

**ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO EN SUELOS MEJORADOS
CON FIBRAS SINTÉTICAS.**

**WILLIAM ANDRÉS ESPINOSA PEÑA
LUIS CARLOS RODRÍGUEZ GONZÁLEZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO – MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2014

**ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO EN SUELOS MEJORADOS
CON FIBRAS SINTÉTICAS.**

**WILLIAM ANDRÉS ESPINOSA PEÑA
LUIS CARLOS RODRÍGUEZ GONZÁLEZ**

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

**Director
MARIO HERNÁN RAMÍREZ CARRERO
Ingeniero Civil, Msc**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO – MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2014

A nuestro padre celestial
A Mis Padres y Hermanos
A mis Amigos de Universidad

William Espinosa P.

A nuestro padre todo poderos

A Mis Padres y Hermanos

Luis Carlos R.

AGRADECIMIENTOS

Como autores de este proyecto damos agradecimiento a:

Nuestro padre celestial; quien nos acompañó y brindo su sabiduría en todo momento

Nuestros padres quienes son nuestra mayor fuente de inspiración y eje central de sabiduría.

Ingeniero Mario Hernán Ramírez director de nuestro proyecto quien estuvo atento y brindo su conocimiento en todo momento

Jefferson Giovanny, quien me apoyo en todo momento y me brindo su respaldo incondicional.

TABLA DE CONTENIDO

	PÁG
INTRODUCCIÓN	17
OBJETIVO GENERAL	18
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	19
1. MARCO TEORICO.....	20
1.1. Referencia I	20
1.2. Referencia II	21
2. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES	21
2.1. Selección del Material.....	21
2.2. Descripción del Material utilizado como Refuerzo	22
2.3. Características Físico – Mecánicas	22
2.4. Características Mecánicas.....	22
2.5. Ventajas y Beneficios.....	23
2.6. Archivo Fotográfico Fibratex.....	23
3. SUELO	24
4. CLASIFICACIÓN DEL SUELO	24
4.1. Granulometría.....	24
4.2. Límites	25
5. RESISTENCIA DEL SUELO	25
5.1. Relaciones de Humedad – Masa Unitaria Seca	25
5.2. Ensayo de Corte Directo.....	26
5.3. Compresión Simple	33
5.4. Capacidad de Soporte de Suelo (CBR)	35
5.5. Archivo Fotográfico CBR.....	40
6. OBSERVACIONES	40
7. RECOMENDACIONES	41
8. CONCLUSIONES.....	42
BIBLIOGRAFÍA	43
ANEXOS.....	44

LISTA DE TABLAS

	PÁG
Tabla 1. Clasificación de suelo #1	24
Tabla 2. Clasificación suelo #2.....	24
Tabla 3. Limites.....	25
Tabla 4. Humedad optima y densidad seca.....	25
Tabla 5. Relación esfuerzo cortante.....	26
Tabla 6. Aumento de la cohesión del suelo.....	27
Tabla 7. Aumento del Angulo de fricción.....	28
Tabla 8. Relación esfuerzo Tangencial.....	29
Tabla 9. Aumento de la Cohesión.....	30
Tabla 10. Aumento del Angulo de fricción.....	31
Tabla 11. Mejoramiento con 0.5% de fibra.....	32
Tabla 12. Cargas soportadas por el suelo CL.....	33
Tabla 13. Cargas soportada por el suelo ML.....	33
Tabla 14. Expansión suelo CL.....	35
Tabla 15. CBR suelo CL.....	36
Tabla 16. Expansión suelo ML.....	37
Tabla 17. CBR suelo ML.....	39

LISTA DE IMÁGENES

	PAG
Imagen 1. Verificación de medidas.....	23
Imagen 2. FIBRATEX.....	23
Imagen 3. Inspección de fibras.....	23
Imagen 4. Propiedades físicas de FIBRATEX.....	23
Imagen 5. Suelo #1.....	24
Imagen 6. Suelo #2.....	24
Imagen 7. Elaboración Procto.....	25
Imagen 8. Mezcla Suelo – Fibra.....	29
Imagen 9. Equipo para CBR.....	34
Imagen 10. Probetas sumergidas ensayo CBR.....	34
Imagen 11. Proceso de homogenización Fibra – Suelo.....	39

LISTA DE GRAFICOS

	Pág
Grafica 1. Comparación del aumento de esfuerzos suelo CL.....	26
Grafica 2. Comparación de la cohesión suelo CL.....	27
Grafica 3. Comparación del Angulo de fricción suelo CL.....	28
Grafica 4 Comparación del aumento de esfuerzos suelo ML.....	30
Grafica 5 Comparación de la cohesión suelo ML.....	31
Grafica 6 Comparación del Angulo de fricción suelo ML.....	32
Grafica 7 . Comparación de carga axial suelo CL.....	33
Grafica 8 Comparación de carga axial suelo ML.....	34
Grafica 9 Suelo CL a 12 golpes.....	35
Grafica 10 Suelo CL a 25 golpes.....	35
Grafica 11 Suelo CL a 56 golpes.....	36
Grafica 12 Comparación de presión a 1" Suelo CL.....	36
Grafica 13 Comparación de presión a 2" Suelo CL.....	36
Grafica 14 Suelo ML a 12 golpes.....	37
Grafica 15 Suelo ML a 25 golpes.....	37
Grafica 16 Suelo ML a 56 golpes.....	38
Grafica 17 Comparación de presión a 1" Suelo ML.....	38
Grafica 18 Comparación de presión a 2" Suelo ML.....	38

LISTA DE ANEXOS

	PAG
ANEXO A. ENSAYOS DE GRANULOMETRÍA.....	45
ANEXO B. LIMITES DE ATTENBERG.....	47
ANEXO C. ENSAYOS DE COMPACTACIÓN.....	48
ANEXO D. ENSAYOS DE CORTE DIRECTO	50
ANEXO E. ENSAYOS DE CBR.....	62

RESUMEN

TÍTULO: ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO EN SUELOS MEJORADOS CON FIBRAS SINTÉTICAS.*

AUTOR: WILLIAM ANDRÉS ESPINOSA PEÑA
LUIS CARLOS RODRÍGUEZ GONZÁLEZ**

PALABRAS CLAVE: Corte directo, Fibratex, polietileno de alta densidad, dosificación, CBR, Proctor modificado.

DESCRIPCION

Entidades nacionales e internacionales orientan sus investigaciones hacia procesos que optimicen la resistencia, la estabilización y el mantenimiento de los suelos arcillosos y arenosos. Es por esto que la presente investigación propone el uso de fibras sintéticas para mejorar las propiedades mecánicas del suelo, para disminuir los altos costos empresariales y para propiciar la estabilidad, la resistencia, el mantenimiento y la calidad de los mismos.

Las fibras seleccionadas para este procedimiento deben cumplir con ciertas condiciones de adherencia y resistencia, las cuales son evaluadas previamente por la empresa productora de las fibras. Estas fibras, junto con el suelo, son sometidas a diversos ensayos en los laboratorios de la Universidad Industrial de Santander con el ánimo de dosificar cada agregado de fibra, hasta establecer la relación que denote la mejoría del suelo analizado. Finalmente, el suelo modificado con fibras debe presentar ciertas características mecánicas como resistencia al esfuerzo cortante y mayor durabilidad. Todo esto para garantizar un mejor desempeño en el suelo normalmente utilizado. Las diversas dosificaciones evidencian mejorías, las cuales llevan a definir un porcentaje en relación con el peso del suelo respecto a la fibra utilizada, para cada uno de los suelos a estudiar en este caso ML y CL de acuerdo a las propiedades de cada uno.

* Proyecto de Grado

** Facultad de Ingeniarías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Ing. Msc. Mario Hernán Ramírez Carrero

ABSTRACT

TÍTULO: STUDY OF MECHANICAL BEHAVIOR IN SOIL IMPROVED WITH SYNTHETIC FIBERS*

AUTHORS: WILLIAM ANDRÉS ESPINOSA PEÑA
LUIS CARLOS RODRÍGUEZ GONZÁLEZ**

KEY WORDS: Direct shear, Fibratex, HDPE, dosage, CBR, modified Proctor.

DESCRIPTION

National and international organizations focus their studies and research on processes that optimize strength, stabilization and maintenance of clayey and sandy soils. That is why this research proposes the use of synthetic fibers to improve the mechanical properties of the soil, to reduce the high business costs to promote stability, endurance, and maintenance soil quality.

The fibers selected for this procedure must comply with certain conditions of adherence and resistance, which are previously evaluated by the producer of the fibers. Then, these fibers are subjected together with the soil to various tests in the laboratories at the Industrial University of Santander (Universidad Industrial de Santander) with the aim to dose each aggregate, to establish the relationship denoting the improvement of the analyzed soil. Finally, the modified soil with fibers should exhibit certain mechanical properties such as shear strength and durability. All this to ensure better performance in the normally used soil and likewise we may notice improvements with different dosages, which would lead to define a percentage relative to the weight of the soil with respect to the fiber used, for each of the floors in this case studied ML and CL according to the properties of each.

* Graduation Project

** Faculty of physicomechanical Ingeniarías. School of Civil Engineering. Director: Ing Msc.. Hernan Ramirez Mario Carrero

INTRODUCCIÓN

Las civilizaciones antiguas utilizaron paja y heno para reforzar bloques de barro para la construcción. En la presente investigación se utiliza un método similar de refuerzo con fibras sintéticas. Se busca crear una masa de suelo con componentes discretos, fibras sintéticas, que proporcionen una mejora en el comportamiento mecánico del suelo. Ahora, la vegetación contribuye a la estabilidad de las pendientes por presentar una adición de fuerza en la superficie del suelo, sin embargo la tensión efectiva es baja.

Los beneficios de refuerzo en la presente investigación proceden de los mecanismos de interacción fibra - partículas. Para lograr dicha interacción se evalúan las propiedades de las fibras (tipo, fracción de volumen, relación de aspecto, módulo de elasticidad y orientación) y las características del suelo (tamaño, forma, gradación y densidad). De esta manera, la inclusión de fibras actúa predominantemente en tensión. Y las observaciones muestran consistentemente un incremento en la resistencia a la compresión. Este aumento de la fuerza está relacionado con la "unión" de las partículas del suelo junto con las fibras flexibles.

Durante el proceso se busca resumir algunas de las características en comportamiento de los suelos reforzados con fibras, mediante la observación experimental y los resultados numéricos.

OBJETIVO GENERAL

Caracterizar y verificar el comportamiento mecánico de un suelo modificado con fibras naturales y sintéticas.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar el comportamiento del suelo con diferentes porcentajes de fibras.
- Determinar las propiedades de rigidez y resistencia a la compresión de suelos modificados con fibras.
- Analizar el comportamiento al esfuerzo cortante en los suelos mejorados
- Caracterizar los componentes del material a mezclar, compuesto por fibras y suelos.

1. MARCO TEORICO

Para la ejecución de este proyecto se le dio uso a información producto de proyectos de investigación antiguos realizados por estudiantes de ingeniería civil y dirigidos por docentes de la escuela, en donde verificaremos las dosificaciones y materiales que se pusieron a prueba y de esta manera poder enriquecer esta área de la investigación en donde se implementa la adición de fibras a los suelos para mejorar la capacidad de los mismos.

1.1.Referencia I

Álvaro J. Barragán, Cesar A Velasco. (2009) Análisis del comportamiento de suelos reforzados con polietileno de baja densidad.

En esta investigación los autores desean analizar los efectos de la adición de residuos de polietilenos de baja densidad(LDPE) en suelos esencialmente finos y arenas con finos, en sus propiedades geomecánicas, a diferentes escalas

CONCLUSIONES ENCONTRADAS

la investigación realizada da como resultado que el polietileno de baja densidad es un buen material para reforzar e incrementar la resistencia de suelos finos y fino – granulares. Aumentando la resistencia de los suelos de Lebrija en un 2.5% en las probetas medianas y en un 3.9% en las probetas a mayor escala, en tanto que el suelo de Piedecuesta aumenta su resistencia en un 3.5% en las probetas medianas y en un 4.5% en las probetas de mayor tamaño.

Cuando se le adiciona el polietileno de baja densidad al suelo en dimensiones muy grandes, la resistencia disminuye debido a que el plástico no quedad distribuido uniformemente y se aglomera dando como resultado la no uniformidad de la muestra.

1.2. Referencia II

Giovanny A. Rey, Jhon E. Pacheco (2009)

Análisis del Comportamiento de suelos reforzados con fibra sintética TOXEMENT

Estudiar el comportamiento de suelos Finos – Granulares bajo adición de fibras sintéticas producidas por TOXCEMENT para mejoramiento de las propiedades mecánicas

CONCLUSIONES ENCONTRADAS

Los porcentajes de fibra utilizados en los ensayos de compresión simple aumentaron la resistencia del suelo.

La investigación realizada da como resultado que la fibra sintética TOXCEMENT es un excelente material para reforzar y mejorar las propiedades de resistencia de los suelos fino granulares debido al aumento en la resistencia al corte o cortante, a la compresión simple y la capacidad de penetración de los suelos estudiados.

2. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

2.1. Selección del Material

Para la selección del material de refuerzo se realizó una investigación sobre el historial de materiales utilizados como refuerzo tanto en suelos como en concretos. Dicha investigación concluyó utilizar como refuerzo FIBRATEX, una fibra para refuerzo de concretos que evita deformaciones inmediatas. Debido a que esta fibra no ha sido utilizada en suelos, se toma como referencia innovadora en esta investigación.

2.2. Descripción del Material utilizado como Refuerzo

La fibra sintética FIBRATEX a base de polipropileno virgen de alta densidad, de tipo fibrilado ordenado, es químicamente inerte y no tóxico. Ofrece como ventaja la mejoría de un suelo que en su futuro puede ser reutilizado, ya que la composición del material no afecta las propiedades químicas del suelo

FIBRATEX es una fibra sintética de polipropileno que se añade a la mezcla de concreto para prevenir rupturas o el rápido envejecimiento causado por la acción del tiempo y los cambios bruscos de temperatura.

2.3. Características Físico – Mecánicas

- Material 100% polipropileno virgen
- Tipo: fibra o cinta fibrilada ordenada
- Gravedad específica 0.91 G/cm³ (norma ASTM- D1505)
- Color natural
- Índice de fluidez (Norma ASTM –D1505)
- Punto de fusión 166°C(300°F)
- Punto de Ignición 590°C(1100°F)
- Resistencia química a base y agentes oxidantes
- Resistencia química a los ácidos y álcalis
- Resistencia al moho y a los micro organismos
- Absorción de agua 20°C
- En conformidad con la norma ASTM C – 1116

2.4. Características Mecánicas

- Resistencia a la tensión 80 KSI (Según Norma ASTM D- 2936)
- Resistencia a la tracción 70.000psi (Según Norma ASTM D- 638)
- Módulo de elasticidad 0.70 X10⁶ psi (Según Norma ASTM C- 459)
- Elongación hasta el rompimiento 8% (min) (Según Norma ASTM 638)
- Resistencia a la abrasión Buena (Según Norma ASTM C - 944)
- Conductividad térmica y eléctrica baja

2.5. Ventajas y Beneficios

- Controla el agrietamiento
- Reemplaza la malla electro soldada en algunas aplicaciones
- Posee distribución tridimensional uniforme, que permite un mejor control de grietas y rupturas
- Mejora la resistencia al impacto, a la ductibilidad, a la fatiga y a la dureza
- No presenta reacción química con los ingredientes del concreto y no absorbe agua
- Presenta su acción como agente cohesivo y aglutinador
- Es económico

2.6. Archivo Fotográfico Fibratex.



Imagen 1. Verificación de medidas

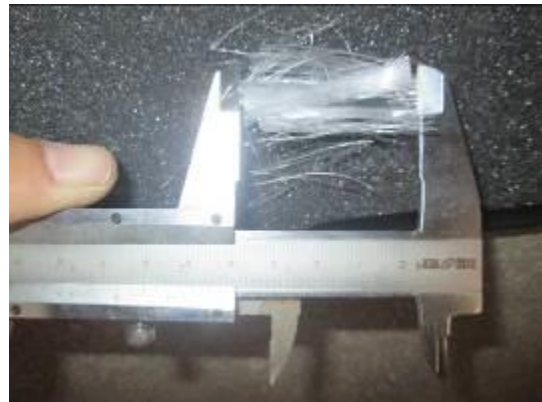


Imagen 2. FIBRATEX



Imagen 3 .Inspección de Fibras



Imagen 4. Propiedades físicas FIBRATEX

3. SUELO

El suelo utilizado en el estudio se recolecta en los alrededores del municipio de Floridablanca, Santander.



Imagen 5. Suelo #1

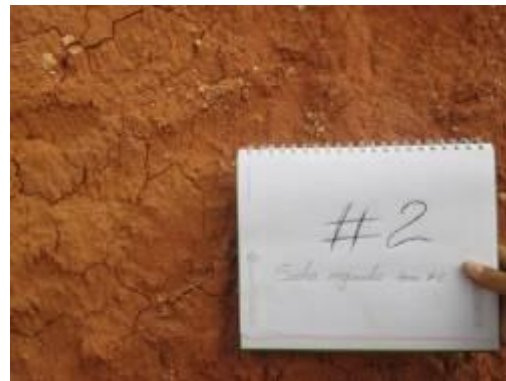


Imagen 6. Suelo #2

4. CLASIFICACIÓN DEL SUELO

4.1. Granulometría

La clasificación del suelo estuvo basada en la Norma I.N.V.E 123-07 “Análisis Granulométrico de suelos por Tamizado”

Clasificación suelo #1	
% Gravas	3,38
% Arenas	41,28
% Finos	55,34

Tabla 1. Clasificación suelo #1

Clasificación suelo #2	
% Gravas	0,3
% Arenas	40,8
% Finos	58,8

Tabla 2. Clasificación suelo #2

Resultados

Según la granulometría podemos clasificar los suelos como **Suelos Finos**.

4.2. Límites

Se ejecutó el respectivo procedimiento de acuerdo a la Norma I.N.V.E 125- 07 “Determinación del límite líquido de los suelos” y Norma I.N.V.E 126 – 07 “Limite Plástico e índice de plasticidad de suelos”

	LL	LP	IP	Clasificación
Apique #1	36	21.18	14	CL
Apique #2	0	0	0	ML

Tabla 3. Límites

5. RESISTENCIA DEL SUELO

5.1. Relaciones de Humedad – Masa Unitaria Seca

Relaciones de Humedad – Masa Unitaria Seca en los suelos (ensayo modificado de compactación) Norma I.N.V.E – 142 – 07



Imagen 7. Elaboración Procto

RESULTADOS: Los resultados se muestran a continuación en la tabla 4.

Suelo	% Humedad	Densidad máxima (gr/cm ³)
CL	12.79	1.89
ML	14.35	1.63

Tabla 4. Humedad óptima y densidad seca máxima.

5.2. Ensayo de Corte Directo

Basado en la Norma I.N.V.E – 154- 07 “Determinación de la resistencia al corte método de corte directo”

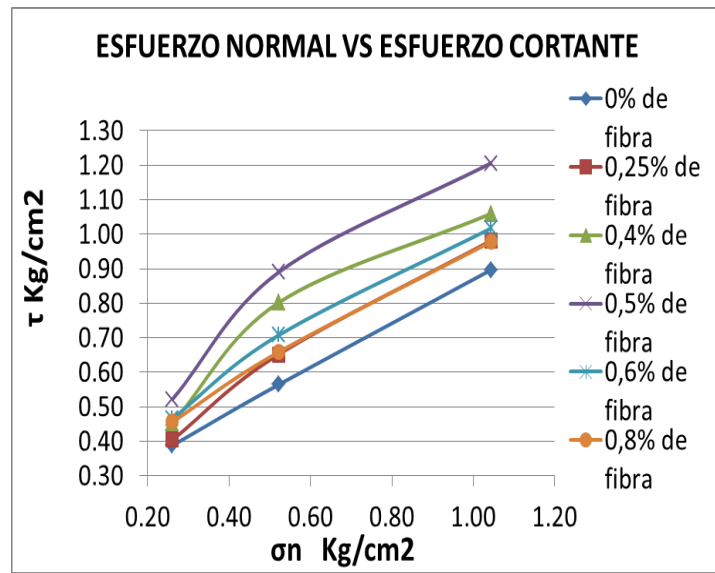
Suelo CL

Se realiza una serie de ensayos con diferentes dosificaciones de fibra, los resultados de los esfuerzos se muestran en la Tabla #5.

Comparación de esfuerzos suelo CL						
σ_n Kg/cm ²	τ Kg/cm ²					
	0%	0.25%	0.40%	<u>0.50%</u>	0.60%	0.80%
0.26	0.39	0.40	0.45	<u>0.52</u>	0.47	0.46
0.52	0.56	0.65	0.80	<u>0.89</u>	0.71	0.66
1.04	0.90	0.98	1.06	<u>1.21</u>	1.02	0.98

Tabla 5. Relación esfuerzo cortantes

La prueba evidenció un aumento en el esfuerzo cortante, tal como se muestra en la gráfica, el esfuerzo cortante frente al esfuerzo normal.



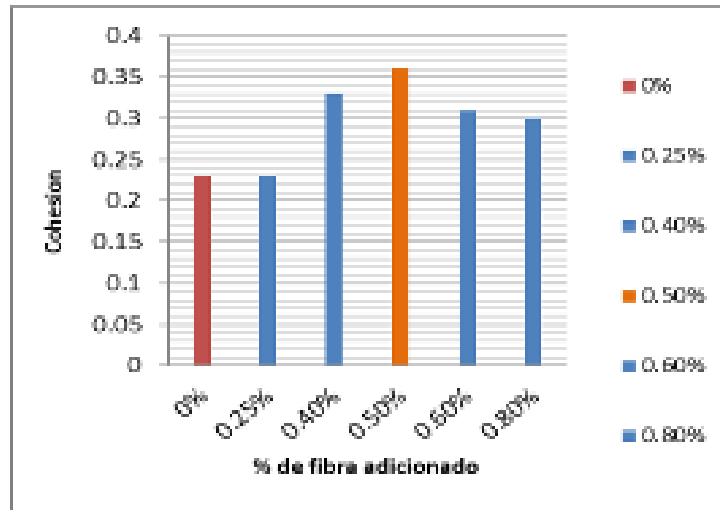
Grafica 1. Comparación del aumento de esfuerzo suelo CL

El análisis demuestra que la cohesión aumenta de manera significativa en un 56%, para el caso de la dosificación en un 0.5% de fibra en relación con el peso del suelo CL Tabla # 6.

% de fibra	Cohesión	Aumento
0%	0,23	
0,25%	0,23	0,0%
0,40%	0,33	43,5%
0,50%	0,36	56,5%
0,60%	0,31	34,8%
0,80%	0,3	30,4%

Tabla 6. Aumento de la cohesión del suelo

La comparación del aumento de la cohesión del suelo con las dosificaciones utilizadas CL evidencia un aumento en las propiedades de cohesividad. “Grafica # 2”.



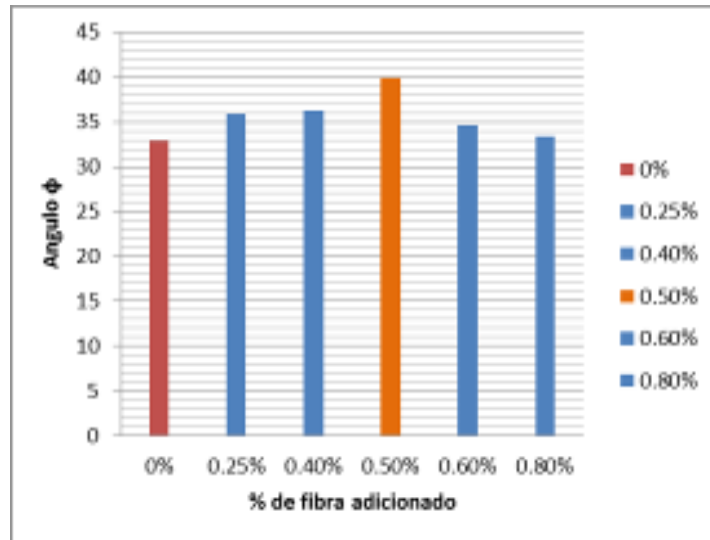
Grafica 2. Comparación de la cohesión suelo CL

El análisis de los resultados presenta la variación del ángulo de fricción en el suelo, según la dosificación de fibra. Por consiguiente, la relación 0.5% de fibra en el suelo evidencia mejoras en las propiedades físicas. Tabla # 7.

% de fibra	Angulo ϕ	Aumento
0%	32.94	
0.25%	35.83	8.8%
0.40%	36.28	10.1%
0.50%	39.9	21.1%
0.60%	34.61	5.1%
0.80%	33.34	1.2%

Tabla # 7 aumento del ángulo de fricción

En la gráfica podemos comparar el ángulo de fricción con la cantidad de fibra adicionada en base y su relación peso - fibra en el suelo CL. Grafica # 3.



Grafica 3. Comparación del Angulo de fricción suelo CL



Imagen 8. Mezclas Suelo- fibra

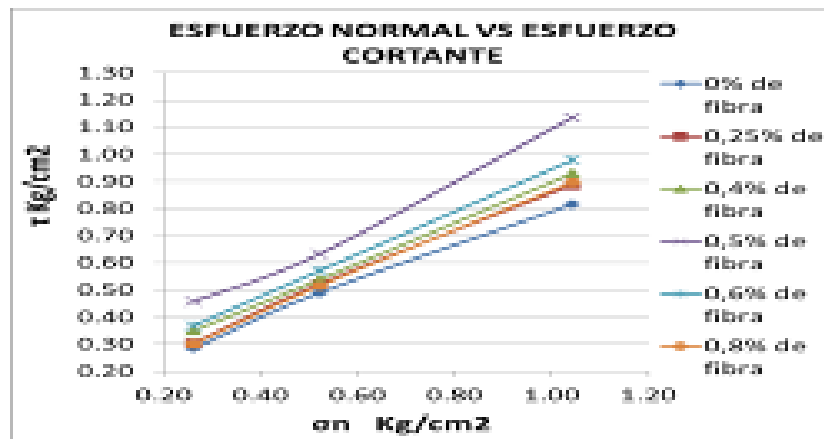
SUELO ML

Se elaboraron diversos ensayos con diferentes cantidades de fibras, las cuales se agregan en relación con el peso del suelo. Los resultados de los esfuerzos cortantes y de los esfuerzos normales se muestran en la Tabla #8.

Comparación de esfuerzos suelo ML						
σ_n Kg/cm ²	τ Kg/cm ²					
	0%	0.25%	0.40%	<u>0.50%</u>	0.60%	0.80%
0.26	0.28	0.30	0.35	<u>0.46</u>	0.368	0.300
0.52	0.49	0.52	0.54	<u>0.63</u>	0.570	0.515
1.04	0.81	0.89	0.93	<u>1.13</u>	0.978	0.896

Tabla 8. Relación esfuerzo tangencial

Las diferentes relaciones de fibra adicionada al suelo muestran cómo aumentan o disminuyen los esfuerzos cortantes respectivamente. De la misma manera se demuestra que la dosificación de 0.5% del peso del suelo en fibra mejora las propiedades suelo. Grafica # 4.



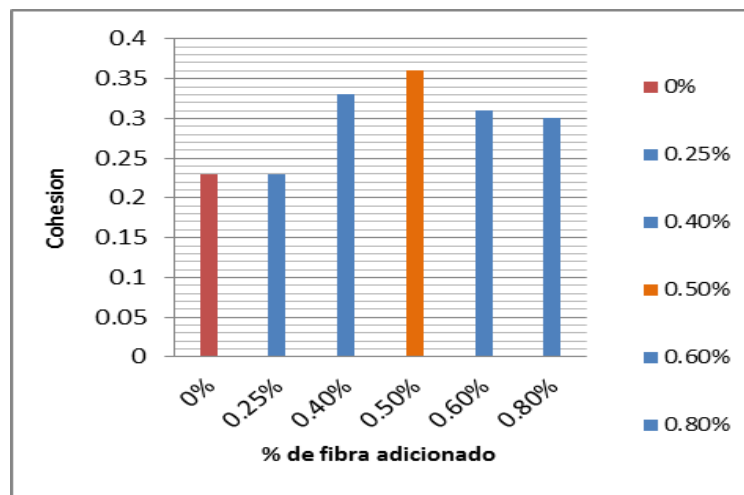
Grafica 4. Comparación del aumento de esfuerzos suelo ML

El análisis de los esfuerzos permite identificar cómo aumenta la cohesión en la medida en que se aumentan las cantidades de fibras en las muestras. Se evidencia cómo la cohesión disminuye si sobrepasamos el porcentaje de fibra, es así como podemos identificar el porcentaje de fibra óptimo para mejorar nuestro suelo ML. Tabla # 9.

% de fibra	Cohesión	Aumento
0%	0,12	
0,25%	0,12	0,0%
0,40%	0,15	25,0%
<u>0,50%</u>	<u>0,19</u>	<u>58,3%</u>
0,60%	0,16	33,3%
0,80%	0,11	8,3%

Tabla 9. Aumento de la cohesión.

La comparación de las diferentes dosificaciones demuestra un aumento de la cohesión, según el porcentaje de fibra adicionado al suelo ML. Grafica # 5.

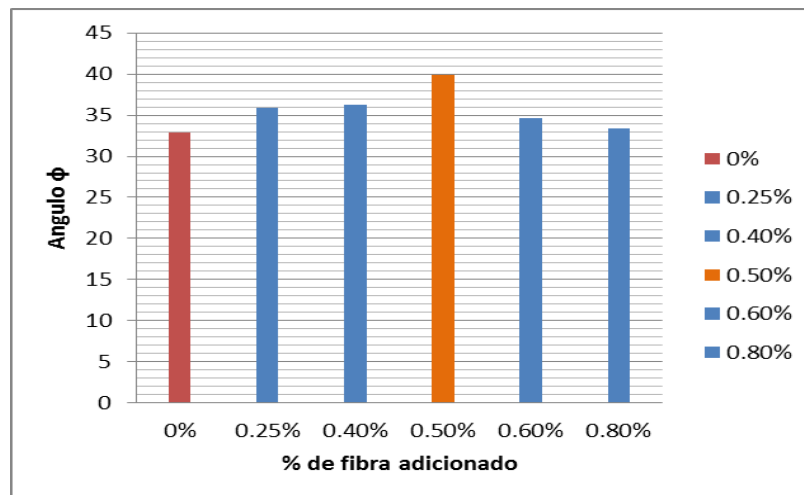


Grafica 5. Comparación de la cohesión suelo ML.

El análisis de los resultados denota cómo el ángulo de fricción varía según la cantidad de fibra adicionada. De esta manera, se confirma que la relación 0.5% de fibra en el suelo presenta un cambio significativo que mejora las propiedades físicas del suelo. Tabla # 10.

% de fibra	Angulo ϕ	Aumento
0%	33,8	
0,25%	36,46	7,9
0,40%	36,58	8,2
<u>0,50%</u>	<u>41,35</u>	<u>22,3</u>
0,60%	37,95	12,3
0,80%	37,23	10,1

Tabla10. Aumento del ángulo de fricción.



Grafica 6. Comparación del Angulo de fricción suelo ML

El análisis de los resultados evidencia que una mezcla de 0.5% en relación con la cantidad de suelo mejora sus propiedades físicas. Tabla # 11.

Suelo	Cohesión	Aumento	Angulo ϕ	Aumento
CL	0.36	56.5%	39.9	21.1%
ML	0.19	58.3%	41.35	22.3%

Tabla 11. Mejoramiento con 0,5% de fibra.

RELACIÓN DE ESFUERZO CORTANTE Y ESFUERZO NORMAL

Los refuerzos aumentan de una manera significativa para ambos tipos de suelos cuando utilizamos una relación de mezcla de 0.5% en relación con el peso del suelo, de esta manera, se puede enfocar nuestra investigación en base a esta dosificación, la cual se somete a nuevos laboratorios para encontrar la capacidad de soporte del suelo(CBR) y así, establecer la relación de la fibra con la mezcla óptima.

5.3. Compresión Simple

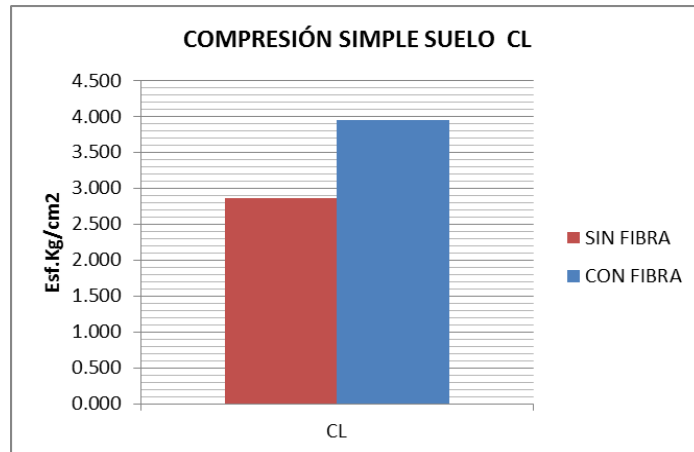
“Compresión Incofinada en muestras de Suelos” Norma I.N.V.E 152 – 07

Es influyente conocer como el comportamiento del suelo cuando se somete a compresión es así como notamos si las fibras se adhieren a las partículas del suelo

SUELO CL

COMPRESIÓN SIMPLE SUELO CL		
% de fibra	0%	0.5%
qu (Kg/cm2)	2.863	3.944
Aumento	37.74	%

Tabla 12. Carga soportada por el suelo CL

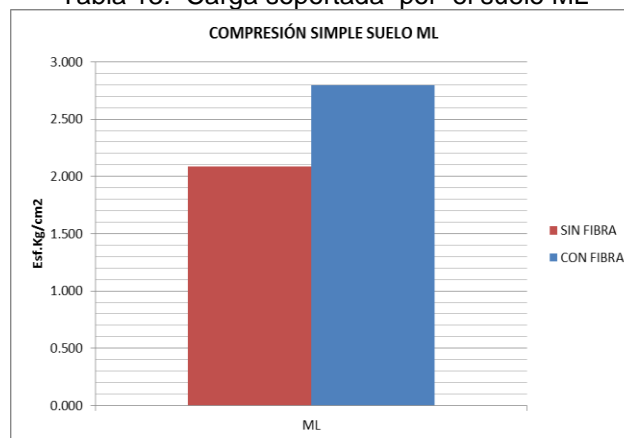


Grafica 7. Comparación de carga axial suelo CL

SUELO ML

COMPRESIÓN SIMPLE SUELO ML		
% de fibra	0%	0.5%
qu (Kg/cm ²)	2.088	2.798
Aumento	33.97	%

Tabla 13. Carga soportada por el suelo ML



Grafica 8. Comparación de carga axial suelo ML

Es de notar como el suelo mejora notablemente cuando adicionamos fibras en una relación de 0.5% fibra en cuanto al peso del suelo.

5.4. Capacidad de Soporte de Suelo (CBR)

“Relación de soporte del suelo en el laboratorio” (CBR de laboratorio) Norma I.N.V.E 148- 07. De acuerdo con los estudios y laboratorios, es importante conocer si la mezcla entre el suelo y la fibra obtenida como mezcla óptima (0.5%) cumple con las necesidades de capacidad. Imagen 7, equipo utilizado.



Imagen 9. Equipo para CBR



Imagen 10. Probetas sumergidas ensayo de CBR

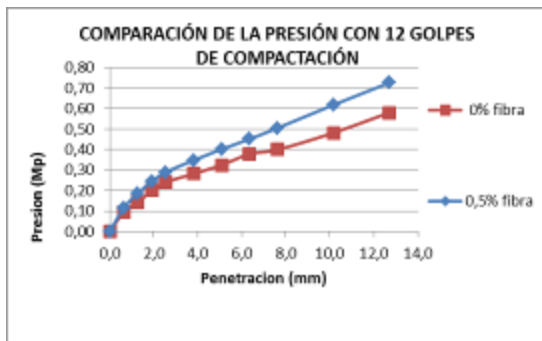
RESULTADOS SUELO CL

Se calcula la expansión del suelo natural y con el porcentaje óptimo de fibra al estar sumergido en agua durante 4 días. Tabla # 14.

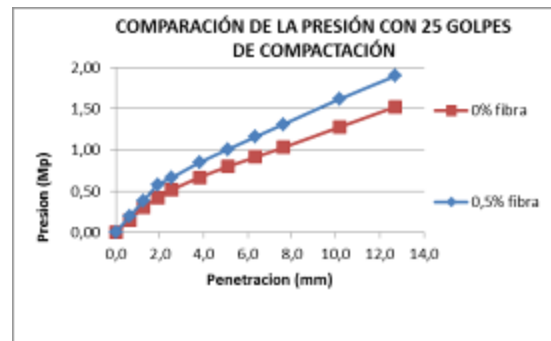
EXPANSIÓN SUELO CL		
GOLPES	SIN FIBRA	CON FIBRA
12	1.03%	1.12%
25	0.93%	0.91%
56	0.83%	0.67%

Tabla 14. Expansión suelo CL

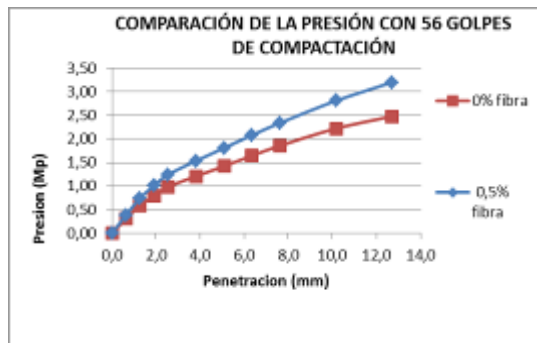
El comportamiento de la presión en función de la penetración a los 12, 25 Y 56 golpes de compactación, muestra la capacidad del suelo en diversos puntos en función de la presión aplicada a la muestra de suelo, grafica 9, 10 y 11. Esto permite identificar el aumento de la capacidad del suelo con la dosificación óptima de fibra al 0.5% en relacion del peso



Grafica 9. Suelo CL a 12 golpes

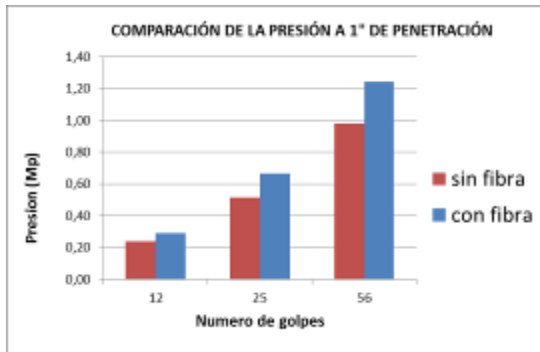


Grafica 10. suelo CL a 25 golpes

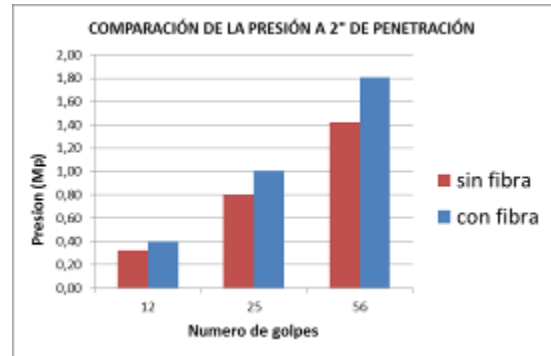


Grafica11. Suelo CL a 56 golpes

La capacidad del suelo a 1" (grafica #12) y 2" (grafica #13) demuestra que la dosificación utilizada aumenta la capacidad del suelo en función de la profundidad de penetración y brinda un mayor aporte a la mejoría de los suelos.



Grafica 12. Comparacion de presion a 1" suelo CL



Grafica 13. Comparacion de presion a 2" suelo CL

La dosificación de fibra óptima evidencia que una densidad al 100% del CBR aumenta en un 26.56%, tabla # 15. Lo que demuestra que la fibra cumple con la condición de unir las partículas del suelo y mejora sus propiedades mecánicas.

TABLAS DE COMPARACIÓN DEL CBR SUELO CL			
	CBR EN %		
DENSIDAD	SIN FIBRA	CON FIBRA	AUMENTO
95%	3,47	4,19	20,59%
98%	7,60	9,62	26,66%
100%	14,23	18,01	26,56%

Tabla 15. CBR suelo CL

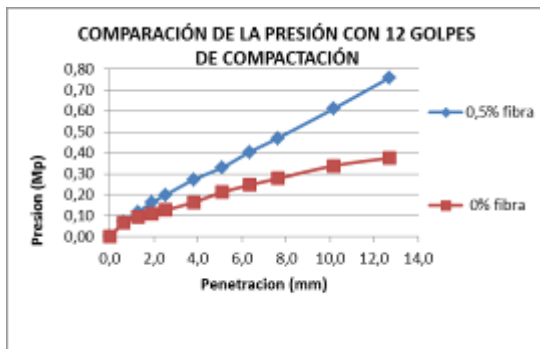
SUELO ML

Se calcula la expansión del suelo natural y con el porcentaje óptimo de fibra al estar sumergido en agua durante 4 días. Tabla # 16.

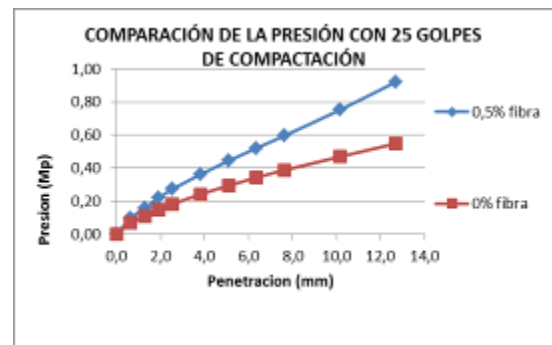
EXPANSIÓN SUELO ML		
GOLPES	SIN FIBRA	CON FIBRA
12	3.05%	2.08%
25	4.70%	3.05%
56	5.97%	3.81%

Tabla 16. Expansión suelo ML

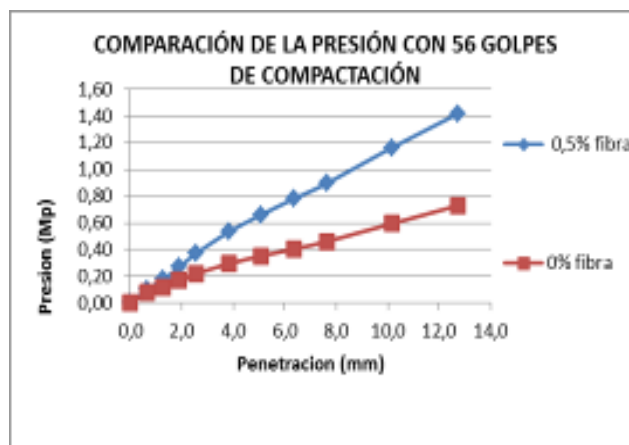
Cuando aplicamos presión a la muestra con fibra y sin fibra se evidencia que el suelo con fibra presenta una optimización de su capacidad, según los niveles de compactación de las fibras y la unión de las partículas. (Ver gráfica 14, 15,16)



Gráfica 14. Suelo ML a 12 golpes

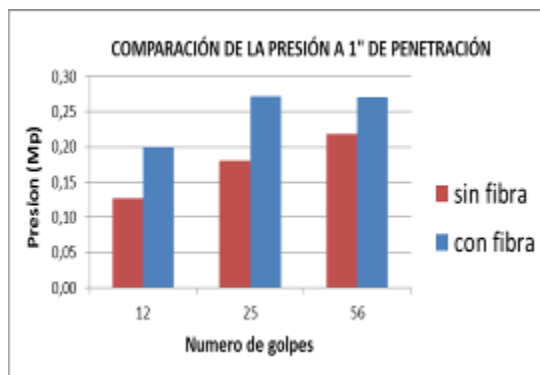


Gráfica 15. Suelo ML a 25 golpes

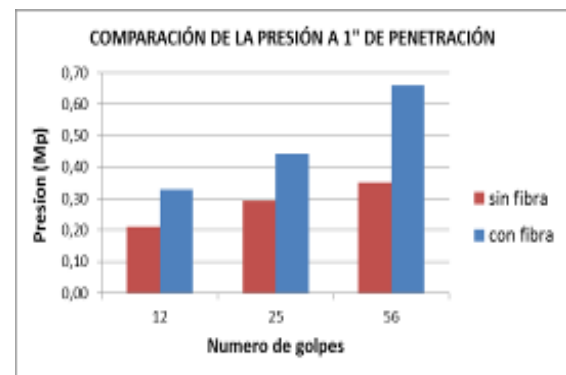


Gráfica 16. Suelo ML a 56 golpes

El análisis de la muestra a 1" y 2" de profundidad demuestra que las arenas aumentan su capacidad y mejoran en un 65% cuando se utiliza un 0.5% de fibra en relacion con el peso del material.



Gráfica 17. Comparacion de presion a 1" suelo ML



Gráfica 18. Comparacion de presion a 2" suelo ML

Para el caso de suelo ML, la fibra aporta un aumento significativo en el CBR en comparación con las arcillas. Muestra una mejoría del 87.33% en la capacidad, con una densidad del 100% del suelo.

TABLAS DE COMPARACIÓN DEL CBR SUELO ML			
	CBR EN %		
DENSIDAD	SIN FIBRA	CON FIBRA	AUMENTO
95%	2,01	3,13	55,56%
98%	2,79	4,22	51,20%
100%	3,36	6,29	87,33%

Tabla 17. CBR suelo ML

5.5. Archivo Fotográfico CBR.



Imagen 9. Proceso de homogenización Fibra -Suelo

6. OBSERVACIONES

- La fibra debe humedecerse para facilitar la mezcla con el suelo
- Es posible realizar este estudio con fibras de diferentes tamaños, sin embargo, las camisas y las probetas del laboratorio limitan el tamaño de las partículas agregadas.

7. RECOMENDACIONES

- Se recomienda para un futuro realizar esta investigación con fibras de mayor tamaño. ya que a mayor tamaño es mayor la mejoría del suelo.
- La mezcla de suelo – fibra se podría utilizar como material para revegetalizar ya que su composición da una mayor fijación, de esta manera se evitara la erosión por la lluvia, y se podrá mantener por más tiempo esta vegetación.

8. CONCLUSIONES

- Esta investigación nos ofrece como resultado que la fibra sintética FIBRATEX producida por TESSICOL es un excelente material para mejorar las propiedades del suelos tales como resistencia al cortante, compresión simple y capacidad de penetración.
- Se concluye que la dosificación de 0.5% de fibra en relación con el peso de la muestra mejora notablemente las propiedades mecánicas del suelo, esto se pudo evidenciar al realizar los ensayos de corte directo con diferentes porcentajes de fibra.
- De acuerdo con los resultados obtenidos, se evidencia que el esfuerzo cortante aumenta, ya que la fibra ayuda a mejorar la cohesión del suelo debido a que se entrelazan las partículas de suelo junto con las fibras del polietileno.
- Se puede evidenciar en los ensayos de corte directo, que al aumentar el porcentaje de fibra mayor al 0,5% se comienza a evidenciar una disminución en las capacidades del suelo.
- Cuando analizamos la capacidad portante, se puede deducir que en las arenas, a menor grado de compactación, se presenta un mayor porcentaje de mejoría en la capacidad portante del suelo.
- De acuerdo a las investigaciones realizadas con anterioridad notamos que la fibra de alta densidad ofrece mayor beneficio en comparación con la fibra de baja densidad.
- Cuando comparamos la fibra TOXEMEN con FIBRATEX , en el corte directo vemos como la estructura física de la fibratex que es en forma de malla se adhiere de forma más uniforme brindando así una mayor resistencia al esfuerzo cortante.

BIBLIOGRAFÍA

Lambe, W. Whitman, R. (1972) *Mecánica de suelos*. México: Limusa,

Badillo, J. Rodríguez, R. (2005). *Fundamentos de la mecánica de suelo*. México: Limusa.

Braja M. Das. (2001). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*. México.

Álvaro J. Barragán, Cesar A Velasco. (2009) *Análisis del comportamiento de suelos reforzados con polietileno de baja densidad*.

Giovanny A. Rey, Jhon E. Pacheco (2009)
Análisis del Comportamiento de suelos reforzados con fibra sintética TOXEMENT

ANEXOS.

ANEXO A. ENSAYOS DE GRANULOMETRÍA



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS
ENSAYO DE GRANULOMETRIA INV E - 123

FECHA 15/06/2014

PROYECTO Comportamiento de los suelos mejorados con fibras sintéticas SUELO #1

LOCALIZACION Floridablanca Muestra inicial (gr) 740,1
Muestra después de lavado (gr) 408

MALLA No	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA	MALLA No	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA
****	mm	gr	%	%	****	mm	gr	%	%
2"	50,8	0,00	0,00	100,0	10	2	20,50	2,77	93,85
1 1/2"	36,1	0,00	0,00	100,0	20	0,84	52,6	7,11	86,75
1"	25,4	0,00	0,00	100,0	40	0,42	102,7	13,88	72,87
3/4"	19,05	0,00	0,00	100,0	60	0,25	65,9	8,90	63,96
1/2"	12,7	7,60	1,03	99,0	100	0,149	41,8	5,65	58,32
3/8"	9,52	5,80	0,78	98,2	200	0,074	22	2,97	55,34
No 4	4,75	11,60	1,57	96,6		PASA 200	409,60	41,28	
SUMA	*****	25,00	3,38	93,2		SUMA	715,10		
						TOTAL	740,10		

Gravas 3,38 %
Arenas 41,28 %
Finos 55,34 %

CLASIFICACIÓN
SUCS SUELO FINO



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS
ENSAYO DE GRANULOMETRIA INV E – 123

FECHA 15/06/2014
PROYECTO Comportamiento de los suelos mejorados con fibras sintéticas SUELO #2
LOCALIZACION Floridablanca **Muestra inicial (gr)** 750,2
Muestra después de lavado (gr) 437,6

MALLA No	ABERTUR A	PESO SUELO RETENID O	PORCIEN T O RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA	MALLA No	ABERTUR A	PESO SUELO RETENID O	PORCIEN T O RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA
****	mm	gr	%	%	****	mm	gr	%	%
2"	50,8	0,00	0,00	100,0	10	2	5,10	0,69	98,99
1 1/2"	36,1	0,00	0,00	100,0	20	0,84	25	3,38	95,61
1"	25,4	0,00	0,00	100,0	40	0,42	51,7	6,99	88,62
3/4"	19,05	0,00	0,00	100,0	60	0,25	106,7	14,42	74,21
1/2"	12,7	0,00	0,00	100,0	100	0,149	71,6	9,67	64,53
3/8"	9,52	1,20	0,16	99,8	200	0,074	42	5,67	58,86
No 4	4,75	1,20	0,16	99,7		PASA 200	441,40	40,82	
SUMA	*****	2,40	0,32	99,4		SUMA	743,50		
						TOTAL	745,90		

Gravas 0,32 %
 Arenas 40,82 %
 Finos 58,86 %

CLASIFICACIÓN SUCS SUELO FINO

ANEXO B. LIMITES DE ATTENBERG



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS
LIMITES DE ATTERBERG INV E-125-126

FECHA	<u>15/07/2014</u>
PROYECTO	<u>comportamiento de los suelos mejorados con fibras sintéticas</u> suelo #2
LOCALIZACION	<u>Floridablanca</u>
LIMITE LIQUIDO	<u>0</u>
LIMITE PLASTICO	<u>0</u>
INDICE DE PLASTICIDAD	<u>0</u>
CLASIFICACIÓN SUCS	<u>ML</u> <u>LIMO INORGÁNICO SIN PLASTICIDAD</u>

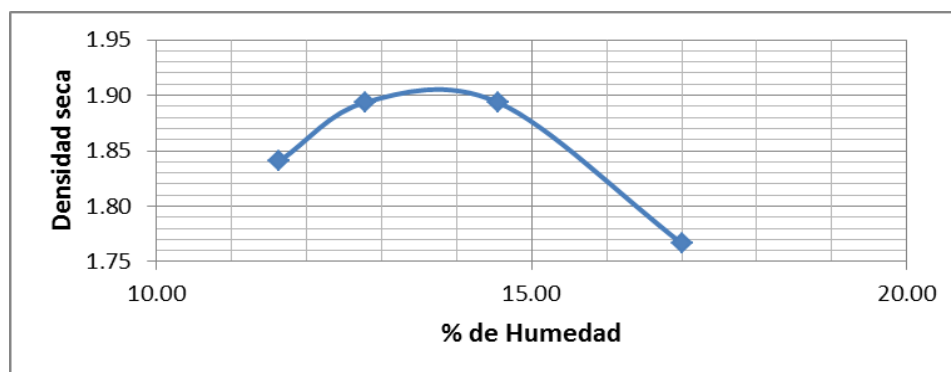
ANEXO C. ENSAYOS DE COMPACTACIÓN



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA
CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS
ENSAYO DE COMPACTACION INV-142

MUESTRA Arcilla inorgánica de baja a media plasticidad
 FECHA 01/07/2014
 PROYECTO comportamiento de los suelos mejorados con fibras sintéticas
 LOCALIZACION Floridablanca

TIPO DE ENSAYO	PROCTOR ESTÁNDAR			
NUMERO DE CAPAS	5			
# GOLPES POR CARA	25			
MOLDE No	1			
DIAMETRO MOLDE(m)	10,17			
ALTURA MOLDE (m)	11,36			
VOL. MOLDE (m3)	922,8			
PRUEBA	1	2	3	4
PESO UESTRA (gr)	2500	2500	2500	2500
PESO DEL MOLDE	4160	4160	4160	4160
PESO MOLDE MAS MUESTRA	6082	6164	6205	6124
PESO TARA	15,6	15,8	16	15,6
WTARA+WSUELO HUMDO	51,1	44,9	58,5	39
WTARA+W SUELO SECO	47,4	41,6	53,1	35,6
% DE HUMEDAD	11,64	12,79	14,56	17,00
DENSIDAD HUMEDA	2,083	2,172	2,216	2,128
DENSIDAD SECA	1,84	1,89	1,89	1,77



HUMEDAD OPTIMA 12,79% DENSIDAD 1,89



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS
ENSAYO DE COMPACTACION INV-142

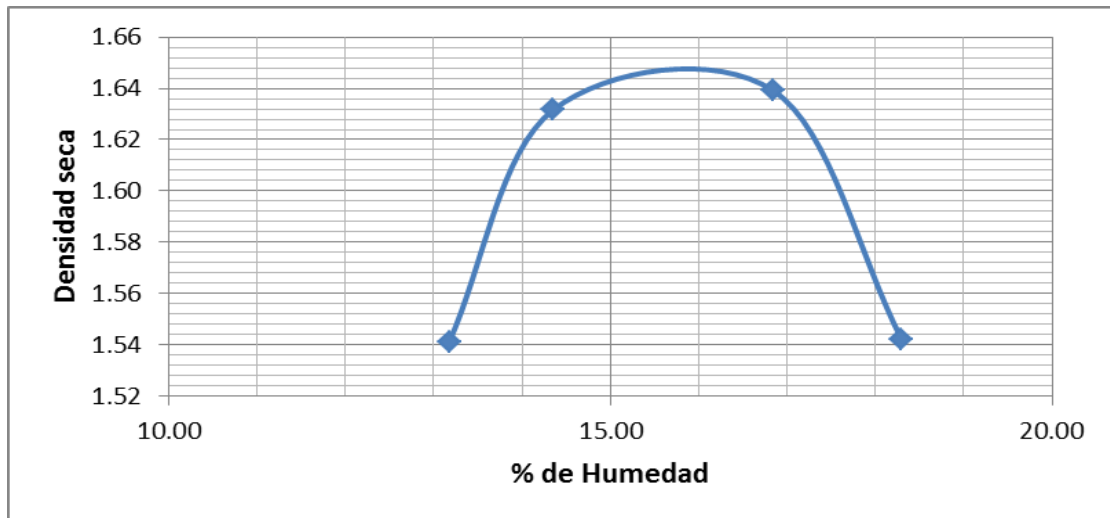
MUESTRA Limo inorgánico de baja plasticidad

FECHA 01/07/2014

PROYECTO comportamiento de los suelos mejorados con fibras sintéticas

LOCALIZACION Floridablanca

TIPO DE ENSAYO	PROCTOR ESTÁNDAR			
NUMERO DE CAPAS	5			
# GOLPES POR CAPA	25			
MOLDE No	1			
DIAMETRO MOLDE(m)	10,17			
ALTURA MOLDE (m)	11,36			
VOL. MOLDE (m3)	922,8			
PRUEBA	1	2	3	4
PESO UESTRA (gr)	2500	2500	2500	2500
PESO DEL MOLDE	4160	4160	4160	4160
PESO MOLDE MAS MUESTRA	5798	5918	5979	5902
PESO TARA	17,7	17,7	18	16
WTARA+WSUELO HUMDO	55,5	67,1	73,5	72,9
WTARA+W SUELO SECO	51,1	60,9	65,5	64,1
% DE HUMEDAD	13,17	14,35	16,84	18,30
DENSIDAD HUMEDA	1,775	1,905	1,971	1,888
DENSIDAD SECA	1,54	1,63	1,64	1,54



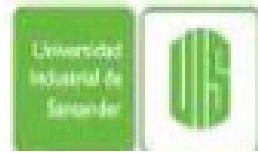
HUMEDAD OPTIMA

14,50%

DENSIDAD

1,63

ANEXO D. ENSAYOS DE CORTE DIRECTO

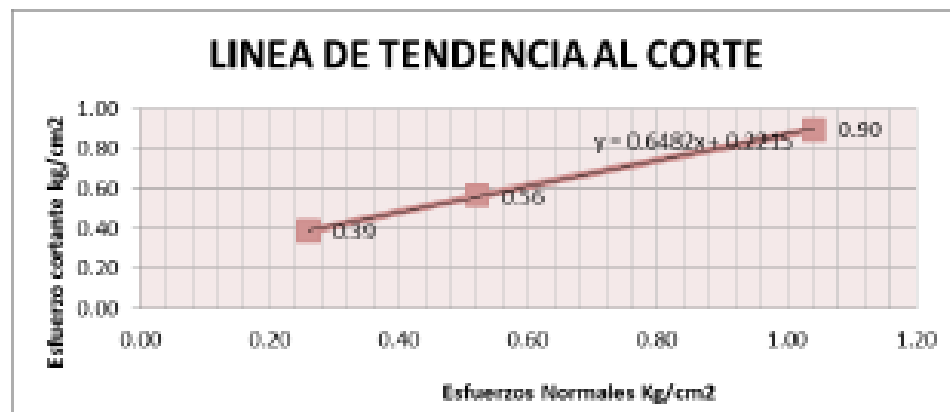


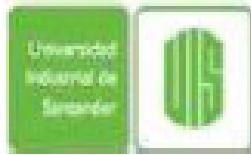
**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE
SANTANDER**
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
**LABORATORIO DE SUELOS Y
PAVIMENTOS**
**ENSAYO DE CORTE
DIRECTO**

MUESTRA Arcilla inorgánica de baja a media plasticidad
 % DE FIBRA 0%
 FECHA 23/08/2014
 PROYECTO comportamiento de los suelos mejorados con fibras sintéticas
 LOCALIZACION Floridablanca

CARGA NORMAL	8000	gr	16000	gr	32000	gr
DIAMETRO ANILLO	12,5	cm	12,5	cm	12,5	cm
AREA DEL ANILLO	30,7	cm ²	30,7	cm ²	30,7	cm ²
ESFUERZO CORTANTE	11,9	Kg	17,3	Kg	27,5	Kg
ESFUERZO NORMAL	0,26	Kg/cm ²	0,52	Kg/cm ²	1,042	Kg/cm ²
ESFUERZO CORTANTE	0,39	Kg/cm ²	0,56	Kg/cm ²	0,90	Kg/cm ²

NUMERO TARA	PESO SUELO HUMEDO	PESO SUELO SECO	PESO TARA	PESO AGUA	PESO SUELO SECO	AGUA
	Gr	Gr	Gr	Gr	Gr	%
1	57,4	53	16	4,4	37	11,89
2	55	50,7	15,8	4,3	34,9	12,32
3	63,7	60	15,6	5,7	44,4	12,84





UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS
ENSAYO DE CORTE DIRECTO

Arcilla inorgánica de baja a media plasticidad

MUESTRA

% DE FIBRA 0,25%

FECHA 29/07/2014

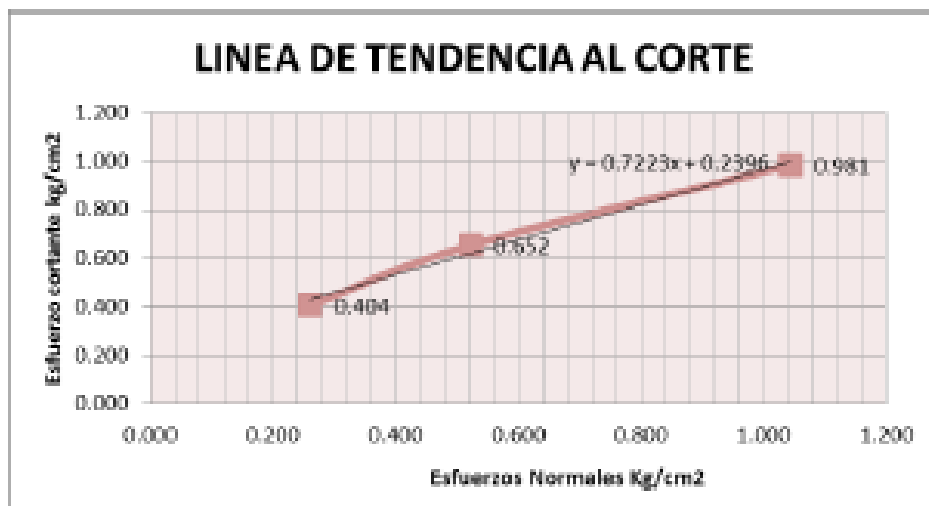
comportamiento de los suelos mejorados con fibras sintéticas

PROYECTO

LOCALIZACION Floridablanca

CARGA NORMAL	8000	gr	16000	gr	32000	gr
DIAMETRO ANILLO	12,5	cm	12,5	cm	12,5	cm
AREA DEL ANILLO	30,7	cm ²	30,7	cm ²	30,7	cm ²
ESFUERZO CORTANTE	12,4	Kg	20	Kg	30,1	Kg
ESFUERZO NORMAL	0,26	Kg/cm ²	0,52	Kg/cm ²	1,042	Kg/cm ²
ESFUERZO CORTANTE	0,40	Kg/cm ²	0,63	Kg/cm ²	0,98	Kg/cm ²

NUMERO TARA	PESO SUELO HUMEDO	PESO SUELO SECO	PESO TARA	PESO AGUA	PESO SUELO SECO	AGUA
	<i>Et</i>	<i>Et</i>	<i>Et</i>	<i>Et</i>	<i>Et</i>	%
1	51	46,2	16	4,8	30,2	15,89
2	48,6	44,1	15,8	4,5	28,3	15,90
3	64,9	58	15,6	6,9	42,4	16,27





**ESCUELA DE INGENIERIA
CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y
PAVIMENTOS
ENSAYO DE CORTE
DIRECTO**

Arcilla inorgánica de baja a media
plasticidad

MUESTRA

% DE FIBRA 0,4%

FECHA

29/07/2014

comportamiento de los suelos mejorados con fibras
sintéticas

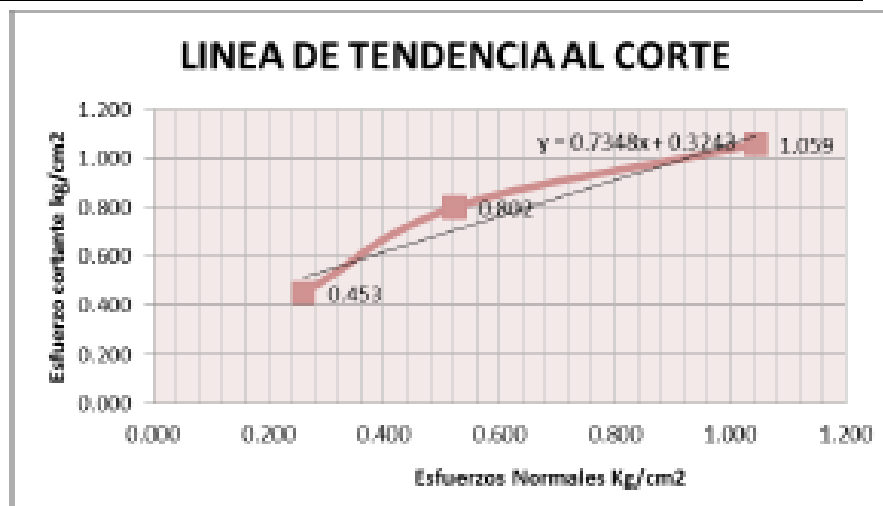
PROYECTO

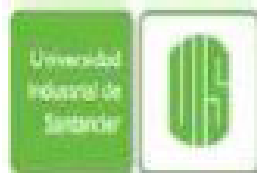
LOCALIZACION

Floridablanca

CARGA NORMAL	8000	gr	16000	gr	32000	gr
DIAMETRO ANILLO	12,5	cm	12,5	cm	12,5	cm
AREA DEL ANILLO	30,7	cm ²	30,7	cm ²	30,7	cm ²
ESFUERZO CORTANTE	13,9	Kg	24,6	Kg	32,5	Kg
ESFUERZO NORMAL	0,26	Kg/cm ²	0,52	Kg/cm ²	1,042	Kg/cm ²
ESFUERZO CORTANTE	0,43	Kg/cm ²	0,80	Kg/cm ²	1,06	Kg/cm ²

NUMERO TARA	PESO SUELO HUMEDO	PESO SUELO SECO	PESO TARA	PESO AGUA	PESO SUELO SECO	AGUA
	g	g	g	g	g	%
1	51,3	46,8	16	4,7	30,8	15,26
2	58,6	53,1	15,8	5,5	37,3	14,75
3	64,9	58	15,6	6,9	42,4	16,27





UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS
ENSAYO DE CORTE
DIRECTO

MUESTRA Arcilla inorgánica de baja a media plasticidad

% DE FIBRA 0,5%

FECHA 23/07/2014

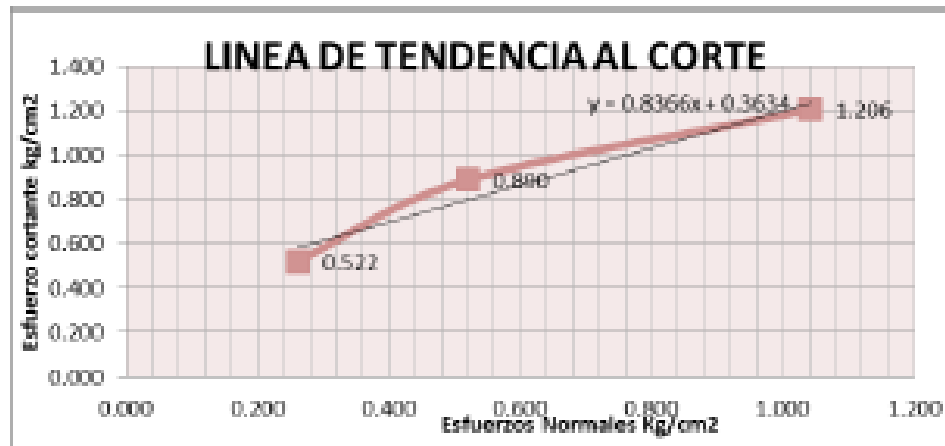
Comportamiento de los suelos mejorados con fibras sintéticas

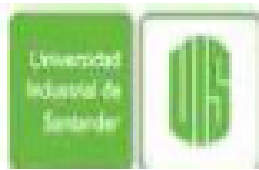
PROYECTO

LOCALIZACION Floridablanca

CARGA NORMAL	8000	gr	16000	gr	32000	gr
DIAMETRO ANILLO	12,5	cm	12,5	cm	12,5	cm
AREA DEL ANILLO	30,7	cm ²	30,7	cm ²	30,7	cm ²
ESFUERZO CORTANTE	16	Kg	27,3	Kg	37	Kg
ESFUERZO NORMAL	0,26	Kg/cm ²	0,52	Kg/cm ²	1,042	Kg/cm ²
ESFUERZO CORTANTE	0,52	Kg/cm ²	0,89	Kg/cm ²	1,21	Kg/cm ²

NUMERO TARA	PESO SUELO HUMEDO	PESO SUELO SECO	PESO TARA	PESO AGUA	PESO SUELO SECO	AGUA
	g	g	g	g	g	%
1	48,8	44,6	16	4,2	28,6	14,69
2	49,3	45	15,8	4,3	29,2	14,73
3	52,2	47,4	15,6	4,8	31,8	15,09



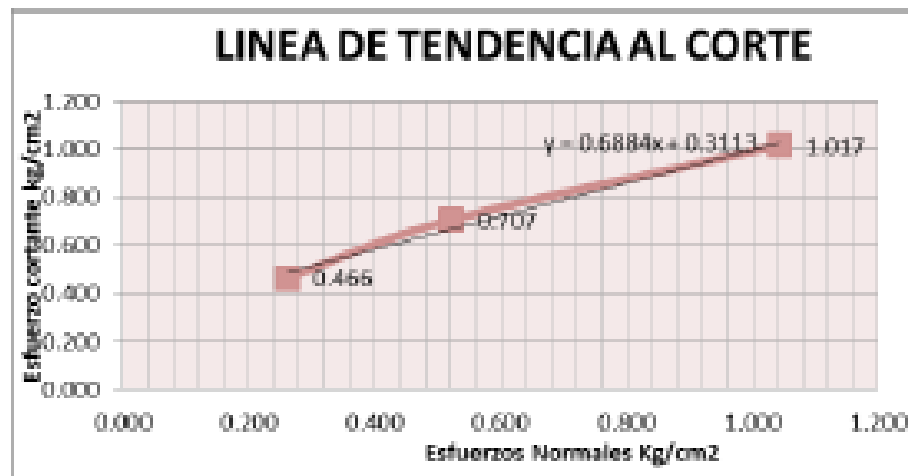


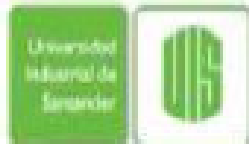
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS
ENSAYO DE CORTE
DIRECTO

MUESTRA Arcilla inorgánica de baja a media plasticidad
 % DE FIBRA 0,6%
 FECHA 29/07/2014
 PROYECTO comportamiento de los suelos mejorados con fibras sintéticas
 LOCALIZACION Floridablanca

CARGA NORMAL	8000	gr	16000	gr	32000	gr
DIAMETRO ANILLO	12,5	cm	12,5	cm	12,5	cm
AREA DEL ANILLO	30,7	cm ²	30,7	cm ²	30,7	cm ²
ESFUERZO CORTANTE	14,3	Kg	21,7	Kg	31,2	Kg
ESFUERZO NORMAL	0,26	Kg/cm ²	0,52	Kg/cm ²	1,042	Kg/cm ²
ESFUERZO CORTANTE	0,47	Kg/cm ²	0,71	Kg/cm ²	1,02	Kg/cm ²

NUMERO TARA	PESO SUELO HUMEDO	PESO SUELO SECO	PESO TARA	PESO AGUA	PESO SUELO SECO	AGUA
	<i>E'</i>	<i>E'</i>	<i>E'</i>	<i>E'</i>	<i>E'</i>	%
1	58,2	53,2	16	5	37,2	13,44
2	54,2	49,7	15,8	4,5	33,9	13,27
3	47,5	43,3	15,6	4,2	27,7	15,16





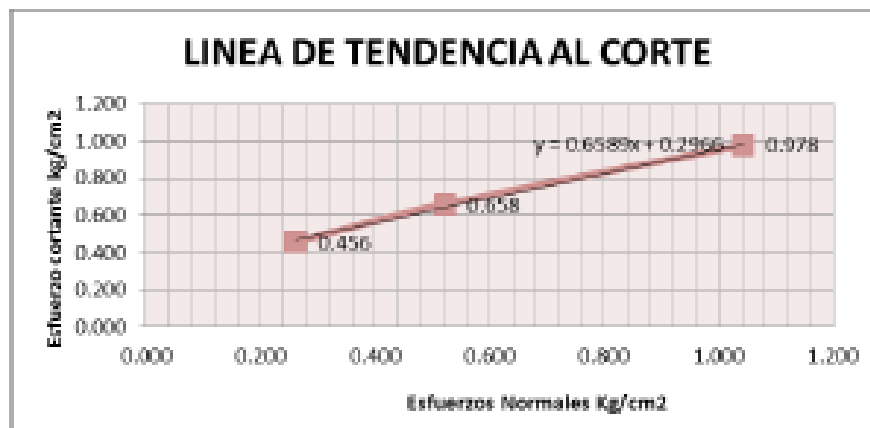
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS
ENSAYO DE CORTE DIRECTO

MUESTRA Arcilla inorgánica de baja a media plasticidad
 % DE FIBRA 0,8%
 FECHA 29/07/2014
 PROYECTO comportamiento de los suelos mejorados con fibras sintéticas
 LOCALIZACION Floridablanca

DATOS INICIALES

CARGA NORMAL	8000	gr	16000	gr	32000	gr
DIAMETRO ANILLO	12,3	cm	12,3	cm	12,3	cm
AREA DEL ANILLO	30,7	cm ²	30,7	cm ²	30,7	cm ²
ESFUERZO CORTANTE	14	Kg	20,2	Kg	30	Kg
ESFUERZO NORMAL	0,26	Kg/cm ²	0,52	Kg/cm ²	1,042	Kg/cm ²
ESFUERZO CORTANTE	0,46	Kg/cm ²	0,66	Kg/cm ²	0,98	Kg/cm ²

NUMERO TARA	PESO SUELO HUMEDO	PESO SUELO SECO	PESO TARA	PESO AGUA	PESO SUELO SECO	AGUA
	gr	gr	gr	gr	gr	%
1	43,9	41,7	16	4,2	25,7	16,34
2	43,9	40	15,8	3,9	24,2	16,12
3	48,3	43,8	15,6	4,7	28,2	16,67





UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS
ENSAYO DE CORTE DIRECTO

MUESTRA Limo inorgánico de baja plasticidad

% DE FIBRA 0.25%

FECHA 25/07/2014

Comportamiento de los suelos mejorados con fibras sintéticas

PROYECTO

LOCALIZACION

Floridablanca

CARGA NORMAL	8000	gr	16000	gr	32000	gr
DIAMETRO ANILLO	12,5	cm	12,5	cm	12,5	cm
AREA DEL ANILLO	30,7	cm ²	30,7	cm ²	30,7	cm ²
ESFUERZO CORTANTE	9,3	Kg	16	Kg	27,2	Kg
ESFUERZO NORMAL	0,26	Kg/cm ²	0,52	Kg/cm ²	1,042	Kg/cm ²
ESFUERZO CORTANTE	0,30	Kg/cm ²	0,52	Kg/cm ²	0,89	Kg/cm ²

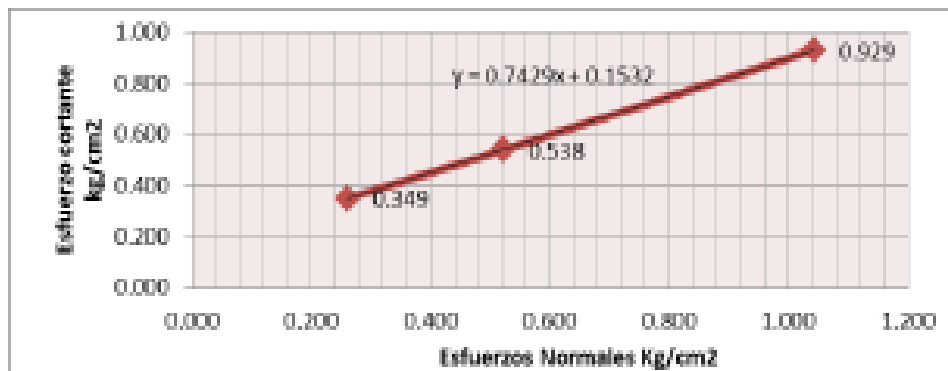


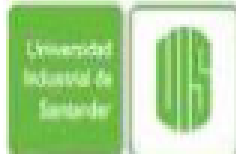


UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS
ENSAYO DE CORTE DIRECTO

MUESTRA: Limo inorgánico de baja plasticidad
 % DE FIBRA: 0,4%
 FECHA: 25/07/2014
 PROYECTO: comportamiento de los suelos mejorados con fibras sintéticas
 LOCALIZACION: Floridablanca

CARGA NORMAL	8000	gr	16000	gr	32000	gr
DIAMETRO ANILLO	12,5	cm	12,5	cm	12,5	cm
AREA DEL ANILLO	30,7	cm ²	30,7	cm ²	30,7	cm ²
ESFUERZO CORTANTE	10,7	Kg	16,5	Kg	28,5	Kg
ESFUERZO NORMAL	0,26	Kg/cm ²	0,52	Kg/cm ²	1,042	Kg/cm ²
ESFUERZO CORTANTE	0,33	Kg/cm ²	0,54	Kg/cm ²	0,93	Kg/cm ²





UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS
ENSAYO DE CORTE DIRECTO

MUESTRA Limo inorgánico de baja plasticidad

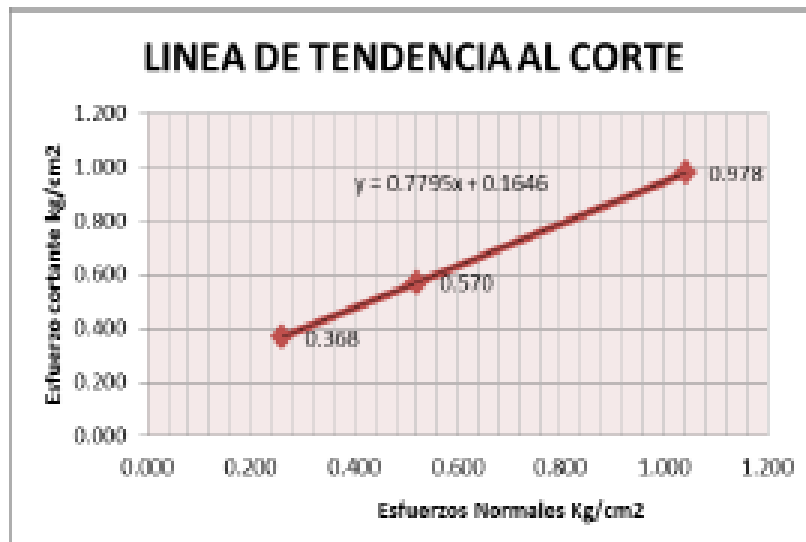
% DE FIBRA 0,6%

FECHA 25/07/2014

PROYECTO Comportamiento de los suelos mejorados con fibras sintéticas

LOCALIZACION Floridablanca

CARGA NORMAL	8000	gr	16000	gr	32000	gr
DIAMETRO ANILLO	12,5	cm	12,5	cm	12,5	cm
AREA DEL ANILLO	30,7	cm ²	30,7	cm ²	30,7	cm ²
ESFUERZO CORTANTE	11,3	Kg	17,5	Kg	30	Kg
ESFUERZO NORMAL	0,26	Kg/cm ²	0,52	Kg/cm ²	1,042	Kg/cm ²
ESFUERZO CORTANTE	0,37	Kg/cm ²	0,57	Kg/cm ²	0,98	Kg/cm ²





UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y
PAVIMENTOS
ENSAYO DE CORTE DIRECTO

MUESTRA Limo inorgánico de baja plasticidad

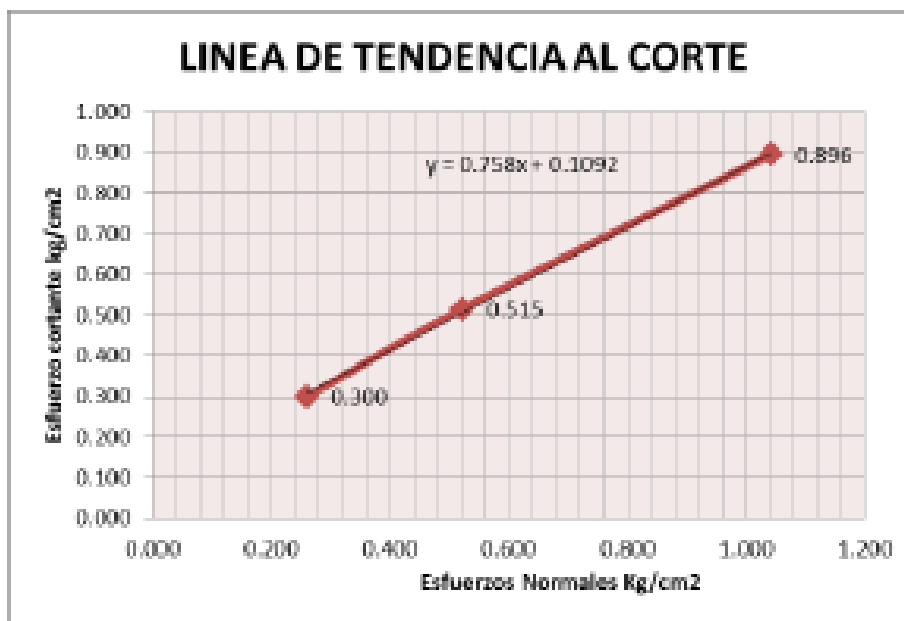
% DE FIBRA 0,8%

FECHA 25/07/2014

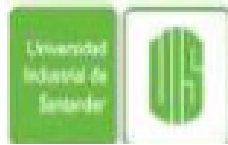
PROYECTO Comportamiento de los suelos mejorados con fibras sintéticas

LOCALIZACION Floridablanca

CARGA NORMAL	8000	gr	16000	gr	32000	gr
DIAMETRO ANILLO	12,5	cm	12,5	cm	12,5	cm
AREA DEL ANILLO	30,7	cm ²	30,7	cm ²	30,7	cm ²
ESFUERZO CORTANTE	9,2	Kg	13,8	Kg	27,5	Kg
ESFUERZO NORMAL	0,26	Kg/cm ²	0,52	Kg/cm ²	1,042	Kg/cm ²
ESFUERZO CORTANTE	0,30	Kg/cm ²	0,51	Kg/cm ²	0,90	Kg/cm ²



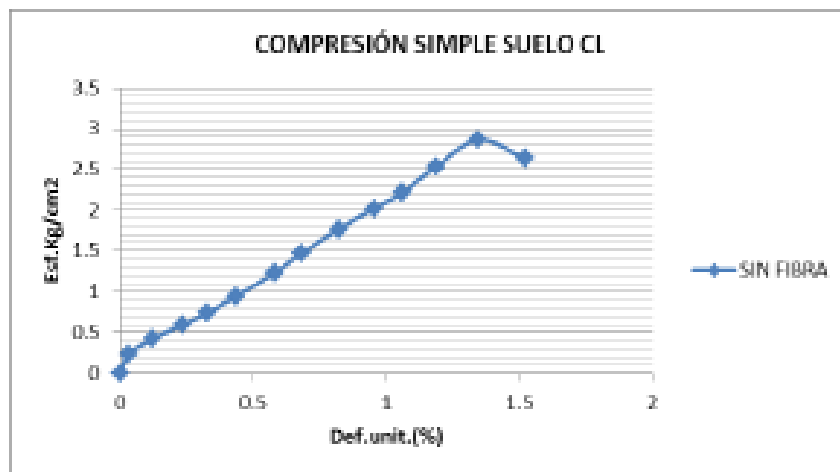
ANEXO E. ENSAYOS DE CBR

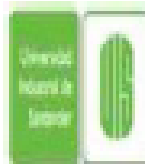


ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS ENSAYO DE CBR INV E - 148

MUESTRA: Arcilla inorgánica de baja a media plasticidad
 FECHA: 15/07/2014
 PROYECTO: Comportamiento de los suelos mejorados con fibras sintéticas
 LOCALIZACION: Flordeblanca

MUESTRA SIN FIBRA								
DIMENSIONES DEL CILINDRO								
DIAMETRO SUPERIOR		8		cm				
DIAMETRO CENTRAL		8		cm				
DIAMETRO INFERIOR		8		cm				
ALTURA		15		cm				
AREA		50,27		cm ²				
tiempo (min)	carga (Kg)	def.(mm)	Def. unitaria	1 ^o def.unl	Ac(cm ²)	Def.Kg/cm ²	Def.unlt.(%)	
0	0	0	0	0	0	0	0	
0,25	12,19	0,05	0,0003	1,000	50,28	0,242	0,03	
0,50	21,02	0,18	0,0012	1,00	50,33	0,418	0,12	
0,75	29,80	0,35	0,0023	1,00	50,38	0,591	0,23	
1,00	37,34	0,49	0,0033	1,00	50,43	0,740	0,33	
1,25	47,50	0,65	0,0043	1,00	50,48	0,941	0,43	
1,50	62,20	0,87	0,0058	0,99	50,56	1,230	0,58	
1,75	74,20	1,02	0,0068	0,99	50,61	1,466	0,68	
2,00	89,45	1,23	0,0082	0,99	50,68	1,765	0,82	
2,25	102,30	1,43	0,0095	0,99	50,75	2,016	0,95	
2,50	112,50	1,59	0,0106	0,99	50,80	2,214	1,06	
2,75	128,60	1,78	0,0119	0,99	50,87	2,528	1,19	
3,00	145,90	2,02	0,0135	0,99	50,95	2,863	1,35	
3,250	134,50	2,28	0,0152	0,98	51,04	2,635	1,52	

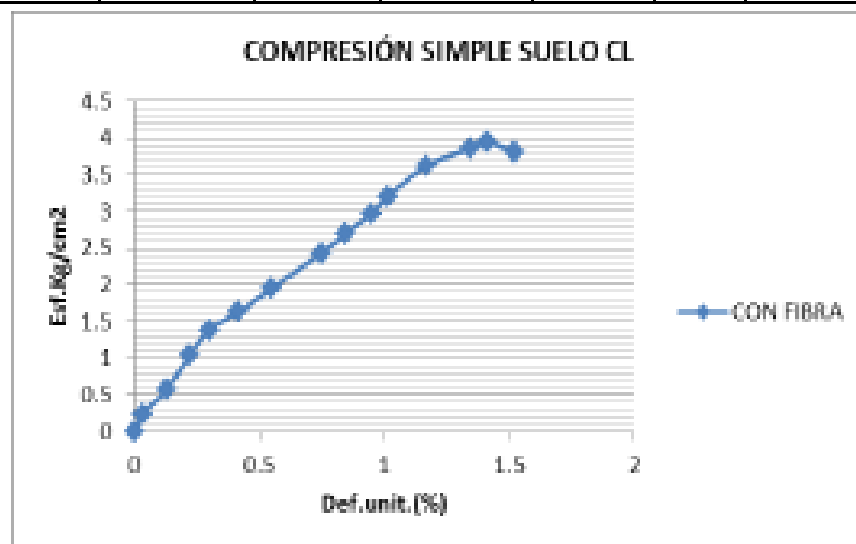




UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS
ENSAYO DE CBR INV E - 148

MUESTRA: Arcilla inorgánica de baja a media plasticidad
 FECHA: 17/07/2014
 PROYECTO: comportamiento de los suelos mejorados con fibras sintéticas
 LOCALIZACION: Floridablanca
 MUESTRA CON FIBRA

DIAMETRO SUPERIOR	8	cm					
DIAMETRO INTERNO	8	cm					
DIAMETRO INFERIOR	8	cm					
ALTURA	15	cm					
AREA	50,27	cm ²					
tiempo (min)	carga (kg)	def.(mm)	Def. unitaria mm	Edef.un. mm	Ac(cm ²)	Esf.Kg/cm ²	Def.un. (%)
0	0	0	0	0	0	0	0
0,25	12,20	0,05	0,0003	0,9997	50,28	0,243	0,03
0,50	28,50	0,19	0,0013	0,9987	50,33	0,566	0,13
0,75	52,30	0,33	0,0022	0,9978	50,38	1,038	0,22
1,00	70,10	0,45	0,0030	0,9970	50,42	1,390	0,30
1,25	82,23	0,62	0,0042	0,9958	50,48	1,629	0,42
1,50	98,60	0,82	0,0055	0,9945	50,54	1,931	0,55
1,75	123,00	1,12	0,0075	0,9925	50,64	2,429	0,75
2,00	136,40	1,27	0,0084	0,9916	50,69	2,691	0,84
2,25	150,40	1,42	0,0095	0,9905	50,75	2,964	0,95
2,50	162,40	1,52	0,0101	0,9899	50,78	3,198	1,01
2,75	184,40	1,75	0,0117	0,9883	50,86	3,626	1,17
3,00	196,50	2,02	0,0135	0,9865	50,95	3,857	1,35
3,25	201,10	2,12	0,0141	0,9859	50,99	3,944	1,41
3,50	194,30	2,28	0,0152	0,9848	51,04	3,807	1,52





UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS
 ENSAYO DE CBR INV 148

Arcilla inorgánica de baja a media plasticidad SIN FIBRA

MUESTRA

FIBRA

FECHA

18/07/2014

PROYECTO

comportamiento de los suelos mejorados con fibras sintéticas

LOCALIZACION

Floridablanca

MOLDE No	13			14			15		
No DE GOLPES	12			25			56		
DIAS DE INMERSION	4			4			4		
PENETRACION (mm)	LEC	CARGA (KN)	PRESION (MPa)	LEC	CARGA(K N)	PRESION (MPa)	LEC	CARGA(K N)	PRESION(MPa)
0,0	0	0	0,00	0	0	0,00	0	0	0,00
0,6	40	0,2	0,09	65	0,3	0,15	130	0,6	0,31
1,3	60	0,3	0,14	130	0,6	0,30	250	1,1	0,59
1,9	85	0,4	0,20	180	0,8	0,42	330	1,5	0,79
2,5	102	0,5	0,24	220	1,0	0,52	410	1,9	0,98
3,8	120	0,5	0,28	285	1,3	0,67	510	2,3	1,21
5,1	138	0,6	0,32	340	1,5	0,80	600	2,8	1,42
6,4	161	0,7	0,38	390	1,8	0,91	700	3,2	1,64
7,6	170	0,8	0,40	440	2,0	1,03	790	3,6	1,86
10,2	205	0,9	0,48	545	2,5	1,28	940	4,3	2,22
12,7	247	1,1	0,58	660	3,0	1,52	1100	4,8	2,48
CBR A 0.1"	3,47			7,48			14,23		
CBR A 0.2"	3,09			7,60			13,5		
EXPANSION (mm)	1,80			1,63			1,47		
EXPANSION (%)	1,03			0,93			0,84		



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS
 ENSAYO DE CBR INV E - 148

MUESTRA Arcilla inorgánica de baja a media plasticidad CON FIBRA

FECHA 15/07/2014

PROYECTO comportamiento de los suelos mejorados con fibras sintéticas

LOCALIZACION Floridablanca

MOLDE No	10			11			12		
No DE GOLPES	12			25			56		
DIAS DE INMERSION	4			4			4		
PENETRACION (mm)	LEC	CARGA (KN)	PRESION (MPa)	LEC	CARGA (KN)	PRESION (MPa)	LEC	CARGA (KN)	PRESION (MPa)
0,0	0	0	0,00	0	0	0,00	0	0	0,00
0,6	49	0,2	0,12	84	0,4	0,20	165	0,8	0,39
1,3	79	0,4	0,19	164	0,7	0,38	316	1,4	0,74
1,9	104	0,5	0,24	245	1,1	0,57	430	2,0	1,01
2,5	123	0,6	0,29	283	1,3	0,66	529	2,4	1,24
3,8	148	0,7	0,35	362	1,6	0,85	653	3,0	1,53
5,1	171	0,8	0,40	429	1,9	1,01	770	3,5	1,81
6,4	192	0,9	0,45	495	2,2	1,16	885	4,0	2,08
7,6	215	1,0	0,50	560	2,5	1,31	995	4,5	2,34
10,2	263	1,2	0,62	690	3,1	1,62	1195	5,4	2,81
12,7	309	1,4	0,73	810	3,7	1,90	1361	6,2	3,20
CBR A 0.1"	4,19			9,52			18,01		
CBR A 0.2"	3,82			9,58			17,2		
EXPANSION (mm)	1,96			1,60			1,17		
EXPANSION (%)	1,12			0,91			0,67		



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE
SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA
CIVIL

LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS
ENSAYO DE CBR INVE
- 148

MUESTRA Limo inorgánico de baja plasticidad SIN FIBRA

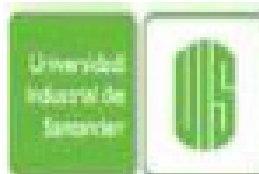
FECHA 25/07/2014

comportamiento de los suelos mejorados con fibras sintéticas

PROYECTO
LOCALIZACION

Floridablanca

MOLDE No	1			2			3		
No DE GOLPES	12			25			56		
DIAS DE INMERSION	4			4			4		
PENETRACION (mm)	LEC	CARGA (KN)	PRESION (MPa)	LEC	CARGA(KN)	PRESION (MPa)	LEC	CARGA(KN)	PRESION(MPa)
0,0	0	0	0,00	0	0	0,00	0	0	0,00
0,6	23	0,1	0,05	30	0,1	0,07	33	0,2	0,08
1,3	29	0,1	0,07	45	0,2	0,11	51	0,2	0,12
1,9	35	0,2	0,08	62	0,3	0,15	72	0,3	0,17
2,5	40	0,2	0,09	77	0,3	0,18	93	0,4	0,22
3,8	49	0,2	0,12	103	0,5	0,24	125	0,6	0,29
5,1	65	0,3	0,15	125	0,6	0,29	150	0,7	0,35
6,4	65	0,3	0,15	146	0,7	0,34	172	0,8	0,40
7,6	73	0,3	0,17	165	0,7	0,39	196	0,9	0,46
10,2	88	0,4	0,21	200	0,9	0,47	253	1,2	0,59
12,7	102	0,5	0,24	234	1,1	0,55	310	1,4	0,73
CBR A 0.1"	1,36			2,62			3,17		
CBR A 0.2"	1,45			2,79			3,36		
EXPANSION (mm)	3,05			4,70			5,97		
EXPANSION (%)	1,74			2,69			3,41		



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
 ESCUELA DE INGENIERIA
 CIVIL

LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS
 ENSAYO DE CBR INV E -
 148

MUESTRA Limo inorgánico de baja plasticidad CON FIBRA
 FECHA 15/07/2014
 PROYECTO comportamiento de los suelos mejorados con fibras sintéticas
 LOCALIZACION Floridablanca

MOLDE No	4			5			6		
No DE GOLPES	12			25			56		
DIAS DE INMERSION	4			4			4		
PENETRACION (mm)	LEC	CARGA (KN)	PRESIO N (MPa)	LEC	CARG A (KN)	PRESIO N (MPa)	LEC	CARG A(KN)	PRESION (MPa)
0,0	0	0	0,00	0	0	0,00	0	0	0,00
0,6	35	0,2	0,08	41	0,2	0,10	43	0,2	0,10
1,3	55	0,3	0,13	67	0,3	0,16	75	0,3	0,18
1,9	74	0,3	0,17	93	0,4	0,22	115	0,5	0,27
2,5	91	0,4	0,21	116	0,5	0,27	157	0,7	0,37
3,8	121	0,6	0,28	154	0,7	0,36	226	1,0	0,53
5,1	150	0,7	0,35	189	0,9	0,44	281	1,3	0,66
6,4	177	0,8	0,42	222	1,0	0,52	332	1,5	0,78
7,6	205	0,9	0,48	254	1,2	0,60	381	1,7	0,89
10,2	264	1,2	0,62	321	1,5	0,75	495	2,3	1,16
12,7	328	1,5	0,77	393	1,8	0,92	602	2,7	1,41
GBR A 0.1"	3,10			3,94			5,34		
GBR A 0.2"	3,36			4,22			6,3		
EXPANSION (mm)	2,08			3,05			3,81		
EXPANSION (%)	1,19			1,74			2,18		