

APOYO TÉCNICO EN EL LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS, DE LA
CORPORACIÓN PARA LA INVESTIGACIÓN Y EL DESARROLLO EN
ASFALTOS EN EL SECTOR TRANSPORTE E INDUSTRIAL- CORASFALTOS

WILMER MAURICIO CAMACHO BARBOSA

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA

2010

APOYO TÉCNICO EN EL LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS, DE LA
CORPORACIÓN PARA LA INVESTIGACIÓN Y EL DESARROLLO EN
ASFALTOS EN EL SECTOR TRANSPORTE E INDUSTRIAL- CORASFALTOS

WILMER MAURICIO CAMACHO BARBOSA

Proyecto de grado para optar por el título de ingeniero civil

Director del Proyecto

Ing. Ph.D EDUARDO CASTAÑEDA

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICO-MECÁNICAS

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

BUCARAMANGA

2010



A Dios por brindarme la fuerza para seguir adelante ante las adversidades presentadas en el camino y por permitirme alcanzar la meta propuesta al inicio de esta etapa de mi vida.

A mis padres (Laureano Camacho y Anail Barbosa) por el apoyo que me brindaron durante toda la carrera, por estar siempre a mi lado, a mi hermano por la colaboración brindada y a cada una de las personas que durante este ciclo de una u otra forma se cruzaron en mi camino y me ayudaron para alcanzar esta meta.

WILMER MAURICIO CAMACHO BARBOSA

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN.....	13
1. OBJETIVOS.....	14
1.1 OBJETIVO GENERAL.....	14
1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	14
2. INFORME PRÁCTICA EMPRESARIAL.....	15
3. ENSAYO TRIAXIAL DINÁMICO.....	27
3.1 OBJETO.....	27
3.2 MARCO CONCEPTUAL.....	27
3.2.1 Concepto de resiliencia.....	27
3.3 DESCRIPCION DEL ENSAYO DINÁMICO TRIAXIAL.....	30
3.4 ECUACIONES CONSTITUTIVAS.....	30
3.5 CONCLUSIONES.....	56
4. CONCLUSIONES.....	57
BIBLIOGRAFÍA.....	58

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Molde para elaboración de especímenes para proctor.	17
Figura 2. Espécimen para C.B.R.	18
Figura 3. Ensayo al espécimen de C.B.R.	19
Figura 4. Limite líquido.....	20
Figura 5. Limite Plástico.....	21
Figura 6. Probeta de compresión inconfiada	22
Figura 7. Ensayo a la probeta compresión inconfiada	23
Figura 8. Espécimen para ensayo triaxial	24
Figura 9. Ensayo triaxial.	24
Figura 10. Estado de esfuerzos provocados en la Subrasante por el paso de un vehículo en movimiento	28
Figura 11. Mecanismo de deformación del pavimento.....	29
Figura 12. Variación del módulo resiliente para el suelo 1 en su estado original...35	35
Figura 13. Variación del módulo resiliente del suelo 1 mas 3% de ceniza.....36	36
Figura 14. Variación del módulo resiliente del suelo 1 mas 5% de ceniza.....37	37
Figura 15. Variación del módulo resiliente del suelo 1 mas 10% de ceniza.....37	37
Figura 16. Variación del módulo resiliente para el suelo 2 en su estado original...42	42
Figura 17. Variación del módulo resiliente del suelo 2 mas 3% de ceniza.....42	42
Figura 18. Variación del módulo resiliente del suelo 2 mas 5% de ceniza.....43	43
Figura 19. Variación del módulo resiliente del suelo 2 mas 10% de ceniza.....44	44
Figura 20. Variación del módulo resiliente para el suelo 3 en su estado original...48	48
Figura 21. Variación del módulo resiliente del suelo 3 mas 4% de ceniza.....48	48
Figura 22. Variación del módulo resiliente del suelo 3 mas 6% de ceniza.....49	49
Figura 23. Variación del módulo resiliente del suelo 3 mas 12% de ceniza.....49	49
Figura 24. Variación del módulo resiliente para el suelo 4 en su estado original...53	53
Figura 25. Variación del módulo resiliente del suelo 4 mas 4% de ceniza.....54	54
Figura 26. Variación del módulo resiliente del suelo 4 mas 6% de ceniza.....54	54

Figura 27. Variación del módulo resiliente del suelo 4 mas 10% de ceniza.....55

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Datos obtenidos del ensayo dinámico triaxial para el suelo 1.....	31
Tabla 2. Ecuaciones constitutivas del suelo 1 y sus combinaciones.	38
Tabla 3. Datos obtenidos del ensayo dinámico triaxial para el suelo 2.....	39
Tabla 4. Ecuaciones constitutivas del suelo 2 y sus combinaciones.	44
Tabla 5. Datos obtenidos del ensayo dinámico triaxial para el suelo 3.....	45
Tabla 6. Ecuaciones constitutivas del suelo 3 y sus combinaciones.	50
Tabla 7. Datos obtenidos del ensayo dinámico triaxial para el suelo 4.....	50
Tabla 8. Ecuaciones constitutivas del suelo 4 y sus combinaciones.	55

LISTA DE ECUACIONES

	pág.
Ecuación 1. Módulo resiliente	29
Ecuación 2. Ecuación constitutiva en función del esfuerzo desviador	34
Ecuación 3. Ecuación constitutiva en función del primer invariante de tensiones..	34
Ecuación 4. Primer invariante de tensiones	35

RESUMEN

TITULO: apoyo técnico en el laboratorio de suelos y pavimentos, de la corporación para la investigación y el desarrollo en asfaltos en el sector transporte e industrial-CORASFALTOS. *

AUTOR: WILMER MAURICIO CAMACHO BARBOSA**

PALABRAS CLAVES: Ensayo triaxial dinámico, ecuaciones constitutivas, esfuerzo desviador, esfuerzos principales.

De acuerdo al convenio de práctica empresarial establecido entre la corporación para la investigación y el desarrollo en asfaltos en el sector transporte e industrial-CORASFALTOS y la Universidad Industrial de Santander (UIS), se requirió elaborar por parte del estudiante practicante un aporte para legar a la universidad. Inicialmente se implementó el ensayo triaxial dinámico para suelos en CORASFALTOS pues este contaba con el equipo para realizar este procedimiento pero estaba siendo utilizado para realizar ensayos dinámicos a mezclas asfálticas.

A partir de los resultados obtenidos de este ensayo para cuatro clases de suelos y tres combinaciones diferentes con ceniza de estos, se buscó establecer dos modelos constitutivos que relacionaran el módulo resiliente con el esfuerzo desviador y el promedio de los esfuerzos principales que según la literatura se ajustan a suelos cohesivos y granulares respectivamente, para posteriormente determinar qué modelo se ajustaba de mejor manera a los datos prácticos obteniendo una serie de ecuaciones constitutivas para cada material.

Para los materiales analizados se observó que en general el modelo en función del esfuerzo desviador se ajusta de mejor manera a los datos obtenidos en el laboratorio sin embargo la gran mayoría de estos no presentan un nivel de precisión confiable por lo que no se puede afirmar que los modelos obtenidos simbolizan el comportamiento del módulo resiliente del material analizado. se recomienda realizar mayor cantidad de estos ensayos buscando obtener mayor precisión en los datos buscando un modelo del comportamiento del material con un mayor grado de confianza.

* Proyecto de Grado

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Ph.D Eduardo Castañeda Codirector: Ing. Esp. Jhon Wilson Correa

ABSTRACT

TITLE: technical support in the laboratory of soil and pavement of the corporation for research and development in asphalt in the transport sector and industrial-CORASFALTOS. *

AUTHOR: WILMER MAURICIO CAMACHO BARBOSA**

KEY WORDS: dynamic triaxial testing, constitutive equations, deviator stress, principal stresses.

According to established business practice agreement between the corporations for research and development in asphalt in the transport sector and industrial-CORASFALTOS and Industrial University of Santander (UIS), was required by the student develop practitioner a contribution to bequeath to college. Initially implemented the dynamic triaxial test soil CORASFALTOS because this team had to perform this procedure but was being used for dynamic testing asphalt mixtures.

From the results of this test for four kinds of soils and three different combinations with ashes of these, we looked for two constitutive models to correlate the resilient modulus with deviator stress and the average principal stresses that according to literature meet cohesive and granular soils respectively, subsequently determine which model to better fit the practical data obtained a series of constitutive equations for each material.

For the materials tested was observed that in general the model in terms of deviator stress to better fit the data obtained in the laboratory but the vast majority of these do not present a reliable level of accuracy so no one can say that symbolize the obtained models the behavior of resilient modulus of the material recommended analizado.se more of these tests in order to obtain more accurate data looking for a model of material behavior with a higher degree of confidence

* Project of grade.

** Faculty of Physiomechanical Engineering. School of Civil Engineering. Director: Ph.D. Eduardo Castañeda. Co-director: Ing. Esp. Jhon Wilson Correa

INTRODUCCIÓN

Buscando mejorar la descripción mecánica de los suelos es necesario contar con formulaciones matemáticas apropiadas y con relaciones constitutivas del material que reproduzcan de manera realista las observaciones del laboratorio.

Un ingeniero civil debe tener a su alcance las herramientas necesarias que le permitan obtener el comportamiento teórico de manera rápida de algunas características mecánicas de los materiales con que trabaje, por lo que las ecuaciones constitutivas representan un importante instrumento para obtener un modelo teórico a partir de datos prácticos provenientes de ensayos de laboratorio.

A continuación se presenta una pequeña descripción del proceso que se siguió para realizar una serie de ensayos dinámicos triaxiales a algunos suelos en el laboratorio, también se muestran los resultados obtenidos de la realización de estos y las respectivas ecuaciones constitutivas, además del informe de las actividades desarrolladas durante la práctica empresarial en la Corporación Para La Investigación Y El Desarrollo En Asfaltos En El Sector Transporte E Industrial-CORASFALTOS.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Ejercitar y afianzar los conocimientos obtenidos durante el proceso de formación académica mediante la promoción de una cultura de investigación con sustento científico en el área de suelos principalmente.

1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Conocer y cumplir las exigencias del Sistema de Gestión de Calidad (SGC) implementado en CORASFALTOS
- Participar activamente en el proyecto “Desarrollo tecnológico del proceso de estabilización de subrasantes para la construcción de vías, usando mezclas de material mineral con cenizas provenientes de ECOPETROL” desarrollado por CORASFALTOS.
- Aplicar de manera crítica y práctica los conocimientos y criterios obtenidos principalmente en las áreas de mecánica de suelos y Diseño de pavimentos.
- Interactuar con profesionales de múltiples disciplinas que laboran en CORASFALTOS buscando enriquecer el proceso de construcción y aplicación del conocimiento.

2. INFORME PRÁCTICA EMPRESARIAL

Dentro del marco del convenio desarrollado entre LA CORPORACIÓN PARA LA INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO EN ASFALTOS EN EL SECTOR TRANSPORTE E INDUSTRIAL-CORASFALTOS y LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER que permite la participación de estudiantes de último nivel de Ingeniería Civil en proyectos adelantados en la CORPORACION se desarrolló la práctica empresarial.

La práctica fue desarrollada en los laboratorios de CORASFALTOS ubicados en la sede UIS Guatiguará y tuvo inicio el día 17 de noviembre del 2009, ocupando el cargo de Técnico de Laboratorio, por un periodo de cuatro (4) meses.

Se trabajó en el área de mecánica de suelos, participando activamente en la elaboración de ensayos de laboratorio y análisis de resultados, en el marco del proyecto “Desarrollo tecnológico del proceso de estabilización de subrasantes para la construcción de vías, usando mezclas de material mineral con cenizas provenientes de ECOPETROL” ejecutado por CORASFALTOS.

CORASFALTOS como entidad acreditada mediante la norma NTC ISO/IEC 17025-2005 y certificada con el Sistema de Gestión de Calidad ISO 9001-2008 para la prestación de servicios de laboratorio está obligada a contar con personal capacitado que cumpla con los requerimientos exigidos por la Superintendencia de Industria y Comercio e ICONTEC en el desarrollo de sus procedimientos, por esta razón CORASFALTOS cuenta con un programa de capacitación para el personal

que ingresa a la empresa. A continuación se menciona el proceso de capacitación seguido en CORASFALTOS:

Inicialmente se realizó un estudio de documentos del Sistema de Gestión de Calidad mediante lectura y posterior evaluación sobre el Manual de Calidad y el Manual de Procedimientos Técnicos (*).

Se recibió capacitación en los ensayos a trabajar durante la práctica para garantizar la calidad y confidencialidad de los resultados obtenidos y conocer el manejo de cada uno de estos en CORASFALTOS además de capacitaciones técnicas previstas en el SGC. A continuación se presentan los ensayos en los que se recibió capacitación y las charlas técnicas a las que se asistió.

ENSAYOS CAPACITACION

- Relaciones de humedad-masa unitaria seca en los suelos (ensayo modificado de compactación) I.N.V.E-142-07.

Este método se emplea para determinar la relación entre la humedad y el peso unitario seco de suelos compactados. El suelo se compacta en un molde (véase Figura 1.) de 102 o 152 mm de diámetro y una altura de 116mm con un collar de extensión de 60 mm de altura (el tipo de molde depende del método usado el cual a su vez depende del tamaño de las partículas de la muestra) con un martillo de 10 Lb que cae desde una altura de 18 pulgadas con una energía de compactación

(*) Documentos internos de CORASFALTOS.

definida(*) para diferentes contenidos de humedad buscando realizar en una grafica de porcentaje de humedad vs peso especifico seco un ajuste a una curva cuadrática obteniendo de esta forma la máxima densidad seca y su pareja la humedad óptima.

Figura 1. Molde para elaboración de especímenes para proctor.



Fuente Autor del proyecto

- Relación de soporte del suelo en el laboratorio (CBR de Laboratorio) I.N.V.E-148-07.

Este ensayo se realiza para suelos en condiciones de humedad y densidad optima, se preparan especímenes cilíndricos en moldes de 172 mm de diámetro y 177 mm de altura, provisto de un collar suplementario y una placa de base inferior como de observa en la Figura 2. Para cada suelo se preparan tres especímenes con energías de compactación de cinco capas de 10, 25 y 56 golpes.

(*) La energía de compactación depende del número de capas y el numero de golpes que se le apliquen al espécimen.

Posteriormente se sobreponen pesas de cuatro kilogramos que simulan la sobrecarga a la cual se verá afectado el suelo al colocarle la estructura de pavimento y se someten en inmersión durante cuatro días para evaluar el efecto de la saturación en campo. Finalmente cumplido este periodo se falla cada espécimen a una velocidad de 1,27 mm/min (véase Figura 3.) Para comparar la carga necesitada para penetrar el espécimen 0,1 y 0,2 pulgadas con cargas patrones determinando de esta forma el porcentaje de CBR.

Figura 2. Espécimen para C.B.R.



Fuente Autor del proyecto

Figura 3. Ensayo al espécimen de C.B.R.



Fuente Autor del proyecto

- Determinación del límite líquido de los suelos I.N.V-125-07

Por medio de este ensayo se determina el contenido de humedad del suelo cuando este se encuentra en el límite entre el estado líquido y el estado plástico. Se toma una muestra de suelo y se le aplica agua amasándola con una espátula hasta que se forme una pasta uniforme de consistencia dura, se coloca una cantidad adecuada en la Cazuela de Casagrande nivelándola de manera que quede con una profundidad aproximada de 10 mm en el punto de su máximo espesor, posteriormente se divide el suelo en la cazuela de bronce con una firme pasada del ranurador a lo largo del diámetro y a través de la línea central como se observa en la Figura 4. Finalmente se levanta y golpea la cazuela girando la manija a una velocidad de dos revoluciones por segundo hasta que las dos mitades de la pasta se pongan en contacto en el fondo de la ranura a lo largo de

cerca 13 mm. Este procedimiento se desarrolla tres veces buscando que el número de golpes se encuentre dentro de los siguientes rangos:

- 25-35 golpes.
- 20-30 golpes.
- 15-25 golpes.

Figura 4. Limite líquido



Fuente Autor del proyecto

- Limite plástico e índice de plasticidad de suelos I.N.V.E-126-07

Consiste en elaborar cilindros de suelo de aproximadamente 3mm de diámetro sin que estos se desmoronen (véase Figura 5.) posteriormente se unen estos formando una masa con todos ellos para posteriormente elaborar cilindros de 3mm de diámetro de nuevo, este procedimiento se sigue hasta que los cilindros se desmoronen. Mediante este ensayo determinamos el contenido más bajo de agua en el cual el suelo permanece en estado plástico y el índice de plasticidad es el tamaño del intervalo de contenido de agua, expresado como un porcentaje de la masa seca del suelo, dentro del cual el material esta en un estado plástico.

Figura 5. Limite Plástico

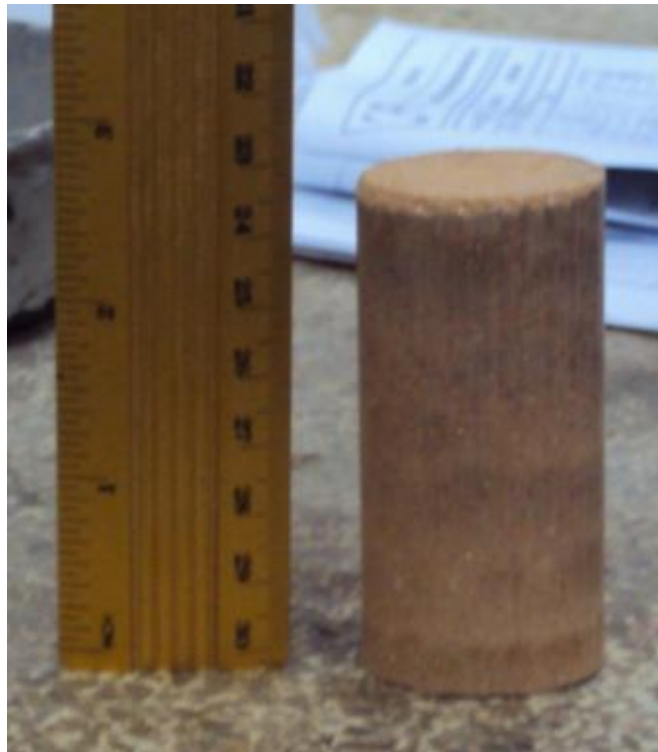


Fuente Autor del proyecto

- Compresión inconfiada en muestras de suelos. I.N.V.E-152-07

Mediante este ensayo se determina la resistencia a la compresión inconfiada de suelos cohesivos bajo condiciones inalteradas o remoldeadas. Se elaboran especímenes cilíndricos en las cuales la relación altura-diámetro está entre 2 y 2,5 (véase Figura 6.), a condiciones de humedad y densidad optimas para posteriormente fallarlas como se observa en la Figura 7. Controlando la deformación o controlando la carga, para este caso controlando la deformación.

Figura 6. Probeta de compresión inconfiada



Fuente Autor del proyecto

Figura 7. Ensayo a la probeta compresión inconfiada



Fuente Autor del proyecto

- Parámetros de Resistencia del suelo mediante compresión triaxial. I.N.V.E-153-07.

Inicialmente se elaboraron especímenes en los que su altura representa dos veces el diámetro (véase Figura 8.), con la humedad y la densidad óptima. Posteriormente se ensayo en el NAT (Nottingham Asphalt Tester) (*) como se observa en la Figura 9. Es de resaltar que esta ensayo se realizo con el objetivo de determinar el comportamiento del modulo resiliente en suelos estabilizados con ceniza.

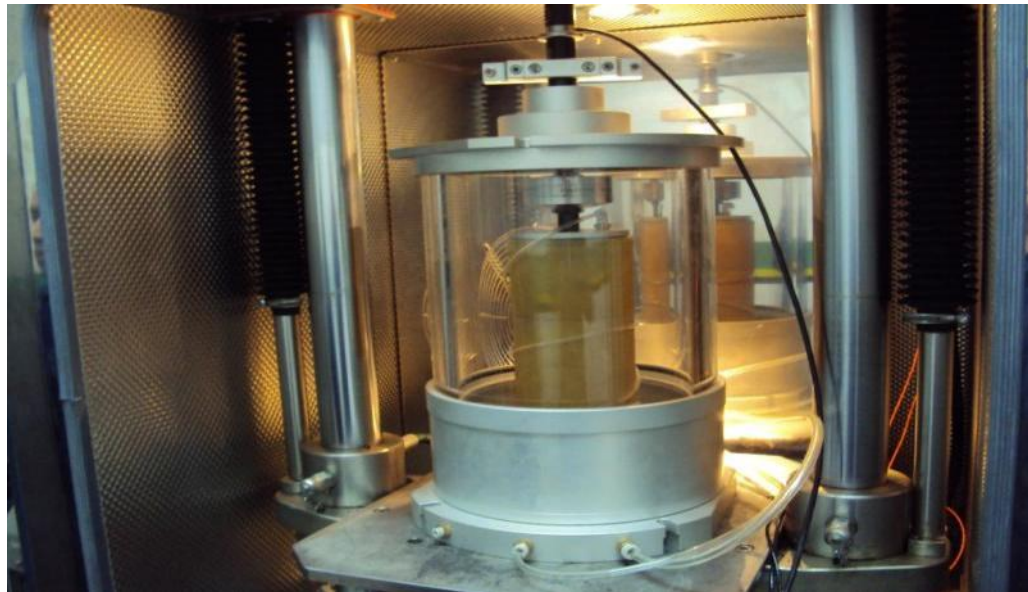
(*) Prensa multiensayos.

Figura 8. Espécimen para ensayo triaxial



Fuente Autor del proyecto

Figura 9. Ensayo triaxial.



Fuente Autor del proyecto

CHARLAS TECNICAS

La Corporación en aras de fortalecer la cultura de mejora continua desarrolla un programa de capacitación para su personal en temas afines a los procesos desarrollados en esta, a continuación se citan las capacitaciones adicionales recibidas y su respectivo capacitador:

- Principios básicos de termometría de líquido en vidrio (TLV). Seguridad y verificación.

Ing. Qco. Msc. Alexei Chiman.

- Efectos reológicos de ceras en materiales bituminosos.

Ing. Qco. Ricardo Carreño.

Profesional de Laboratorio

- Causales de terminación del contrato de trabajo y sus implicaciones legales.

Ana Liliana Rodríguez.

Contadora CORASFALTOS.

- Ensayos de caracterización dinámica ofrecidos en CORASFALTOS.

Ing. Civil Hugo Núñez Lobo.

Profesional de laboratorio



- Departamentalización de costos.

Ing. Industrial David Goyeneche.

Profesional administrativo

- Registros de calidad.

Ing. Industrial Edwar Monroy

Coordinador de Calidad

- Stripping

Ing. Qco. Ricardo Carreño.

Profesional de Laboratorio.

- Seminario Internacional “Áridos para la Fabricación de Mezclas Bituminosas” realizado el día 18 de marzo de 2010 en la ciudad de Bucaramanga.

Ing. Ph.D Salvador Luna Blanco

3. ENSAYO TRIAXIAL DINÁMICO

3.1 OBJETO

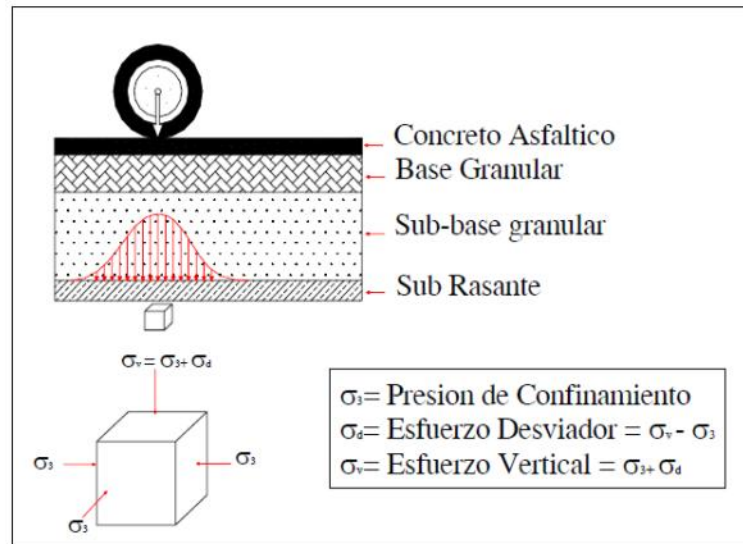
A partir de la implementación del ensayo Parámetros de Resistencia del suelo mediante compresión triaxial en CORASFALTOS I.N.V.E-153-07. En el laboratorio establecer dos tipos de ecuaciones constitutivas para cada material que permitan determinar el módulo resiliente de los materiales analizados y establecer qué modelo se ajusta de mejor manera a los datos prácticos obtenidos.

3.2 MARCO CONCEPTUAL

3.2.1 Concepto de resiliencia¹. Cuando un vehículo circula sobre el pavimento, los neumáticos transmiten cargas que son absorbidas por la estructura, entonces un elemento diferencial de suelo ubicado en la Subrasante, estará sometido a esfuerzos que a su vez inducen un estado de deformaciones, tal como se observa en la Figura 10. si se considera el material de Subrasante, con un comportamiento elástico, isótropo y homogéneo, hipótesis básicas de la mecánica suelos, los esfuerzos y las deformaciones se relacionaran con el módulo de elasticidad y la relación Poisson, propios del material.

¹ GUTIÉRREZ LAZARES, Wilfredo y LIMAYMANTA, Felicita. Ensayo de Modulo Resiliente. XIV congreso nacional de Ingeniería Civil. Iquitos Perú. 2003. 11p.

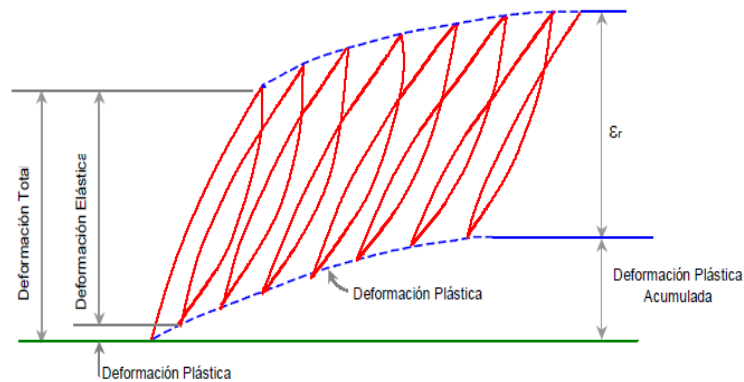
Figura 10. Estado de esfuerzos provocados en la Subrasante por el paso de un vehículo en movimiento



Fuente: GUTIÉRREZ LAZARES, Wilfredo y LIMAYMANTA, Felicita. Ensayo de Modulo Resiliente. XIV congreso nacional de Ingeniería Civil. Iquitos Perú. 2003.

Pero la respuesta real, está en función de las características propias de los materiales que conforman el pavimento y donde las cargas impuestas por el tránsito tienen un carácter dinámico con muy cortos tiempos de aplicación. Luego la deformación total inducida, se recupera al cesar la carga aplicada. Esto implica, que en estricto rigor, los materiales no presentan un comportamiento elástico, y por ello se introduce el término módulo resiliente, que corresponde a un “módulo elástico supuesto”, el cual relaciona las sollicitaciones de cargas aplicadas con las deformaciones recuperables. Este nos representa la medida de las propiedades elásticas del suelo al someterlo a ciclos repetidos de carga (véase Figura 11.). En la Ecuación 1. Se muestra la expresión con la que se puede calcular el módulo resiliente.

Figura 11. Mecanismo de deformación del pavimento.



Fuente: GUTIÉRREZ LAZARES, Wilfredo y LIMAYMANTA, Felicita. Ensayo de Modulo Resiliente. XIV congreso nacional de Ingeniería Civil. Iquitos Perú. 2003.

Ecuación 1. Módulo resiliente

$$Mr = \frac{\sigma D}{\varepsilon R}$$

En donde:

Mr = Módulo resiliente

σD = Esfuerzo desviador repetitivo

εR = Tensión axial recuperable.

Cabe notar que los resultados de módulo resiliente, son influenciados principalmente por tres factores:

- Estado de tensiones (esfuerzo de confinamiento y esfuerzo desviador).
- Tipo de suelo y estructura interparticular (métodos de compactación).
- Estado físico del suelo (humedad y densidad).

3.3 DESCRIPCION DEL ENSAYO DINÁMICO TRIAXIAL.

Inicialmente se compactaron especímenes cilíndricos (véase Figura 8.) para cuatro clases de suelo y posteriormente fueron ensayados en el equipo NAT (Nottingham Asphalt Tester) (véase Figura 9.). A continuación se describe como se efectuó el ensayo para cada espécimen y para el que se tuvo en cuenta la norma AASHTO T294-92.

Luego de montado el espécimen en el equipo para su ensayo este se sometió a un proceso de acondicionamiento aplicándole 500 ciclos de carga con una presión de confinamiento (σ_3) de 41,4 Kpa (6 Psi) y un esfuerzo desviador (σ_d) de 4 Psi. Cabe notar que se debe mantener un mínimo de contacto del 10% del máximo esfuerzo desviador de cargas repetidas, durante la aplicación de cargas. Posteriormente para una presión de confinamiento (σ_3) de 41,4 Kpa (6 Psi) se aplican 100 ciclos de carga para un esfuerzo desviador (σ_d) de 2 psi, 4psi, 6 psi, 8 psi y 10 psi respectivamente correspondiente a un pulso dinámico de un segundo de duración. Este proceso se siguió para presiones de confinamiento (σ_3) de 27,6 y 13,8 Kpa de manera que al final del ensayo se le aplicaron 1500 ciclos de carga al espécimen. Se ensayaron cuatro clases de suelo en su estado original y cada uno de estos mezclado con tres porcentajes de ceniza.

3.4 ECUACIONES CONSTITUTIVAS

A continuación se muestra el análisis realizado a cada tipo de material en busca de determinar una expresión matemática que represente el comportamiento del modulo resiliente.

- Suelo 1

En la Tabla 1. Se muestran los datos obtenidos a partir de la realización del ensayo dinámico triaxial en el laboratorio, se observan valores elevados debido a que el material no fue ensayado bajo condiciones de humedad crítica.

Tabla 1. Datos obtenidos del ensayo dinámico triaxial para el suelo 1

% CENIZA	PRESION DE CAMARA, Kpa	ESFUERZO AXIAL DESVIADOR TEÓRICO, Kpa	MÓDULO RESILIENTE, Mpa
0,0	41,4	13,8	378,8
0,0	41,4	27,6	427,6
0,0	41,4	41,4	466,1
0,0	41,4	55,2	428,6
0,0	41,4	68,9	411,2
0,0	27,6	13,8	430,3
0,0	27,6	27,6	445,5
0,0	27,6	41,4	433,8
0,0	27,6	55,2	425,6
0,0	27,6	68,9	388,5
0,0	13,8	13,8	393,6
0,0	13,8	27,6	382,8
0,0	13,8	41,4	401,9
0,0	13,8	55,2	403,9
0,0	13,8	68,9	403,6

Continuación. Tabla 1

% CENIZA	PRESION DE CAMARA, Kpa	ESFUERZO AXIAL DESVIADOR TEÓRICO, Kpa	MÓDULO RESILIENTE, Mpa
3,0	41,4	13,8	69,7
3,0	41,4	27,6	13,6
3,0	41,4	41,4	35,8
3,0	41,4	55,2	64,5
3,0	41,4	68,9	95,8
3,0	27,6	13,8	90,5
3,0	27,6	27,6	361,0
3,0	27,6	41,4	354,3
3,0	27,6	55,2	365,2
3,0	27,6	68,9	365,1
3,0	13,8	13,8	342,6
3,0	13,8	27,6	350,1
3,0	13,8	41,4	367,9
3,0	13,8	55,2	371,2
3,0	13,8	68,9	372,7
5,0	41,4	13,8	254,1
5,0	41,4	27,6	630,6
5,0	41,4	41,4	674,9
5,0	41,4	55,2	712,5
5,0	41,4	68,9	679,7
5,0	27,6	13,8	554,4
5,0	27,6	27,6	662,8

Continuación tabla 1.

% CENIZA	PRESION DE CAMARA, Kpa	ESFUERZO AXIAL DESVIADOR TEÓRICO, Kpa	MÓDULO RESILIENTE, Mpa
5,0	27,6	41,4	694,1
5,0	27,6	55,2	700,0
5,0	27,6	68,9	725,1
5,0	13,8	13,8	544,7
5,0	13,8	27,6	647,4
5,0	13,8	41,4	641,8
5,0	13,8	55,2	687,3
5,0	13,8	68,9	699,3
10,0	41,4	13,8	294,1
10,0	41,4	27,6	360,1
10,0	41,4	41,4	406,9
10,0	41,4	55,2	447,1
10,0	41,4	68,9	81,3
10,0	27,6	13,8	47,1
10,0	27,6	27,6	140,1
10,0	27,6	41,4	88,3
10,0	27,6	55,2	95,5
10,0	27,6	68,9	190,8
10,0	13,8	13,8	126,2
10,0	13,8	27,6	291,3
10,0	13,8	41,4	274,9
10,0	13,8	55,2	337,7

Continuación tabla 1.

% CENIZA	PRESION DE CAMARA, Kpa	ESFUERZO AXIAL DESVIADOR TEÓRICO, Kpa	MÓDULO RESILIENTE, Mpa
10,0	13,8	68,9	369,2

Fuente. CORASFALTOS. Proyecto “Desarrollo tecnológico del proceso de estabilización de subrasantes para la construcción de vías, usando mezclas de material mineral con cenizas provenientes de ECOPETROL”

Se intentó establecer un modelo constitutivo que relacione el módulo resiliente con el esfuerzo desviador o con el primer invariante de tensiones que según la literatura son los modelos que más se ajustan a suelos cohesivos y a suelos granulares respectivamente. Es de resaltar que una ecuación constitutiva es una relación entre variables termodinámicas o mecánicas de un sistema físico: presión, volumen, tensión, deformación, temperatura, etc.

Ecuación 2. Ecuación constitutiva en función del esfuerzo desviador

$$Mr = K_1 * \sigma_d^{K_2}$$

Ecuación 3. Ecuación constitutiva en función del primer invariante de tensiones.

$$Mr = K_1 * \theta^{K_2}$$

En donde Mr representa el módulo resiliente en Mpa, σ_d representa el esfuerzo desviador en Mpa y K_1 , K_2 son constantes que dependen del material analizado. θ Se denomina primer invariante de tensiones o esfuerzo principal promedio y se puede calcular mediante la siguiente expresión:

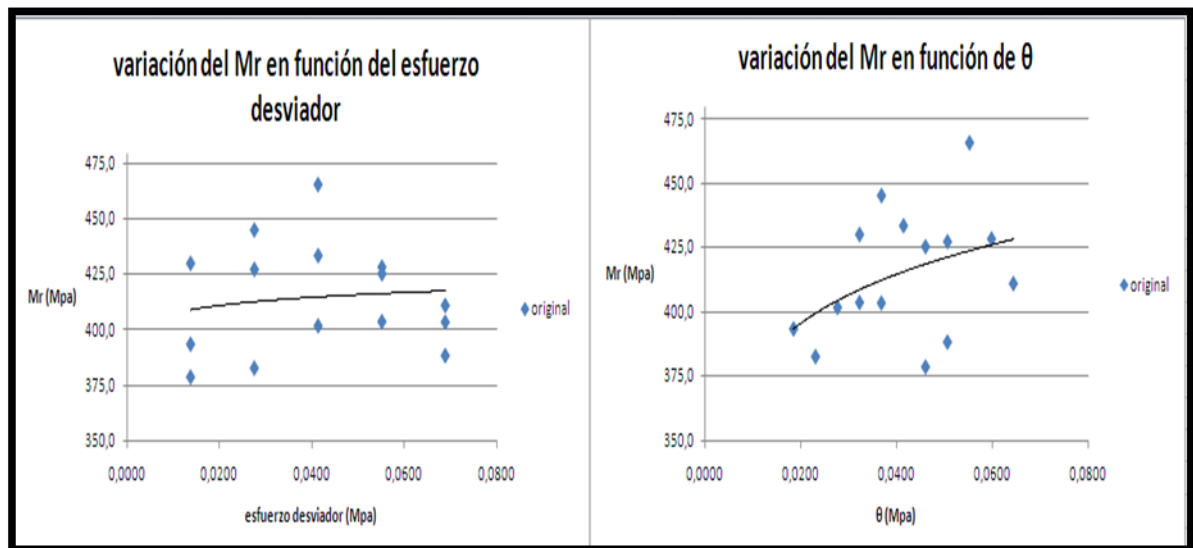
Ecuación 4. Primer invariante de tensiones

$$\theta = \frac{(3\sigma_3 + \sigma_d)}{3}$$

Y en donde σ_3 representa la presión de cámara.

A continuación se muestra el comportamiento del módulo resiliente de cada clase de material obtenido con suelo 1 y su respectiva curva de ajuste.

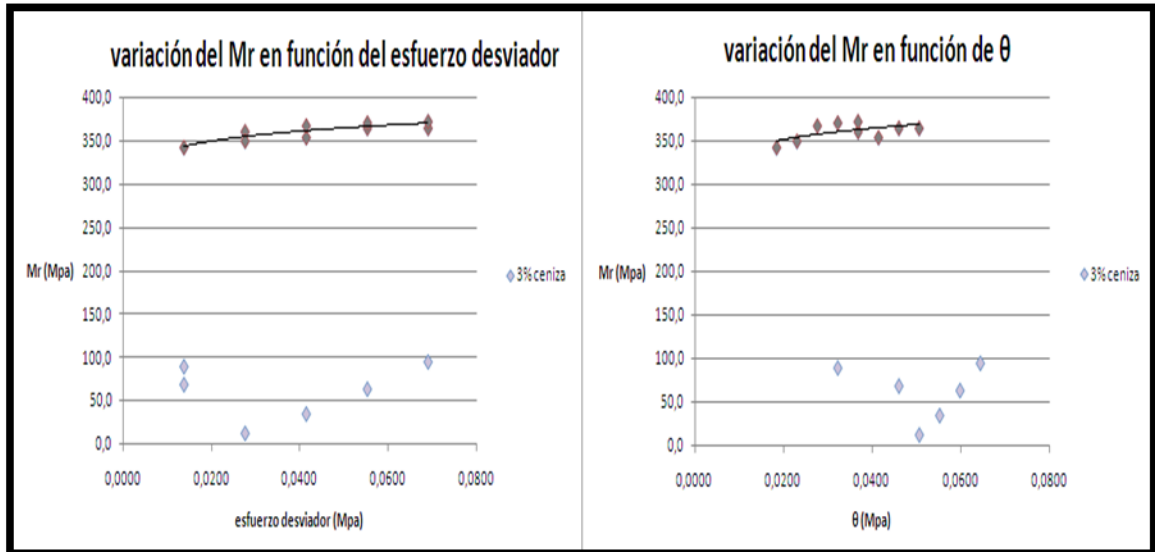
Figura 12. Variación del módulo resiliente para el suelo 1 en su estado original



Fuente: autor del proyecto.

En la Figura 12. Se observa que los datos no presentan una tendencia clara, existe una dispersión de estos por lo que la ecuación constitutiva representara el comportamiento con baja precisión.

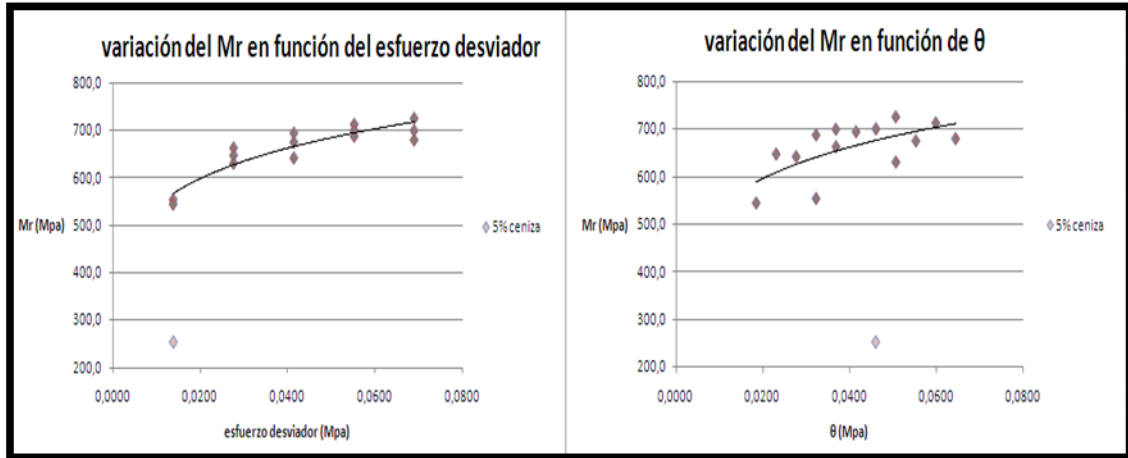
Figura 13. Variación del módulo resiliente del suelo 1 mas 3% de ceniza.



Fuente: autor del proyecto

Para la mezcla de suelo uno mas el tres por ciento de ceniza (véase Figura 13.) se observan algunos datos que no representan un comportamiento lógico del material por lo que se decidió no tenerlos en cuenta para la obtención del modelo constitutivo.

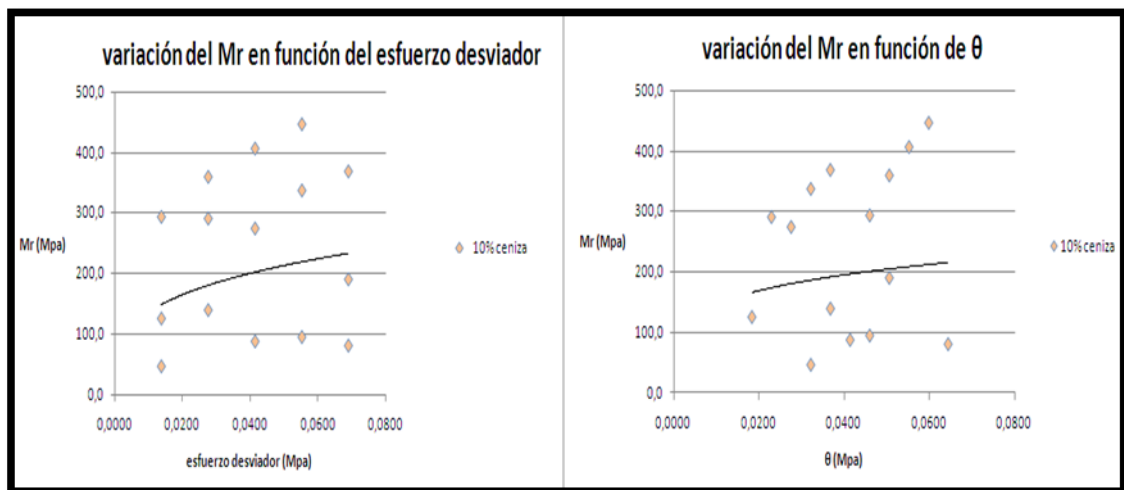
Figura 14. Variación del módulo resiliente del suelo 1 mas 5% de ceniza.



Fuente: autor del proyecto

En la Figura 14. Se observa que existe un dato que no sigue la tendencia de los demás valores obtenidos en el ensayo por lo que este no se tuvo en cuenta para la obtención de la respectiva ecuación constitutiva.

Figura 15. Variación del módulo resiliente del suelo 1 mas 10% de ceniza.



Fuente: autor del proyecto

En la Figura 15. No se observa una tendencia clara de los datos, por lo que la ecuación constitutiva representara el comportamiento del modulo resiliente con baja precisión.

Finalmente en la Tabla 2. se muestran las ecuaciones constitutivas obtenidas para cada clase de material con su respectivo coeficiente de correlación

Tabla 2. Ecuaciones constitutivas del suelo 1 y sus combinaciones.

estado del suelo	Ecuación constitutiva	R	Ecuación constitutiva	R
original	$Mr=432,23*\sigma_d^{0,0129}$	0,13	$Mr=515,82*\theta^{0,0678}$	0,41
3% ceniza	$Mr=419,59*\sigma_d^{0,0467}$	0,87	$Mr=431,08*\theta^{0,0521}$	0,61
5% ceniza	$Mr=1064,3*\sigma_d^{0,1472}$	0,93	$Mr=1076,8*\theta^{0,1511}$	0,64
10% ceniza	$Mr=494,13*\sigma_d^{0,2809}$	0,23	$Mr=381,77*\theta^{0,2087}$	0,11

Fuente: autor del proyecto.

- Suelo 2

A continuación en la Tabla 3. Se muestran los datos obtenidos en el laboratorio para el suelo 2 y sus respectivas combinaciones, es de resaltar que se ven valores de módulo resiliente altos debido a las condiciones del material al realizar el ensayo.

Tabla 3. Datos obtenidos del ensayo dinámico triaxial para el suelo 2

% CENIZA	PRESION DE CAMARA, Kpa	ESFUERZO AXIAL DESVIADOR TEÓRICO, Kpa	MÓDULO RESILIENTE, Mpa
0,0	41,4	13,8	298,5
0,0	41,4	27,6	292,6
0,0	41,4	41,4	291,1
0,0	41,4	55,2	287,7
0,0	41,4	68,9	284,2
0,0	27,6	13,8	295,6
0,0	27,6	27,6	301,4
0,0	27,6	41,4	295,2
0,0	27,6	55,2	291,4
0,0	27,6	68,9	286,3
0,0	13,8	13,8	302,4
0,0	13,8	27,6	301,7
0,0	13,8	41,4	294,6
0,0	13,8	55,2	294,1
0,0	13,8	68,9	292,0
3,0	41,4	13,8	286,4
3,0	41,4	27,6	256,8
3,0	41,4	41,4	256,5
3,0	41,4	55,2	312,4
3,0	41,4	68,9	291,6
3,0	27,6	13,8	260,2
3,0	27,6	27,6	169,8

Continuación tabla 3.

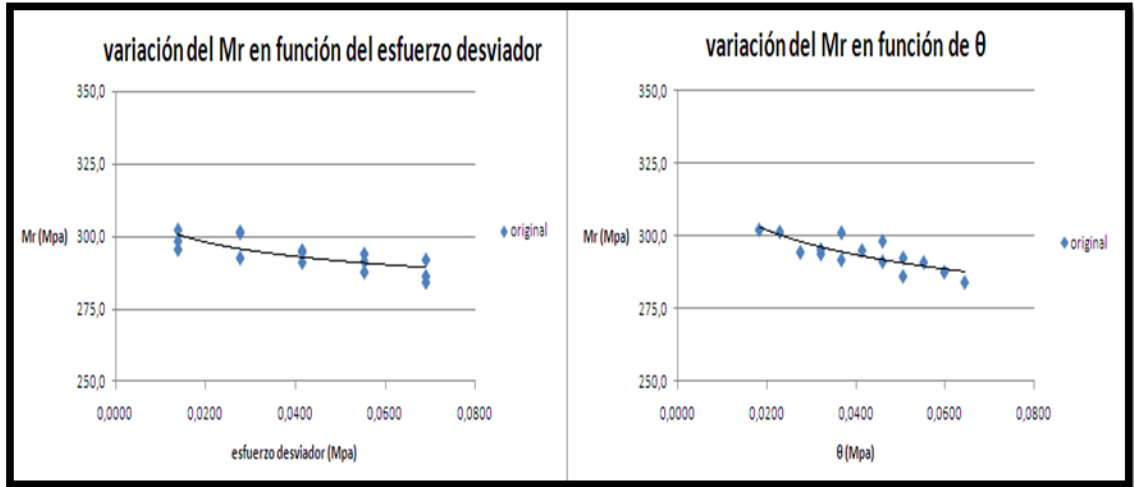
% CENIZA	PRESION DE CAMARA, Kpa	ESFUERZO AXIAL DESVIADOR TEÓRICO, Kpa	MÓDULO RESILIENTE, Mpa
3,0	27,6	41,4	291,9
3,0	27,6	55,2	296,7
3,0	27,6	68,9	294,1
3,0	13,8	13,8	201,9
3,0	13,8	27,6	286,0
3,0	13,8	41,4	288,1
3,0	13,8	55,2	294,8
3,0	13,8	68,9	301,3
5,0	41,4	13,8	327,6
5,0	41,4	27,6	304,2
5,0	41,4	41,4	256,8
5,0	41,4	68,9	294,8
5,0	27,6	13,8	191,3
5,0	27,6	27,6	277,4
5,0	27,6	41,4	297,1
5,0	27,6	55,2	301,2
5,0	27,6	68,9	294,5
5,0	13,8	13,8	248,0
5,0	13,8	27,6	277,5
5,0	13,8	41,4	295,2
5,0	13,8	55,2	295,5
5,0	13,8	68,9	293,1
10,0	41,4	13,8	178,5

Continuación tabla 3.

% CENIZA	PRESION DE CAMARA, Kpa	ESFUERZO AXIAL DESVIADOR TEÓRICO, Kpa	MÓDULO RESILIENTE, Mpa
10,0	41,4	27,6	212,9
10,0	41,4	41,4	243,8
10,0	41,4	55,2	265,1
10,0	41,4	68,9	283,8
10,0	27,6	13,8	227,5
10,0	27,6	27,6	230,3
10,0	27,6	41,4	247,7
10,0	27,6	55,2	323,2
10,0	27,6	68,9	323,2
10,0	13,8	13,8	197,4
10,0	13,8	27,6	128,9
10,0	13,8	41,4	233,8
10,0	13,8	55,2	358,2
10,0	13,8	68,9	291,8

Fuente. CORASFALTOS. Proyecto “Desarrollo tecnológico del proceso de estabilización de subrasantes para la construcción de vías, usando mezclas de material mineral con cenizas provenientes de ECOPETROL”

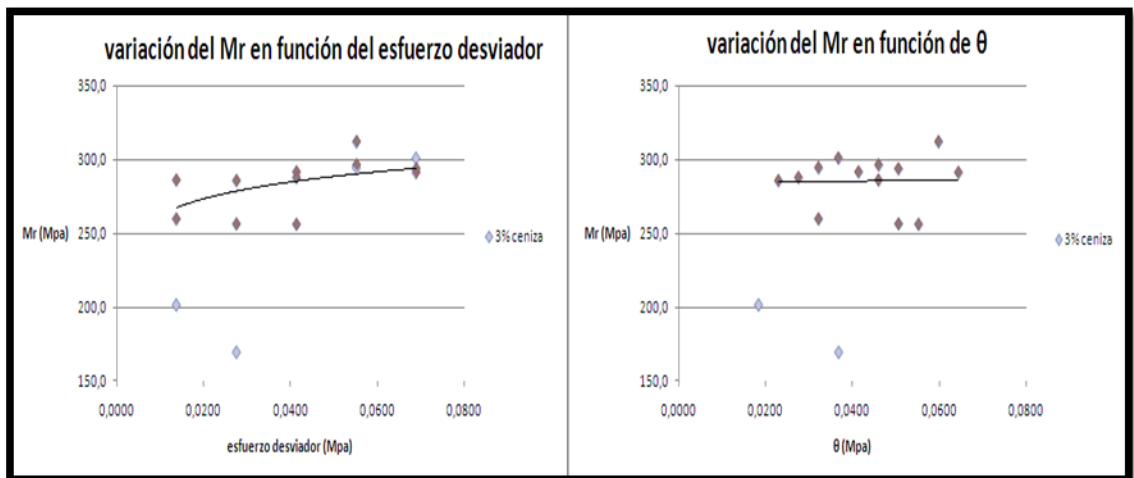
Figura 16. Variación del módulo resiliente para el suelo 2 en su estado original



Fuente: autor del proyecto.

Los datos obtenidos a partir del ensayo al suelo dos en su estado original (véase Figura 16.) presentan una tendencia que permite obtener un buen modelo con un aceptable ajuste.

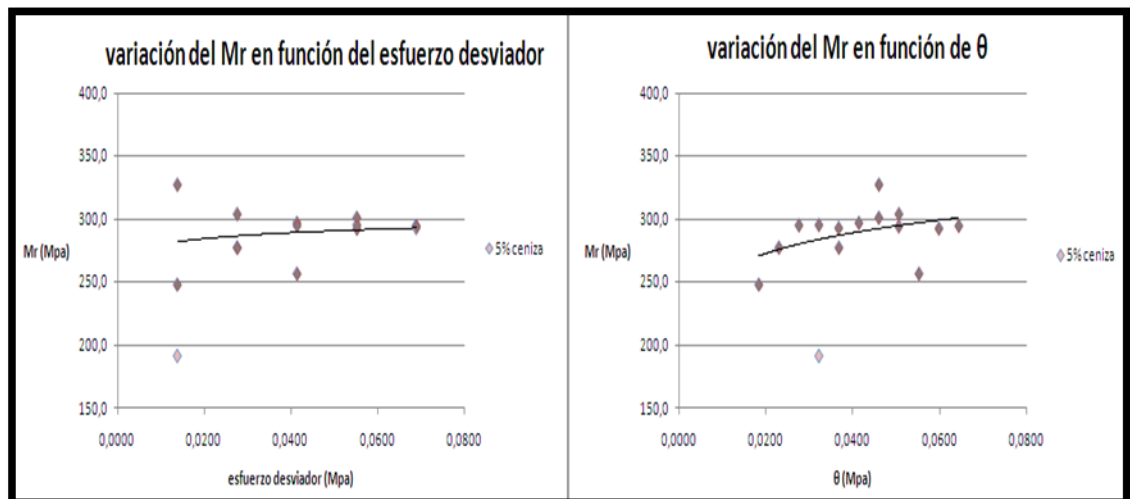
Figura 17. Variación del módulo resiliente del suelo 2 mas 3% de ceniza.



Fuente: autor del proyecto

En la Figura 17. Se observa una tendencia muy dispersa de los datos por lo que el modelo tendrá un bajo nivel de precisión, cabe notar que se excluyeron del análisis dos valores debido a que estos no se ajustan a los resultados que se obtuvieron en el ensayo.

Figura 18. Variación del módulo resiliente del suelo 2 mas 5% de ceniza.

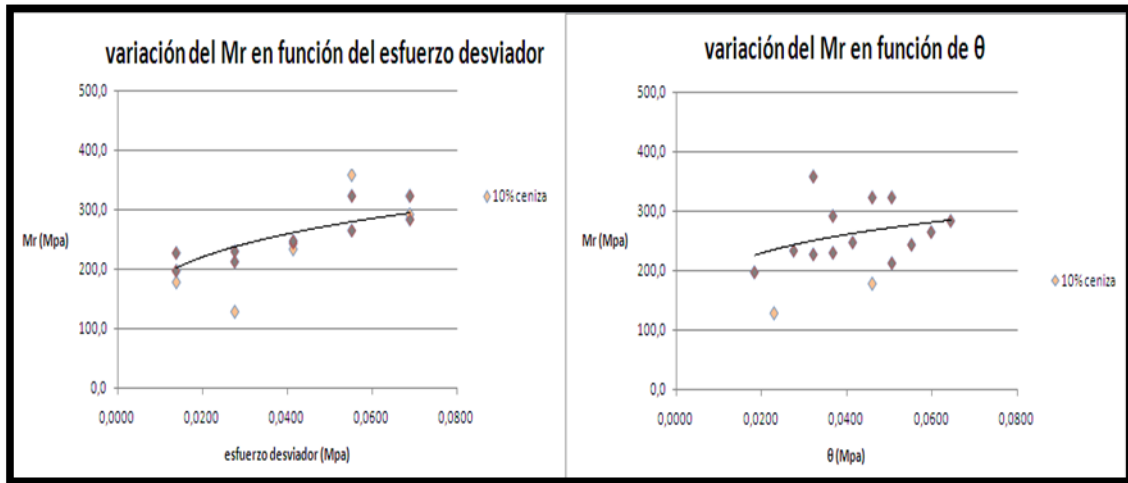


Fuente: autor del proyecto

Para la combinación de suelo dos con el 5% de ceniza se excluyó un valor debido a que este no se ajusta a la magnitud de los resultados obtenidos en el ensayo.

Finalmente en la Figura 19. no se observa una tendencia clara de los datos obtenidos por lo que el modelo constitutivo obtenido a partir de estos no representará un buen ajuste a la realidad.

Figura 19. Variación del módulo resiliente del suelo 2 mas 10% de ceniza.



Fuente: autor del proyecto

A continuación en la Tabla 4. Se muestran las ecuaciones constitutivas obtenidas a partir de esta serie de ensayos para el suelo dos y sus respectivas combinaciones.

Tabla 4. Ecuaciones constitutivas del suelo 2 y sus combinaciones.

estado del suelo	Ecuación constitutiva	R	Ecuación constitutiva	R
original	$Mr=271,25*\sigma_d^{-0,024}$	0,75	$Mr=256,89*\theta^{-0,042}$	0,79
3% ceniza	$Mr=351,12*\sigma_d^{0,0641}$	0,57	$Mr=289,04*\theta^{0,004}$	0,02
5% ceniza	$Mr=312,29*\sigma_d^{0,0237}$	0,19	$Mr=379,58*\theta^{0,0845}$	0,44
10% ceniza	$Mr=595,03*\sigma_d^{0,2555}$	0,80	$Mr=474,27*\theta^{0,1865}$	0,36

Fuente: autor del proyecto.

- Suelo 3

Tabla 5. Datos obtenidos del ensayo dinámico triaxial para el suelo 3

% CENIZA	PRESION DE CAMARA, Kpa	ESFUERZO AXIAL DESVIADOR TEÓRICO, Kpa	MÓDULO RESILIENTE, Mpa
0,0	41,4	13,8	95,1
0,0	41,4	27,6	36,4
0,0	41,4	41,4	63,9
0,0	41,4	55,2	188,4
0,0	41,4	68,9	353,4
0,0	27,6	13,8	45,9
0,0	27,6	27,6	74,4
0,0	27,6	41,4	80,7
0,0	27,6	55,2	179,3
0,0	27,6	68,9	291,6
0,0	13,8	13,8	31,2
0,0	13,8	27,6	110,0
0,0	13,8	41,4	192,7
0,0	13,8	55,2	243,0
0,0	13,8	68,9	366,3
4,0	41,4	13,8	103,0
4,0	41,4	27,6	509,9
4,0	41,4	41,4	528,2
4,0	41,4	55,2	562,4

Continuación tabla 5.

% CENIZA	PRESION DE CAMARA, Kpa	ESFUERZO AXIAL DESVIADOR TEÓRICO, Kpa	MÓDULO RESILIENTE, Mpa
4,0	41,4	68,9	548,8
4,0	27,6	13,8	155,5
4,0	27,6	27,6	489,1
4,0	27,6	41,4	536,3
4,0	27,6	55,2	556,2
4,0	27,6	68,9	550,7
4,0	13,8	13,8	394,2
4,0	13,8	27,6	481,3
4,0	13,8	41,4	447,7
4,0	13,8	55,2	542,4
4,0	13,8	68,9	550,0
6,0	41,4	13,8	97,5
6,0	41,4	27,6	55,1
6,0	41,4	41,4	95,8
6,0	41,4	55,2	88,8
6,0	41,4	68,9	424,4
6,0	27,6	13,8	345,6
6,0	27,6	27,6	130,6
6,0	27,6	41,4	372,8
6,0	27,6	55,2	388,8
6,0	27,6	68,9	441,1
6,0	13,8	13,8	331,3
6,0	13,8	27,6	333,2

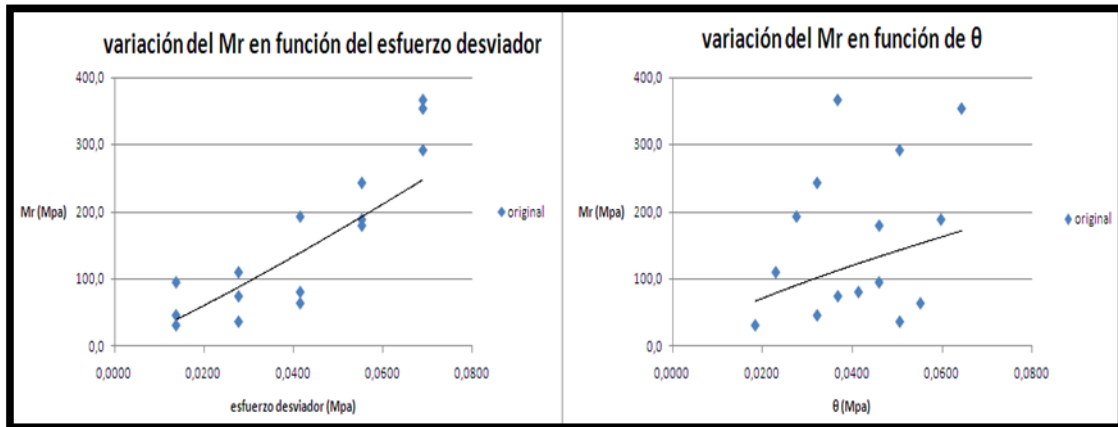
Continuación tabla 5.

% CENIZA	PRESION DE CAMARA, Kpa	ESFUERZO AXIAL DESVIADOR TEÓRICO, Kpa	MÓDULO RESILIENTE, Mpa
6,0	13,8	41,4	374,9
6,0	13,8	55,2	408,3
6,0	13,8	68,9	438,3
12,0	41,4	13,8	264,2
12,0	41,4	27,6	292,9
12,0	41,4	41,4	305,3
12,0	41,4	55,2	323,8
12,0	41,4	68,9	354,6
12,0	27,6	13,8	282,0
12,0	27,6	27,6	303,5
12,0	27,6	41,4	322,5
12,0	27,6	55,2	341,4
12,0	27,6	68,9	350,5
12,0	13,8	13,8	215,9
12,0	13,8	27,6	356,1
12,0	13,8	41,4	333,3
12,0	13,8	55,2	337,3
12,0	13,8	68,9	340,7

Fuente. CORASFALTOS. Proyecto "Desarrollo tecnológico del proceso de estabilización de subrasantes para la construcción de vías, usando mezclas de material mineral con cenizas provenientes de ECOPETROL"

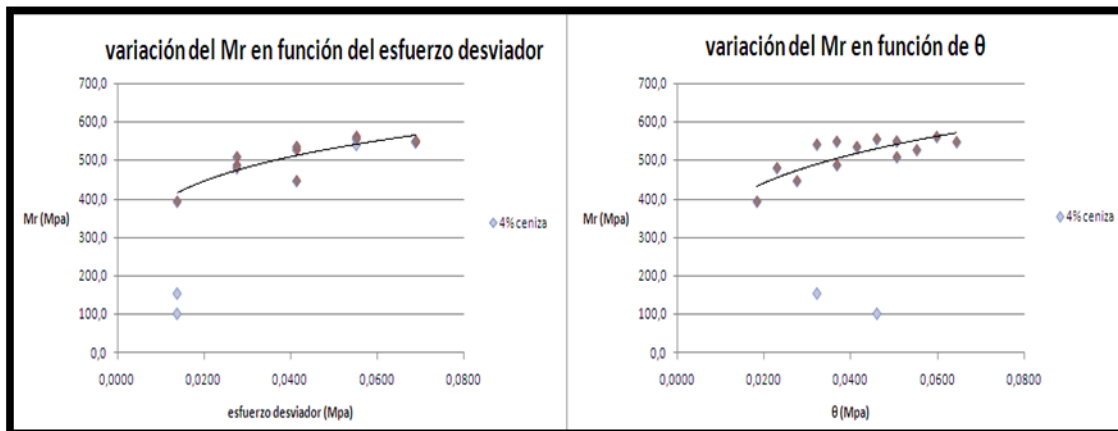
Para el suelo tres en estado original se observa una alta variabilidad de los resultados obtenidos por lo que el modelo constitutivo desarrollado a partir de esta serie de datos tendrá una baja precisión.

Figura 20. Variación del módulo resiliente para el suelo 3 en su estado original



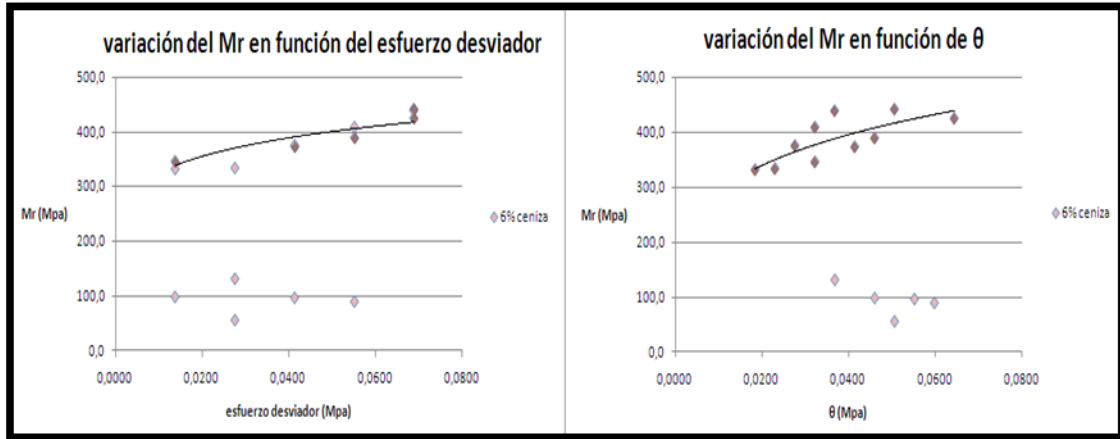
Fuente: autor del proyecto.

Figura 21. Variación del módulo resiliente del suelo 3 mas 4% de ceniza.



Fuente: autor del proyecto

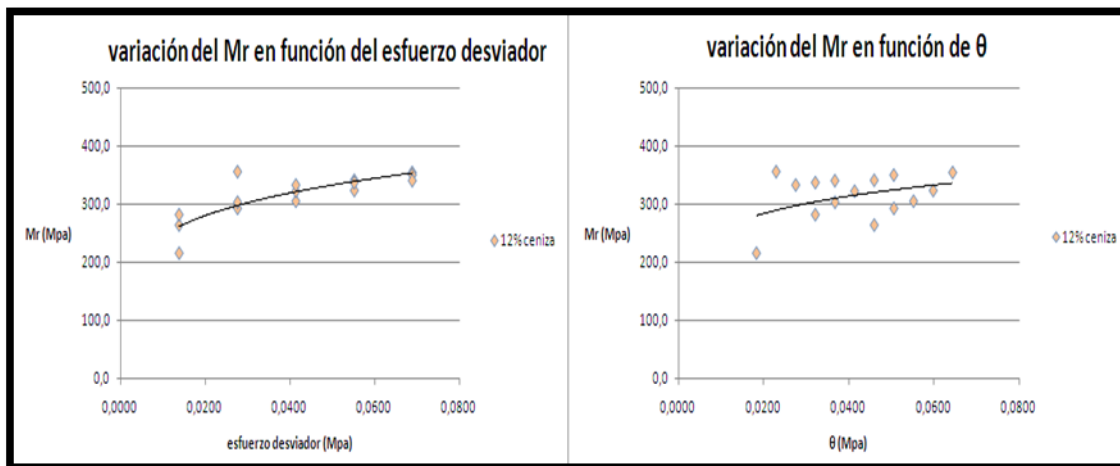
Figura 22. Variación del módulo resiliente del suelo 3 mas 6% de ceniza.



Fuente: autor del proyecto

Para el análisis de las mezclas de suelo 3 con el 4 y 6% de ceniza respectivamente se desecharon algunos valores que no se ajustaban dentro del rango de resultados obtenidos en el ensayo para brindar un mayor nivel de confianza a los modelos obtenidos a partir de estos.

Figura 23. Variación del módulo resiliente del suelo 3 mas 12% de ceniza.



Fuente: autor del proyecto

Tabla 6. Ecuaciones constitutivas del suelo 3 y sus combinaciones.

estado del suelo	Ecuación constitutiva	R	Ecuación constitutiva	R
original	$Mr=5154,8*\sigma_d^{1,1348}$	0,82	$Mr=1350,2*\theta^{0,7513}$	0,33
4% ceniza	$Mr=927,88*\sigma_d^{0,1866}$	0,86	$Mr=1051*\theta^{0,2217}$	0,81
6% ceniza	$Mr=635,73*\sigma_d^{0,156}$	0,90	$Mr=804,42*\theta^{0,2207}$	0,77
12% ceniza	$Mr=584,64*\sigma_d^{0,1884}$	0,82	$Mr=500,3*\theta^{0,1453}$	0,39

Fuente: autor del proyecto.

- Suelo 4

Tabla 7. Datos obtenidos del ensayo dinámico triaxial para el suelo 4

% CENIZA	PRESION DE CAMARA, Kpa	ESFUERZO AXIAL DESVIADOR TEÓRICO, Kpa	MÓDULO RESILIENTE, Mpa
0,0	41,4	13,8	198,4
0,0	41,4	27,6	352,1
0,0	41,4	41,4	386,3
0,0	41,4	55,2	294,6
0,0	41,4	68,9	398,7
0,0	27,6	13,8	285,9
0,0	27,6	27,6	353,8
0,0	27,6	41,4	411,5
0,0	27,6	55,2	354,1
0,0	27,6	68,9	461,2

Continuación tabla 7.

% CENIZA	PRESION DE CAMARA, Kpa	ESFUERZO AXIAL DESVIADOR TEÓRICO, Kpa	MÓDULO RESILIENTE, Mpa
0,0	13,8	13,8	333,2
0,0	13,8	27,6	385,8
0,0	13,8	41,4	282,7
0,0	13,8	55,2	386,5
0,0	13,8	68,9	468,4
4,0	41,4	13,8	218,8
4,0	41,4	27,6	305,2
4,0	41,4	41,4	318,0
4,0	41,4	55,2	337,1
4,0	41,4	68,9	336,8
4,0	27,6	13,8	235,2
4,0	27,6	27,6	305,4
4,0	27,6	41,4	330,4
4,0	27,6	55,2	341,4
4,0	27,6	68,9	347,7
4,0	13,8	13,8	260,3
4,0	13,8	27,6	303,8
4,0	13,8	41,4	322,3
4,0	13,8	55,2	354,8
4,0	13,8	68,9	357,3
6,0	41,4	13,8	497,6
6,0	41,4	27,6	430,9
6,0	41,4	41,4	535,1

Continuación tabla 7.

% CENIZA	PRESION DE CAMARA, Kpa	ESFUERZO AXIAL DESVIADOR TEÓRICO, Kpa	MÓDULO RESILIENTE, Mpa
6,0	41,4	55,2	680,1
6,0	41,4	68,9	784,6
6,0	27,6	13,8	361,6
6,0	27,6	27,6	484,3
6,0	27,6	41,4	631,2
6,0	27,6	55,2	764,2
6,0	27,6	68,9	813,7
6,0	13,8	13,8	213,2
6,0	13,8	27,6	444,0
6,0	13,8	41,4	592,0
6,0	13,8	55,2	713,4
6,0	13,8	68,9	790,6
10,0	41,4	13,8	54,1
10,0	41,4	27,6	172,7
10,0	41,4	41,4	446,2
10,0	41,4	55,2	899,6
10,0	41,4	68,9	852,2
10,0	27,6	13,8	244,2
10,0	27,6	27,6	653,4
10,0	27,6	41,4	724,5
10,0	27,6	55,2	940,8
10,0	27,6	68,9	897,7

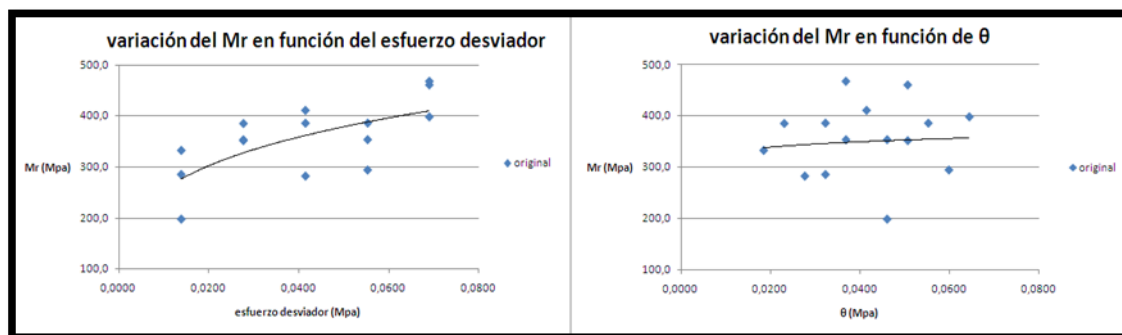
Continuación tabla 7.

% CENIZA	PRESION DE CAMARA, Kpa	ESFUERZO AXIAL DESVIADOR TEÓRICO, Kpa	MÓDULO RESILIENTE, Mpa
10,0	13,8	13,8	404,7
10,0	13,8	27,6	702,3
10,0	13,8	41,4	780,3
10,0	13,8	55,2	831,6
10,0	13,8	68,9	954,6

Fuente. CORASFALTOS. Proyecto “Desarrollo tecnológico del proceso de estabilización de subrasantes para la construcción de vías, usando mezclas de material mineral con cenizas provenientes de ECOPETROL”

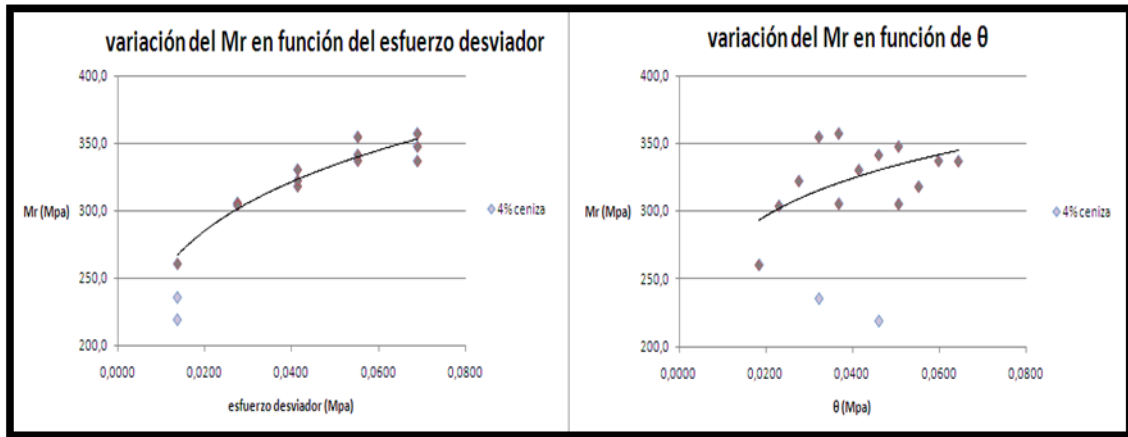
En la Figura 24. Se observa que los datos se encuentran dispersos por lo que el modelo obtenido a partir de estos tendrá una baja precisión.

Figura 24. Variación del módulo resiliente para el suelo 4 en su estado original



Fuente: autor del proyecto.

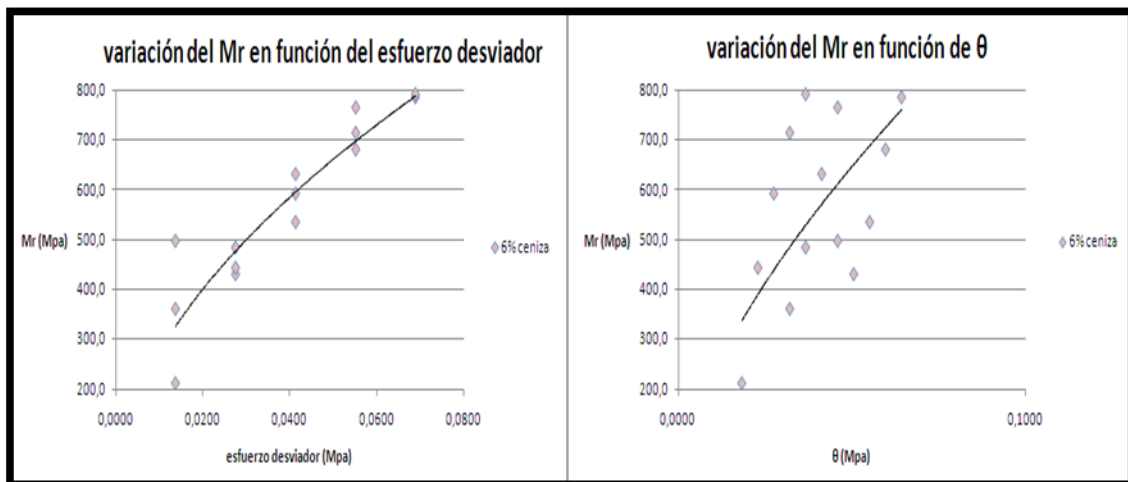
Figura 25. Variación del módulo resiliente del suelo 4 mas 4% de ceniza.



Fuente: autor del proyecto

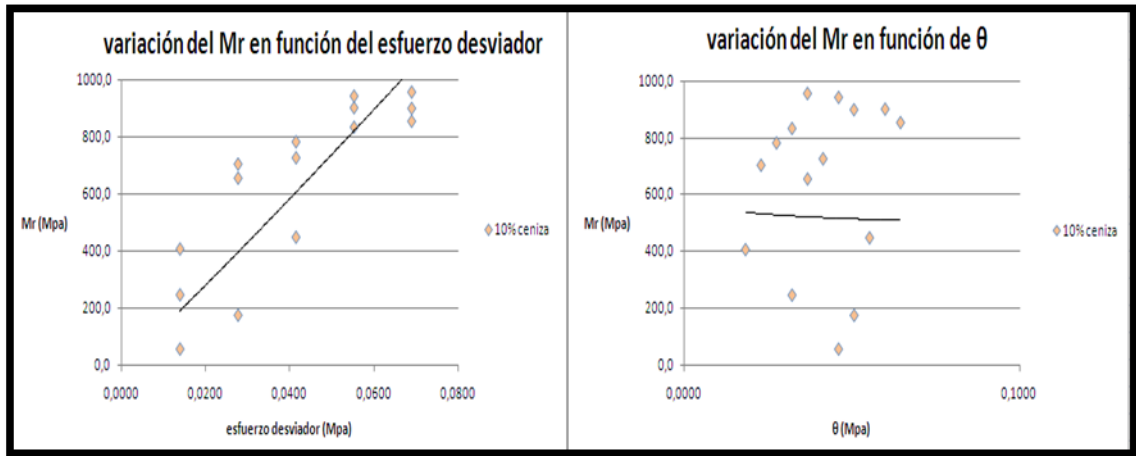
Para la mezcla de suelo cuatro con el 4% de ceniza no se desecharon del análisis dos datos que se encontraban fuera del comportamiento obtenido dentro del ensayo buscando una mayor precisión en el producto final.

Figura 26. Variación del módulo resiliente del suelo 4 mas 6% de ceniza.



Fuente: autor del proyecto

Figura 27. Variación del módulo resiliente del suelo 4 mas 10% de ceniza.



Fuente: autor del proyecto

A continuación en la Tabla 8. Se muestran las ecuaciones constitutivas obtenidas para el suelo cuatro y sus respectivas combinaciones, además del grado de precisión del modelo representado en el coeficiente de correlación.

Tabla 8. Ecuaciones constitutivas del suelo 4 y sus combinaciones.

estado del suelo	Ecuación constitutiva	R	Ecuación constitutiva	R
original	$Mr=790,76*\sigma_d^{0,2455}$	0,66	$Mr=402,87*\theta^{0,0439}$	0,07
4% ceniza	$Mr=561,87*\sigma_d^{0,1736}$	0,96	$Mr=491,95*\theta^{0,1294}$	0,57
6% ceniza	$Mr=3408,9*\sigma_d^{0,5476}$	0,88	$Mr=4493,9*\theta^{0,6474}$	0,63
10% ceniza	$Mr=17612*\sigma_d^{1,0591}$	0,77	$Mr=451,97*\theta^{-0,043}$	0,02

Fuente: autor del proyecto.

3.5 CONCLUSIONES.

A partir de datos obtenidos mediante el ensayo dinámico triaxial desarrollado en el laboratorio se obtuvo para los materiales ensayados ecuaciones constitutivas que representan la relación del comportamiento elástico de dicho material bajo la aplicación de una carga dinámica teórica.

En general se observó que las ecuaciones constitutivas dadas en función del esfuerzo desviador se ajustan de mejor manera a los valores medidos en los ensayos pero no se puede afirmar que los modelos representen el comportamiento del material con un alto nivel de confianza pues las correlaciones son muy bajas, por lo que se recomienda afinar el ensayo en CORASFALTOS realizándolo con el material en condiciones de humedad crítica.

Los materiales no fueron evaluados en condiciones críticas de humedad por lo que se observan valores de módulo resiliente elevados.

4. CONCLUSIONES

- Se ejercitaron y afianzaron conocimientos obtenidos durante el proceso de formación académica mediante el desempeño como técnico de laboratorio en CORASFALTOS.
- Mediante el desarrollo de la práctica empresarial en CORASFALTOS se conoció un factor importante en el funcionamiento del laboratorio y de la empresa como es el Sistema de Gestión de Calidad (SGC).
- Por medio de la participación activa dentro del proyecto “Desarrollo tecnológico del proceso de estabilización de subrasantes para la construcción de vías, usando mezclas de material mineral con cenizas provenientes de ECOPETROL” se conoció y ahondó en el campo de la geotecnia principalmente en lo que tiene que ver con la estabilización de suelos.
- Se obtuvieron habilidades, con fundamento científico, para realizar diversos ensayos sobre suelos adquiriendo criterio práctico en la toma de decisiones aplicando de manera crítica y práctica conocimientos adquiridos durante la formación académica por medio de la participación en un grupo interdisciplinario de un centro de investigación desarrollo e innovación (I+D+I).

BIBLIOGRAFÍA

DAS, Braja. Fundamentos de ingeniería geotécnica. México. International Thomson Editores, S.A. de C.V. 2001. 585 p.

GUTIÉRREZ LAZARES, Wilfredo y LIMAYMANTA, Felicita. Ensayo de Módulo Resiliente. XIV congreso Nacional de Ingeniería Civil. Iquitos Perú. 2003. 11 p.

INSTITUTO NACIONAL DE VIAS. Normas Técnicas de ensayos para carreteras. Bogotá. INVIAS, 2007.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS ICONTEC. Presentación de tesis, trabajos de grado y otros trabajos de investigación. NTC 1486 I.C.S.:01.140.20. Sexta actualización. Bogota.2008. 36 p.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS ICONTEC. Referencias Bibliográficas. Contenido, forma y estructura. NTC 5613 I.C.S.:01.140.20. Bogota.2008. 33 p.

JUAREZ BADILLO, Eulalio y RICO RODRIGUEZ, Alfonso, Mecánica de suelos. Tomo 1. México. Limusa. 2005. 644 p. ISBN: 968-18-0069-9.