

**VIABILIDAD DE USO DE UNA MALLA ELABORADA CON TUBERIA CALIBRE  
40 CONSTRUIDA CON MATERIAL PET RECICLADO PARA EL  
MEJORAMIENTO DE UNA SUBRASANTE.**

**DIANA MARCELA APARICIO GUTIÉRREZ  
SILVIA JULIANA PÉREZ CÁRDENAS**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
BUCARAMANGA**

**2018**

**VIABILIDAD DE USO DE UNA MALLA ELABORADA CON TUBERIA CALIBRE  
40 CONSTRUIDA CON MATERIAL PET RECICLADO PARA EL  
MEJORAMIENTO DE UNA SUBRASANTE.**

**DIANA MARCELA APARICIO GUTIÉRREZ  
SILVIA JULIANA PÉREZ CÁRDENAS**

**Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniera Civil**

**Director**

**LUIS ALBERTO CAPACHO SILVA**

**M.Sc. en Ciencias de la Información e Informática**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
BUCARAMANGA**

**2018**

## DEDICATORIA

A mi mamá por su amor y generosidad absoluta, por su manera de cambiar el mundo, especialmente el mío. Ojalá hubiera heredado aunque sea la mitad de su ser.

A mi papá por su apoyo, principio y fin de todo, la roca de nuestra familia.

A mis hermanos, Laura por ser mi ejemplo a seguir y José Daniel por alegrar mis días.

***Diana Marcela Aparicio Gutierrez***

A mis padres por su apoyo incondicional por los valores que me inculcaron pero sobre todo por enseñarme a ser persona a respetar y a tratar a los demás de la mejor forma. Gracias por enseñarme a ser guerrera de mil batallas a no decaer así se presenten mil adversidades, a luchar por las metas y los sueños que tenga en mi corazón.

A mi hermano por ser mi ejemplo a seguir, por guiarme en el camino del conocimiento, por enseñarme a marcar la diferencia entre los demás, por su paciencia y persistencia en todo momento.

Al amor de mi vida, mi compañero fiel por su entrega, apoyo incondicional pero sobre todo por pintar de colores mis días grises, por el amor que me brinda a diario, por enseñarme la sencillez y la humildad, por depositar su confianza en mí y repetirme una y otra vez que vamos a llegar lejos.

***Silvia Juliana Pérez Cárdenas***

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar a Dios que es el único que hace posible la finalización de nuestra etapa profesional, a nuestras familias por ser incondicionales en todo momento, por enseñarnos el valor de la confianza y de la persistencia.

Al grupo de profesores de la Escuela de ingeniería Civil por ser una herramienta fundamental en el desarrollo de nuestra carrera y tesis de grado, porque nunca dejaron de sorprendernos con el mundo de la ingeniería

A la Universidad Industrial de Santander nuestra alma mater, que nos permitió ser parte de esta familia, por brindarnos acogida de principio a fin, por no solo formar profesionales íntegros sino también enseñarnos a ser personas.

## CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
INTRODUCCIÓN .....	17
1. OBJETIVOS.....	19
1.1. OBJETIVO GENERAL .....	19
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	19
2. ORIGEN Y ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN .....	20
3. MATERIALES UTILIZADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE LAS MALLAS .....	23
3.1 MANGUERA AGRÍCOLA CALIBRE 40 .....	23
3.2 TRITURADO DE RELLENO Y GRAPAS DE TAPICERÍA PARA LA UNIÓN DE LOS TUBOS .....	24
4. METODOLOGÍA .....	26
4.1 PROCEDIMIENTO EN EL LABORATORIO.....	26
4.1.1 Ensayos a compresión.....	27
4.1.2 Ensayos a tracción.....	29
4.1.3 Ensayos a flexión .....	30
4.2 PROCEDIMIENTO EN CAMPO.....	31
5. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	34
5.1 ENSAYO A COMPRESIÓN .....	34
5.2 ENSAYO A TRACCIÓN .....	38
5.3 ENSAYO A FLEXIÓN .....	40
5.3.1 Uso de software (WinJULEA) .....	42
5.4 MALLAS EN CAMPO.....	45
5.4.1 Ruitoque bajo.....	45
5.4.2 Pradosol.....	47
6. ANÁLISIS DE COSTOS.....	50
7. CONCLUSIONES .....	51

8. OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES.....	52
BIBLIOGRAFÍA.....	53
ANEXOS.....	54

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Efecto de viga producido por geoceldas. ....	20
Figura 2. Geoceldas SUREGREEN TRUCKGRID-LITE. ....	22
Figura 3. Manguera agrícola calibre 40. ....	24
Figura 4. Grava de relleno. ....	25
Figura 5. Grapas de tapicería. ....	25
Figura 6. Unión de tubos mediante grapas. ....	26
Figura 7. Malla 3x3. ....	27
Figura 8. Máquina MTS. ....	27
Figura 9. Ensayo a compresión malla 3x3. ....	28
Figura 10. Malla 3x3 después del ensayo a compresión. ....	28
Figura 11. Tubos individuales después del ensayo a compresión. ....	29
Figura 12. Ensayo a tracción con tubos grapados. ....	29
Figura 13. Ensayo a tracción con tubos atornillados y grapados. ....	30
Figura 14. Malla 2x8 ensayos a flexión. ....	30
Figura 15. Ensayo a flexión malla 2x8. ....	31
Figura 16. Paneles para cada huella. ....	32
Figura 17. Instalación de mallas sector Ruitoque Bajo (Vía terciaria). ....	33
Figura 18. Instalación de mallas sector Pradosol (Estacionamiento). ....	33
Figura 19. Interfaz del software WinJULEA. ....	43
Figura 20. Factores $f_4$ , $f_5$ ecuaciones de Shell. ....	44
Figura 21. Día 1, junio 18 de 2018. ....	45
Figura 22. Día 8, junio 26 de 2018. ....	46
Figura 23. Día 23, julio 11 de 2018. ....	46
Figura 24. Día 38, julio 26 de 2018. ....	47
Figura 25. Día 1, junio 22 de 2018. ....	47

Figura 26. Día 8, junio 30 de 2018.....48  
Figura 27. Día 23 Julio 15.....48  
Figura 28. Día 36 Julio 22.....49

## LISTA DE GRÁFICAS

	<b>Pág.</b>
Gráfica 1. Esfuerzo vs Deformación unitaria de mallas 3*3 .....	35
Gráfica 2. Esfuerzo vs Deformación unitaria de tubos individuales .....	35
Gráfica 3. Regresión lineal del límite elástico a compresión malla unida con silicona 1.....	36
Gráfica 4. Esfuerzo vs Deformación unitaria de tubos unidos por grapas y tornillo. ....	39
Gráfica 5. Regresión lineal del límite elástico a tracción malla unida con grapas 1.....	39
Gráfica 6. Módulo a flexión vs Deflexión .....	42

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Módulos de elasticidad a compresión .....	36
Tabla 2. Peso máximo por eje .....	37
Tabla 3. Módulos de elasticidad a tracción .....	38
Tabla 4. Valores para cálculo tipo.....	40
Tabla 5. Módulos de elasticidad a flexión. ....	43
Tabla 6. Esfuerzo por deformación. ....	44
Tabla 7. Presupuesto final Mallapet m <sup>2</sup> .....	50

## LISTA DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
Anexo A. Regresiones Lineales compresión .....	54
Anexo B. Regresiones Lineales tracción. ....	58
Anexo C. Tablas módulo a flexión. ....	60
Anexo D. Procedimiento para el uso del software WinJULEA .....	62
Anexo E. Análisis de precios unitarios. ....	65

## RESUMEN

**Título.** Viabilidad de uso de una malla elaborada con tubería calibre 40 construida con material Pet reciclado para el mejoramiento de una subrasante \*

**Autores:** Diana Marcela Aparicio Gutiérrez  
Silvia Juliana Pérez Cárdenas\*\*

**Palabras Clave:** PET, geocelda, subrasante, módulo de elasticidad, compresión, tracción, flexión, esfuerzos.

Esta investigación centra sus objetivos en buscar una alternativa para el mejoramiento de una subrasante, evaluándola a partir de ensayos a compresión, flexión y tracción. Además de un análisis cualitativo realizado en dos tramos experimentales utilizando como material principal tubería de riego calibre 40 elaborada a partir de material PET reciclado. En el ensayo a tracción se utilizaron dos tubos unidos por grapas, además de dos varillas con gancho metálico de diámetro 5/8" para que se ajustara a la máquina universal; en el ensayo a flexión se elaboraron vigas similares a las especificadas por la norma sobre la resistencia a la flexión en vigas de concreto, finalmente se determinaron los módulos de elasticidad en cada uno de los ensayos siendo el de compresión notablemente más grande, para utilizar estas propiedades en el software de análisis elástico lineal multicapa WinJULEA y así determinar esfuerzos a tracción y deformación, encontrando que el pavimento falla al realizar un análisis por deformación, aunque por tracción y compresión no existen inconvenientes. De acuerdo con la finalidad del proyecto, para la implementación en campo, se elaboraron mallas del tal manera que conservara dimensiones de 0.5 m x 0.12 m x 1.5 m en cada huella; posteriormente se excavó una zanja, se ubicaron las mallas, seguidamente se agregó el triturado y finalmente se compactó, de esta forma en campo se evidencia que el factor más importante es el flujo vehicular al cual está sometida la malla, dado que a mayor carga mayor deterioro del material de relleno.

---

\* Trabajo de Grado

\*\* Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas Escuela de Ingeniería Civil Director Luis Alberto Capacho Silva M.Sc. en Ciencias de la Información e Informática

## ABSTRACT

**Title.** Feasibility of using a mesh made with 40 gauge pipe constructed with recycled Pet material for the improvement of a subgrade \*

**Authors:** Diana Marcela Aparicio Gutiérrez  
Silvia Juliana Pérez Cárdenas \*\*

**KEYWORDS:** PET, geocell, subgrade, modulus of elasticity, compression, traction, bending, stress

This investigation focuses its objectives on finding an alternative for the improvement of a subgrade, evaluating it with compression, bending and traction tests. In addition, a qualitative analysis in two experimental sections using as main material 40-gauge irrigation pipe made from recycled PET material. In the tensile test two tubes were used joined by staples, in addition to two rods with metallic hook of 5/8 "diameter to fit the universal machine; the bending test beam was made similar to the one specified by the standard on the resistance to bending in concrete beams, finally the modulus of elasticity was determined in each of the tests being the compression significantly higher, to use these properties in WinJULEA a multilayer linear elastic analysis software and thus determine tensile and deformation stress, finding that the pavement fails when performing a deformation analysis, although by traction and compression there are no drawbacks. In accordance with the purpose of the project, for the implementation in the field, meshes were made in such a way that they conserved dimensions of 0.5 m x 0.12 m x 1.5 m each; later a ditch was excavated, the meshes were placed, then the material was added and finally it was compacted, in the field it is evident that the most important factor is the vehicular flow where the mesh is located, given that the higher the load, , higher will be the deterioration of the filling material.

---

\* Degree work

\*\* Faculty of Physical and Mechanical Engineering School of Civil Engineering Director Luis Alberto Capacho Silva M.Sc. en Ciencias de la Información e Informática

## INTRODUCCIÓN

Los plásticos son materiales duraderos y ligeros que permiten ser moldeados con facilidad, son útiles en una amplia gama de aplicaciones, sin embargo, los niveles de producción del plástico han aumentado en los últimos 60 años causando un impacto ecológico global. Cada año una parte de la producción del plástico se utiliza para generar envases u otros productos que son de corta duración y desechados casi instantáneamente. Lo mencionado anteriormente indica que el uso actual de plásticos no es sostenible. Además, debido a la durabilidad de los polímeros implicados, cantidades sustanciales de los plásticos al final de su vida se están acumulando como desechos en vertederos y en hábitats naturales en todo el mundo<sup>1</sup>.

Pensando en alternativas en las que se puede implementar el aprovechamiento del material PET, empiezan a surgir ideas en el ámbito de la ingeniería para que de alguna manera se reduzca la contaminación y el impacto ambiental que éste genera. De esta forma, los geosintéticos fabricados a partir de materiales poliméricos se han utilizado ampliamente como materiales de construcción, para resolver muchos problemas de ingeniería civil desde la década de los 70's, especialmente para mejorar el rendimiento de vías pavimentadas y sin pavimentar<sup>2</sup> resaltando en esta investigación las geoceldas.

Con el presente trabajo se busca implementar y evaluar una rejilla para mejorar una subrasante, que supla las necesidades de aquellos contratistas o constructores que

---

<sup>1</sup> PHILOSOPHICAL TRANSACTIONS OF THE ROYAL SOCIETY Plastics recycling: challenges and opportunities

<sup>2</sup> HAN, Jie; THAKUR, Jitendra Sustainable roadway construction using recycled aggregates with geosynthetics En: Science direct

buscan una alternativa económica para el mejoramiento del tránsito de una vía de tercer orden donde circula tráfico liviano y/o pesado.

## **1. OBJETIVOS**

### **1.1. OBJETIVO GENERAL**

Evaluar el comportamiento en dos tramos viales de diferente nivel de tráfico en donde se haya aplicado las mallas de tubería calibre 40 de PET reciclado.

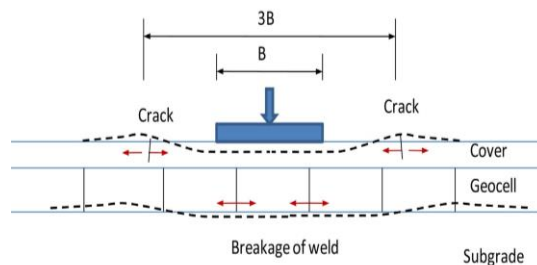
### **1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Caracterizar la rejilla PET reciclado mediante los ensayos de compresión y tracción, cuyo material de relleno a usar es grava tamaño  $\frac{1}{4}$ ”.
- Implementar y diagnosticar el comportamiento de las rejillas caracterizadas en dos tramos experimentales con diferente nivel de tráfico.

## 2. ORIGEN Y ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Las geoceldas pueden ayudar a reducir varios tipos de dificultades, aumentando la vida útil de las estructuras del pavimento, además proporcionan una membrana tensada o efecto de viga cuando una vía se deforma extensamente como se muestra en la figura 1. Estas proporcionan refuerzo a agregados de base y subrasante al facilitar un confinamiento lateral debido a su resistencia a la tracción y rigidez. Thakur et al. (2012) comentan que las bases reforzadas con geoceldas tenían una mejor resistencia a flexión y mejor distribución de esfuerzos<sup>3</sup>

**Figura 1. Efecto de viga producido por geoceldas.**



Fuente: X. Yang, J. Han

De acuerdo con algunas investigaciones el uso de geoceldas tiene varias ventajas, “Al-Qadi y Hughes (2000) construyeron secciones de carreteras pavimentadas con diferentes tipos de geosintéticos. Evaluaron el rendimiento del pavimento en un período de tres años y sugirieron que las geoceldas podrían proporcionar una mejora significativa en la capacidad de la estructura de pavimentación cuando se utiliza sobre una subrasante débil. Edil y col. (2002) también construyeron secciones de carreteras pavimentadas en una subrasante débil para evaluar el rendimiento de las subbases construidas utilizando diferentes subproductos industriales con

---

<sup>3</sup> Ibíd..

geosintéticos. Los resultados de sus pruebas indicaron que la sección de la carretera con una subbase de escoria de fundición reforzada con geoceldas, mostró rigidez equivalente en comparación con la sección de control con una subbase de piedra. Debido al alto costo de las pruebas de campo, algunos investigadores (Mhaiskar y Mandal, 1994; Pokharel et al., 2010) realizaron pruebas en modelos de laboratorio, donde se aplicaba carga de placa cíclica (para simular una carga de tráfico) a secciones de base reforzadas y no reforzadas. Los resultados de estas pruebas también demostraron la mejora en el rendimiento de desplazamiento de las bases reforzadas con geoceldas. Sin embargo, las pruebas de carga de placas cíclicas no pueden simular por completo el historial de carga generado por las ruedas en movimiento<sup>4</sup>.

Las principales aplicaciones de las geoceldas son:

Patios industriales, fábricas, áreas de almacenamiento externas.

- Zonas de carga HGV (Heavy goods vehicle- Vehículos de carga pesada), como se muestra en la figura 2.
- Áreas de acceso para montacargas.
- Estacionamiento para autobuses y carros.
- Caminos de acceso
- Carriles de acceso de bomberos<sup>5</sup>

---

<sup>4</sup> YANG, Xiaoming; HAN, Jie; SANAY, Pokharel; CHANDRA, Manandhar Accelerated pavement testing of unpaved roads with geocell-reinforced sand bases En: Scine Direct

<sup>5</sup> SUREGREEN TRUCKGRID-Lite [en línea] disponible en: <http://www.sure-ground.com/plugins/downloads/files/Suregreen-Truckgrid-Lite-Leaflet-Web.pdf>

**Figura 2. Geoceldas SUREGREEN TRUCKGRID-LITE.**



Fuente: SUREGREEN TRUCKGRID-LITE.

### **3. MATERIALES UTILIZADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE LAS MALLAS**

Uno de los principales objetivos de este proyecto está basado en la elaboración de geoceldas artesanales para ser evaluadas en laboratorio y campo. A continuación, se detalla cada uno de los materiales utilizados.

#### **3.1 MANGUERA AGRÍCOLA CALIBRE 40**

Teniendo en cuenta el proyecto de grado de los ingenieros José Daniel Zambrano Cardozo y Luz Adriana Sandoval Vides titulado “Comportamiento de rejillas construidas a partir de botellas PET recicladas como alternativa para el mejoramiento de una subrasante”<sup>6</sup>, el cuál mencionaba dentro de sus recomendaciones continuar con el estudio utilizando otro tipo de materiales para mejorar el comportamiento de las rejillas, de esta manera se eligió un material que soportara la carga que pasa por la vía, por ende se utilizó manguera agrícola calibre 40 como se evidencia en la figura 3, siendo el calibre una medida comercial, con un diámetro interior de 2”. Para los ensayos y las mallas implementadas en campo se utilizaron 115 metros lineales de manguera en total.

---

<sup>6</sup> ZAMBRANO, José; SANDOVAL, Luz Comportamiento de rejillas construidas a partir de botellas PET recicladas como alternativa para el mejoramiento de una subrasante Bucaramanga 2017

**Figura 3. Manguera agrícola calibre 40.**



### **3.2 TRITURADO DE RELLENO Y GRAPAS DE TAPICERÍA PARA LA UNIÓN DE LOS TUBOS**

Siguiendo con las recomendaciones del proyecto mencionado anteriormente, se utilizó material granular de base tamaño 1/4" (figura 4). Para unir los tubos se utilizaron unas siliconas, pero al momento de tener contacto con el agua (condiciones reales en campo) se cristalizaba y por ende se despegaba; debido a esto como solución definitiva se utilizaron grapas de tapicería como se encuentran ilustradas en la figura 5, estas debían ser instaladas con la ayuda de una grapadora neumática y un compresor para ensamblar los tubos.

**Figura 4. Grava de relleno.**



**Figura 5. Grapas de tapicería.**



## 4. METODOLOGÍA

La metodología consta de dos fases la primera es el procedimiento en laboratorio y la segunda el procedimiento en campo:

### 4.1 PROCEDIMIENTO EN EL LABORATORIO

En primer lugar, se realizó el corte de la tubería utilizando una sierra radial cada 12 cm, puesto que según la norma INVE 152-13 especifica que la altura adecuada para los ensayos debe ser dos veces el diámetro. Luego de tener los tubos se graparon en la parte superior e inferior de las uniones, como se puede evidenciar en la figura 6, las cuales se dividieron en dos formas: la primera lineal y la segunda diagonal, hasta formar rejillas 3x3 además de colocar la malla plástica en la parte inferior de la misma, cuya función básicamente es que el material se mantenga confinado y que en la época de lluvias el agua tenga la posibilidad de drenar.

**Figura 6. Unión de tubos mediante grapas.**



Posteriormente se hizo selección del material con el cuál se iba a rellenar, para esto se utilizó grava con tamaño  $\frac{1}{4}$ ", luego se compactó con 5 capas cada una de a 25 golpes. En la figura 7 se aprecia como quedaron las mallas finalmente.

**Figura 7. Malla 3x3.**



Se realizaron ensayos a compresión, tracción y flexión. En el ensayo a compresión se hicieron muestras individuales y en conjunto, estas últimas tuvieron dos formas de pegado: con grapas y silicona, para el de tracción con un par de tubos unidos con grapas o con tornillos y por último en el de flexión se elaboraron dos vigas de 8 tubos de largo por 2 de ancho (figura 14). La velocidad de carga utilizada para todos los ensayos fue 10 mm/min.

**4.1.1 Ensayos a compresión** Para el ensayo a compresión se utilizó la máquina MTS como se muestra en la figura 8. Se elaboraron tres mallas 3x3 además de tubos individuales para así obtener la capacidad de carga que soporta.

**Figura 8. Máquina MTS.**



A continuación, en la figura 9 se evidencia el ensayo a compresión de una de las mallas, luego en la figura 10 se observa la misma unos minutos después de ser ensayada.

**Figura 9. Ensayo a compresión malla 3x3.**



**Figura 10. Malla 3x3 después del ensayo a compresión.**



Para los tubos individuales se realizó el mismo procedimiento descrito anteriormente y en la figura 11 se aprecian las muestras ensayadas.

**Figura 11. Tubos individuales después del ensayo a compresión.**



**4.1.2 Ensayos a tracción** En este ensayo se ideó probar dos tubos unidos por grapas a tracción mediante dos varillas de 5/8" como se muestra en la figura 12.

**Figura 12. Ensayo a tracción con tubos grapados.**



Además, se optó por realizar un ensayo adicional con tubos atornillados y apernados (figura 13) para hacer un análisis comparativo de comportamiento.

**Figura 13. Ensayo a tracción con tubos atornillados y grapados.**



**4.1.3 Ensayos a flexión** Respecto al ensayo a flexión se elaboraron dos mallas de 8x2 tubos, con dimensiones aproximadas de 13 cm de ancho y 60 cm de largo, con el fin de formar una viga similar al ensayo de la resistencia a la flexión del concreto que se encuentra en la norma INVE 415-13, donde se describe que la luz libre entre apoyos debe ser tres veces la altura y para este caso era de 37 cm aproximadamente como mínimo, pero de acuerdo a los apoyos utilizados para este ensayo la luz fue de 44 cm. En la parte inferior de la misma se grapó una tela para sostener el material y poder observar el momento en que los tubos se separan, también se envolvió en papel film de cocina. En la figura 14 se muestra la malla mencionada anteriormente.

**Figura 14. Malla 2x8 ensayos a flexión.**



Ya con las mallas se procede a ubicarla en la máquina MTS sobre una placa que en sus extremos tiene dos varillas de 1" que sirven como apoyo simple, así se muestra en la figura 15.

**Figura 15. Ensayo a flexión malla 2x8.**



#### **4.2 PROCEDIMIENTO EN CAMPO**

Para la unión de los tubos se realizó de la misma manera que en el laboratorio acompañada de una prensa que facilitaba la unión de varios tubos, puesto que las dimensiones deseadas eran mayores.

Por razones prácticas se elaboraron paneles de aproximadamente 0.50 m x 0.50 m hasta llegar a las dimensiones finales de 0.50 m x 1.5 m, es decir, se colocaban de a tres paneles en cada huella. En la figura 16 se evidencian los paneles mencionados anteriormente.

**Figura 16. Paneles para cada huella.**



Con las mallas construidas previamente se procede a realizar dos zanjas por tramo de 0.50 m x 1.5 m, una vez terminadas se compacta el terreno, se agrega el triturado y la arena siguiendo una relación 3:1. A continuación, en la figura 17 y 18 se muestra el proceso descrito en cada tramo.

**Figura 17. Instalación de mallas sector Ruitoque Bajo (Vía terciaria).**



**Figura 18. Instalación de mallas sector Pradosol (Estacionamiento).**



## 5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 5.1 ENSAYO A COMPRESIÓN

Primero se realizaron dos formas de pegado: lineal y diagonal con el fin de establecer la forma adecuada para ensamblar las mallas, de esta manera se determinó que este parámetro no era relevante pues soportaba la misma carga, por esta razón se decidió realizar un pegado lineal por efectos de practicidad en el ensamble de las mallas.

Además, se efectuaron tres tipos de ensayos: un ensamble de dos mallas 3x3 con grapas, otro utilizando una silicona invisible marca Pattex™ y finalmente tres tubos individuales.

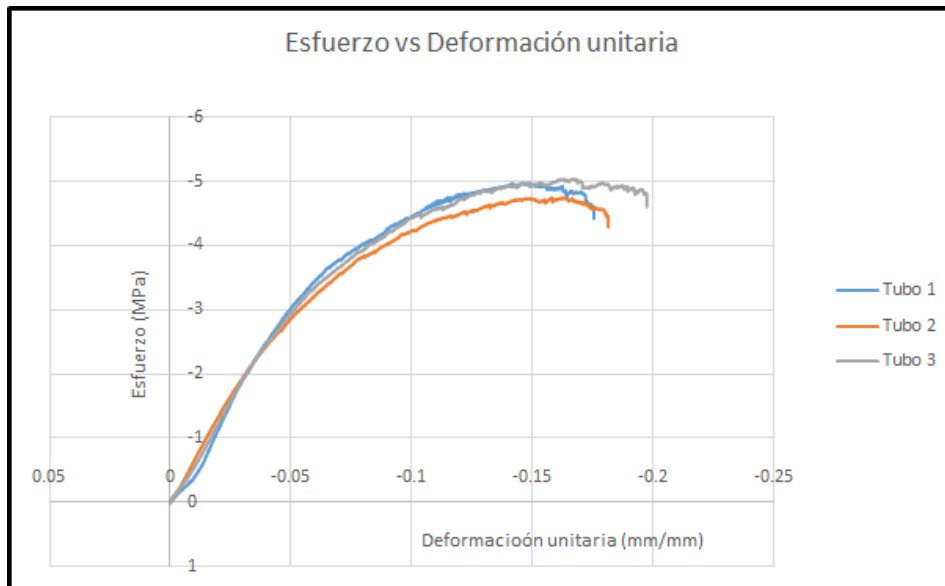
A partir de los datos obtenidos en el ensayo, se calculó el módulo de elasticidad mediante la ecuación de Robert Hooke (1) donde se relacionan esfuerzo y deformación unitaria como se muestra en las gráficas 1 y 2.

$$\sigma = E * \varepsilon \quad (1)$$

**Gráfica 1. Esfuerzo vs Deformación unitaria de mallas 3\*3**



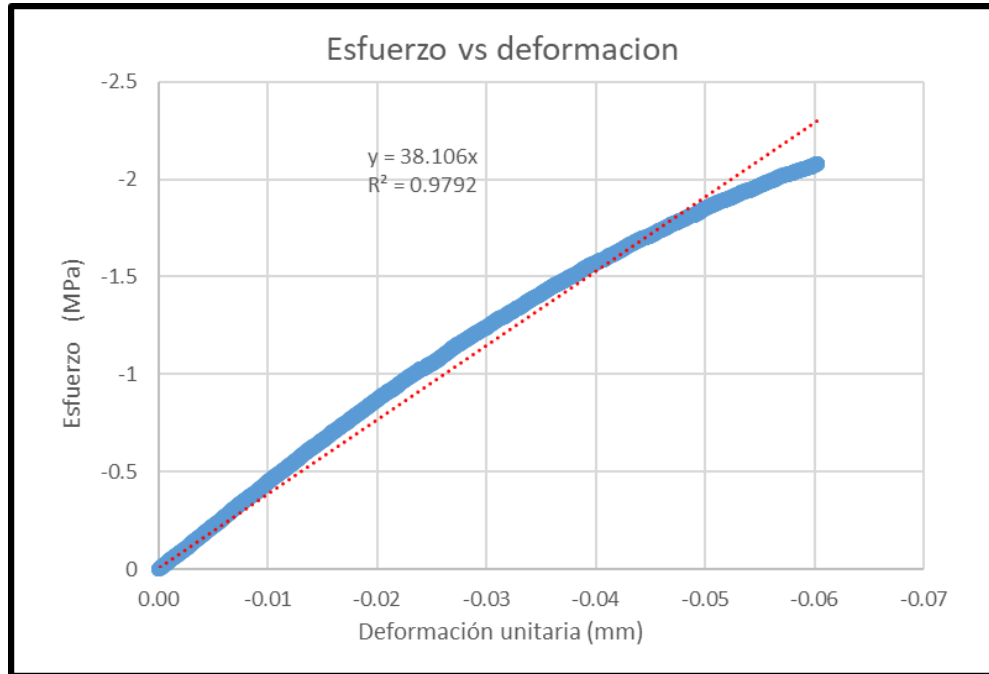
**Gráfica 2. Esfuerzo vs Deformación unitaria de tubos individuales**



Siguiendo con la Ley de Hooke en el tramo inicial de la gráfica la deformación es proporcional al esfuerzo, esta es una zona donde el material responde a un comportamiento elástico y su pendiente representa la rigidez, debido a esto

mediante una regresión lineal se encuentra el módulo de Young como se evidencia en la gráfica 3 para una malla 3\*3 unida con silicona. En el Anexo 1 se encuentran todas las gráficas con su respectiva regresión lineal.

**Gráfica 3. Regresión lineal del límite elástico a compresión malla unida con silicona 1.**



En la tabla 1 se pueden observar los resultados consolidados de módulos de elasticidad obtenidos, teniendo en cuenta dos mallas pegadas con grapas, otras 3 con silicona y finalmente 3 tubos individuales.

**Tabla 1. Módulos de elasticidad a compresión**

	<b>Módulo de elasticidad (MPa)</b>	<b>Promedio (MPa)</b>
Grapas 1	35	37.4
Grapas 2	42	
Silicona 1	38	
Silicona 2	36	

	<b>Módulo de elasticidad (MPa)</b>	<b>Promedio (MPa)</b>
Silicona 3	36	
Tubo 1	33	27.7
Tubo 2	26	
Tubo 3	24	

Seguido de lo mencionado anteriormente, se elaboró un análisis de esfuerzos que soporta la malla teniendo como referencia la carga a la cual fue sometida en este ensayo, por esta razón con la norma técnica colombiana 4788 se encuentran los valores más representativos de pesos según el tipo de eje (tabla 2), se tomará como referencia un camión C2 que consta de un eje sencillo de rueda simple y un eje sencillo de rueda doble (6 llantas) que soporta 170000 N, es decir cada llanta transmite 28333 N, al distribuir esa carga en el área de contacto de una llanta de aproximadamente 36600 mm<sup>2</sup> se obtiene un esfuerzo de 0.774 MPa, de esta manera acorde con el esfuerzo máximo obtenido a compresión de 4.4 MPa se concluye que la malla soporta esfuerzos superiores a los requeridos.

**Tabla 2. Peso máximo por eje**

<b>Tipo de eje</b>	<b>Peso máximo por eje, Kg</b>	<b>Peso máximo por eje, kN</b>
<b>Eje sencillo</b>		
Dos llantas	6000	60
Cuatro llantas	11000	110
<b>Eje tándem</b>		
Cuatro llantas	11000	110
Seis llantas	15500	155
Ocho llantas	22000	220
<b>Eje tridem</b>		
Seis llantas	16500	165
Ocho llantas	19000	190
Diez llantas	21500	215
Doce llantas	24000	240

Fuente: Norma técnica colombiana 4788

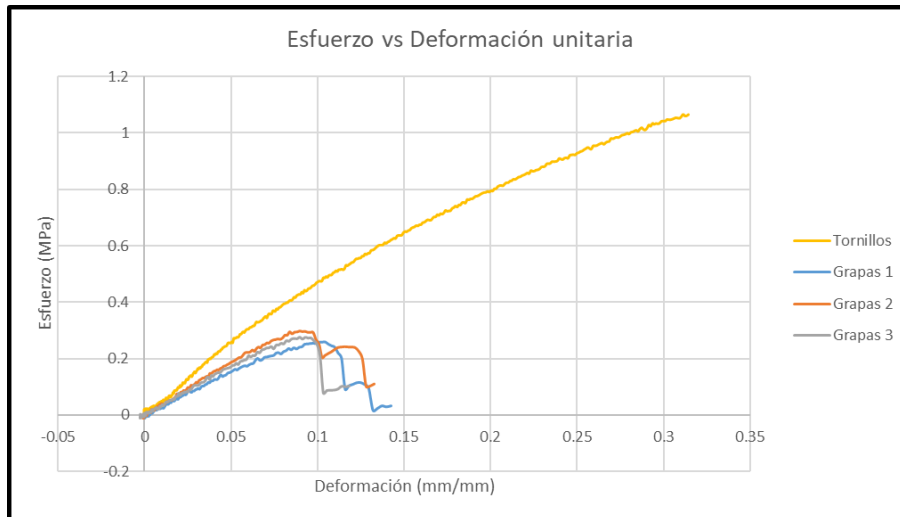
## 5.2 ENSAYO A TRACCIÓN

Al igual que el ensayo anterior se calcularon módulos de elasticidad bajo las mismas premisas, teniendo en cuenta que esta vez fallaron las grapas y por ende estas arrojaron resultados significativamente menores; con la otra alternativa de unión (tornillos y tuercas) se buscaba mejorar estas cifras. En la gráfica 4 se encuentran consolidados los resultados, de la misma forma se realizó una regresión lineal para cada par de tubos, en la gráfica 5 se muestra los valores obtenidos por el primer par de tubos unidos con grapas. Adicionalmente en el Anexo 2 se encuentran las demás gráficas, en la tabla 3 se muestran los valores calculados.

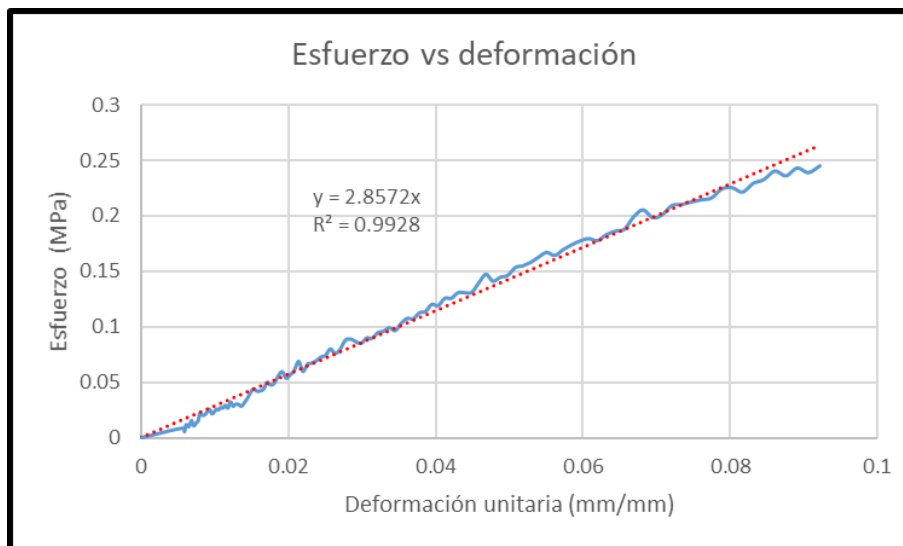
**Tabla 3. Módulos de elasticidad a tracción**

	<b>Módulo de elasticidad (MPa)</b>	<b>Promedio (MPa)</b>
Tubos unidos con grapas	2.86	3.2
	3.57	
	3.29	
Tubos unidos con tornillos	3.84	3.84

**Gráfica 4. Esfuerzo vs Deformación unitaria de tubos unidos por grapas y tornillo.**



**Gráfica 5. Regresión lineal del límite elástico a tracción malla unida con grapas 1.**



### 5.3 ENSAYO A FLEXIÓN

De acuerdo con la teoría del ensayo de viga a flexión en tres puntos para materiales homogéneos e isotrópicos, el módulo a flexión obtenido coincide con el módulo elástico. En este caso asumiendo que la geocelda utilizada es un material homogéneo, isotrópico, linealmente elástico y continuo se obtuvo el módulo de Young como se muestra en la ecuación **(2)**.

$$E_f = \frac{L^3 m}{4bd^3} \quad (2)$$

$E_f$ =Módulo a flexión

L= Longitud de la viga

m=el gradiente (pendiente) de la porción de línea recta inicial de la desviación de carga, curva (F/D), (N/mm)

b=Ancho de la viga

d= Espesor de la viga.

Cálculo tipo:

**Tabla 4. Valores para cálculo tipo**

Longitud de la viga (mm)	440
Fuerza (N)	823.6
Deflexión (mm)	46.33
Ancho de la viga (mm)	120
Espesor de la viga (mm)	130

$$E_f = \frac{(440^3) * \left(\frac{823.6}{46.33}\right)}{4 * (130) * (120^3)} = 1.7 \text{ MPa}$$

Además, con este ensayo se puede determinar el esfuerzo a flexión utilizando la ecuación 3

$$\sigma_f = \frac{3FL}{2bd^2} \quad (3)$$

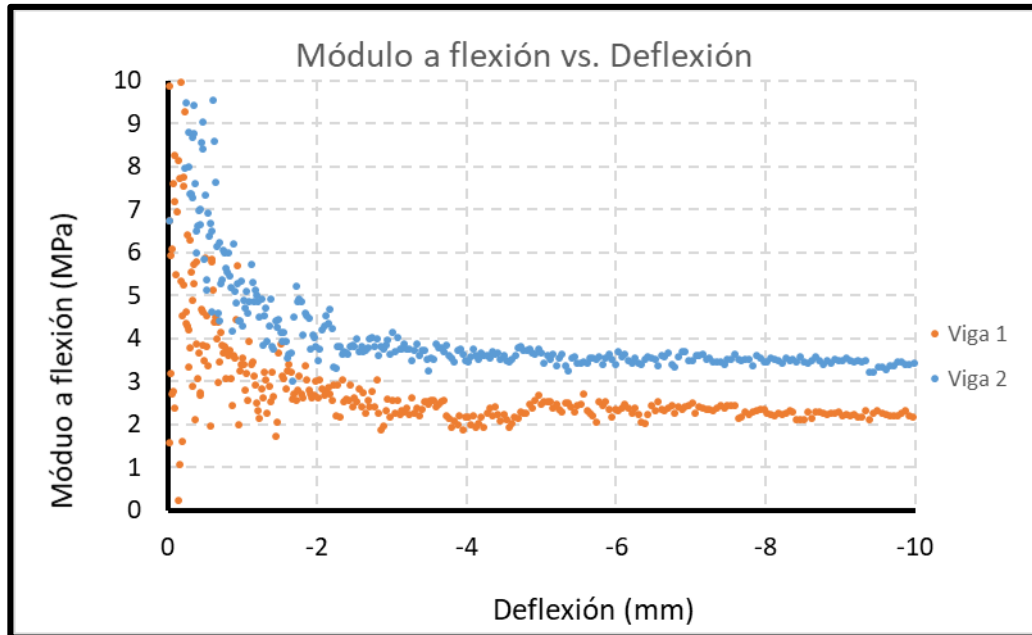
Cálculo tipo utilizando los valores de la tabla 3:

$$\sigma_f = \frac{3 * 823.6 * 440}{2 * 130 * 120^2} = 0.029 \text{ MPa}$$

En el Anexo 3 se encuentran los valores calculados de modulo y esfuerzo a flexión. En la gráfica 6 se observa una síntesis de resultados obtenidos a partir de la ecuación (2) y en la tabla 5 los módulos y los esfuerzos en las deflexiones máximas

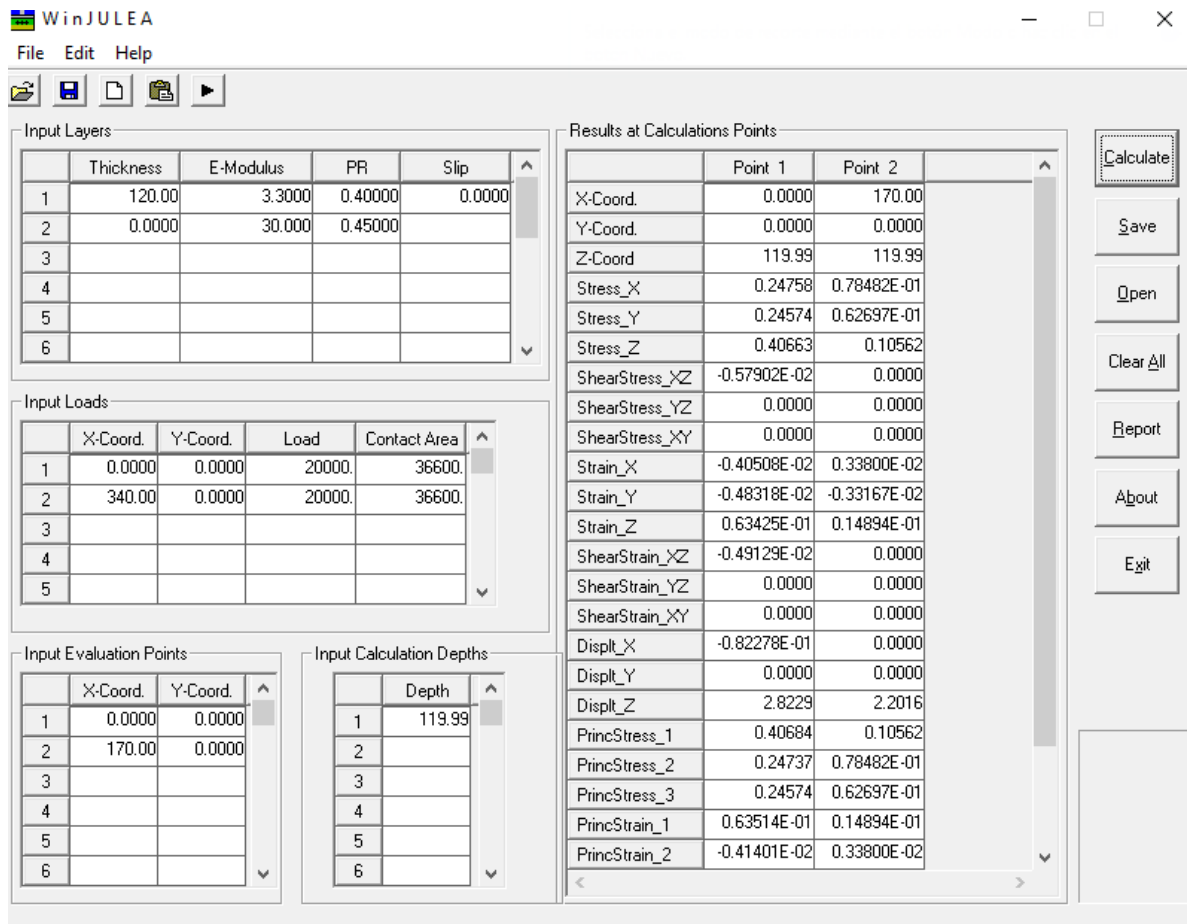
Todo esto se realizó con el propósito de comparar los esfuerzos calculados previamente con los obtenidos mediante el software WinJULEA además de efectuar un análisis por deformación de la subrasante en el mismo programa.

**Gráfica 6. Módulo a flexión vs Deflexión**



**5.3.1 Uso de software (WinJULEA)** Con los módulos obtenidos a flexión, mediante el software WinJULEA se hallaron los esfuerzos a tracción, a continuación, en la figura 20 se muestran los valores que se deben ingresar al software, en “Input layers” se designan las propiedades de las capas de pavimento (Módulo de elasticidad, espesor, relación de poisson), en “Input Loads” se señalan los puntos bajo los cuales se van a imponer las cargas y el valor del eje de referencia que se va a considerar (Camión C2), seguidamente en “Input evaluation points” se designan los puntos bajo los cuales ocurren máximos esfuerzos y para “Input calculation Depths” se ubica la profundidad a la cual se van a evaluar los esfuerzos, finalmente en “Results of calculation points” se observan las opciones “Stress X” ,“Stress Y” y “Strain Z” los dos primeros arrojan los esfuerzos a tracción y el último deformación en la subrasante y se escogen los valores máximos. En el Anexo 4 se encuentra el procedimiento detallado para utilizar el software

**Figura 19. Interfaz del software WinJULEA.**



**Tabla 5. Módulos de elasticidad a flexión.**

	Módulo de elasticidad (MPa)	Esfuerzo a flexión (MPa)	Esfuerzo a tracción (WinJULEA) (MPa)
Viga 1	1.7	0.290	0.264
Viga 2	2.4	0.484	0.257

De acuerdo con la tabla 5 se puede demostrar que la falla no es causada por tracción, por lo tanto, se debe realizar un chequeo por deformación admisible en la subrasante utilizando las ecuaciones de Shell (ecuación 4) donde los factores

dependen de la confiabilidad de diseño, en este caso fue de 85% (figura 19). En la tabla 6 se muestran los valores arrojados por WinJULEA.

$$Nd = f_4 * Ez^{-f_5} \quad (4)$$

**Figura 20. Factores  $f_4$ ,  $f_5$  ecuaciones de Shell.**

INSTITUCIÓN	$f_4$	$f_5$	Profundidad de deformación máxima. (mm)
Compañía Shell			
50% de confiabilidad	$6.15 \cdot 10^{-7}$	4.00	
85% de confiabilidad	$1.94 \cdot 10^{-7}$	4.00	
95% de confiabilidad	$1.05 \cdot 10^{-7}$	4.00	
Instituto del Asfalto	$1.365 \cdot 10^{-9}$	4.477	12.7
TRRL, U.K.			
85% de confiabilidad	$6.18 \cdot 10^{-8}$	3.97	10.16
BRRC, Bélgica	$3.05 \cdot 10^{-9}$	4.35	

**Tabla 6. Esfuerzo por deformación.**

	Módulo de elasticidad (MPa)	Esfuerzo por deformación WinJULEA
Viga 1	1.7	0.0109
Viga 2	2.4	0.0108

De acuerdo con la ecuación 4 se reemplazan los coeficientes y el valor del esfuerzo por deformación, determinando que el número de ejes equivalentes es tan pequeño que no soportaría el paso de camiones tipo C2 como se muestra en el cálculo tipo, puesto que la deformación vertical por compresión en la subrasante es excesiva y se va a producir una deformación permanente de la misma conjuntamente con el pavimento, como se muestra a continuación:

$$Nd = 1.94 * 10^{-7} * 0.011^{-4} \quad (4)$$

$$= 13.25 \text{ ejes equivalentes}$$

## 5.4 MALLAS EN CAMPO

Se realizó un análisis cualitativo mediante material fotográfico en los dos tramos experimentales durante un mes y medio.

### 5.4.1 Ruitoque bajo

**Figura 21. Día 1, junio 18 de 2018**



**Figura 22. Día 8, junio 26 de 2018**



**Figura 23. Día 23, julio 11 de 2018**



**Figura 24. Día 38, julio 26 de 2018**



#### **5.4.2 Pradosol**

**Figura 25. Día 1, junio 22 de 2018**



**Figura 26. Día 8, junio 30 de 2018**



**Figura 27. Día 23 Julio 15**



**Figura 28. Día 36 Julio 22**



## 6. ANÁLISIS DE COSTOS

Durante el desarrollo de esta investigación, se realizó un análisis de precios unitarios como se puede apreciar en el Anexo 5, para determinar el costo total por metro cuadrado de Mallapet™, a continuación, en la Tabla 7 se encuentra sintetizado lo mencionado previamente.

**Tabla 7. Presupuesto final Mallapet m<sup>2</sup>**

<b>MALLAPET</b>					
<b>PRESUPUESTO OFICIAL</b>					
<b>No.</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>UNID.</b>	<b>CANT.</b>	<b>VR. UNITARIO</b>	<b>VR. TOTAL</b>
1	Excavación	m3	0.12	\$ 11 816.92	1 418
2	Compactación subrasante	m3	0.12	\$ 152 276.66	18 273
3	Instalación malla	m2	1.00	\$ 137 121.70	137 122
4	Material grava	m2	1.00	\$ 22 054.00	22 054
5	Compactación grava	m3	0.12	\$ 61 274.16	7 353
	<b>COSTO DIRECTO</b>				<b>186 220</b>
	<b>AUI 12%</b>				<b>22 346</b>
	<b>COSTO DIRECTO + COSTO INDIRECTO</b>				<b>208 566</b>
	<b>IVA 19% SOBRE UTILIDAD DEL 5%</b>				<b>1 769</b>
	<b>GRAN TOTAL</b>				<b>210 335</b>

## 7. CONCLUSIONES

Por medio de ensayos a compresión, tensión y flexión en la malla se obtienen valores promedio de 37.4 MPa, 3.39 MPa, 2.7 MPa en módulos de elasticidad respectivamente, donde se evidencia que el valor a compresión es considerablemente superior respecto a los otros

Se observa que los esfuerzos que la malla soporta a compresión son superiores a los que transmitiría un camión tipo C2. Además utilizando el software WinJULEA se obtiene que los esfuerzos obtenidos a tracción son inferiores a los calculados con el ensayo de viga a tres puntos y que el pavimento falla por deformación, de modo que no admite el paso de ejes equivalentes, por esta razón es recomendable realizar un modelamiento en el software agregándole capas al pavimento.

Se logra implementar las rejillas en campo y diagnosticar de forma cualitativa a partir de material fotográfico, donde se evidencia que en el tramo de mayor nivel de tráfico el material de relleno se dispersa, en contraste con el otro tramo que se somete a menor flujo, debido a que en el proceso de instalación de la malla no se realizó la compactación adecuada.

## 8. OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES

- Al momento de comprar la manguera el proveedor la entrega enrollada y al extenderla queda curva (por cambios de temperatura en la producción), haciendo que al cortar los tubos no queden simétricos y en la unión de estos se encuentre poca área de contacto. Por esta razón se recomienda cortarla en tramos cortos de tal manera que sea posible introducirla en el horno sometiéndola a altas temperaturas hasta que quede lo más recto posible, o la solución más práctica es pedirle al proveedor que entregue la tubería cortada cada 1.5 m.
- En campo cuando se coloca la grava en la malla, es adecuado que se dejen al menos 3 cm de material por encima del nivel de los tubos y posteriormente se compacte con un vibro compactador pequeño (minipin).
- Uno de los problemas principales que experimentan los pavimentos flexibles son las fisuras debido a fallas por fatiga, por esta razón se recomienda en próximas investigaciones realizar un ensayo bajo cargas repetidas.

## BIBLIOGRAFÍA

ALVAREZ PABÓN J. A., «Asociación Nacional de Fabricantes de Cal,» [En línea]. [citado el : 10 septiembre 2017]. Disponible en: [http://anfacal.org/media/Biblioteca\\_Digital/Construccion/Estabilizacion\\_de\\_Suelos/Estab.Doc.Colombiano,varios%20insumos,Cal.2010-F\\_Upload.pdf](http://anfacal.org/media/Biblioteca_Digital/Construccion/Estabilizacion_de_Suelos/Estab.Doc.Colombiano,varios%20insumos,Cal.2010-F_Upload.pdf).

BOTERO E., MUÑOZ L., OSSA A. y ROMO M., «Comportamiento mecánico del Polietileno Tereftalato (PET) y sus aplicaciones geotécnicas,» Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia, 214.

HAN J. y THAKUR J., « Sustainable roadway construction using recycled aggregates with geosynthetics,» Science direct.

PHILOSOPHICAL TRANSACTIONS OF THE ROYAL SOCIETY, « Plastics recycling: challenges and oportunities».

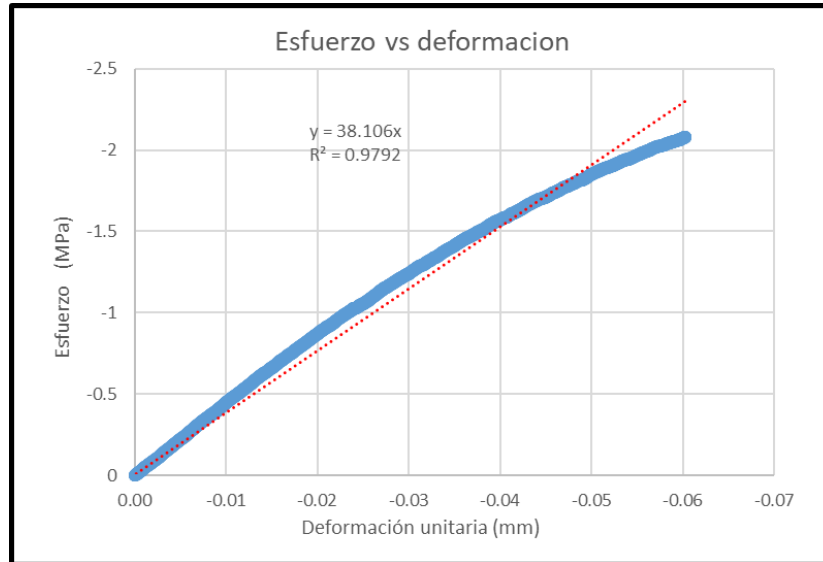
SUREGREEN TRUCKGRID-Lite, «SUREGREEN,» [En línea]. [citado el 20 septiembre 2017]. Disponible en: <http://www.sure-ground.com/plugins/downloads/files/Suregreen-Truckgrid-Lite-Leaflet-Web.pdf>.

YANG X., HAN J., SANAY P. y CHANDRA M., « Accelerated pavement testing of unpaved roads with geocell-reinforced sand bases,» Scine Direct.

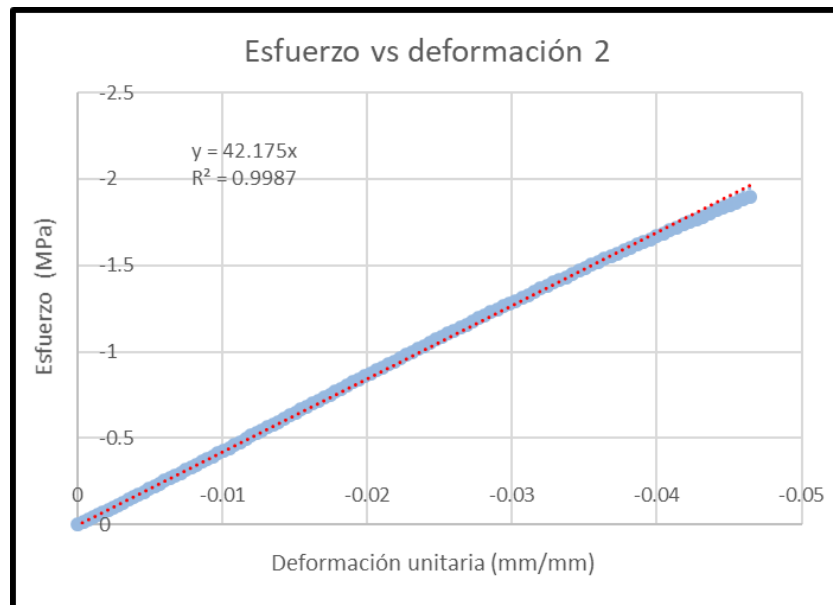
ZAMBRANO J. y SANDOVAL L., Comportamiento de rejillas construidas a partir de botellas PET recicladas como alternativa para el mejoramiento de una subrasante, Bucaramanga, 2017.

## ANEXOS

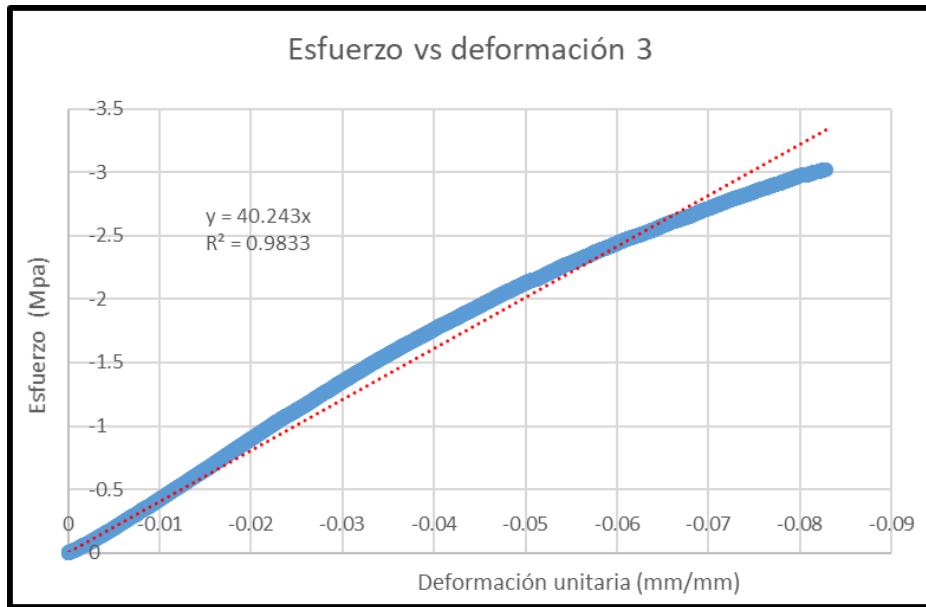
### Anexo A. Regresiones Lineales compresión



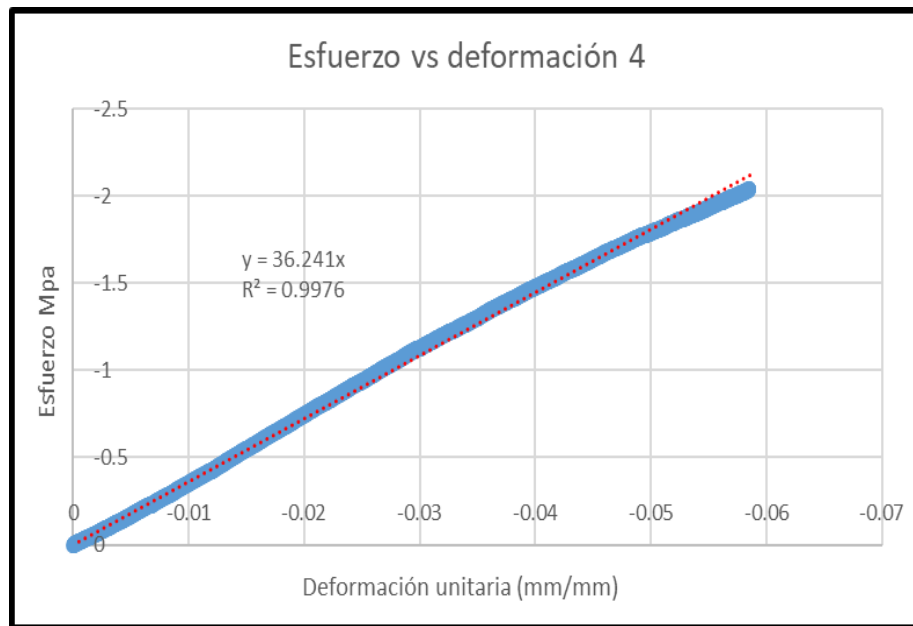
Esfuerzo vs Deformación malla 3\*3 grasas 1



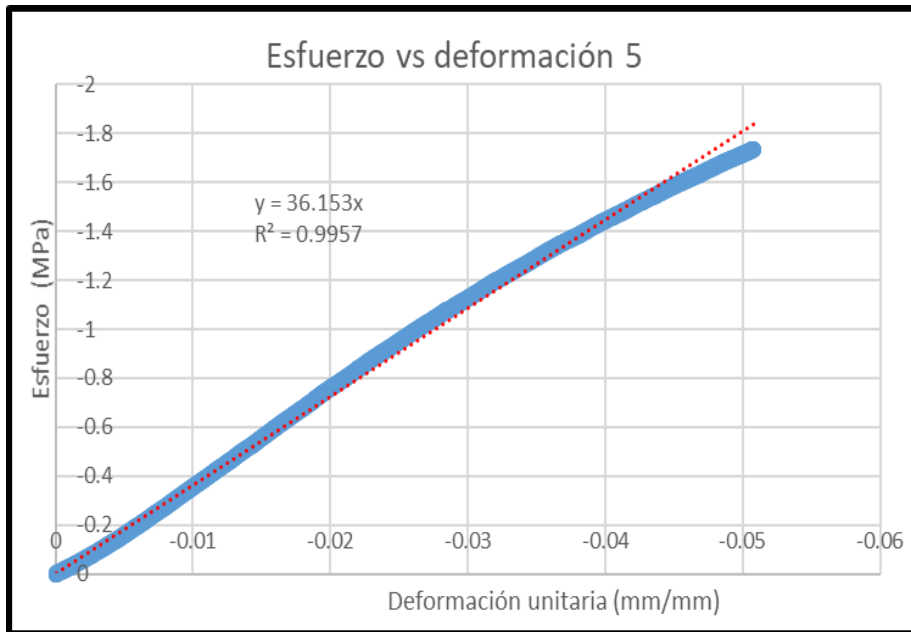
Esfuerzo vs Deformación malla 3\*3 grasas 2



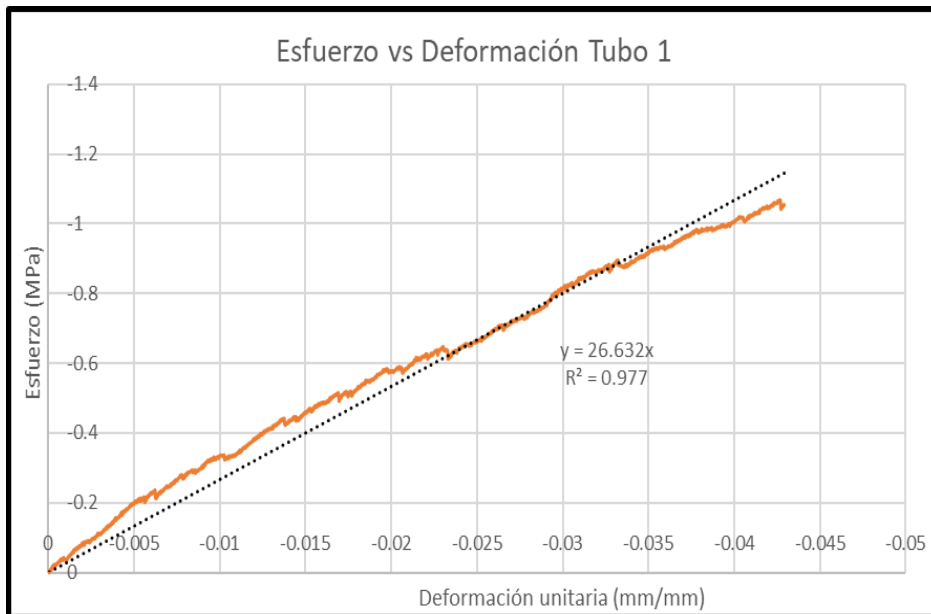
Esfuerzo vs Deformación malla 3\*3 Silicona 1



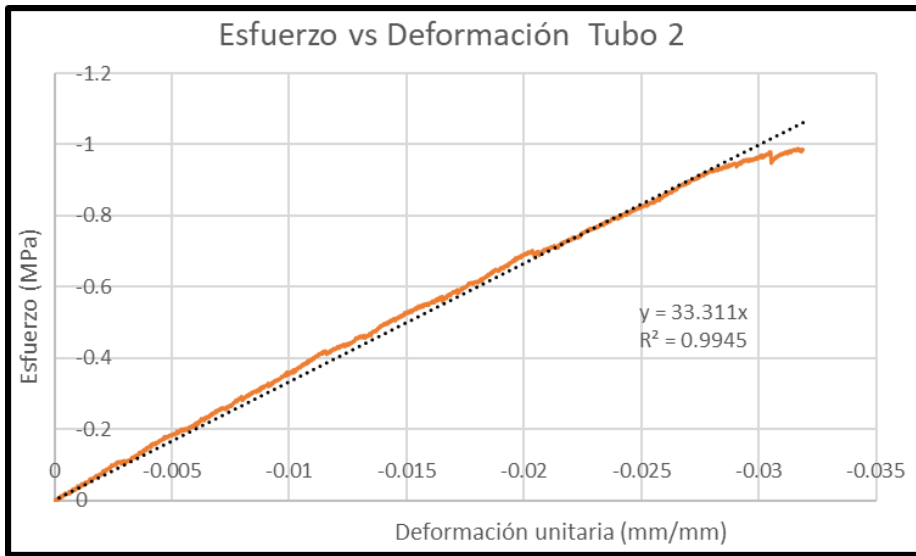
Esfuerzo vs Deformación malla 3\*3 Silicona 2



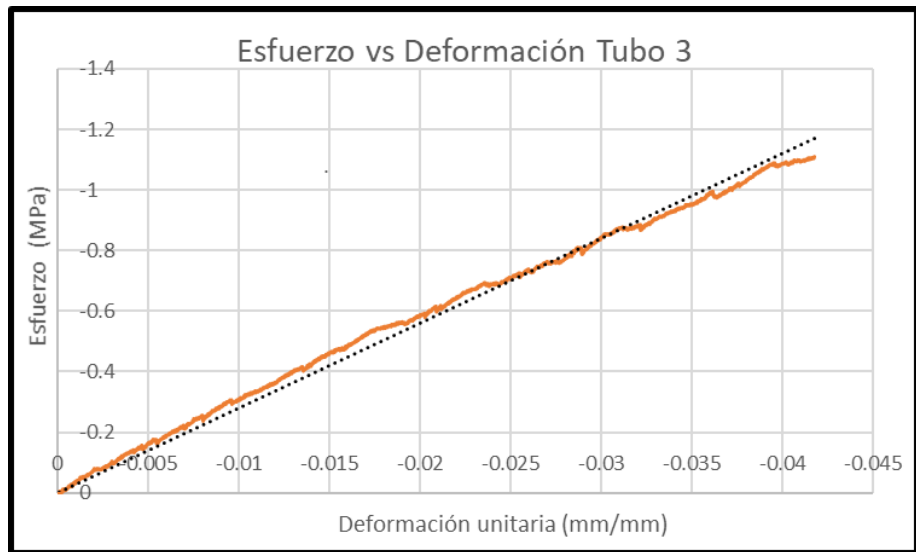
Esfuerzo vs Deformación malla 3\*3 Silicona 3



Esfuerzo vs Deformación tubo1

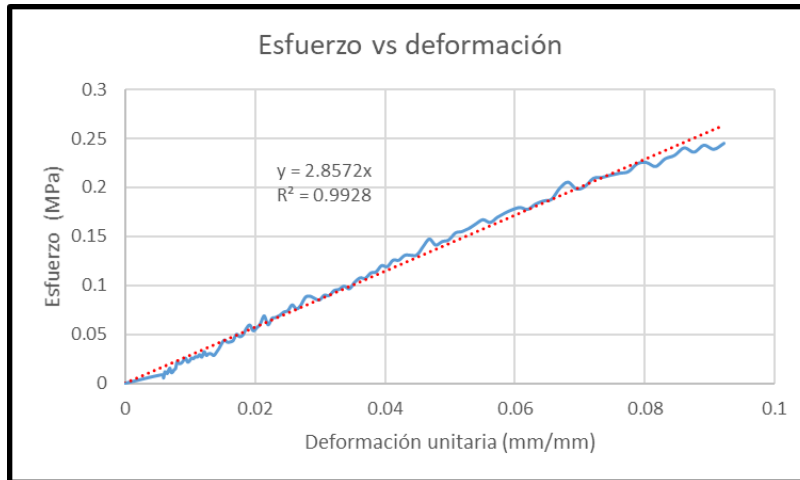


Esfuerzo vs Deformación tubo 2

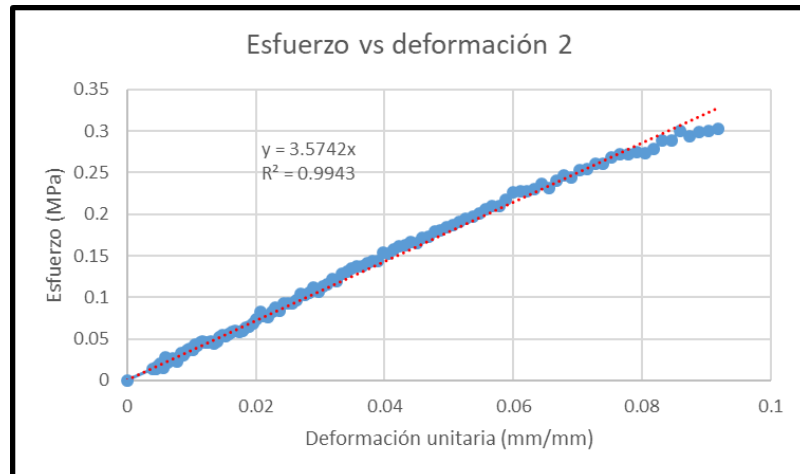


Esfuerzo vs Deformación tubo 3

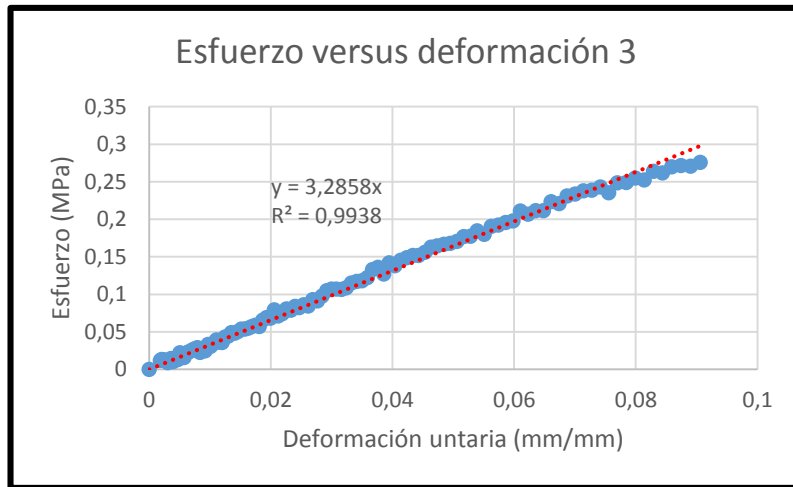
## Anexo B. Regresiones Lineales tracción.



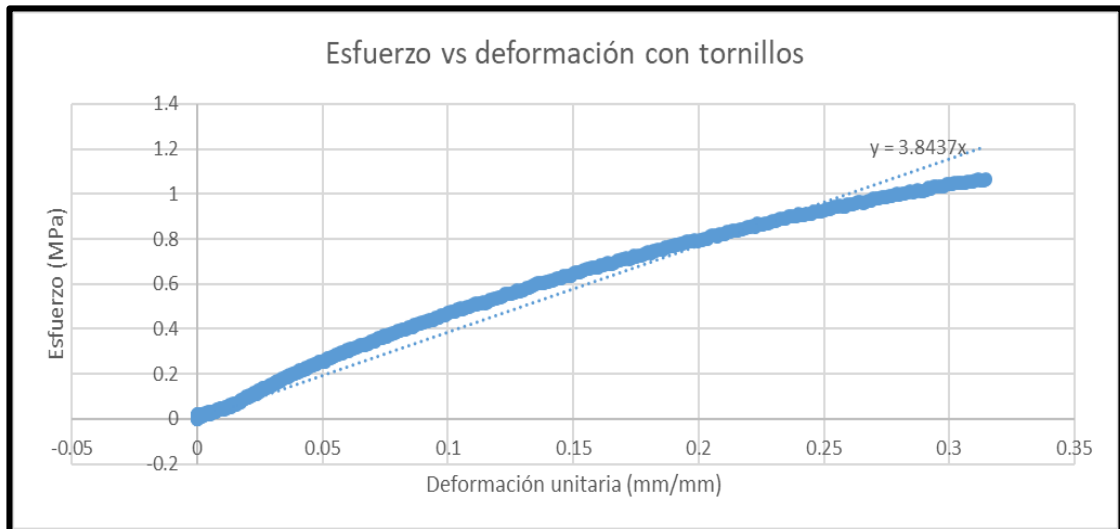
Esfuerzo vs Deformación malla 2\*1 grapas



Esfuerzo vs Deformación malla 2\*1 grapas



Esfuerzo vs Deformación malla 2\*1 grapas



Esfuerzo vs Deformación con tornillos.

## Anexo C. Tablas módulo a flexión.

VIGA 1	
$E_f$	$\sigma_f$
(MPa)	Mpa
-4125.4951	-0.0060
413.8989	-0.0034
1038.9234	-0.0049
169.6294	-0.0023
-50.9976	0.0009
80.5743	-0.0016
130.3789	-0.0032
-119.9633	0.0038
-56.2889	0.0022
135.1637	-0.0062
45.1873	-0.0024
9.8666	-0.0006
42.6514	-0.0029
-0.5697	0.0000
1.5784	-0.0001
6.7377	-0.0006
-0.1363	0.0000
29.0047	-0.0035
3.1782	-0.0004
-9.0040	0.0014
5.9413	-0.0010
-6.6380	0.0012
6.0675	-0.0012
2.7103	-0.0006
12.0973	-0.0028
2.7582	-0.0007
11.6560	-0.0031
7.6048	-0.0021
15.6664	-0.0047
2.3939	-0.0008
8.2730	-0.0028
7.1731	-0.0026
10.7750	-0.0041
11.2524	-0.0046
5.4931	-0.0024
6.9395	-0.0032
-3.6149	0.0017
0.2150	-0.0001
-1.9159	0.0010
8.1336	-0.0045
7.7181	-0.0045
1.0531	-0.0006
5.3413	-0.0034
9.9511	-0.0066
1.6118	-0.0011
4.5285	-0.0033
7.5501	-0.0057
5.2589	-0.0041

7.7453	-0.0063
9.2817	-0.0079
4.6201	-0.0041
4.3355	-0.0040
6.4250	-0.0061
4.3046	-0.0042
3.3257	-0.0034
4.1993	-0.0044
3.7882	-0.0041
6.2869	-0.0071
5.5364	-0.0065
2.8870	-0.0035
4.9003	-0.0061
5.7357	-0.0074
5.2825	-0.0070
2.1168	-0.0029
5.7819	-0.0082
3.8783	-0.0056
3.0681	-0.0046
3.6571	-0.0056
2.6904	-0.0043
2.7427	-0.0045
4.6699	-0.0078
4.6254	-0.0079
3.8484	-0.0068
3.4783	-0.0063
5.8788	-0.0109
4.5255	-0.0086
3.8217	-0.0075
3.3600	-0.0067
-1.2324	0.0025
1.9680	-0.0042
5.8521	-0.0126
5.7778	-0.0128
5.1325	-0.0116
4.3776	-0.0101
4.5021	-0.0107
3.9922	-0.0097
2.9883	-0.0074
4.3862	-0.0111
3.4617	-0.0090
4.1507	-0.0110
3.8505	-0.0104
3.6682	-0.0102
3.7989	-0.0107
3.0611	-0.0088
3.7250	-0.0110
3.5942	-0.0108
3.7376	-0.0115
3.0730	-0.0096
2.4423	-0.0078
3.6170	-0.0118
3.5528	-0.0118

4.4332	-0.0150
5.7070	-0.0197
1.9871	-0.0070
3.2356	-0.0116
3.3868	-0.0124
3.5586	-0.0132
3.3967	-0.0129
2.7836	-0.0107
3.1712	-0.0124
2.5545	-0.0102
3.9184	-0.0159
3.4043	-0.0141
3.4482	-0.0145
3.1392	-0.0134
2.9117	-0.0127
2.4903	-0.0110
2.3142	-0.0104
2.1404	-0.0098
2.8156	-0.0131
2.6180	-0.0124
3.2269	-0.0155
3.0336	-0.0148
2.2608	-0.0112
2.8756	-0.0145
2.5152	-0.0129
3.2082	-0.0167
2.6549	-0.0140
1.7307	-0.0093
2.0580	-0.0112
3.6749	-0.0203
3.8843	-0.0218
3.1339	-0.0178
3.0602	-0.0177
2.8417	-0.0166
3.2443	-0.0193
3.4007	-0.0205
3.2192	-0.0197
2.6028	-0.0161
2.7073	-0.0170
2.5684	-0.0164
2.7848	-0.0180
3.1137	-0.0204
2.6934	-0.0179
2.6328	-0.0177
3.3580	-0.0229
3.0278	-0.0209
2.7969	-0.0196
2.7029	-0.0192
2.6314	-0.0189
2.6783	-0.0195

2.9933	-0.0221
2.6094	-0.0195
3.0219	-0.0229
2.8230	-0.0217
2.6740	-0.0208
2.7633	-0.0217
2.8477	-0.0227
2.7189	-0.0219
2.5688	-0.0210
2.9202	-0.0241
2.2028	-0.0184
2.9316	-0.0248
2.1701	-0.0186
3.0431	-0.0264
2.5155	-0.0221
2.5884	-0.0230
2.5688	-0.0231
2.9124	-0.0265
2.4030	-0.0221
2.6099	-0.0243
2.5197	-0.0237
2.8178	-0.0268
2.4010	-0.0231
2.7270	-0.0265
2.2498	-0.0221
2.5464	-0.0253
2.4058	-0.0242
2.7666	-0.0281
2.4226	-0.0249
3.0354	-0.0315
2.2511	-0.0236
1.8605	-0.0198
1.9501	-0.0209
2.3112	-0.0251
2.5994	-0.0285
2.1851	-0.0242
2.5662	-0.0287
2.2488	-0.0254
2.5684	-0.0293
2.2393	-0.0259
2.3071	-0.0269
2.2830	-0.0269
2.3926	-0.0285
2.2413	-0.0269
2.6294	-0.0319
2.2681	-0.0278
2.3730	-0.0294
2.1961	-0.0275
2.3396	-0.0295
2.5205	-0.0321

VIGA 2	
E <sub>f</sub>	of
(MPa)	Mpa
1999.2037	-0.00684376
3499.3358	-0.00756876
1004.7477	-0.00746392
668.1034	-0.00479918
473.8921	-0.00497074
444.8843	-0.00597755
341.3024	-0.00634849
326.6842	-0.00773887
296.8907	-0.00764244
191.7153	-0.00652403
158.7676	-0.00629178
48.5664	-0.00241869
6.7472	-0.00037808
79.3498	-0.00517093
69.5188	-0.00506149
98.9986	-0.00832661
80.2620	-0.0077219
52.7803	-0.00538981
122.6803	-0.01384075
81.9249	-0.01043179
58.7658	-0.00833962
53.9951	-0.00815577
44.4733	-0.00742564
49.1065	-0.00905774
48.4889	-0.00959013
39.9579	-0.00848517
46.0189	-0.01066231
38.2186	-0.00946589
33.1455	-0.00888221
29.5817	-0.00843352
22.5726	-0.00680403
35.7641	-0.01153611
17.9347	-0.0061921
19.5980	-0.00711574
20.8935	-0.00809979
21.4392	-0.00879083
21.2193	-0.00921269
21.6279	-0.00982102
21.8622	-0.01046294
20.6231	-0.01044082
14.7295	-0.00782231
15.0543	-0.00844797
12.8218	-0.00750726
12.3459	-0.0075004
10.5657	-0.00675564
13.2354	-0.00883164
15.4609	-0.01074394
12.3995	-0.0089642

13.1346	-0.00990518
12.9917	-0.01024505
14.9228	-0.01220331
7.9578	-0.00678056
11.9932	-0.01060994
9.4800	-0.00869466
10.3976	-0.00989723
10.8019	-0.01062764
7.9957	-0.0081713
8.7938	-0.00927626
7.3738	-0.0080615
10.4592	-0.01183012
7.3654	-0.00859389
8.6831	-0.01047811
7.2784	-0.0090917
9.4277	-0.01214218
8.7674	-0.0116293
7.6034	-0.01038194
6.5101	-0.0091773
6.0029	-0.00872211
6.6298	-0.00990734
6.9909	-0.0107685
7.0043	-0.01108743
6.6545	-0.01082557
8.5466	-0.01428257
9.0461	-0.01555837
8.4242	-0.01486372
5.8338	-0.01058177
7.3255	-0.01363912
5.1145	-0.00978562
5.3620	-0.01050484
6.9217	-0.01390287
6.3860	-0.0131508
6.6909	-0.01412248
4.6186	-0.00998464
6.4952	-0.01435156
9.5459	-0.02165122
8.5796	-0.01991193
7.6236	-0.01809525
6.1381	-0.01490959
4.6039	-0.0114339
4.4242	-0.01123588
6.2200	-0.01614936
5.2905	-0.01403651
5.3645	-0.0145596
6.0637	-0.01678333
5.9928	-0.01695634
5.6244	-0.01625085
5.5449	-0.01635126
5.9843	-0.0180129
5.4533	-0.01675218

5.1998	-0.016283
4.1696	-0.01332308
6.2130	-0.02024494
5.0933	-0.01693539
4.8174	-0.01631009
5.2768	-0.01822347
4.4208	-0.01554862
4.4069	-0.01578736
5.3245	-0.01943363
4.2824	-0.01592434
4.8790	-0.0184717
4.7144	-0.01818013
5.1107	-0.02004376
4.5786	-0.01828307
4.8579	-0.01975084
5.7178	-0.02364009
5.3103	-0.02233467
4.8436	-0.02074636
5.1240	-0.02230036
4.9979	-0.02212906
4.8712	-0.02192391
4.4907	-0.02055818
4.9032	-0.02281035
3.8368	-0.01815774
4.5169	-0.02170539
4.7100	-0.02300214
3.9272	-0.01948094
4.2976	-0.0216458
4.9272	-0.02521287
3.8049	-0.01978659
3.7592	-0.01985088
4.4174	-0.02367043
4.2524	-0.0231431
4.4419	-0.02454459
4.1418	-0.02321858
3.9389	-0.02241558
4.1266	-0.02382176
3.9453	-0.02312829
3.5399	-0.02104144
3.6230	-0.02184084
3.6540	-0.02235165
3.0156	-0.01869563
4.4864	-0.02821035
5.2053	-0.03320511
4.8631	-0.03145453
4.9155	-0.03223406
4.8635	-0.03232589
4.0709	-0.02740988
4.5793	-0.03126996
4.5156	-0.03124034

4.4679	-0.03135664
3.7631	-0.02673906
4.0682	-0.02932073
4.0332	-0.02940931
3.8054	-0.02810164
3.4779	-0.02602861
3.7504	-0.02841479
4.1866	-0.03212606
4.2959	-0.0333987
4.5398	-0.03571779
4.3498	-0.03465716
4.6894	-0.03783316
4.2214	-0.03445526
3.3323	-0.02755074
3.2978	-0.02758758
3.8177	-0.0323407
3.8247	-0.0327929
3.6315	-0.03150148
3.6831	-0.03232589
3.6677	-0.03258197
3.6399	-0.0326878
3.8125	-0.03464777
3.8431	-0.03533484
3.8237	-0.03555769
3.9772	-0.03740759
3.6950	-0.03514811
3.8218	-0.03677904
3.7042	-0.03604033
3.7322	-0.03671945
3.7879	-0.03767234
4.0048	-0.04029311
4.0255	-0.04092121
3.8222	-0.03927511
3.9787	-0.04132764
3.5969	-0.03777357
3.8071	-0.0404188
3.7587	-0.04032272
3.8333	-0.04156493
3.9767	-0.04357665
3.6257	-0.04015143
4.1449	-0.04639201
3.6949	-0.04178562
4.0212	-0.04593872
3.7423	-0.04318179
3.7656	-0.04390605
3.8760	-0.0456504
3.7679	-0.04482573
3.7565	-0.04514149
3.4797	-0.04222925
3.7356	-0.04579496

## Anexo D. Procedimiento para el uso del software WinJULEA

1. En "Tickness" se ingresa el espesor de las capas de pavimento que en este caso sería 120 mm que es la altura de cada tubo, para la subrasante se ingresa cero puesto que se toma como si fuera infinita.
2. Para "E-Modulus" se ingresan los módulos de elasticidad que se hallaron a tracción, compresión y flexión, respecto a la subrasante se tiene en cuenta el valor de CBR para vías terciarias que es del 3%. Con la formula,

$$Mr = 10 * CBR(\%) [Mpa]$$

$$Mr = 10 * 3\% = 30 MPa$$

3. La relación de Poisson es una propiedad de cada material en este caso se utilizó la del polietileno que es de 0.4, para la subrasante se supuso de 0.45.
4. En la casilla "Slip" se ingresa el valor de 0 si las capas no están ligadas y 100000 si es lo contrario. Asumiendo que las capas no están ligadas se ingresa el valor de 0.
5. Luego en Input "X-coord y Y-Coord" se ingresa los puntos en los que se van a aplicar las cargas, teniendo en cuenta que la distancia entre el par de llantas es de 340 mm por ende se evalúa en 0 y en 340.

**Tabla** Carga de referencia adoptadas por el Instituto Nacional de Vías para el diseño de pavimentos asfálticos.

Tipo de Eje	Carga de Referencia (kN)	Carga de Referencia (Ton)
Sencillo de rueda simple	65	6.6
Sencillo de rueda doble	80	8.2
Tandem de rueda doble	146	15
Triple de rueda doble	225	23

Teniendo en cuenta la tabla anterior en “Load” se ingresa la carga de un camión C2 como eje de referencia cuyo valor es de 80 kN que distribuidos en las 4 llantas da 20 kN y por último con la carga y la presión de inflado de 80 psi se halla el área de contacto de la llanta que finalmente es de 36600 mm<sup>2</sup> aproximadamente.

$$Carga = \text{Área de contacto} * Presión$$

$$\text{Área de contacto} = \frac{2050 \text{ kgf}}{5.6 \text{ kgf/cm}^2} = 366 \text{ cm}^2$$

- Finalmente en “Input Evaluation points” se ingresan los puntos en los cuales se van a calcular los esfuerzos y en “Depth” la profundidad a la cual se van a encontrar, que en este caso sería justo antes de que termine la altura de la malla es decir en 119.99 mm.

En la figura se observan los datos que fueron ingresados al programa, para los esfuerzos a tracción se miran los valores de “Stress X” y “Stress Y”, y para la deformación en la subrasante se tomó el valor de la casilla “Strain z” escogiendo el mayor de cada uno de estos.

WinJULEA

File Edit Help

**Input Layers**

	Thickness	E-Modulus	PR	Slip
1	120.00	3.3000	0.40000	0.0000
2	0.0000	30.000	0.45000	
3				
4				
5				
6				

**Input Loads**

	X-Coord.	Y-Coord.	Load	Contact Area
1	0.0000	0.0000	20000.	36600.
2	340.00	0.0000	20000.	36600.
3				
4				
5				

**Input Evaluation Points**

	X-Coord.	Y-Coord.
1	0.0000	0.0000
2	170.00	0.0000
3		
4		
5		
6		

**Input Calculation Depths**

	Depth
1	119.99
2	
3	
4	
5	
6	

**Results at Calculations Points**

	Point 1	Point 2
X-Coord.	0.0000	170.00
Y-Coord.	0.0000	0.0000
Z-Coord.	119.99	119.99
Stress_X	0.24758	0.78482E-01
Stress_Y	0.24574	0.62697E-01
Stress_Z	0.40663	0.10562
ShearStress_XZ	-0.57902E-02	0.0000
ShearStress_YZ	0.0000	0.0000
ShearStress_XY	0.0000	0.0000
Strain_X	-0.40508E-02	0.33800E-02
Strain_Y	-0.48318E-02	-0.33167E-02
Strain_Z	0.63425E-01	0.14894E-01
ShearStrain_XZ	-0.49129E-02	0.0000
ShearStrain_YZ	0.0000	0.0000
ShearStrain_XY	0.0000	0.0000
Displ_X	-0.82278E-01	0.0000
Displ_Y	0.0000	0.0000
Displ_Z	2.8229	2.2016
PrincStress_1	0.40684	0.10562
PrincStress_2	0.24737	0.78482E-01
PrincStress_3	0.24574	0.62697E-01
PrincStrain_1	0.63514E-01	0.14894E-01
PrincStrain_2	-0.41401E-02	0.33800E-02

## Anexo E. Análisis de precios unitarios.

MALLAPET						
ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS						
						CAPITULO
Obra: Via terciaria						ITEM
Ítem: EXCAVACIÓN MECANICA SUBRASANTE						UNIDAD M3
<b>I. EQUIPO</b>						
Descripción	Tipo	Unidad	Rendimiento	tarifa	V/Parcial	
Retroexcavadora de llanta		m3	0.15	\$ 12 180.00	\$1 827.00	
<b>SUB-TOTAL</b>						<b>\$ 1 827.00</b>
<b>II. MATERIALES</b>						
Descripción	Und	Cant.	Desp %	Precio	V/Parcial	
<b>SUB-TOTAL</b>						<b>\$0</b>
<b>III TRANSPORTE</b>						
Descripción	Cant	Und		Precio Km	V/Parcial	
Vehiculo con capacidad mayor a 3 ton.	0.13	d		\$ 40 000.00	\$5 200	
<b>SUB-TOTAL</b>						<b>\$5 200</b>
<b>IV MANO DE OBRA</b>						
Descripción	Cant	Und	Rendimiento	Precio un	V/Parcial	
Hora cuadrilla AA Albañinería-Prestaciones (Cargue y retiro de material)	1	hc	0.50	\$ 9 568.00	\$4 784	
Hora cuadrilla AA Albañinería-Prestaciones (excavación mecánica)	1	hc	0.01	\$ 592.00	\$6	
<b>SUB-TOTAL</b>						<b>\$4 790</b>
<b>TOTAL COSTO DIRECTO</b>						<b>11 816.92</b>
<b>PRECIO UNITARIO TOTAL APROXIMADO AL PESO</b>						<b>\$11 817</b>

Análisis de precios unitarios excavación.

MALLAPET						
ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS						
Obra: Via terciaria						CAPITULO
Ítem: COMPACTACIÓN SUBRASANTE						ITEM
						UNIDAD M3
<b>I. EQUIPO</b>						
Descripción	Tipo	Unidad	Rendimiento	tarifa	V/Parcial	
Vibrocompactador de 8 ton.		h	0.05	\$ 5 800.00	\$290.00	
Cagador martillo+operario+combustible		h	0.05	\$ 6 577.00	\$328.85	
Combustible crudo		gl	5.91	\$ 24 331.00	\$143 796.21	
<b>SUB-TOTAL</b>						<b>\$ 144 415.06</b>
<b>II. MATERIALES</b>						
Descripción	Und	Cant.	Desp %	Precio	VParcial	
<b>SUB-TOTAL</b>						<b>\$0</b>
<b>III TRANSPORTE</b>						
Descripción	Cant	Und		Precio Km	V/Parcial	
Vehiculo con capacidad mayor a 3 ton.	0.12	d		\$ 40 000.00	\$4 800	
<b>SUB-TOTAL</b>						<b>\$4 800</b>
<b>IV MANO DE OBRA</b>						
Descripción	Cant	Und	Rendimiento	Precio un	V/Parcial	
Hora cuadrilla AA con prestaciones	1	hc	0.40	\$ 7 654.00	\$3 062	
<b>SUB-TOTAL</b>						<b>\$3 062</b>
<b>TOTAL COSTO DIRECTO</b>						<b>152 276.66</b>
<b>PRECIO UNITARIO TOTAL APROXIMADO AL PESO</b>						<b>\$152 277</b>

Análisis de precios unitarios compactación subrasante.

MALLAPET						
<u>ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS</u>						
						CAPITULO
Obra: Via terciaria						ITEM
Ítem: Instalación malla						UNIDAD M2
<b>I. EQUIPO</b>						
Descripción	Tipo	Unidad	Rendimiento	tarifa	VParcial	
Sierra radial		h	1.50	\$ 4 500.00	\$6 750.00	
Grapadora Neumatica		h	0.500	\$ 6 577.00	\$3 288.50	
<b>SUB-TOTAL</b>						<b>\$ 10 038.50</b>
<b>II. MATERIALES</b>						
Descripción	Und	Cant.	Desp %	Precio	VParcial	
Tubería	ML	31.00		\$ 2 000.00	\$62 000	
Grapa	Und	10000.00		\$ 1.10	\$11 000	
Malla	m2	1.00		\$ 10 000.00	\$10 000	
<b>SUB-TOTAL</b>						<b>\$83 000</b>
<b>III TRANSPORTE</b>						
Descripción	Cant	Und		Precio Km	VParcial	
Vehiculo con capacidad 2 Ton	0.13	d		\$ 25 000.00	\$3 250	
<b>SUB-TOTAL</b>						<b>\$3 250</b>
<b>IV MANO DE OBRA</b>						
Descripción	Cant	Und	Rendimiento	Precio un	VParcial	
Hora cuadrilla AA con prestaciones	1	hc	0.40	\$ 7 654.00	\$7 654	
Hora operario sierra + grapadora	1	hc	0.50	\$ 30 000.00	\$15 000	
Hora cuadrilla construcción malla	1	hc	1.90	\$ 9 568.00	18179.2	
<b>SUB-TOTAL</b>						<b>\$40 833</b>
<b>TOTAL COSTO DIRECTO</b>						<b>137 121.70</b>
<b>PRECIO UNITARIO TOTAL APROXIMADO AL PESO</b>						<b>\$137 122</b>

Análisis de precios unitarios instalación malla.

MALLAPET						
ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS						
						CAPITULO
Obra: Via terciaria						ITEM
Ítem: Material grava						UNIDAD M2
<b>I. EQUIPO</b>						
Descripción	Tipo	Unidad	Rendimiento	tarifa	V/Parcial	
<b>SUB-TOTAL</b>						<b>\$ 0.00</b>
<b>II. MATERIALES</b>						
Descripción	Und	Cant.	Desp %	Precio	V/Parcial	
Relleno material 1/4"	m3	0.12		\$ 60 000.00	\$7 200	
Relleno arena	m3	0.04		\$ 50 000.00	\$2 000	
<b>SUB-TOTAL</b>						<b>\$9 200</b>
<b>III TRANSPORTE</b>						
Descripción	Cant	Und		Precio Km	V/Parcial	
Vehiculo con capacidad mayor a 3 ton.	0.13	d		\$ 40 000.00	\$5 200	
<b>SUB-TOTAL</b>						<b>\$5 200</b>
<b>IV MANO DE OBRA</b>						
Descripción	Cant	Und	Rendimiento	Precio un	V/Parcial	
Hora cuadrilla AA con prestaciones	1	hc	0.40	\$ 7 654.00	\$7 654	
<b>SUB-TOTAL</b>						<b>\$7 654</b>
<b>TOTAL COSTO DIRECTO</b>						<b>22 054.00</b>
<b>PRECIO UNITARIO TOTAL APROXIMADO AL PESO</b>						<b>\$22 054</b>

Análisis de precios unitarios material grava.

MALLAPET						
<u>ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS</u>						
						CAPITULO
Obra: Vía terciaria						ITEM
Ítem: Compactación grava						UNIDAD M2
<b>I. EQUIPO</b>						
Descripción	Tipo	Unidad	Rendimiento	tarifa	VParcial	
Vibrocompactador a gasolina 32*35 cm		d	0.38	\$ 10 182.00	\$3 869.16	
<b>SUB-TOTAL</b>						<b>\$ 3 869.16</b>
<b>II. MATERIALES</b>						
Descripción	Und	Cant.	Desp %	Precio	VParcial	
					\$0	
<b>SUB-TOTAL</b>						<b>\$0</b>
<b>III TRANSPORTE</b>						
Descripción	Cant	Und		Precio Km	VParcial	
<b>SUB-TOTAL</b>						<b>\$0</b>
<b>IV MANO DE OBRA</b>						
Descripción	Cant	Und	Rendimiento	Precio un	VParcial	
Hora cuadrilla AA Albañilería-prestaciones	1	hc	3.00	\$ 57 405.00	\$57 405	
<b>SUB-TOTAL</b>						<b>\$57 405</b>
<b>TOTAL COSTO DIRECTO</b>						<b>61 274.16</b>
<b>PRECIO UNITARIO TOTAL APROXIMADO AL PESO</b>						<b>\$61 274</b>

Análisis de precios unitarios compactación grava.