^2	0.94620366
R^2 ajustado	0.94206548
Error típico	0.05497315
Observaciones	15

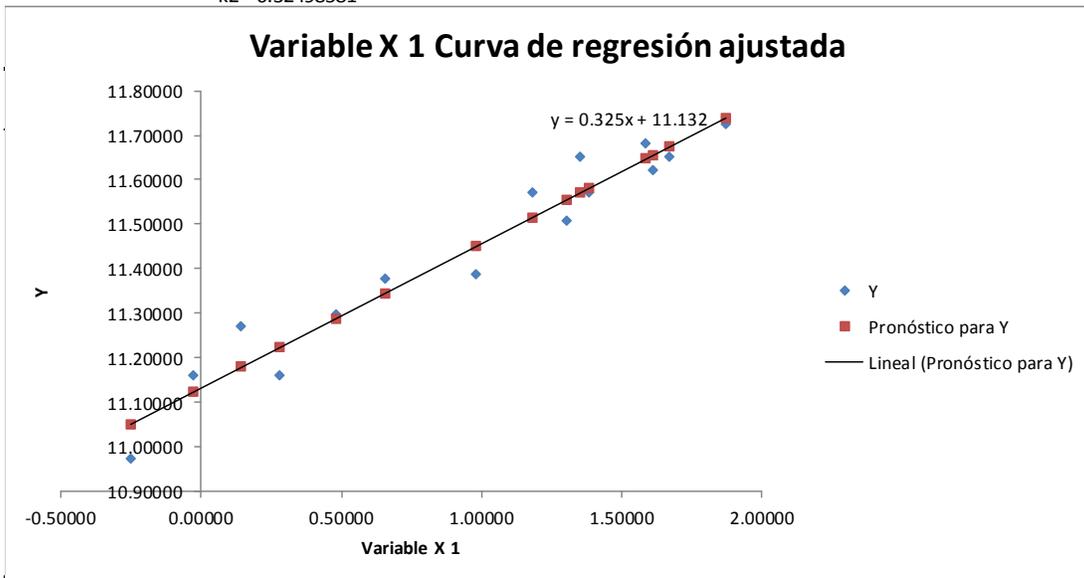
ANÁLISIS DE VARIANZA

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	0.69099744	0.69099744	228.652111	1.2499E-09
Residuos	13	0.03928661	0.00302205		
Total	14	0.73028405			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Intercepción	11.1319015	0.02483365	448.25883	1.28E-28	11.0782516	11.1855513	11.0782516	11.1855513
Variable X 1	0.32498581	0.021492	15.121247	1.2499E-09	0.27855518	0.37141645	0.27855518	0.37141645

k1= 68316.1495

k2= 0.32498581



FORMATO RESUMEN DEL MÓDULO

Resumen de ensayo de pozo PCA-3_2

Resilient Modulus (MPa)	Resilient Modulus (PSI)	σ_1	σ_2	σ_3	θ	$y=\text{Log}(M_r)$	$x1=\text{Log}(\theta/\text{Pa})$
57.23	8300.51	39.11	20.50	20.50	80.11	10.95483	-0.23493
68.75	9971.34	57.66	20.48	20.48	98.62	11.13823	-0.02706
76.6	11109.89	76.59	20.89	20.89	118.37	11.24635	0.15548
73.01	10589.20	65.78	34.68	34.68	135.14	11.19835	0.28798
81.12	11765.46	96.63	34.95	34.95	166.53	11.30368	0.49684
85.59	12413.78	127.35	34.89	34.89	197.13	11.35732	0.66553
106.39	15430.56	132.04	69.52	69.52	271.08	11.57487	0.98408
115.22	16711.24	192.40	69.57	69.57	331.54	11.65460	1.18542
115.83	16799.72	253.10	69.65	69.65	392.40	11.65988	1.35395
109.31	15854.07	166.96	104.38	104.38	375.72	11.60194	1.31051
111.18	16125.29	196.78	104.23	104.23	405.24	11.61891	1.38615
119.23	17292.84	287.66	104.16	104.16	495.98	11.68881	1.58820
118.32	17160.86	231.51	138.38	138.38	508.27	11.68115	1.61268
120.2	17433.53	261.61	138.65	138.65	538.91	11.69691	1.67122
127.89	18548.87	381.61	138.45	138.45	658.51	11.75893	1.87165

Constantes de regresión lineal múltiple:

pozos	constantes		Esfuerzo desviador (kPa)	Esfuerzo confinamiento (kPa)	σ_1 (kPa)	σ_2 (kPa)	σ_3 (kPa)	θ (kPa)	Mr(kPa)	Mr (Mpa)
	k1	k2								
PCA-03_2	68183.39	0.362422	55	28	83	28	28	139	75921.01	75.92

Modelo K- θ PARA PCA-3_2

$$M_R = k_1 \left(\frac{\theta}{P_a} \right)^{k_2}$$

$$M_R = 68183.39 \left(\frac{\theta}{P_a} \right)^{0.362422}$$

AASHTO T 307-99: Resilient Modulus of Subgrade Soils and Unirradiated Base/Subbase Materials

Date of Test: mié, 05 de oct de 2016 @ 08:48
 Report Number:
 Operator: Ricardo Flores Escoto
 Specimen ID: PCA3
 Client Name:

Test temperature (DegC): 20.0
 Air void content (%): 0
 Diameter (mm): 101.8
 Height (mm): 203.0

Lab Address: El Salvador

Seq. No.	Nominal Chamber Confining Pressure (kPa)	Chamber Confining Pressure (kPa)	Nominal Maximum Axial Stress (kPa)	Cycle No.	Actual Applied Max. Axial Load (N)	Actual Applied Cyclic Axial Load (N)	Actual Applied Contact Load (N)	Actual Applied Max. Axial Stress (kPa)	Actual Applied Cyclic Axial Stress (kPa)	Actual Applied Contact Axial Stress (kPa)	Recov. Def. LVDT1 (mm)	Recov. Def. LVDT2 (mm)	Average Recov. Def. LVDT 1&2 (mm)	Resilient Strain (mm/mm)	Resilient Modulus (MPa)
1	20.70	20.50	20.70		168.31	151.61	16.70	20.66	18.61	2.05	0.0630	0.0696	0.0660	0.000325	57.23
2	20.70	20.48	41.40		335.81	302.89	32.91	41.23	37.18	4.04	0.1014	0.1186	0.1098	0.000541	68.75
3	20.70	20.89	62.10		502.92	453.74	49.18	61.74	55.70	6.04	0.1351	0.1605	0.1476	0.000727	76.60
4	34.50	34.68	34.50		283.59	253.33	30.26	34.81	31.10	3.71	0.0802	0.0930	0.0865	0.000426	73.01
5	34.50	34.95	68.90		556.88	502.43	54.44	68.36	61.68	6.68	0.1419	0.1672	0.1544	0.000760	81.12
6	34.50	34.89	103.40		832.71	753.11	79.60	102.23	92.46	9.77	0.2003	0.2386	0.2193	0.001080	85.59
7	68.90	69.52	68.90		570.11	509.27	60.84	69.99	62.52	7.47	0.1124	0.1267	0.1193	0.000588	106.39
8	68.90	69.57	137.90		1104.80	1000.53	104.27	135.63	122.83	12.80	0.2042	0.2290	0.2164	0.001066	115.22
9	68.90	69.65	206.80		1646.98	1494.29	152.69	202.19	183.45	18.75	0.3107	0.3330	0.3215	0.001584	115.83
10	103.40	104.38	68.90		570.70	509.76	60.95	70.06	62.58	7.48	0.1090	0.1237	0.1162	0.000572	109.31
11	103.40	104.23	103.40		833.58	753.87	79.71	102.33	92.55	9.79	0.1582	0.1801	0.1690	0.000832	111.18
12	103.40	104.16	206.80		1645.74	1494.72	151.01	202.04	183.50	18.54	0.3001	0.3250	0.3124	0.001539	119.23
13	137.90	138.38	103.40		852.07	758.64	93.43	104.60	93.13	11.47	0.1440	0.1760	0.1598	0.000787	118.32
14	137.90	138.65	137.90		1107.51	1001.56	105.95	135.96	122.96	13.01	0.1887	0.2269	0.2077	0.001023	120.20
15	137.90	138.45	275.80		2174.90	1980.68	194.23	267.00	243.16	23.84	0.3646	0.4078	0.3860	0.001901	127.89

Data File

PCA3_2.tdms

Signed

Notes

Record details about the specimen in this area:
 Bulk Density:
 Poisson's Ratio:
 Description of asphaltic material:
 How it was mixed:
 How it was compacted:
 How bulk density was determined:

Date



Resumen PCA-3_2

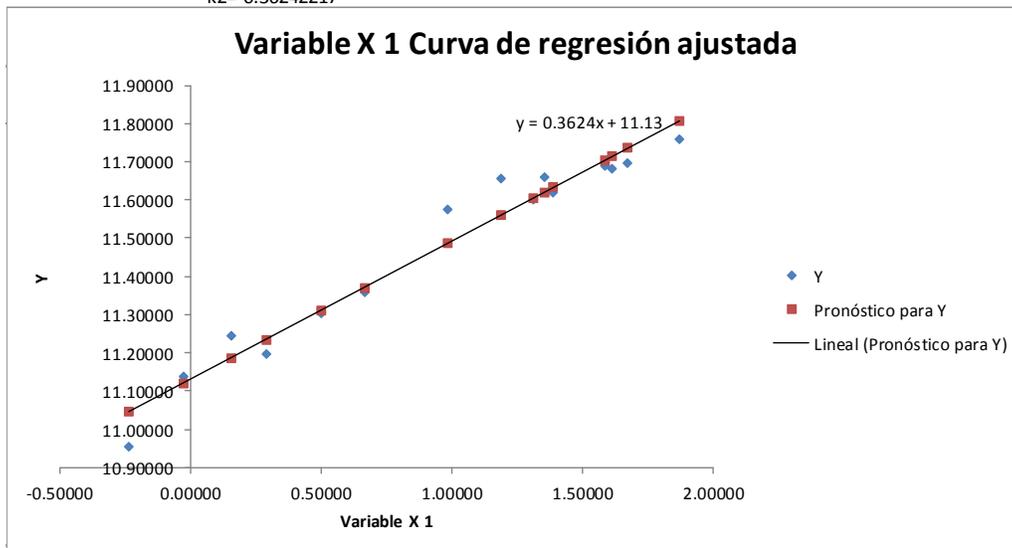
Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación múltiple	0.97868391
Coefficiente de determinación R ²	0.95782219
R ² ajustado	0.95457774
Error típico	0.05365423
Observaciones	15

ANÁLISIS DE VARIANZA

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	0.84986926	0.84986926	295.218936	2.5572E-10
Residuos	13	0.03742409	0.00287878		
Total	14	0.88729335			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Intercepción	11.1299563	0.02442784	455.625836	1.0356E-28	11.0771831	11.1827294	11.0771831	11.1827294
Variable X 1	0.36242217	0.02109321	17.1819363	2.5572E-10	0.31685307	0.40799128	0.31685307	0.40799128

k1= 68183.3911
k2= 0.36242217



FORMATO RESUMEN DEL MÓDULO

Resumen de ensayo de pozo PCA-4_1

Resilient Modulus (MPa)	Resilient Modulus (PSI)	σ_1	σ_2	σ_3	θ	$y=\text{Log}(M_r)$	$x_1=\text{Log}(\theta/P_a)$
63.53	9214.25	39.27	20.56	20.56	80.39	11.05927	-0.23144
70.87	10278.82	58.17	20.99	20.99	100.15	11.16860	-0.01166
76.49	11093.93	76.47	20.84	20.84	118.15	11.24492	0.15362
70.26	10190.35	66.10	34.88	34.88	135.86	11.15996	0.29329
78.38	11368.05	96.44	34.71	34.71	165.86	11.26932	0.49281
86.48	12542.86	127.24	34.67	34.67	196.58	11.36767	0.66274
90.37	13107.06	132.05	69.53	69.53	271.11	11.41167	0.98419
106.09	15387.05	192.23	69.28	69.28	330.79	11.57204	1.18315
115.04	16685.14	253.01	69.50	69.50	392.01	11.65304	1.35295
94.96	13772.78	166.66	104.14	104.14	374.94	11.46121	1.30843
100.32	14550.18	196.38	103.95	103.95	404.28	11.51612	1.38377
116.69	16924.45	287.67	104.21	104.21	496.09	11.66728	1.58842
105.05	15236.21	231.87	138.86	138.86	509.59	11.56219	1.61527
109.6	15896.13	261.20	138.26	138.26	537.72	11.60459	1.66900
127.67	18516.96	382.32	138.99	138.99	660.30	11.75720	1.87436

Constantes de regresión lineal múltiple:

pozos	constantes		Esfuerzo desviador (kPa)	Esfuerzo confinamiento (kPa)	σ_1 (kPa)	σ_2 (kPa)	σ_3 (kPa)	θ (kPa)	Mr(kPa)	Mr (Mpa)
	k1	k2								
PCA-04_1	69097.07	0.302122	55	28	83	28	28	139	75574.59	75.57

Modelo K- θ PARA PCA-4_1

$$M_R = k_1 \left(\frac{\theta}{P_a} \right)^{k_2}$$

$$M_R = 69097.07 \left(\frac{\theta}{P_a} \right)^{0.302122}$$

AASHTO T 307-99: Resilient Modulus of Subgrade Soils and Untreated Base Subbase Materials

Date of Test		mié, 05 de oct de 2016 @ 09:35	
Report Number			
Operator		Ricardo Flores Escoto	
Specimen ID		PCA4	
Client Name			

Test temperature (DegC)		20.0
Air void content (%)		0
Diameter (mm)		102.0
Height (mm)		203.0

Lab Address		El Salvador	
-------------	--	-------------	--

Seq. No.	Nominal Chamber Confining Pressure (kPa)	Chamber Confining Pressure (kPa)	Nominal Maximum Axial Stress (kPa)	Cycle No.	Actual Applied Max. Axial Load (N)	Actual Applied Cyclic Axial Load (N)	Actual Applied Contact Load (N)	Actual Applied Max. Axial Stress (kPa)	Actual Applied Cyclic Axial Stress (kPa)	Actual Applied Contact Axial Stress (kPa)	Actual Applied Contact Stress (kPa)	Recov. Def. LVDT1 (mm)	Recov. Def. LVDT2 (mm)	Average Recov. Def. LVDT 1&2 (mm)	Resilient Strain (mm/mm)	Resilient Modulus (MPa)
1	20.70	20.56	20.70		170.07	153.02	17.05	20.79	18.71	2.08	0.0636	0.0565	0.0636	0.0598	0.000294	63.53
2	20.70	20.99	41.40		336.97	304.09	32.89	41.20	37.18	4.02	0.1158	0.0978	0.1158	0.1065	0.000525	70.87
3	20.70	20.84	62.10		504.58	455.04	49.53	61.69	55.63	6.06	0.1624	0.1334	0.1624	0.1476	0.000727	76.49
4	34.50	34.88	34.50		285.57	255.39	30.18	34.91	31.22	3.69	0.0844	0.0844	0.0964	0.0902	0.000444	70.26
5	34.50	34.71	68.90		559.40	504.87	54.52	68.39	61.73	6.67	0.1460	0.1460	0.1741	0.1599	0.000787	78.38
6	34.50	34.67	103.40		837.18	757.18	80.01	102.35	92.57	9.78	0.1964	0.1964	0.2388	0.2173	0.001070	86.48
7	68.90	69.53	68.90		572.46	511.38	61.08	69.99	62.52	7.47	0.1333	0.1333	0.1480	0.1404	0.000692	90.37
8	68.90	69.28	137.90		1110.42	1005.61	104.79	135.76	122.95	12.81	0.2517	0.2191	0.2517	0.2353	0.001159	106.09
9	68.90	69.50	206.80		1654.11	1501.01	153.10	202.23	183.51	18.72	0.3100	0.3379	0.3379	0.3238	0.001595	115.04
10	103.40	104.14	68.90		572.68	511.38	61.30	70.02	62.52	7.49	0.1231	0.1445	0.1445	0.1337	0.000658	94.96
11	103.40	103.95	103.40		836.21	755.98	80.22	102.23	92.43	9.81	0.1717	0.1717	0.2026	0.1870	0.000921	100.32
12	103.40	104.21	206.80		1651.95	1500.58	151.36	201.97	183.46	18.51	0.3019	0.3019	0.3369	0.3192	0.001572	116.69
13	137.90	138.86	103.40		854.16	760.76	93.40	104.43	93.01	11.42	0.1597	0.1597	0.2001	0.1797	0.000885	105.05
14	137.90	138.26	137.90		1111.99	1005.57	106.41	135.95	122.94	13.01	0.2022	0.2022	0.2536	0.2277	0.001122	109.60
15	137.90	138.99	275.80		2185.07	1990.27	194.80	267.15	243.33	23.82	0.3592	0.3592	0.4147	0.3869	0.001906	127.67

Data File
PCA4_1.tdms

Signed

Notes

Record details about the specimen in this area:

Bulk Density:

Poisson's Ratio:

Description of asphaltic material:

How it was mixed:

How it was compacted:

How bulk density was determined:

Date



Resumen PCA-4_1

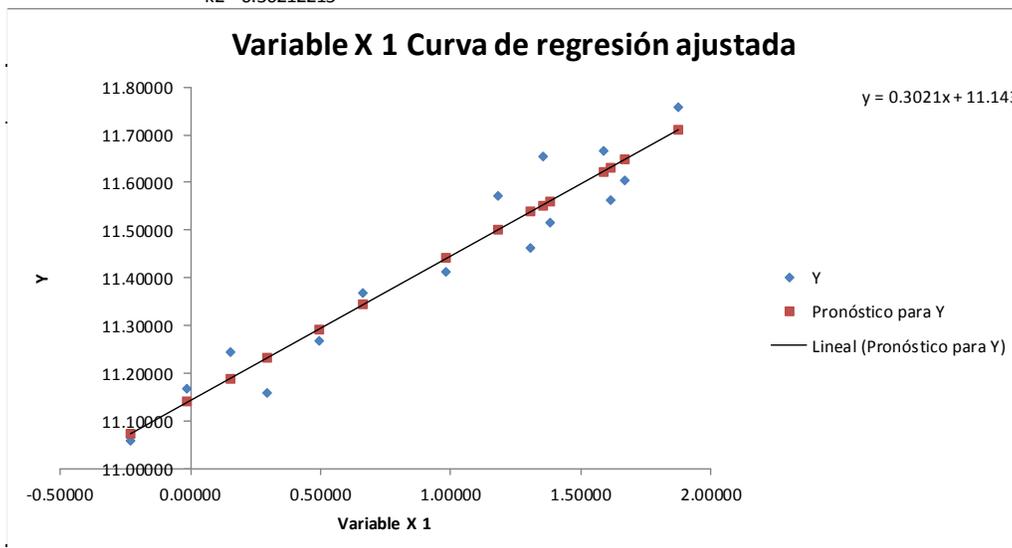
Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación múltiple	0.96348964
Coefficiente de determinación R ²	0.92831229
R ² ajustado	0.92279785
Error típico	0.05906194
Observaciones	15

ANÁLISIS DE VARIANZA

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	0.58722985	0.58722985	168.342104	8.1462E-09
Residuos	13	0.04534806	0.00348831		
Total	14	0.63257791			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Intercepción	11.1432676	0.02695643	413.380693	3.6686E-28	11.0850318	11.2015035	11.0850318	11.2015035
Variable X 1	0.30212215	0.02328553	12.9746716	8.1462E-09	0.25181682	0.35242749	0.25181682	0.35242749

k1= 69097.0722
k2= 0.30212215



FORMATO RESUMEN DEL MÓDULO

Resumen de ensayo de pozo PCA-4_2

Resilient Modulus (MPa)	Resilient Modulus (PSI)	σ_1	σ_2	σ_3	θ	y=Log(Mr)	x1=Log(θ /Pa)
66.7	9674.01	39.13	20.56	20.56	80.25	11.10796	-0.23319
73.95	10725.54	57.92	20.62	20.62	99.16	11.21114	-0.02160
78.87	11439.12	76.57	20.92	20.92	118.41	11.27556	0.15582
74.35	10783.55	65.50	34.60	34.60	134.70	11.21654	0.28472
80.74	11710.34	96.65	34.91	34.91	166.47	11.29899	0.49648
87.56	12699.50	127.30	34.88	34.88	197.06	11.38008	0.66518
109.68	15907.73	132.24	69.72	69.72	271.68	11.60532	0.98629
114.37	16587.96	192.30	69.43	69.43	331.16	11.64719	1.18427
112.57	16326.89	252.85	69.40	69.40	391.65	11.63133	1.35204
116.09	16837.43	166.62	104.16	104.16	374.94	11.66212	1.30843
112.3	16287.73	196.77	104.25	104.25	405.27	11.62893	1.38622
116.8	16940.40	287.80	104.29	104.29	496.38	11.66822	1.58901
127.89	18548.87	231.55	138.58	138.58	508.71	11.75893	1.61354
124.91	18116.66	261.61	138.53	138.53	538.67	11.73535	1.67077
127.05	18427.04	382.08	138.51	138.51	659.10	11.75234	1.87254

Constantes de regresión lineal múltiple:

pozos	constantes		Esfuerzo desviador (kPa)	Esfuerzo confinamiento (kPa)	σ_1 (kPa)	σ_2 (kPa)	σ_3 (kPa)	θ (kPa)	Mr (kPa)	Mr (Mpa)
	k1	k2								
PCA-04_2	72526.48	0.328736	55	28	83	28	28	139	79954.14	79.95

Modelo K- θ PARA PCA-4_2

$$M_R = k_1 \left(\frac{\theta}{P_a} \right)^{k_2}$$

$$M_R = 72526.48 \left(\frac{\theta}{P_a} \right)^{0.328736}$$

AASHTO T 307-99: Resilient Modulus of Subgrade Soils and Untreated Base/Subbase Materials

Lab Address	
El Salvador	

Test temperature (DegC)		20.0
Air void content (%)		0
Diameter (mm)		102.3
Height (mm)		203.0

Date of Test	mié, 05 de oct de 2016 @ 10:20
Report Number	
Operator	Ricardo Flores Escoto
Specimen ID	PCA4
Client Name	

Seq. No.	Nominal Chamber Confining Pressure (kPa)	Chamber Confining Pressure (kPa)	Nominal Maximum Axial Stress (kPa)	Cycle No.	Actual Applied Max. Axial Load (N)	Actual Applied Max. Axial Stress (kPa)	Actual Applied Contact Load (N)	Actual Applied Axial Stress (kPa)	Actual Applied Cyclic Axial Load (N)	Actual Applied Cyclic Axial Stress (kPa)	Actual Applied Contact Axial Stress (kPa)	Recov. Def. LVD11 (mm)	Recov. Def. LVD12 (mm)	Average Recov. Def. LVD1 & 1&2 (mm)	Resilient Strain (mm/mm)	Resilient Modulus (MPa)
1	20.70	20.56	20.70		169.50	169.50	152.53	16.97	20.64	18.57	2.07	0.0577	0.0557	0.0565	0.000278	66.70
2	20.70	20.62	41.40		339.38	339.38	306.36	33.02	41.32	37.30	4.02	0.1013	0.1041	0.1024	0.000504	73.95
3	20.70	20.92	62.10		506.56	506.56	457.05	49.51	61.68	55.65	6.03	0.1388	0.1479	0.1432	0.000706	78.87
4	34.50	34.60	34.50		284.51	284.51	253.82	30.69	34.64	30.90	3.74	0.0844	0.0847	0.0844	0.000416	74.35
5	34.50	34.91	68.90		562.08	562.08	507.10	54.98	68.44	61.74	6.69	0.1503	0.1605	0.1552	0.000765	80.74
6	34.50	34.88	103.40		839.22	839.22	759.02	80.20	102.18	92.42	9.76	0.2036	0.2253	0.2143	0.001055	87.56
7	68.90	69.72	68.90		574.55	574.55	513.44	61.11	69.96	62.52	7.44	0.1176	0.1141	0.1157	0.000570	109.68
8	68.90	69.43	137.90		1114.24	1114.24	1009.15	105.09	135.67	122.87	12.79	0.2153	0.2213	0.2181	0.001074	114.37
9	68.90	69.40	206.80		1660.21	1660.21	1506.71	153.51	202.14	183.45	18.69	0.3304	0.3318	0.3308	0.001630	112.57
10	103.40	104.16	68.90		574.61	574.61	512.95	61.65	69.96	62.46	7.51	0.1103	0.1085	0.1092	0.000538	116.09
11	103.40	104.25	103.40		840.25	840.25	759.89	80.36	102.31	92.52	9.78	0.1668	0.1680	0.1673	0.000824	112.30
12	103.40	104.29	206.80		1659.35	1659.35	1507.20	152.15	202.04	183.51	18.53	0.3182	0.3201	0.3189	0.001571	116.80
13	137.90	138.58	103.40		857.49	857.49	763.52	93.97	104.41	92.97	11.44	0.1444	0.1509	0.1476	0.000727	127.89
14	137.90	138.53	137.90		1117.82	1117.82	1010.89	106.93	136.10	123.08	13.02	0.1927	0.2075	0.2000	0.000985	124.91
15	137.90	138.51	275.80		2196.00	2196.00	2000.41	195.58	267.38	243.57	23.81	0.3746	0.4043	0.3892	0.001917	127.05

Data File
PCA4_2.tdms

Signed

Notes

Record details about the specimen in this area:

Bulk Density:
Poisson's Ratio:
Description of asphaltic material:
How it was mixed:
How it was compacted:
How bulk density was determined:

Date



Resumen PCA-4_2

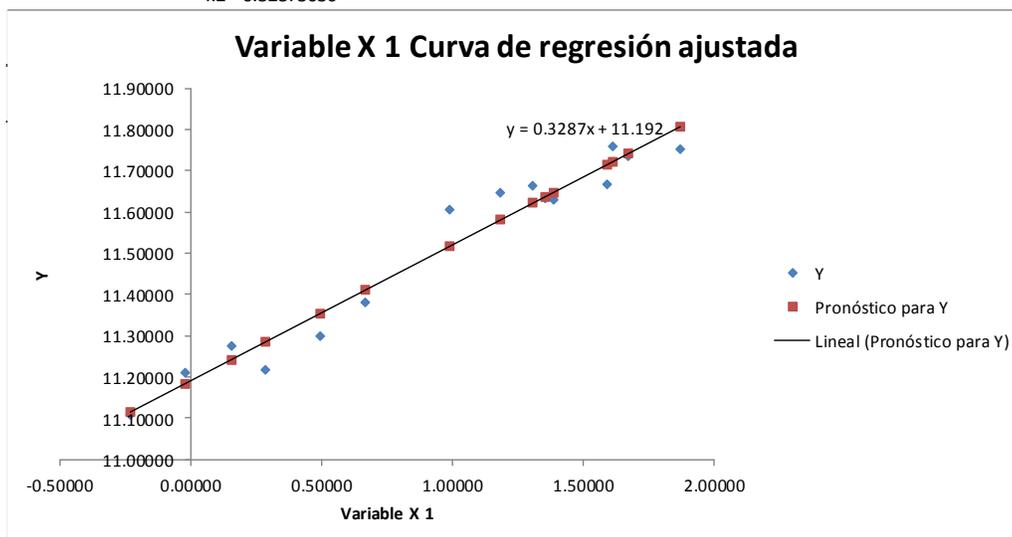
Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación múltiple	0.97820338
Coefficiente de determinación R ²	0.95688186
R ² ajustado	0.95356508
Error típico	0.04919043
Observaciones	15

ANÁLISIS DE VARIANZA

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	0.69807638	0.69807638	288.497238	2.9525E-10
Residuos	13	0.03145608	0.0024197		
Total	14	0.72953247			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Intercepción	11.191707	0.02241108	499.382675	3.144E-29	11.1432908	11.2401232	11.1432908	11.2401232
Variable X 1	0.32873636	0.01935427	16.9852064	2.9525E-10	0.28692399	0.37054873	0.28692399	0.37054873

k1= 72526.4811
k2= 0.32873636



FORMATO RESUMEN DEL MÓDULO

Resumen de ensayo de pozo PCA-5_1

Resilient Modulus (MPa)	Resilient Modulus (PSI)	σ_1	σ_2	σ_3	θ	y=Log(Mr)	x1=Log(θ /Pa)
53.26	7724.71	39.22	20.53	20.53	80.28	10.88294	-0.23281
64.48	9352.03	57.87	20.62	20.62	99.11	11.07411	-0.02210
71.13	10316.53	76.47	20.74	20.74	117.95	11.17226	0.15193
65.59	9513.02	65.93	34.69	34.69	135.31	11.09118	0.28924
77.04	11173.70	96.37	34.65	34.65	165.67	11.25208	0.49166
86.23	12506.60	127.08	34.62	34.62	196.32	11.36477	0.66141
88.63	12854.69	131.89	69.44	69.44	270.77	11.39223	0.98294
99.26	14396.44	192.30	69.33	69.33	330.96	11.50550	1.18366
104.14	15104.23	252.96	69.60	69.60	392.16	11.55349	1.35334
89.57	12991.03	166.46	103.88	103.88	374.22	11.40278	1.30651
93.97	13629.19	196.55	104.11	104.11	404.77	11.45073	1.38499
105.55	15308.73	287.32	103.94	103.94	495.20	11.56694	1.58663
101.9	14779.34	231.65	138.60	138.60	508.85	11.53175	1.61382
104.97	15224.61	261.31	138.32	138.32	537.95	11.56143	1.66943
114.91	16666.28	382.07	138.52	138.52	659.11	11.65190	1.87256

Constantes de regresión lineal múltiple:

pozos	constantes		Esfuerzo desviador (kPa)	Esfuerzo confinamiento (kPa)	σ_1 (kPa)	σ_2 (kPa)	σ_3 (kPa)	θ (kPa)	Mr (kPa)	Mr (Mpa)
	k1	k2								
PCA-05_1	63698.23	0.316613	55	28	83	28	28	139	69969.71	69.97

Modelo K- θ PARA PCA-5_1

$$M_R = k_1 \left(\frac{\theta}{P_a} \right)^{k_2}$$

$$M_R = 63698.23 \left(\frac{\theta}{P_a} \right)^{0.316613}$$

AASHTO T 307-99: Resilient Modulus of Subgrade Soils and Untreated Base/Subbase Materials

Date of Test: mié, 05 de oct de 2016 @ 11:15
 Report Number:
 Operator: Ricardo Flores Escoto
 Specimen ID: PCA5
 Client Name:
 Lab Address: El Salvador

Test temperature (DegC)	20.0
Air void content (%)	0
Diameter (mm)	101.8
Height (mm)	203.0

Seq. No.	Nominal Chamber Confining Pressure (kPa)	Chamber Confining Pressure (kPa)	Nominal Maximum Axial Stress (kPa)	Cycle No.	Actual Applied Max. Axial Load (N)	Actual Applied Cyclic Axial Load (N)	Actual Applied Contact Load (N)	Actual Applied Max. Axial Stress (kPa)	Actual Applied Cyclic Axial Stress (kPa)	Actual Applied Contact Stress (kPa)	Recov. Def. LVD11 (mm)	Average Recov. Def. LVD11&2 (mm)	Resilient Strain (mm/mm)	Resilient Modulus (MPa)
1	20.70	20.53	20.70		168.91	152.15	16.76	20.75	18.69	2.06	0.0741	0.0688	0.000351	53.26
2	20.70	20.62	41.40		335.81	303.16	32.64	41.26	37.25	4.01	0.1152	0.1195	0.000578	64.48
3	20.70	20.74	62.10		502.49	453.58	48.91	61.74	55.73	6.01	0.1517	0.1667	0.000783	71.13
4	34.50	34.69	34.50		284.13	254.31	29.82	34.91	31.24	3.66	0.0959	0.0977	0.000476	65.59
5	34.50	34.65	68.90		556.66	502.33	54.33	68.39	61.72	6.68	0.1554	0.1700	0.000801	77.04
6	34.50	34.62	103.40		832.01	752.57	79.44	102.22	92.46	9.76	0.2060	0.2296	0.001072	86.23
7	68.90	69.44	68.90		569.35	508.29	61.06	69.95	62.45	7.50	0.1399	0.1466	0.000705	88.63
8	68.90	69.33	137.90		1104.86	1000.86	104.00	135.74	122.97	12.78	0.2412	0.2621	0.001239	99.26
9	68.90	69.60	206.80		1644.82	1492.39	152.42	202.08	183.36	18.73	0.3507	0.3646	0.001761	104.14
10	103.40	103.88	68.90		570.16	509.38	60.78	70.05	62.58	7.47	0.1376	0.1463	0.000699	89.57
11	103.40	104.11	103.40		832.11	752.41	79.71	102.23	92.44	9.79	0.1919	0.2076	0.000984	93.97
12	103.40	103.94	206.80		1643.57	1492.61	150.96	201.93	183.38	18.55	0.3427	0.3629	0.001737	105.55
13	137.90	138.60	103.40		850.77	757.34	93.43	104.53	93.05	11.48	0.1862	0.1849	0.000913	101.90
14	137.90	138.32	137.90		1106.86	1001.07	105.79	135.99	122.99	13.00	0.2365	0.2395	0.001172	104.97
15	137.90	138.52	275.80		2176.26	1982.30	193.96	267.38	243.55	23.83	0.4169	0.4441	0.002120	114.91

Data File: PCA5_1.tdms
 Signed: _____

Notes: Record details about the specimen in this area:
 Bulk Density:
 Poisson's Ratio:
 Description of asphaltic material:
 How it was mixed:
 How it was compacted:
 How bulk density was determined:
 Date: _____



Resumen PCA-5_1

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0.96451327
Coefficiente de determinación R ²	0.93028586
R ² ajustado	0.92492323
Error típico	0.06109831
Observaciones	15

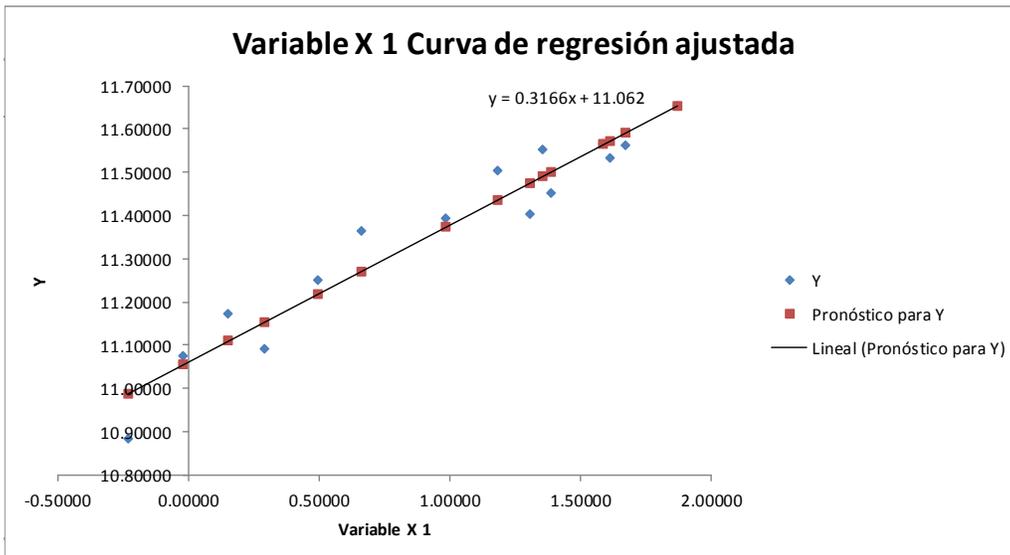
ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	1	0.64758577	0.64758577	173.475791	6.7882E-09
Residuos	13	0.04852905	0.003733		
Total	14	0.69611481			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>	<i>Inferior 95.0%</i>	<i>Superior 95.0%</i>
Intercepción	11.061912	0.02781271	397.728638	6.0591E-28	11.0018263	11.1219978	11.0018263	11.1219978
Variable X 1	0.31661287	0.0240386	13.1710209	6.7882E-09	0.26468064	0.36854511	0.26468064	0.36854511

k1= 63698.2292

k2= 0.31661287



FORMATO RESUMEN DEL MÓDULO

Resumen de ensayo de pozo PCA-5_2

Resilient Modulus (MPa)	Resilient Modulus (PSI)	σ_1	σ_2	σ_3	θ	$y=\text{Log}(Mr)$	$x1=\text{Log}(\theta/Pa)$
82.36	11945.30	38.97	20.39	20.39	79.75	11.31886	-0.23944
84.09	12196.22	57.80	20.45	20.45	98.70	11.33964	-0.02625
85.62	12418.13	76.57	20.82	20.82	118.21	11.35767	0.15413
83.55	12117.90	65.63	34.60	34.60	134.83	11.33320	0.28568
87.16	12641.49	96.30	34.56	34.56	165.42	11.37550	0.49015
94.59	13719.12	126.94	34.50	34.50	195.94	11.45731	0.65948
97.05	14075.91	131.62	69.20	69.20	270.02	11.48298	0.98016
106.22	15405.90	192.40	69.47	69.47	331.34	11.57327	1.18481
109.24	15843.92	253.00	69.34	69.34	391.68	11.60130	1.35211
100.82	14622.70	166.45	103.97	103.97	374.39	11.52109	1.30696
102.18	14819.95	196.24	103.75	103.75	403.74	11.53449	1.38244
110.4	16012.16	287.35	103.94	103.94	495.23	11.61187	1.58669
107.57	15601.71	231.55	138.62	138.62	508.79	11.58590	1.61370
110.36	16006.36	261.19	138.22	138.22	537.63	11.61150	1.66884
118.57	17197.12	381.97	138.43	138.43	658.83	11.68326	1.87213

Constantes de regresión lineal múltiple:

pozos	constantes		Esfuerzo desviador (kPa)	Esfuerzo confinamiento (kPa)	σ_1 (kPa)	σ_2 (kPa)	σ_3 (kPa)	θ (kPa)	Mr(kPa)	Mr (Mpa)
	k1	k2								
PCA-05_2	83091.86	0.173233	55	28	83	28	28	139	87472.69	87.47

Modelo K- θ PARA PCA-5_2

$$M_R = k_1 \left(\frac{\theta}{P_a} \right)^{k_2}$$

$$M_R = 83091.86 \left(\frac{\theta}{P_a} \right)^{0.173233}$$

AASHTO T 307-99: Resilient Modulus of Subgrade Soils and Untreated Base/Subbase Materials

Lab Address
El Salvador

Test temperature (DegC)	20.0
Air void content (%)	0
Diameter (mm)	101.8
Height (mm)	204.0

Date of Test: mié, 05 de oct de 2016 @ 12:16

Report Number

Operator: Ricardo Flores Escoto

Specimen ID: PCA5

Client Name

Seq. No.	Nominal Chamber Confining Pressure (kPa)	Chamber Confining Pressure (kPa)	Nominal Maximum Axial Stress (kPa)	Cycle No.	Actual Applied Max. Axial Load (N)	Actual Applied Max. Axial Stress (kPa)	Actual Applied Contact Load (N)	Actual Applied Axial Load (N)	Actual Applied Axial Stress (kPa)	Actual Applied Cyclic Axial Stress (kPa)	Actual Applied Contact Axial Stress (kPa)	Recov. Def. LVD11 (mm)	Recov. Def. LVD12 (mm)	Average Recov. Def. LVD1 & 2 (mm)	Resilient Strain (mm/mm)	Resilient Modulus (MPa)
1	20.70	20.39	20.70		168.15	151.23	16.92	20.66	2.08	18.58	2.08	0.0462	0.0462	0.0460	0.000226	82.36
2	20.70	20.45	41.40		336.89	304.03	32.86	41.39	37.35	37.35	4.04	0.0884	0.0932	0.0906	0.000444	84.09
3	20.70	20.82	62.10		502.98	453.80	49.18	61.80	55.75	55.75	6.04	0.1281	0.1380	0.1328	0.000651	85.62
4	34.50	34.60	34.50		282.61	252.57	30.04	34.72	31.03	31.03	3.69	0.0744	0.0774	0.0758	0.000371	83.55
5	34.50	34.56	68.90		556.93	502.49	54.44	68.42	61.74	61.74	6.69	0.1395	0.1500	0.1445	0.000708	87.16
6	34.50	34.50	103.40		831.95	752.41	79.55	102.21	92.44	92.44	9.77	0.1917	0.2074	0.1994	0.000977	94.59
7	68.90	69.20	68.90		568.91	508.02	60.89	69.90	62.42	62.42	7.48	0.1290	0.1340	0.1312	0.000643	97.05
8	68.90	69.47	137.90		1104.53	1000.59	103.95	135.70	122.93	122.93	12.77	0.2297	0.2427	0.2361	0.001157	106.22
9	68.90	69.34	206.80		1647.31	1494.89	152.42	202.39	183.66	183.66	18.73	0.3399	0.3463	0.3430	0.001681	109.24
10	103.40	103.97	68.90		569.51	508.51	61.00	69.97	62.48	62.48	7.49	0.1191	0.1341	0.1264	0.000620	100.82
11	103.40	103.75	103.40		832.55	752.78	79.76	102.29	92.49	92.49	9.80	0.1757	0.1940	0.1847	0.000905	102.18
12	103.40	103.94	206.80		1643.79	1492.83	150.96	201.96	183.41	183.41	18.55	0.3307	0.3476	0.3389	0.001661	110.40
13	137.90	138.62	103.40		849.47	756.36	93.10	104.37	92.93	92.93	11.44	0.1747	0.1783	0.1762	0.000864	107.57
14	137.90	138.22	137.90		1106.86	1000.91	105.95	135.99	122.97	122.97	13.02	0.2227	0.2320	0.2273	0.001114	110.36
15	137.90	138.43	275.80		2176.26	1982.25	194.01	267.38	243.54	243.54	23.84	0.4080	0.4303	0.4190	0.002054	118.57

Data File
PCA5_2.tdms

Signed

Notes

Record details about the specimen in this area:

Bulk Density:

Poisson's Ratio:

Description of asphaltic material:

How it was mixed:

How it was compacted:

How bulk density was determined:

Date



Resumen PCA-5_2

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación múltiple	0.97054789
Coefficiente de determinación R ²	0.94196321
R ² ajustado	0.93749885
Error típico	0.03036665
Observaciones	15

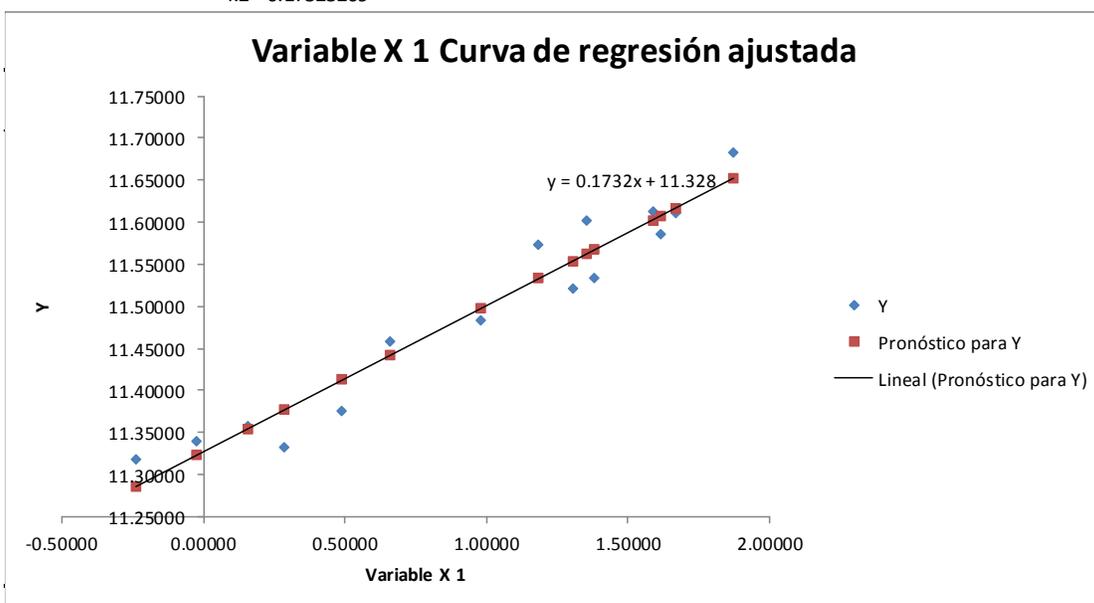
ANÁLISIS DE VARIANZA

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	0.19456629	0.19456629	210.995866	2.0507E-09
Residuos	13	0.01198773	0.00092213		
Total	14	0.20655403			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Intercepción	11.3277021	0.01379225	821.30941	4.8822E-32	11.2979057	11.3574984	11.2979057	11.3574984
Variable X 1	0.17323269	0.01192595	14.5256967	2.0507E-09	0.14746825	0.19899714	0.14746825	0.19899714

k1= 83091.8646

k2= 0.17323269



FORMATO RESUMEN DEL MÓDULO

Resumen de ensayo de pozo PCA-8_1

Resilient Modulus (MPa)	Resilient Modulus (PSI)	σ_1	σ_2	σ_3	θ	$y=\text{Log}(M_r)$	$x1=\text{Log}(\theta/\text{Pa})$
75.06	10886.53	39.16	20.58	20.58	80.32	11.22604	-0.23231
79.35	11508.74	57.64	20.25	20.25	98.14	11.28162	-0.03194
81.72	11852.48	75.96	20.25	20.25	116.46	11.31105	0.13921
80.02	11605.92	65.65	34.38	34.38	134.41	11.29003	0.28256
86.96	12612.48	96.11	34.32	34.32	164.75	11.37320	0.48610
93.8	13604.54	127.05	34.60	34.60	196.25	11.44892	0.66106
97.46	14135.37	131.58	69.19	69.19	269.96	11.48720	0.97994
103.03	14943.23	192.39	69.40	69.40	331.19	11.54278	1.18436
102.27	14833.01	252.55	69.14	69.14	390.83	11.53537	1.34994
100.2	14532.78	166.12	103.65	103.65	373.42	11.51492	1.30437
101.71	14751.78	196.09	103.63	103.63	403.35	11.52988	1.38147
104.87	15210.10	287.04	103.73	103.73	494.50	11.56048	1.58521
107.01	15520.48	231.39	138.42	138.42	508.23	11.58068	1.61260
108.35	15714.83	261.12	138.08	138.08	537.28	11.59312	1.66819
108.68	15762.70	381.58	138.15	138.15	657.88	11.59616	1.87069

Constantes de regresión lineal múltiple:

pozos	constantes		Esfuerzo desviador (kPa)	Esfuerzo confinamiento (kPa)	σ_1 (kPa)	σ_2 (kPa)	σ_3 (kPa)	θ (kPa)	Mr(kPa)	Mr (Mpa)
	k1	k2								
PCA-08_1	79506.62	0.183797	55	28	83	28	28	139	83961.08	83.96

Modelo K- θ PARA PCA-8_1

$$M_R = k_1 \left(\frac{\theta}{\text{Pa}} \right)^{k_2}$$

$$M_R = 79506.62 \left(\frac{\theta}{\text{Pa}} \right)^{0.183797}$$

AASHTO T 307-99: Resilient Modulus of Subgrade Soils and Untreated Base/Subbase Materials

Date of Test: mié, 05 de oct de 2016 @ 01:02
 Report Number:
 Operator: Ricardo Flores Escoto
 Specimen ID: PCA8
 Client Name:

Test temperature (DegC)	20.0
Air void content (%)	0
Diameter (mm)	101.7
Height (mm)	203.0

Lab Address
 El Salvador

Seq. No.	Nominal Chamber Confining Pressure (kPa)	Chamber Confining Pressure (kPa)	Nominal Maximum Axial Stress (kPa)	Cycle No.	Actual Applied Max. Axial Load (N)	Actual Applied Cyclic Axial Load (N)	Actual Applied Contact Load (N)	Actual Applied Max. Axial Stress (kPa)	Actual Applied Cyclic Axial Stress (kPa)	Actual Applied Contact Stress (kPa)	Recov. Def. LVD11 (mm)	Recov. Def. LVD12 (mm)	Average Recov. Def. L&D (mm)	Resilient Strain (mm/mm)	Resilient Modulus (MPa)
1	20.70	20.58	20.70		167.93	150.96	16.97	20.67	18.58	2.09	0.0503	0.0507	0.0502	0.000248	75.06
2	20.70	20.25	41.40		336.57	303.81	32.75	41.42	37.39	4.03	0.0929	0.0987	0.0957	0.000471	79.35
3	20.70	20.25	62.10		501.73	452.60	49.13	61.75	55.71	6.05	0.1322	0.1448	0.1384	0.000682	81.72
4	34.50	34.38	34.50		283.91	254.09	29.82	34.94	31.27	3.67	0.0774	0.0817	0.0793	0.000391	80.02
5	34.50	34.32	68.90		556.28	502.06	54.22	68.47	61.79	6.67	0.1385	0.1502	0.1443	0.000711	86.96
6	34.50	34.60	103.40		830.32	751.16	79.17	102.20	92.45	9.74	0.1905	0.2101	0.2001	0.000986	93.80
7	68.90	69.19	68.90		567.72	506.88	60.84	69.87	62.39	7.49	0.1264	0.1338	0.1299	0.000640	97.46
8	68.90	69.40	137.90		1103.39	999.28	104.11	135.80	122.99	12.81	0.2308	0.2542	0.2423	0.001194	103.03
9	68.90	69.14	206.80		1642.21	1490.17	152.04	202.12	183.41	18.71	0.3539	0.3745	0.3640	0.001793	102.27
10	103.40	103.65	68.90		568.26	507.59	60.68	69.94	62.47	7.47	0.1188	0.1345	0.1266	0.000623	100.20
11	103.40	103.63	103.40		830.65	751.21	79.44	102.24	92.46	9.78	0.1742	0.1952	0.1845	0.000909	101.71
12	103.40	103.73	206.80		1640.15	1489.36	150.80	201.87	183.31	18.56	0.3415	0.3683	0.3548	0.001748	104.87
13	137.90	138.42	103.40		848.22	755.33	92.88	104.40	92.97	11.43	0.1655	0.1876	0.1764	0.000869	107.01
14	137.90	138.08	137.90		1105.18	999.72	105.46	136.02	123.04	12.98	0.2153	0.2465	0.2305	0.001136	108.35
15	137.90	138.15	275.80		2171.71	1977.80	193.90	267.29	243.43	23.87	0.4294	0.4802	0.4547	0.002240	108.68

Data File
 PCA8_1.tdms

Signed

Notes

Record details about the specimen in this area:
 Bulk Density:
 Poisson's Ratio:
 Description of asphaltic material:
 How it was mixed:
 How it was compacted:
 How bulk density was determined:

Date



Resumen PCA-8_1

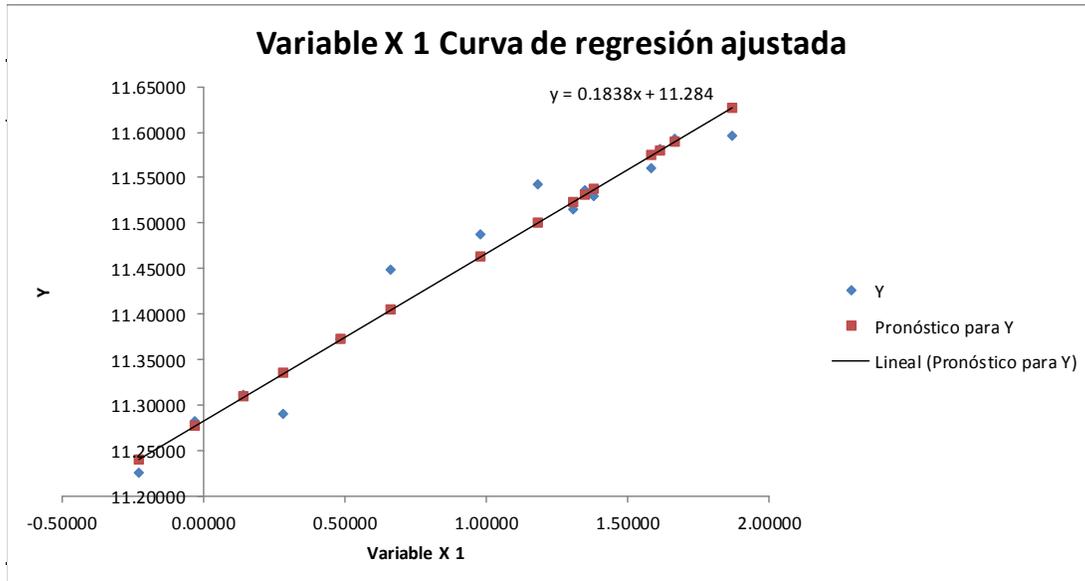
<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coeficiente de correlación múltiple	0.98260001
Coeficiente de determinación R^2	0.96550278
R^2 ajustado	0.96284915
Error típico	0.02456077
Observaciones	15

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	1	0.21948089	0.21948089	363.84201	6.8995E-11
Residuos	13	0.00784201	0.00060323		
Total	14	0.2273229			

	<i>Coeficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>	<i>Inferior 95.0%</i>	<i>Superior 95.0%</i>
Intercepción	11.2835955	0.01113141	1013.67165	3.1663E-33	11.2595476	11.3076435	11.2595476	11.3076435
Variable X 1	0.18379674	0.00963566	19.0746431	6.8995E-11	0.16298017	0.20461332	0.16298017	0.20461332

k1= 79506.6168
k2= 0.18379674



FORMATO RESUMEN DEL MÓDULO

Resumen de ensayo de pozo PCA-8_2

Resilient Modulus (MPa)	Resilient Modulus (PSI)	σ_1	σ_2	σ_3	θ	$y=\text{Log}(M_r)$	$x_1=\text{Log}(\theta/P_a)$
76.82	1114180	39.01	20.35	20.35	79.71	11.24922	-0.23994
83.27	12077.29	57.42	20.17	20.17	97.76	11.32984	-0.03582
87.04	12624.08	76.31	20.63	20.63	117.57	11.37412	0.14870
84.25	12219.43	65.42	34.30	34.30	134.02	11.34154	0.27966
92.7	13444.99	96.31	34.59	34.59	165.49	11.43712	0.49058
99.33	14406.59	126.90	34.52	34.52	195.94	11.50620	0.65948
116.07	16834.53	131.49	69.07	69.07	269.63	11.66195	0.97872
111.07	16109.34	191.91	69.10	69.10	330.11	11.61792	1.18109
109.03	15813.46	252.75	69.33	69.33	391.41	11.59938	1.35142
123.08	17851.24	166.17	103.65	103.65	373.47	11.72059	1.30450
111.58	16183.31	196.14	103.65	103.65	403.44	11.62250	1.38169
112.22	16276.13	287.25	103.70	103.70	494.65	11.62822	1.58552
126.18	18300.86	231.47	138.42	138.42	508.31	11.74546	1.61276
119.28	17300.10	261.17	138.19	138.19	537.55	11.68923	1.66869
114.78	16647.43	381.87	138.27	138.27	658.41	11.65077	1.87149

Constantes de regresión lineal múltiple:

pozos	constantes		Esfuerzo desviador (kPa)	Esfuerzo confinamiento (kPa)	σ_1 (kPa)	σ_2 (kPa)	σ_3 (kPa)	θ (kPa)	Mr(kPa)	Mr (Mpa)
	k1	k2								
PCA-08_2	83910.24	0.218528	55	28	83	28	28	139	89528.95	89.53

Modelo K- θ PARA PCA-8_2

$$M_R = k_1 \left(\frac{\theta}{P_a} \right)^{k_2}$$

$$M_R = 83910.24 \left(\frac{\theta}{P_a} \right)^{0.218528}$$

AASHTO T 307-99: Resilient Modulus of Subgrade Soils and Untreated Base/Subbase Materials

Date of Test	mié, 05 de oct de 2016 @ 01:45
Report Number	
Operator	Ricardo Flores Escoto
Specimen ID	PCA8
Client Name	

Test temperature (DegC)	20.0
Air void content (%)	0
Diameter (mm)	102.0
Height (mm)	204.0

Lab Address	El Salvador
-------------	-------------

Seq. No.	Nominal Chamber Confining Pressure (kPa)	Chamber Confining Pressure (kPa)	Nominal Maximum Axial Stress (kPa)	Cycle No.	Actual Applied Max. Axial Load (N)	Actual Applied Max. Axial Stress (kPa)	Actual Applied Contact Load (N)	Actual Applied Max. Axial Stress (kPa)	Actual Applied Cyclic Axial Stress (kPa)	Actual Applied Contact Axial Stress (kPa)	Recov. Def. LVDT1 (mm)	Recov. Def. LVDT2 (mm)	Average Recov. Def. LVDT 1&2 (mm)	Resilient Strain (mm/mm)	Resilient Modulus (MPa)
1	20.70	20.35	20.70		169.56	20.75	17.08	20.75	18.66	2.09	0.0491	0.0503	0.0495	0.000243	76.82
2	20.70	20.17	41.40		337.38	41.29	32.97	41.29	37.25	4.03	0.0895	0.0934	0.0913	0.000447	83.27
3	20.70	20.63	62.10		504.33	61.72	49.34	61.72	55.68	6.04	0.1264	0.1350	0.1305	0.000640	87.04
4	34.50	34.30	34.50		284.62	34.83	30.31	34.83	31.12	3.71	0.0740	0.0769	0.0754	0.000369	84.25
5	34.50	34.59	68.90		558.99	68.41	54.66	68.41	61.72	6.69	0.1321	0.1398	0.1358	0.000666	92.70
6	34.50	34.52	103.40		834.77	102.16	79.93	102.16	92.38	9.78	0.1839	0.1959	0.1897	0.000930	99.33
7	68.90	69.07	68.90		571.24	69.91	61.22	69.91	62.42	7.49	0.1088	0.1108	0.1097	0.000538	116.07
8	68.90	69.10	137.90		1108.00	135.60	104.49	135.60	122.81	12.79	0.2199	0.2315	0.2256	0.001106	111.07
9	68.90	69.33	206.80		1651.70	202.13	152.96	202.13	183.42	18.72	0.3394	0.3476	0.3432	0.001682	109.03
10	103.40	103.65	68.90		572.17	70.02	61.33	70.02	62.52	7.51	0.0989	0.1087	0.1036	0.000508	123.08
11	103.40	103.65	103.40		835.69	102.27	79.93	102.27	92.49	9.78	0.1617	0.1768	0.1691	0.000829	111.58
12	103.40	103.70	206.80		1651.27	202.08	151.39	202.08	183.55	18.53	0.3247	0.3431	0.3337	0.001636	112.22
13	137.90	138.42	103.40		854.02	104.51	93.70	104.51	93.05	11.47	0.1555	0.1455	0.1504	0.000737	126.18
14	137.90	138.19	137.90		1111.15	135.98	106.22	135.98	122.98	13.00	0.2139	0.2071	0.2103	0.001031	119.28
15	137.90	138.27	275.80		2185.48	267.46	194.93	267.46	243.60	23.86	0.4262	0.4400	0.4330	0.002122	114.78

Data File

PCA8_2.tdms

Signed

Notes

Record details about the specimen in this area:

Bulk Density:
 Poisson's Ratio:
 Description of asphaltic material:
 How it was mixed:
 How it was compacted:
 How bulk density was determined:



Resumen PCA-8_2

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación múltiple	0.93533589
Coefficiente de determinación R ²	0.87485323
R ² ajustado	0.86522655
Error típico	0.05849229
Observaciones	15

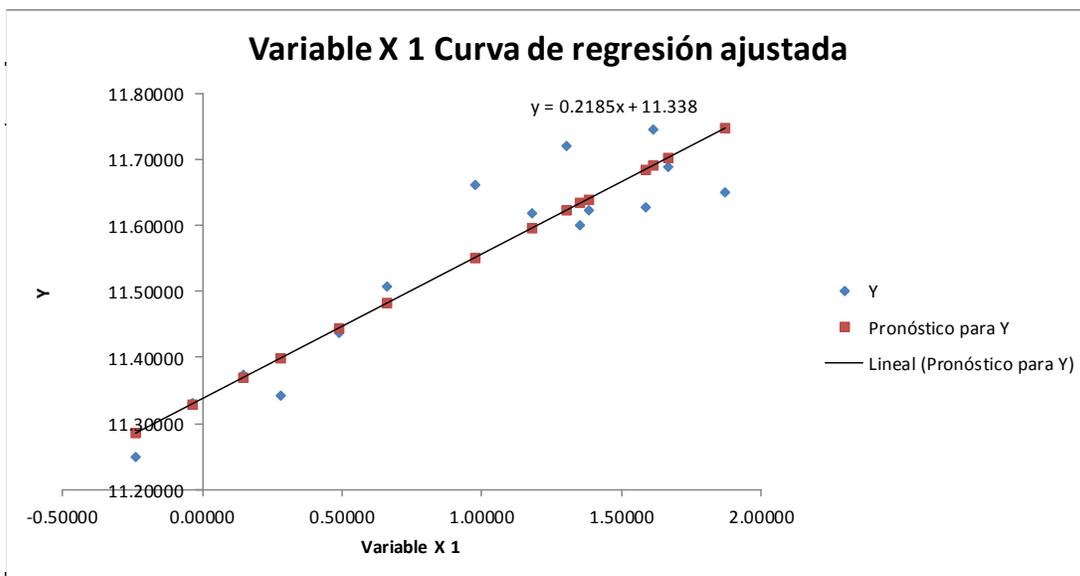
ANÁLISIS DE VARIANZA

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	0.31092539	0.31092539	90.8780287	3.1248E-07
Residuos	13	0.04447753	0.00342135		
Total	14	0.35540292			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Intercepción	11.337503	0.02648724	428.036405	2.3325E-28	11.2802808	11.3947252	11.2802808	11.3947252
Variable X 1	0.21852834	0.02292336	9.53299684	3.1248E-07	0.16900543	0.26805125	0.16900543	0.26805125

k1= 83910.2438

k2= 0.21852834



FORMATO RESUMEN DEL MÓDULO

Resumen de ensayo de pozo PCA-9_1

Resilient Modulus (MPa)	Resilient Modulus (PSI)	σ_1	σ_2	σ_3	θ	$y=\text{Log}(M_r)$	$x1=\text{Log}(\theta/\text{Pa})$
83.4	12096.14	39.27	20.77	20.77	80.81	11.33140	-0.22623
88.05	12770.57	58.07	20.80	20.80	99.67	11.38566	-0.01647
90.85	13176.68	76.79	21.18	21.18	119.15	11.41697	0.16205
87.98	12760.42	66.15	34.95	34.95	136.05	11.38486	0.29469
93.28	13529.12	96.79	35.21	35.21	167.21	11.44336	0.50092
96.33	13971.48	127.18	35.08	35.08	197.34	11.47554	0.66659
93.99	13632.09	132.32	69.87	69.87	272.06	11.45094	0.98769
99.43	14421.10	192.39	69.61	69.61	331.61	11.50721	1.18563
101.36	14701.02	253.28	69.80	69.80	392.88	11.52643	1.35517
95.76	13888.81	167.03	104.60	104.60	376.23	11.46960	1.31187
96.87	14049.80	196.96	104.49	104.49	405.94	11.48113	1.38787
102.15	14815.60	287.81	104.50	104.50	496.81	11.53420	1.58987
96.78	14036.75	231.56	138.67	138.67	508.90	11.48020	1.61392
98.82	14332.63	262.03	138.96	138.96	539.95	11.50106	1.67314
107.41	15578.50	382.14	138.85	138.85	659.84	11.58441	1.87366

Constantes de regresión lineal múltiple:

pozos	constantes		Esfuerzo desviador (kPa)	Esfuerzo confinamiento (kPa)	σ_1 (kPa)	σ_2 (kPa)	σ_3 (kPa)	θ (kPa)	Mr(kPa)	Mr (Mpa)
	k1	k2								
PCA-09_1	87609.52	0.08797	55	28	83	28	28	139	89925.46	89.93

Modelo K- θ PARA PCA-9_1

$$M_R = k_1 \left(\frac{\theta}{P_a} \right)^{k_2}$$

$$M_R = 87609.52 \left(\frac{\theta}{P_a} \right)^{0.08797}$$

AASHTO T 307-99: Resilient Modulus of Subgrade Soils and Untreated Base/Subbase Materials

Date of Test Jun, 10 de oct de 2016 @ 08:21
 Report Number
 Operator Ricardo Flores Escoto
 Specimen ID PCA9
 Client Name

Test temperature (DegC)	20.0
Air void content (%)	0
Diameter (mm)	102.3
Height (mm)	203.8

Lab Address
 El Salvador

Seq. No.	Nominal Chamber Confining Pressure (kPa)	Chamber Confining Pressure (kPa)	Nominal Maximum Axial Stress (kPa)	Cycle No.	Actual Applied Max. Axial Load (N)	Actual Applied Max. Axial Load (N)	Actual Applied Max. Axial Stress (kPa)	Actual Applied Max. Axial Stress (kPa)	Actual Applied Contact Load (N)	Actual Applied Contact Load (N)	Actual Applied Axial Stress (kPa)	Actual Applied Axial Stress (kPa)	Actual Applied Contact Stress (kPa)	Recov. Def. LVDT1 (mm)	Recov. Def. LVDT2 (mm)	Average Recov. Def. LVDT 1&2 (mm)	Resilient Strain (mm/mm)	Resilient Modulus (MPa)
1	20.70	20.77	20.70		169.18	152.04	17.13	20.58	33.08	17.13	18.50	2.08	0.0440	0.0468	0.0452	0.000222	83.40	
2	20.70	20.80	41.40		339.38	306.31	33.08	41.29	49.40	33.08	37.27	4.02	0.0822	0.0908	0.0862	0.000423	88.05	
3	20.70	21.18	62.10		506.50	457.10	49.40	61.62	61.62	49.40	55.61	6.01	0.1167	0.1332	0.1247	0.000612	90.85	
4	34.50	34.95	34.50		286.41	256.48	29.93	34.85	29.93	29.93	31.20	3.64	0.0685	0.0763	0.0723	0.000355	87.98	
5	34.50	35.21	68.90		561.10	506.18	54.93	68.27	54.93	54.93	61.58	6.68	0.1247	0.1450	0.1345	0.000660	93.28	
6	34.50	35.08	103.40		837.16	757.01	80.14	101.85	80.14	80.14	92.10	9.75	0.1783	0.2117	0.1948	0.000956	96.33	
7	68.90	69.87	68.90		575.04	513.33	61.71	69.96	61.71	61.71	62.45	7.51	0.1292	0.1419	0.1354	0.000664	93.99	
8	68.90	69.61	137.90		1114.08	1009.21	104.87	135.54	104.87	104.87	122.78	12.76	0.2401	0.2636	0.2516	0.001235	99.43	
9	68.90	69.80	206.80		1661.95	1508.12	153.83	202.20	153.83	153.83	183.48	18.72	0.3495	0.3892	0.3688	0.001810	101.36	
10	103.40	104.60	68.90		574.82	513.17	61.65	69.93	61.65	61.65	62.43	7.50	0.1366	0.1298	0.1328	0.000652	95.76	
11	103.40	104.49	103.40		840.63	760.05	80.58	102.27	80.58	80.58	92.47	9.80	0.1933	0.1960	0.1945	0.000955	96.87	
12	103.40	104.50	206.80		1659.08	1506.71	152.37	201.85	152.37	152.37	183.31	18.54	0.3531	0.3794	0.3656	0.001794	102.15	
13	137.90	138.67	103.40		857.76	763.52	94.24	104.36	94.24	94.24	92.89	11.47	0.1951	0.1967	0.1956	0.000960	96.78	
14	137.90	138.96	137.90		1118.41	1011.59	106.82	136.07	106.82	106.82	123.07	13.00	0.2502	0.2580	0.2538	0.001245	98.82	
15	137.90	138.85	275.80		2195.40	1999.71	195.69	267.10	195.69	195.69	243.29	23.81	0.4448	0.4798	0.4615	0.002265	107.41	

Data File
 PCA9_1.tdms

Signed

Notes

Record details about the specimen in this area:
 Bulk Density:
 Poisson's Ratio:
 Description of asphaltic material:
 How it was mixed:
 How bulk density was determined:

Date



Resumen PCA-9_1

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0.90943489
Coefficiente de determinación R^2	0.82707182
R^2 ajustado	0.81376966
Error típico	0.02826599
Observaciones	15

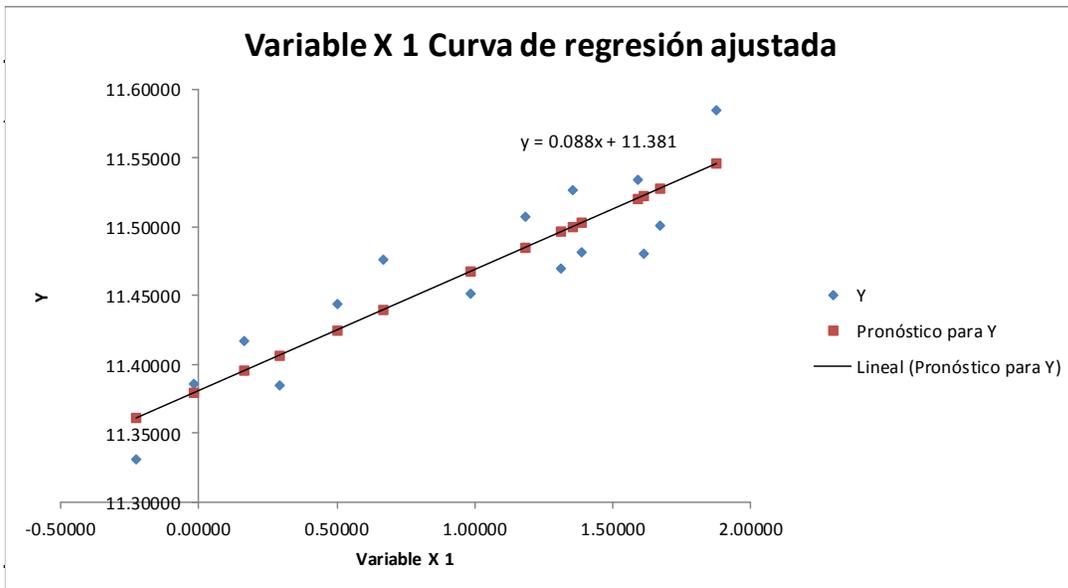
ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	1	0.04967631	0.04967631	62.1757191	2.6188E-06
Residuos	13	0.01038656	0.00079897		
Total	14	0.06006288			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>	<i>Inferior 95.0%</i>	<i>Superior 95.0%</i>
Intercepción	11.3806449	0.01293606	879.761136	1.9974E-32	11.3526983	11.4085916	11.3526983	11.4085916
Variable X 1	0.08797016	0.01115642	7.88515815	2.6188E-06	0.06386817	0.11207215	0.06386817	0.11207215

k1= 87609.5197

k2= 0.08797016



FORMATO RESUMEN DEL MÓDULO

Resumen de ensayo de pozo PCA-9_2

Resilient Modulus (MPa)	Resilient Modulus (PSI)	σ_1	σ_2	σ_3	θ	$y=\text{Log}(M_r)$	$x1=\text{Log}(\theta/P_a)$
87.85	12741.56	40.07	21.40	21.40	82.87	11.38339	-0.20106
93.31	13533.47	58.57	21.14	21.14	100.85	11.44368	-0.00470
97.14	14088.96	77.32	21.66	21.66	120.64	11.48391	0.17448
92.9	13474.00	66.42	35.32	35.32	137.06	11.43928	0.30209
99.2	14387.74	96.97	35.26	35.26	167.49	11.50489	0.50259
103.42	14999.80	127.99	35.59	35.59	199.17	11.54655	0.67583
101.04	14654.61	132.43	70.04	70.04	272.51	11.52327	0.98934
108.65	15758.35	193.24	70.30	70.30	333.84	11.59589	1.19233
110.63	16045.52	253.52	70.16	70.16	393.84	11.61395	1.35761
103.83	15059.26	167.03	104.68	104.68	376.39	11.55051	1.31229
105.96	15368.19	197.08	104.74	104.74	406.56	11.57082	1.38940
112.07	16254.38	288.22	104.87	104.87	497.96	11.62688	1.59219
106.6	15461.02	232.12	139.32	139.32	510.76	11.57684	1.61757
108.93	15798.96	261.86	138.95	138.95	539.76	11.59846	1.67279
116.56	16905.59	382.79	139.31	139.31	661.41	11.66616	1.87604

Constantes de regresión lineal múltiple:

pozos	constantes		Esfuerzo desviador (kPa)	Esfuerzo confinamiento (kPa)	σ_1 (kPa)	σ_2 (kPa)	σ_3 (kPa)	θ (kPa)	Mr(kPa)	Mr (Mpa)
	k1	k2								
PCA-09_2	92575.37	0.109892	55	28	83	28	28	139	95642.41	95.64

Modelo K- θ PARA PCA-9_2

$$M_R = k_1 \left(\frac{\theta}{P_a} \right)^{k_2}$$

$$M_R = 92575.37 \left(\frac{\theta}{P_a} \right)^{0.109892}$$

AASHTO T 307-99: Resilient Modulus of Subgrade Soils and Untreated Base/Subbase Materials

Date of Test: | Mon, 10 de oct de 2016 @ 09:17
 Report Number: |
 Operator: | Ricardo Flores Escoto
 Specimen ID: | PCA9
 Client Name: |

Test temperature (DegC): | 20.0
 Air void content (%): | 0
 Diameter (mm): | 102.3
 Height (mm): | 203.0

Lab Address: | El Salvador

Seq. No.	Nominal Chamber Confining Pressure (kPa)	Chamber Confining Pressure (kPa)	Nominal Maximum Axial Stress (kPa)	Cycle No.	Actual Applied Max. Axial Load (N)	Actual Applied Cyclic Axial Load (N)	Actual Applied Contact Load (N)	Actual Applied Max. Axial Stress (kPa)	Actual Applied Cyclic Axial Stress (kPa)	Actual Applied Contact Axial Stress (kPa)	Recov. Def. LVD11 (mm)	Recov. Def. LVD12 (mm)	Average Recov. Def. L&D (mm)	Resilient Strain (mm/mm)	Resilient Modulus (MPa)
1	20.70	21.40	20.70		170.48	153.45	17.03	20.74	18.67	2.07	0.0417	0.0450	0.0431	0.000213	87.85
2	20.70	21.14	41.40		340.74	307.66	33.08	41.46	37.43	4.02	0.0773	0.0861	0.0814	0.000401	93.31
3	20.70	21.66	62.10		507.15	457.48	49.67	61.70	55.66	6.04	0.1091	0.1240	0.1163	0.000573	97.14
4	34.50	35.32	34.50		285.81	255.66	30.15	34.77	31.10	3.67	0.0645	0.0720	0.0680	0.000335	92.90
5	34.50	35.26	68.90		562.19	507.21	54.98	68.40	61.71	6.69	0.1176	0.1355	0.1263	0.000622	99.20
6	34.50	35.59	103.40		839.60	759.45	80.14	102.15	92.40	9.75	0.1676	0.1955	0.1814	0.000893	103.42
7	68.90	70.04	68.90		574.50	512.85	61.65	69.90	62.39	7.50	0.1210	0.1301	0.1254	0.000618	101.04
8	68.90	70.30	137.90		1115.49	1010.51	104.98	135.71	122.94	12.77	0.2208	0.2391	0.2297	0.001132	108.65
9	68.90	70.16	206.80		1660.87	1507.14	153.72	202.07	183.36	18.70	0.3184	0.3552	0.3365	0.001658	110.63
10	103.40	104.68	68.90		574.44	512.52	61.92	69.89	62.35	7.53	0.1257	0.1185	0.1219	0.000601	103.83
11	103.40	104.74	103.40		839.38	758.97	80.41	102.12	92.34	9.78	0.1785	0.1758	0.1769	0.000871	105.96
12	103.40	104.87	206.80		1659.40	1507.03	152.37	201.89	183.35	18.54	0.3220	0.3431	0.3321	0.001636	112.07
13	137.90	139.32	103.40		856.79	762.76	94.02	104.24	92.80	11.44	0.1828	0.1710	0.1767	0.000871	106.60
14	137.90	138.95	137.90		1117.22	1010.24	106.98	135.92	122.91	13.02	0.2332	0.2254	0.2290	0.001128	108.93
15	137.90	139.31	275.80		2196.70	2001.23	195.48	267.26	243.48	23.78	0.4145	0.4353	0.4240	0.002089	116.56

Data File

PCA9_2.tdms

Signed

Notes

Record details about the specimen in this area:

Bulk Density:
 Poisson's Ratio:
 Description of asphaltic material:
 How it was mixed:
 How bulk density was determined:

Date



Resumen PCA-9_2

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0.93924395
Coefficiente de determinación R ²	0.88217921
R ² ajustado	0.87311607
Error típico	0.02799968
Observaciones	15

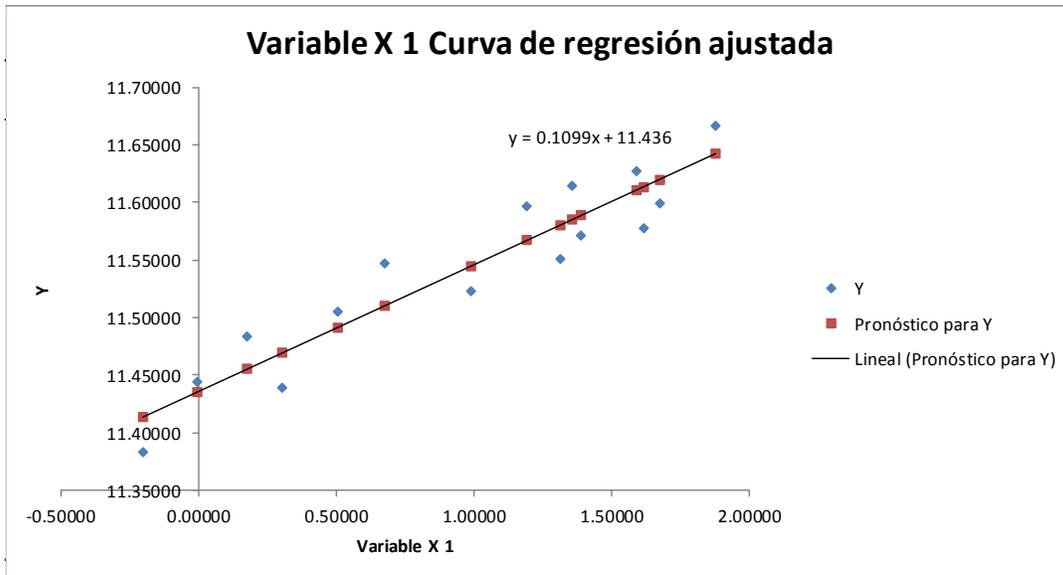
ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	1	0.07631053	0.07631053	97.3370593	2.1037E-07
Residuos	13	0.01019177	0.00078398		
Total	14	0.0865023			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>	<i>Inferior 95.0%</i>	<i>Superior 95.0%</i>
Intercepción	11.4357784	0.01293755	883.92162	1.8786E-32	11.4078285	11.4637283	11.4078285	11.4637283
Variable X 1	0.10989161	0.01113847	9.86595456	2.1037E-07	0.08582841	0.13395481	0.08582841	0.13395481

k1= 92575.3689

k2= 0.10989161



FORMATO RESUMEN DEL MÓDULO

Resumen de ensayo de pozo PCA-12_1

Resilient Modulus (MPa)	Resilient Modulus (PSI)	σ_1	σ_2	σ_3	θ	y=Log(Mr)	x1=Log(θ /Pa)
81.03	11752.40	39.20	20.58	20.58	80.36	11.30257	-0.23182
90.66	13149.12	57.68	20.44	20.44	98.56	11.41487	-0.02767
97.17	14093.31	76.44	20.79	20.79	118.02	11.48422	0.15252
88.37	12816.98	65.79	34.67	34.67	135.13	11.38929	0.28790
100.56	14584.99	96.37	34.63	34.63	165.63	11.51851	0.49142
109.15	15830.86	127.00	34.61	34.61	196.22	11.60048	0.66090
102	14793.85	131.84	69.45	69.45	270.74	11.53273	0.98283
118.98	17256.59	192.39	69.52	69.52	331.43	11.68671	1.18508
125.89	18258.80	252.84	69.45	69.45	391.74	11.74316	1.35227
104	15083.92	166.83	104.35	104.35	375.53	11.55215	1.31001
111.93	16234.07	196.50	104.17	104.17	404.84	11.62563	1.38516
127.06	18428.49	287.60	104.02	104.02	495.64	11.75241	1.58752
114.37	16587.96	231.29	138.32	138.32	507.93	11.64719	1.61201
119.42	17320.40	261.54	138.60	138.60	538.74	11.69040	1.67090
133.85	19413.30	382.12	138.80	138.80	659.72	11.80448	1.87348

Constantes de regresión lineal múltiple:

pozos	constantes		Esfuerzo desviador (kPa)	Esfuerzo confinamiento (kPa)	σ_1 (kPa)	σ_2 (kPa)	σ_3 (kPa)	θ (kPa)	Mr(kPa)	Mr (Mpa)
	k1	k2								
PCA-12_1	89178.33	0.193731	55	28	83	28	28	139	94452.55	94.45

Modelo K- θ PARA PCA-12_1

$$M_R = k_1 \left(\frac{\theta}{P_a} \right)^{k_2}$$

$$M_R = 89178.33 \left(\frac{\theta}{P_a} \right)^{0.193731}$$

AASHTO T 307-99: Resilient Modulus of Subgrade Soils and Untreated Base/Subbase Materials

Lab Address
El Salvador

Test temperature (DegC)	20.0
Air void content (%)	0
Diameter (mm)	102.0
Height (mm)	203.0

Date of Test mar, 11 de oct de 2016 @ 06:48

Report Number

Operator Ricardo Flores Escoto

Specimen ID PCA12

Client Name

Seq. No.	Nominal Chamber Confining Pressure (kPa)	Chamber Confining Pressure (kPa)	Nominal Maximum Axial Stress (kPa)	Cycle No.	Actual Applied Max. Axial Load (N)	Actual Applied Max. Axial Load (kPa)	Actual Applied Contact Load (N)	Actual Applied Max. Axial Stress (kPa)	Actual Applied Cyclic Axial Stress (kPa)	Actual Applied Contact Axial Stress (kPa)	Recov. Def. LVD11 (mm)	Average Recov. Def. LVD1 (mm)	Resilient Strain (mm/mm)	Resilient Modulus (MPa)
1	20.70	20.58	20.70		169.39	20.71	17.13	20.71	18.62	2.09	0.0457	0.0466	0.000230	81.03
2	20.70	20.44	41.40		337.54	41.27	32.97	41.27	37.24	4.03	0.0810	0.0864	0.000411	90.66
3	20.70	20.79	62.10		504.50	61.68	49.29	61.68	55.65	6.03	0.1116	0.1163	0.000573	97.17
4	34.50	34.67	34.50		284.67	34.80	30.09	34.80	31.12	3.68	0.0684	0.0750	0.000352	88.37
5	34.50	34.63	68.90		559.15	61.74	54.17	68.36	61.74	6.62	0.1179	0.1246	0.000614	100.56
6	34.50	34.61	103.40		835.58	102.16	79.93	102.16	92.39	9.77	0.1609	0.1718	0.000846	109.15
7	68.90	69.45	68.90		571.14	69.83	60.84	69.83	62.39	7.44	0.1166	0.1321	0.000612	102.00
8	68.90	69.52	137.90		1109.58	135.66	104.60	135.66	122.87	12.79	0.1952	0.2096	0.001033	118.98
9	68.90	69.45	206.80		1652.95	202.09	152.96	202.09	183.39	18.70	0.2741	0.2957	0.001457	125.89
10	103.40	104.35	68.90		572.17	69.95	61.16	69.95	62.48	7.48	0.1188	0.1255	0.000601	104.00
11	103.40	104.17	103.40		835.31	102.13	80.09	102.13	92.33	9.79	0.1611	0.1744	0.000825	111.93
12	103.40	104.02	206.80		1653.11	202.11	151.55	202.11	183.58	18.53	0.2747	0.2933	0.001445	127.06
13	137.90	138.32	103.40		854.07	104.42	93.64	104.42	92.97	11.45	0.1590	0.1712	0.000813	114.37
14	137.90	138.60	137.90		1111.80	135.93	106.22	135.93	122.94	12.99	0.2000	0.2184	0.001030	119.42
15	137.90	138.80	275.80		2184.99	267.14	194.83	267.14	243.32	23.82	0.3460	0.3928	0.001818	133.85

Data File
PCA12_1.tdms

Signed

Notes

Record details about the specimen in this area:

Bulk Density:

Poisson's Ratio:

Description of asphaltic material:

How it was mixed:

How it was compacted:

How bulk density was determined:

Date



Resumen PCA-12_1

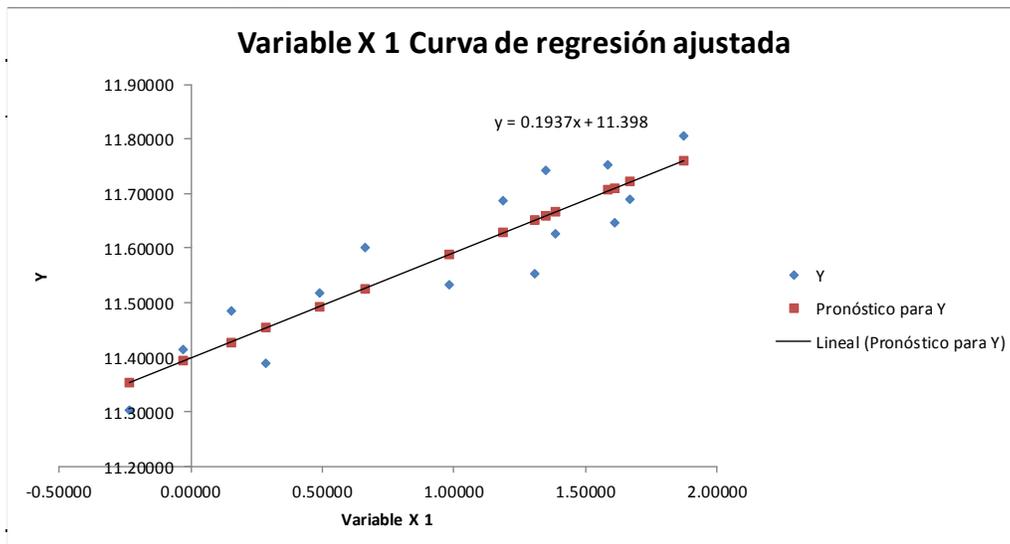
<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0.90952877
Coefficiente de determinación R^2	0.82724259
R^2 ajustado	0.81395356
Error típico	0.0624809
Observaciones	15

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	1	0.24301559	0.24301559	62.250029	2.6018E-06
Residuos	13	0.05075022	0.00390386		
Total	14	0.29376581			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>	<i>Inferior 95.0%</i>	<i>Superior 95.0%</i>
Intercepción	11.3983934	0.02841906	401.082688	5.4325E-28	11.3369977	11.459789	11.459789
Variable X 1	0.19373096	0.0245544	7.88986876	2.6018E-06	0.14068441	0.2467775	0.2467775

k1= 89178.3313
k2= 0.19373096



FORMATO RESUMEN DEL MÓDULO

Resumen de ensayo de pozo PCA-12_2

Resilient Modulus (MPa)	Resilient Modulus (PSI)	σ_1	σ_2	σ_3	θ	$y=\text{Log}(M_r)$	$x1=\text{Log}(\theta/\text{Pa})$
71.59	10383.25	39.26	20.72	20.72	80.70	11.17871	-0.22759
80.79	11717.60	58.00	20.76	20.76	99.52	11.29961	-0.01797
86.11	12489.20	76.77	21.19	21.19	119.15	11.36338	0.16205
80.79	11717.60	66.23	35.22	35.22	136.67	11.29961	0.29924
91.17	13223.09	96.83	35.15	35.15	167.13	11.42048	0.50044
100.51	14577.74	127.54	35.10	35.10	197.74	11.51801	0.66862
115.79	16793.92	132.25	69.79	69.79	271.83	11.65953	0.98684
114.66	16630.02	192.50	69.72	69.72	331.94	11.64973	1.18662
117.24	17004.22	253.41	70.00	70.00	393.41	11.67198	1.35652
122.09	17707.65	166.88	104.38	104.38	375.64	11.71251	1.31030
112.36	16296.44	197.17	104.68	104.68	406.53	11.62946	1.38932
120.65	17498.80	287.95	104.39	104.39	496.73	11.70065	1.58971
125.47	18197.88	231.81	138.75	138.75	509.31	11.73982	1.61472
119.55	17339.26	261.81	138.94	138.94	539.69	11.69149	1.67266
129.67	18807.04	382.27	139.06	139.06	660.39	11.77275	1.87450

Constantes de regresión lineal múltiple:

pozos	constantes		Esfuerzo desviador (kPa)	Esfuerzo confinamiento (kPa)	σ_1 (kPa)	σ_2 (kPa)	σ_3 (kPa)	θ (kPa)	Mr(kPa)	Mr (Mpa)
	k1	k2								
PCA-12_2	80153.6	0.273718	55	28	83	28	28	139	86932.16	86.93

Modelo K- θ PARA PCA-12_2

$$M_R = k_1 \left(\frac{\theta}{P_a} \right)^{k_2}$$

$$M_R = 80153.6 \left(\frac{\theta}{P_a} \right)^{0.273718}$$

AASHTO T 307-99: Resilient Modulus of Subgrade Soils and Untreated Base/Subbase Materials

Lab Address
El Salvador

Test temperature (DegC)	20.0
Air void content (%)	0
Diameter (mm)	101.9
Height (mm)	203.0

Date of Test: mar, 11 de oct de 2016 @ 07:32

Report Number

Operator: Ricardo Flores Escoto

Specimen ID: PCA12

Client Name

Seq. No.	Nominal Chamber Confining Pressure (kPa)	Chamber Confining Pressure (kPa)	Nominal Maximum Axial Stress (kPa)	Cycle No.	Actual Applied Max. Axial Load (N)	Actual Applied Max. Axial Stress (kPa)	Actual Applied Contact Load (N)	Actual Applied Max. Axial Stress (kPa)	Actual Applied Cyclic Axial Load (N)	Actual Applied Cyclic Axial Stress (kPa)	Actual Applied Contact Axial Stress (kPa)	Recov. Def. LVDT1 (mm)	Recov. Def. LVDT2 (mm)	Average Recov. Def. LVDT 1&2 (mm)	Resilient Strain (mm/mm)	Resilient Modulus (MPa)
1	20.70	20.72	20.70		168.15	20.63	17.03	20.63	151.12	18.54	2.09	0.0501	0.0553	0.0526	0.000259	71.59
2	20.70	20.76	41.40		336.29	41.26	32.75	41.26	303.54	37.24	4.02	0.0891	0.0986	0.0936	0.000461	80.79
3	20.70	21.19	62.10		502.33	61.63	49.29	61.63	453.04	55.58	6.05	0.1232	0.1392	0.1310	0.000646	86.11
4	34.50	35.22	34.50		282.99	34.72	30.26	34.72	252.74	31.01	3.71	0.0749	0.0812	0.0779	0.000384	80.79
5	34.50	35.15	68.90		557.31	68.38	54.60	68.38	502.71	61.68	6.70	0.1296	0.1453	0.1373	0.000677	91.17
6	34.50	35.10	103.40		833.31	102.24	79.87	102.24	753.44	92.44	9.80	0.1756	0.1983	0.1867	0.000920	100.51
7	68.90	69.79	68.90		570.21	69.96	61.16	69.96	509.05	62.46	7.50	0.1064	0.1130	0.1095	0.000539	115.79
8	68.90	69.72	137.90		1105.35	135.62	104.65	135.62	1000.69	122.78	12.84	0.2079	0.2273	0.2174	0.001071	114.66
9	68.90	70.00	206.80		1647.31	202.11	152.42	202.11	1494.89	183.41	18.70	0.3073	0.3282	0.3176	0.001564	117.24
10	103.40	104.38	68.90		570.59	70.01	61.16	70.01	509.43	62.50	7.50	0.0994	0.1088	0.1039	0.000512	122.09
11	103.40	104.68	103.40		833.63	102.28	79.82	102.28	753.81	92.49	9.79	0.1584	0.1761	0.1671	0.000823	112.36
12	103.40	104.39	206.80		1647.09	202.09	151.01	202.09	1496.08	183.56	18.53	0.2960	0.3224	0.3089	0.001521	120.65
13	137.90	138.75	103.40		851.91	104.52	93.43	104.52	758.48	93.06	11.46	0.1385	0.1631	0.1506	0.000742	125.47
14	137.90	138.94	137.90		1107.51	135.88	106.06	135.88	1001.45	122.87	13.01	0.1931	0.2246	0.2086	0.001028	119.55
15	137.90	139.06	275.80		2176.26	267.01	194.01	267.01	1982.25	243.21	23.80	0.3575	0.4042	0.3807	0.001876	129.67

Data File
PCA12_2.tdms

Signed

Notes

Record details about the specimen in this area:

Bulk Density:

Poisson's Ratio:

Description of asphaltic material:

How it was mixed:

How it was compacted:

How bulk density was determined:

Date



Resumen PCA-12_2

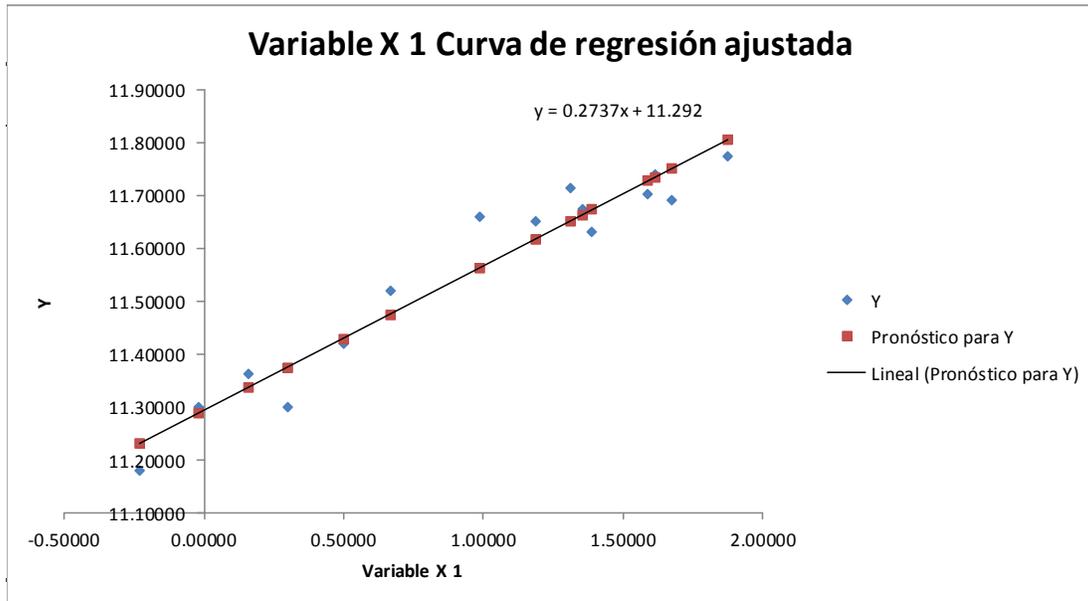
Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación múltiple	0.96791861
Coefficiente de determinación R ²	0.93686644
R ² ajustado	0.93201002
Error típico	0.04994068
Observaciones	15

ANÁLISIS DE VARIANZA

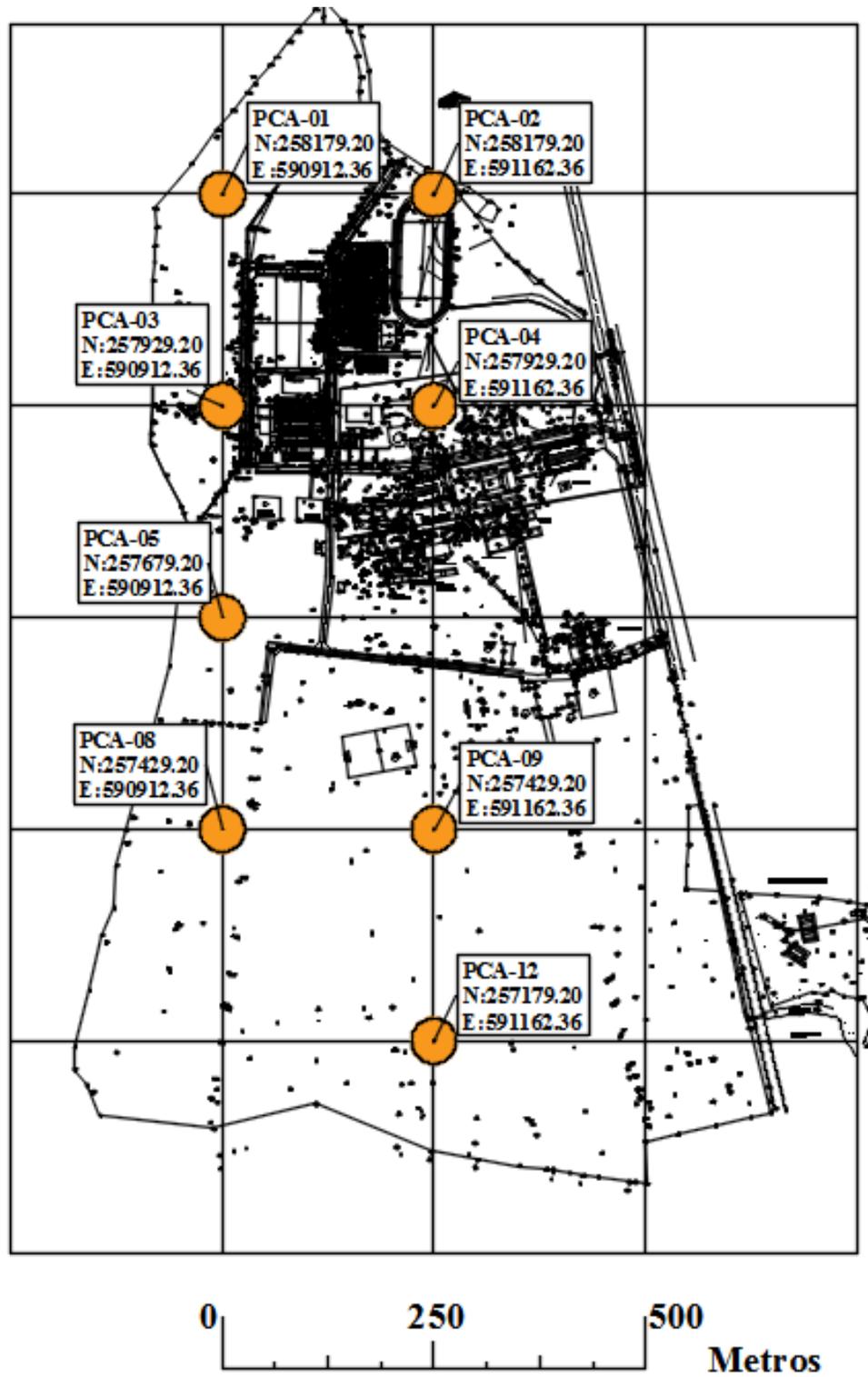
	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	0.481138	0.481138	192.912686	3.5526E-09
Residuos	13	0.03242293	0.00249407		
Total	14	0.51356092			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Intercepción	11.2917001	0.02285834	493.985968	3.621E-29	11.2423177	11.3410826	11.2423177	11.3410826
Variable X 1	0.27371786	0.0197071	13.8893011	3.5526E-09	0.23114326	0.31629246	0.23114326	0.31629246

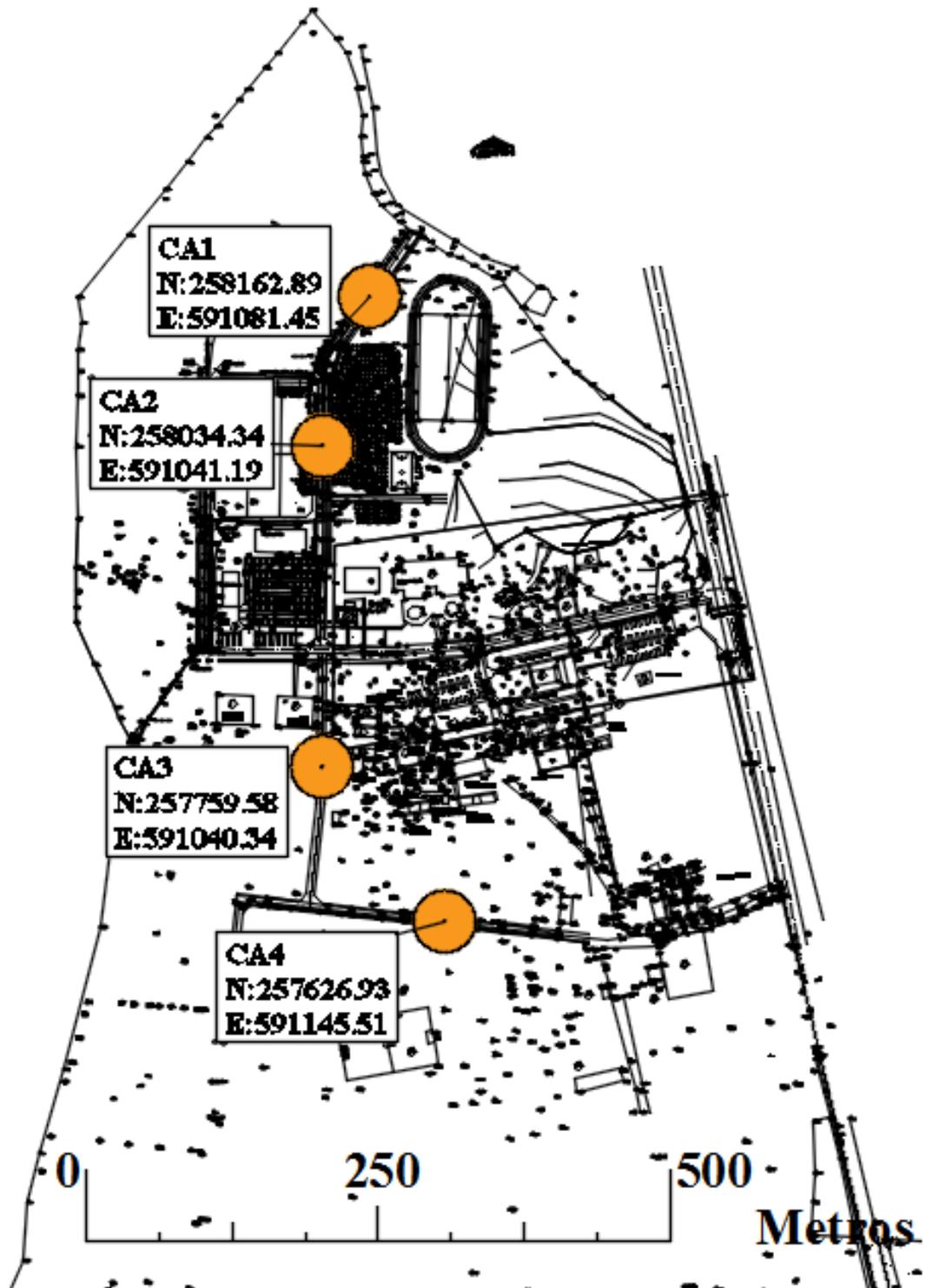
k1= 80153.6036
k2= 0.27371786



Anexo F. Localización de Sondeos (PCA's) UES- FMO



Anexo G. Localización de Sondeos (CA's)



Anexo H. Regresión lineal Mr-CBR

Regresión UES (55-28)

pozos	constantes de regresión		Esfuerzo desviador (kPa)	Esfuerzo confinamiento (kPa)	σ_1 (kPa)	σ_2 (kPa)	σ_3 (kPa)	ρ (kPa)	Mr (kPa)	Mr (Mpa)	CBR	$y=\ln(Mr)$	$x1=\ln(CBR)$
	k1	k2											
PCA-01_2	73146.8873	0.25185212	55	28	83	28	28	139	78820.06	78.82	1.75	4.36716755	0.55961579
PCA-02_1	64964.8174	0.37538268	55	28	83	28	28	139	72615.78	72.62	1.5	4.28518232	0.40546511
PCA-02_2	67925.6694	0.33093965	55	28	83	28	28	139	74931.09	74.93	1.5	4.31656891	0.40546511
PCA-03_1	68316.1495	0.32498581	55	28	83	28	28	139	75228.88	75.23	1.15	4.32053522	0.13976194
PCA-03_2	68183.3911	0.36242217	55	28	83	28	28	139	75921.01	75.92	1.15	4.32969345	0.13976194
PCA-04_1	69097.0722	0.30212215	55	28	83	28	28	139	75574.59	75.57	1.15	4.32512015	0.13976194
PCA-05_1	63698.2292	0.31661287	55	28	83	28	28	139	69969.71	69.97	1.33	4.24806242	0.28517894
PCA-08_1	79506.6168	0.18379674	55	28	83	28	28	139	83961.08	83.96	4.7	4.43035337	1.54756251
CA-01_1	72266.2574	0.29099443	55	28	83	28	28	139	78780.44	78.78	1.3	4.36666468	0.26236426
CA-02_2	92126.111	0.14036243	55	28	83	28	28	139	96042.34	96.04	8	4.56478915	2.07944154
CA-03_1	72495.2966	0.33356743	55	28	83	28	28	139	80034.35	80.03	1.7	4.38245597	0.53062825
CA-04_1	70913.844	0.28744222	55	28	83	28	28	139	77224.71	77.22	1.4	4.34671948	0.33647224

Resumen UES (55-28)

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación múltiple	0.880167565
Coefficiente de determinación R ²	0.774694943
R ² ajustado	0.752164437
Error típico	0.040068704
Observaciones	12

ANÁLISIS DE VARIANZA

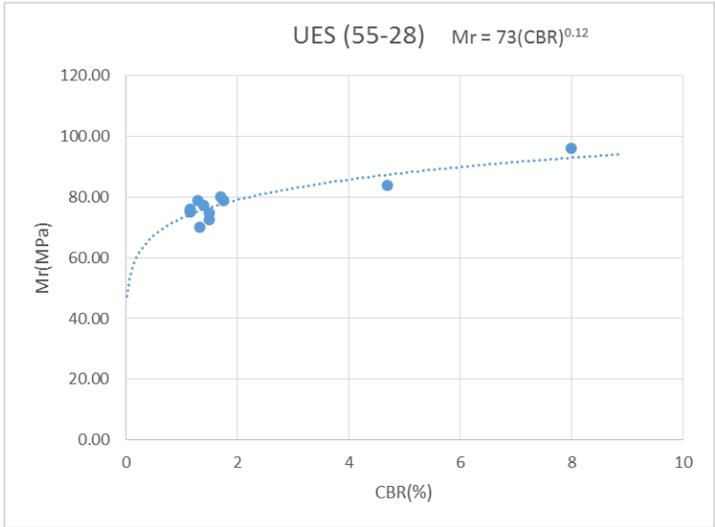
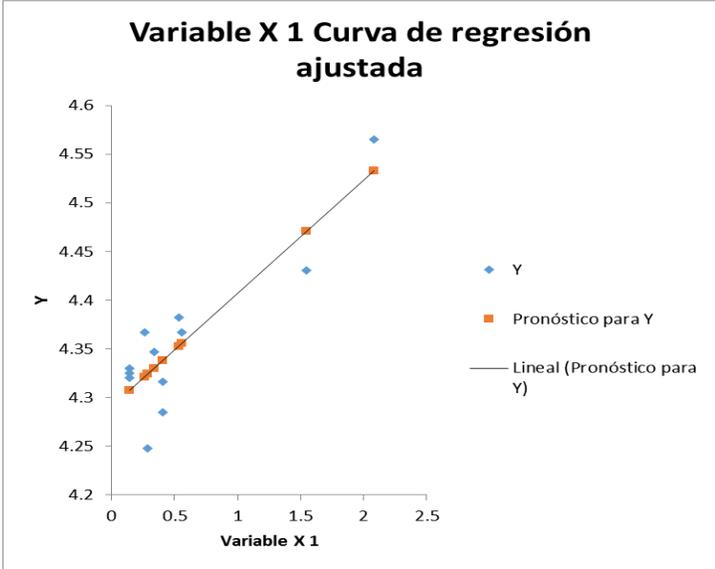
	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	0.05520398	0.05520398	34.38426789	0.00015862
Residuos	10	0.01605501	0.0016055		
Total	11	0.07125899			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Intercepción	4.29068585	0.0161699	265.350193	1.4211E-20	4.25465707	4.32671463	4.25465707	4.32671463
Variable X 1	0.116385105	0.01984803	5.86381001	0.000158618	0.07216093	0.16060928	0.07216093	0.16060928

k1	73.02
k2	0.12

Análisis de los residuales

Observación	Pronóstico para Y	Residuos
1	4.355816792	0.01135075
2	4.337875949	-0.05269363
3	4.337875949	-0.02130704
4	4.306952058	0.01358316
5	4.306952058	0.02274139
6	4.306952058	0.01816809
7	4.323876431	-0.07581401
8	4.470799074	-0.04044571
9	4.321221143	0.04544354
10	4.532701871	0.03208727
11	4.352443075	0.0300129
12	4.329846207	0.01687327



Regresión UES (41-21)

pozos	constantes de regresión		Esfuerzo desviador (kPa)	Esfuerzo confinamiento (kPa)	σ_1 (kPa)	σ_2 (kPa)	σ_3 (kPa)	θ (kPa)	Mr (kPa)	Mr (Mpa)	CBR	$y=\ln(Mr)$	$x1=\ln(CBR)$
	k1	k2											
PCA-01_2	73146.8873	0.25185212	41	21	62	21	21	104	73266.94	73.27	1.75	4.29410952	0.55961579
PCA-02_1	64964.8174	0.37538268	41	21	62	21	21	104	65123.81	65.12	1.5	4.17629017	0.40546511
PCA-02_2	67925.6694	0.33093965	41	21	62	21	21	104	68072.20	68.07	1.5	4.22056894	0.40546511
PCA-03_1	68316.1495	0.32498581	41	21	62	21	21	104	68460.87	68.46	1.15	4.22626235	0.13976194
PCA-03_2	68183.3911	0.36242217	41	21	62	21	21	104	68344.49	68.34	1.15	4.22456093	0.13976194
PCA-04_1	69097.0722	0.30212215	41	21	62	21	21	104	69233.14	69.23	1.15	4.23747964	0.13976194
PCA-05_1	63698.2292	0.31661287	41	21	62	21	21	104	63829.69	63.83	1.33	4.1562184	0.28517894
PCA-08_1	79506.6168	0.18379674	41	21	62	21	21	104	79601.83	79.60	4.7	4.37703705	1.54756251
CA-01_1	72266.2574	0.29099443	41	21	62	21	21	104	72403.32	72.40	1.3	4.2825214	0.26236426
CA-02_2	92126.111	0.14036243	41	21	62	21	21	104	92210.35	92.21	8	4.52407239	2.07944154
CA-03_1	72495.2966	0.33356743	41	21	62	21	21	104	72652.93	72.65	1.7	4.28569372	0.53062825
CA-04_1	70913.844	0.28744222	41	21	62	21	21	104	71046.70	71.05	1.4	4.26333737	0.33647224

Resumen UES (41-21)

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación múltiple	0.902092205
Coefficiente de determinación R ²	0.813770346
R ² ajustado	0.79514738
Error típico	0.044466446
Observaciones	12

ANÁLISIS DE VARIANZA

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	0.08640082	0.08640082	43.697141	5.9995E-05
Residuos	10	0.01977265	0.00197726		
Total	11	0.10617347			

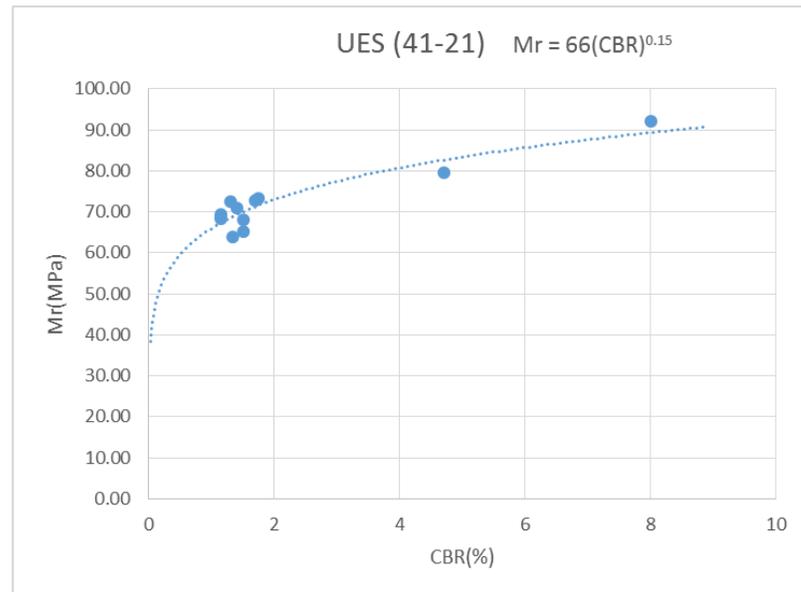
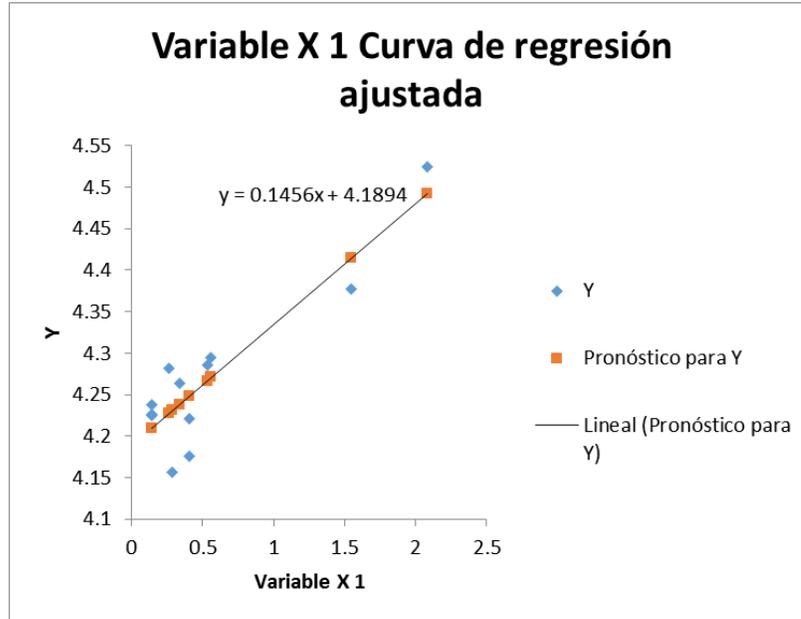
	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Intercepción	4.189433066	0.01794463	233.464482	5.1113E-20	4.14944995	4.22941619	4.22941619
Variable X 1	0.145603277	0.02202646	6.61038131	5.9995E-05	0.09652527	0.19468128	0.19468128

K1 65.99

k2 0.15

Análisis de los residuales

Observación	Pronóstico para Y	Residuos
1	4.270914958	0.02319456
2	4.248470114	-0.07217994
3	4.248470114	-0.02790118
4	4.209782863	0.01647948
5	4.209782863	0.01477807
6	4.209782863	0.02769678
7	4.230956054	-0.07473765
8	4.414763238	-0.03772619
9	4.227634162	0.05461798
10	4.492206568	0.03186582
11	4.266694278	0.01899944
12	4.238424526	0.02491284



Regresión UES (28-14)

pozos	constantes de regresión		Esfuerzo desviador(kPa)	Esfuerzo confinamiento (kPa)	σ_1 (kPa)	σ_2 (kPa)	σ_3 (kPa)	θ (kPa)	Mr(kPa)	Mr(Mpa)	CBR	$y=\ln(Mr)$	$x1=\ln(CBR)$
	k1	k2											
PCA-01_2	73146.8873	0.25185212	28	14	42	14	14	70	66314.09	66.31	1.75	4.19440236	0.55961579
PCA-02_1	64964.8174	0.37538268	28	14	42	14	14	70	56130.41	56.13	1.5	4.0276778	0.40546511
PCA-02_2	67925.6694	0.33093965	28	14	42	14	14	70	59713.10	59.71	1.5	4.08955137	0.40546511
PCA-03_1	68316.1495	0.32498581	28	14	42	14	14	70	60195.76	60.20	1.15	4.09760187	0.13976194
PCA-03_2	68183.3911	0.36242217	28	14	42	14	14	70	59209.36	59.21	1.15	4.08107956	0.13976194
PCA-04_1	69097.0722	0.30212215	28	14	42	14	14	70	61428.31	61.43	1.15	4.11787079	0.13976194
PCA-05_1	63698.2292	0.31661287	28	14	42	14	14	70	56310.03	56.31	1.33	4.03087274	0.28517894
PCA-08_1	79506.6168	0.18379674	28	14	42	14	14	70	74015.37	74.02	4.7	4.30427272	1.54756251
CA-01_1	72266.2574	0.29099443	28	14	42	14	14	70	64524.74	64.52	1.3	4.16704871	0.26236426
CA-02_2	92126.111	0.14036243	28	14	42	14	14	70	87226.09	87.23	8	4.46850351	2.07944154
CA-03_1	72495.2966	0.33356743	28	14	42	14	14	70	63665.06	63.67	1.7	4.15363583	0.53062825
CA-04_1	70913.844	0.28744222	28	14	42	14	14	70	63404.84	63.40	1.4	4.14954024	0.33647224

Resumen UES (28-14)

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación múltiple	0.91274087
Coefficiente de determinación R^2	0.83309589
R^2 ajustado	0.81640548
Error típico	0.05299918
Observaciones	12

ANÁLISIS DE VARIANZA

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	0.1402059	0.1402059	49.9146417	3.4362E-05
Residuos	10	0.02808913	0.00280891		
Total	11	0.16829503			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Intercepción	4.05124664	0.02138805	189.416365	4.134E-19	4.0035911	4.09890218	4.09890218
Variable X 1	0.18547926	0.02625315	7.06502949	3.4362E-05	0.12698361	0.24397492	0.24397492

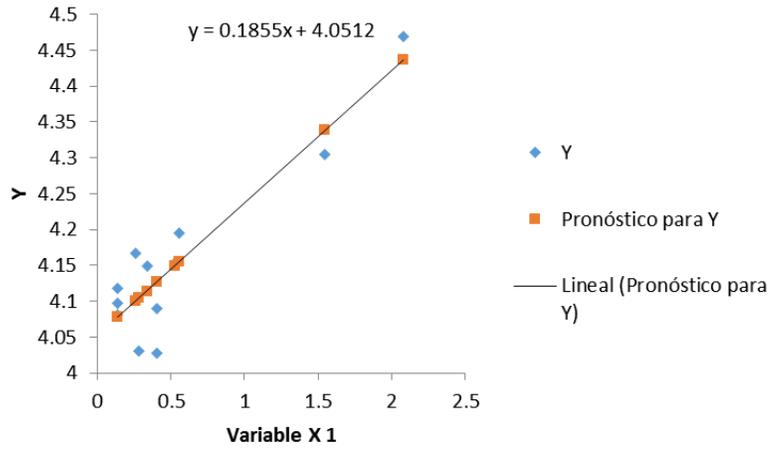
k1 57.47

k2 0.19

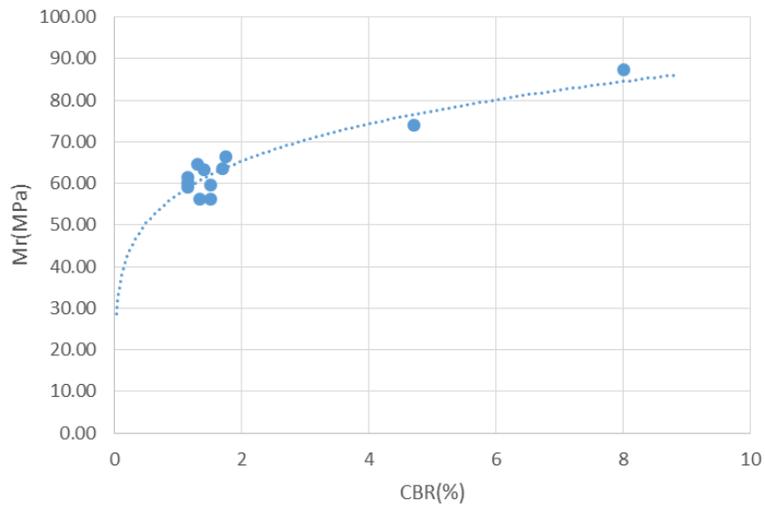
Análisis de los residuales

Observación	Pronóstico para Y	Residuos
1	4.15504376	0.03935859
2	4.12645201	-0.09877421
3	4.12645201	-0.03690064
4	4.07716958	0.02043229
5	4.07716958	0.00390998
6	4.07716958	0.04070121
7	4.10414142	-0.07326868
8	4.3382874	-0.03401468
9	4.09990977	0.06713894
10	4.43693993	0.03156358
11	4.14966718	0.00396865
12	4.11365526	0.03588498

Variable X 1 Curva de regresión ajustada



UES (28-14) $Mr = 57.5(CBR)^{0.19}$



Regresión UES (41-14)

pozos	constantes de regresión		Esfuerzo desviador (kPa)	Esfuerzo confinamiento (kPa)	σ_1 (kPa)	σ_2 (kPa)	σ_3 (kPa)	θ (kPa)	Mr (kPa)	Mr (Mpa)	CBR	$y=\ln(Mr)$	$x1=\ln(CBR)$
	k1	k2											
PCA-01_2	73146.8873	0.25185212	41	14	55	14	14	83	69220.99	69.22	1.75	4.2373042	0.55961579
PCA-02_1	64964.8174	0.37538268	41	14	55	14	14	83	59836.90	59.84	1.5	4.0916225	0.40546511
PCA-02_2	67925.6694	0.33093965	41	14	55	14	14	83	63176.06	63.18	1.5	4.1459254	0.40546511
PCA-03_1	68316.1495	0.32498581	41	14	55	14	14	83	63622.15	63.62	1.15	4.1529617	0.13976194
PCA-03_2	68183.3911	0.36242217	41	14	55	14	14	83	62979.96	62.98	1.15	4.1428165	0.13976194
PCA-04_1	69097.0722	0.30212215	41	14	55	14	14	83	64672.49	64.67	1.15	4.1693359	0.13976194
PCA-05_1	63698.2292	0.31661287	41	14	55	14	14	83	59430.42	59.43	1.33	4.08480627	0.28517894
PCA-08_1	79506.6168	0.18379674	41	14	55	14	14	83	76369.37	76.37	4.7	4.33558164	1.54756251
CA-01_1	72266.2574	0.29099443	41	14	55	14	14	83	67803.80	67.80	1.3	4.21661826	0.26236426
CA-02_2	92126.111	0.14036243	41	14	55	14	14	83	89336.81	89.34	8	4.4924136	2.07944154
CA-03_1	72495.2966	0.33356743	41	14	55	14	14	83	67387.36	67.39	1.7	4.21045749	0.53062825
CA-04_1	70913.844	0.28744222	41	14	55	14	14	83	66586.69	66.59	1.4	4.19850469	0.33647224

Resumen UES (41-14)

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación múltiple	0.90972904
Coefficiente de determinación R ²	0.82760693
R ² ajustado	0.81036762
Error típico	0.04904279
Observaciones	12

ANÁLISIS DE VARIANZA

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	0.11546615	0.11546615	48.0069716	4.0505E-05
Residuos	10	0.02405195	0.0024052		
Total	11	0.1395181			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Intercepción	4.11070528	0.01979143	207.701263	1.6453E-19	4.06660722	4.15480334	4.06660722	4.15480334
Variable X 1	0.16832149	0.02429335	6.92870634	4.0505E-05	0.11419253	0.22245044	0.11419253	0.22245044

K1 60.99

k2 0.17

Análisis de los residuales

Observación	Pronóstico para Y	Residuos
1	4.20490064	0.03240356
2	4.17895377	-0.08733127
3	4.17895377	-0.03302837
4	4.13423022	0.01873148
5	4.13423022	0.00858628
6	4.13423022	0.03510568
7	4.15870702	-0.07390075
8	4.3711933	-0.03561166
9	4.15486682	0.06175144
10	4.46071997	0.03169363
11	4.20002142	0.01043608
12	4.16734079	0.0311639

