

**COMPORTAMIENTO DE REJILLAS CONSTRUIDAS A PARTIR DE BOTELLAS
PET RECICLADAS COMO ALTERNATIVA PARA EL MEJORAMIENTO DE UNA
SUBRASANTE**

LUZ ADRIANA SANDOVAL VIDES

JOSE DANIEL ZAMBRANO CARDOZO

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECÁNICAS**

ESCUELA DE INGERÍA CIVIL

BUCARAMANGA

2017

**COMPORTAMIENTO DE REJILLAS CONSTRUIDAS A PARTIR DE BOTELLAS
PET RECICLADAS COMO ALTERNATIVA PARA EL MEJORAMIENTO DE UNA
SUBRASANTE**

LUZ ADRIANA SANDOVAL VIDES

JOSE DANIEL ZAMBRANO CARDOZO

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de

INGENIERO CIVIL

Director:

LUIS ALBERTO CAPACHO SILVA

INGENIERO CIVIL M.Sc.

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECÁNICAS

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

BUCARAMANGA

2017

AGRADECIMIENTOS

Queremos dar gracias a Dios, por permitirnos la finalización de nuestra carrera profesional, a nuestras familias que nos brindaron el apoyo incondicional que necesitamos durante todo este tiempo, y que nos hicieron fuertes cuando nos sentíamos débiles.

Agradecemos nuestros amigos y profesores con quienes compartimos y de quienes aprendimos todo lo que hoy sabemos.

A la Universidad Industrial de Santander, por el hecho de hacernos profesionales íntegros y capaces de enfrentar desafíos de la industria, con innovación, eficiencia y eficacia, sin dejar nunca de ser primero, personas.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	13
1. ORIGEN Y ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	14
1.1. GRAVALOCK.	14
2. DISEÑO EXPERIMENTAL	16
2.1. MATERIAL PARA LA REJILLA	16
2.2. MATERIAL DE RELLENO PARA LA REJILLA	19
2.3. ENSAYOS DE GRANULOMETRÍA.....	20
3. PROCEDIMIENTO DE ENSAYOS	22
3.1. SELECCIÓN DEL MATERIAL	22
3.2. SELECCIÓN DE ALTURA ÓPTIMA DE LA REJILLA	25
3.3. COMPORTAMIENTO DE REJILLAS EN CONFINAMIENTO CON DIFERENTES FORMAS DE PEGADO.....	26
3.4. COMPORTAMIENTO DE REJILLAS CON POLIPROPILENO	28
4. ANÁLISIS DE RESULTADOS	29
4.1. ANÁLISIS DE REJILLAS FABRICADAS CON PROPILENO	35
4.2. ANÁLISIS DE COSTOS.....	36
4.3. ANÁLISIS DE PRUEBAS DE ASENTAMIENTO REALIZADAS	38
5. CONCLUSIONES	40
6. RECOMENDACIONES.....	41
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	42
BIBLIOGRAFÍA	44
ANEXOS	46

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Rejilla fabricada por la empresa Gravalock piso permeable	15
Figura 2. Botella Pet seleccionada para la rejilla.	17
Figura 3. Corte de las botellas	17
Figura 4. Rejilla de 3x3 antes de realizar el relleno	18
Figura 5. Formas de pegado de rejillas.....	19
Figura 6. Materiales seleccionados para los ensayos.....	20
Figura 7. Curva granulométrica de material de base granular	21
Figura 8. Compactación de relleno de botellas.....	21
Figura 9. Botellas rellenas con diferentes materiales.....	22
Figura 10. Ensayo de compresión en Máquina MTS	23
Figura 11. Ensayo de compresión a botella rellena con base granular.....	24
Figura 12. Ensayo de compresión en maquina MTS a rejilla 3x3 para definir material	24
Figura 13. Rejillas 3x3 con las diferentes alturas.....	25
Figura 14. Ensayo de compresión en máquina MTS realizado a rejilla 3x3 para definir altura óptima	26
Figura 15. Ensayo de compresión a rejilla con vasos plásticos comunes.....	28
Figura 16. Ensayo a botella individual rellena con agregado de ¼” de diámetro ...	29
Figura 17. Resultados promedio ensayos de compresión a botellas individuales rellenas con diferentes materiales	30
Figura 18. Resultados promedio a ensayos de rejillas para selección de material	31
Figura 19. Resultados promedio a ensayos de rejillas para definir altura óptima ..	32
Figura 20. Resultados promedio a ensayos de rejillas para definir forma.....	34
Figura 21. Comparación de rejillas Pet vs Vasos PP.....	35
Figura 22. Llanta Michelin 215/75R17.5G.....	38
Figura 23. Chevrolet Npr 2017	39

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Peso máximo por eje	27
Tabla 2. Resumen de resultados promedio a ensayo de botellas individuales	30
Tabla 3. Resumen de resultados a ensayos de rejillas para selección de material	32
Tabla 4. Resumen de resultados de ensayos realizados a rejillas para la selección de la altura óptima	33
Tabla 5. Resumen de resultados de ensayos a rejillas en confinamiento con diferentes formas de pegado	34
Tabla 6. Comparación de rejillas con diferentes materiales.....	36
Tabla 7. Análisis de precios unitarios gravapet por m2.....	37
Tabla 8. Presión de inflado de llantas recomendado por fabricante	39

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. Proyección sistema de rejillas Gravapet, Software Sketch up.	46
ANEXO B. Descripción granulométrica.....	47
ANEXO C. Descripción para botella rellena con material retenido en 1/4"	49
ANEXO D. Descripción para botella rellena con material retenido en 3/8"	49
ANEXO E. Descripción para botella rellena con material retenido en 1/2"	50
ANEXO F. Descripción para botella rellena con material de base granular	50
ANEXO G. Rejilla 14.5 cm rellena con material retenido en 1/2"	51
ANEXO H. Rejilla 14.5 cm rellena con material retenido en 3/8"	51
ANEXO I. Rejilla 14.5 cm rellena con material retenido en 1/4"	52
ANEXO J. Rejilla con 12 cm de altura	52
ANEXO K. Rejilla 10cm de altura.....	53
ANEXO L. Rejilla 7.5 cm de altura	53
ANEXO M. Rejilla forma 1.....	54
ANEXO N. Rejilla forma 2.....	54
ANEXO O. Rejilla forma con vasos.....	55
ANEXO P. Area de contacto con llanta eje tándem	56

RESUMEN

TITULO: COMPORTAMIENTO DE REJILLAS CONSTRUIDAS A PARTIR DE BOTELLAS PET RECICLADAS COMO ALTERNATIVA PARA EL MEJORAMIENTO DE UNA SUBRASANTE. ¹

AUTORES: LUZ ADRIANA SANDOVAL VIDES
JOSE DANIEL ZAMBRANO CARDOZO²

PALABRAS CLAVE: Botella Pet, rejilla, grava, subrasante, esfuerzo axial, estacionamiento, vías peatonales.

DESCRIPCION

Este trabajo estudia el comportamiento de rejillas construidas a partir de botellas Pet, como alternativa para el mejoramiento de una subrasante. Para la selección de las botellas con las que se ensamblaron las rejillas, se tuvo en cuenta su uniformidad, para que permitiera una mayor superficie de pegado entre ellas. Se hicieron ensayos de carga axial en botellas individuales y en rejillas de 3x3, rellenas con agregado grueso retenido en 1/2", 3/8", 1/4" y material de base granular; en donde el que mayor esfuerzo soportó fue el agregado 1/4", con un valor de 0.0258 Ton/cm². Una vez definido el material de relleno, se ensayaron rejillas de 3x3 con alturas de 7.5, 10 y 12 cm, en donde se obtuvo un mejor comportamiento con la rejilla de 7.5 cm, alcanzando un esfuerzo de 0.037 Ton/cm².

Finalmente se ensamblaron dos rejillas, una pegada en forma lineal y otra en diagonal, de 7.5 cm de altura y rellenas de agregado de 1/4". Se ensayaron en confinamiento, aplicando una carga axial sobre un neopreno con área circular, de 6" de diámetro, para simular la huella de una llanta real. Estas rejillas soportaron esfuerzos de 0.041 Ton/cm² la pegada en forma lineal, y 0.034 Ton/cm² la pegada en forma diagonal, deformándose unos 5 mm menos la segunda.

Comparando los resultados de esfuerzo soportado obtenidos con el esfuerzo que implica la carga permitida en un eje tipo tándem en Colombia, la cual es de 0.0056 Ton/cm² con 11 Ton y presión de inflado de llanta de 80 psi, se concluye que en la malla armada con botellas Pet pueden circular hasta camiones tipo C3, sin embargo se recomienda su uso en estacionamientos, y vías peatonales.

¹ Proyecto de grado

² Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas, Escuela de Ingeniería civil. Director M.Sc Luis Alberto Capacho Silva

ABSTRACT

TITLE: BEHAVIOR OF GRIDS CONSTRUCTED FROM RECYCLED PET BOTTLES AS AN ALTERNATIVE FOR THE IMPROVEMENT OF A SUBGRADE.³

AUTHOR: LUZ ADRIANA SANDOVAL VIDES
JOSE DANIEL ZAMBRANO CARDOZO⁴

KEYWORDS: Pet bottle, grid, gravel, subgrade, axial stress, parking, pedestrian paths.

DESCRIPTION

This work studies the behavior of grids constructed from Pet bottles as an alternative for the improvement of a subgrade. Also It made an analysis of grids made with polypropylene vessels was carried out. For the selection of the bottles with which the grids were assembled, their uniformity was taken into account, so as to allow a greater bonding surface between them. Axial load tests were performed on individual bottles and 3x3 grids, filled with thick aggregate held in ½ ", 3/8", ¼ "and granular base material, in order to select the material that would yield the best results. In this case the one with the greatest effort was the aggregate retained in ¼ ", reaching an effort of 0.0258 Ton / cm ². Once the filler material was defined, 3x3 grids were tested with 7.5, 10 and 12 cm heights, to define which of these heights gives better data. A better performance was obtained by the grid of 7.5 cm in height, reaching an effort of 0.037 Ton / cm ².

Finally, two gratings, one of these pasted in linear and one diagonal form, of 7.5 cm high and filled with ¼ "aggregate were assembled and tested in confinement condition, applying an axial load on a circular area neoprene Of 6 "of diameter, and thus to simulate the footprint of a real rim. These grids showed similar results, bearing stresses of 0.041 Ton / cm², the grid adhered in a linear form, and 0.034 Ton / cm² the diagonally bonded, deforming approximately 5 mm minus the second.

Comparing the results of supported effort obtained with the effort involved in the permissible load on a tandem type axle in Colombia, which is 0.0056 Ton / cm ² 11 Ton with a tire inflation pressure of 80 psi, we can conclude that in the mesh Armed with Pet bottles can circulate up to trucks type C3, since the effort that supports a grate of 7.5 cm of height pasted in linear form is of 0.041 Ton / cm². However it is recommended to use in parking lots, and pedestrian paths.

³ Degree Project

⁴ Physicomechanical Engineering's Faculty. Civil Engineering School. Director M.Sc Luis Alberto Capacho Silva

INTRODUCCIÓN

La utilización del plástico en la vida cotidiana ha incrementado en los últimos años, debido a su versatilidad, facilidad de moldear, peso y resistencia; lo que permite que se utilicen para envasar, conservar y distribuir diferentes tipos de productos permitiendo que lleguen a los consumidores de manera óptima [1]. Uno de los usos más comunes de este material es la fabricación de botellas con politereftalato de etileno, conocidas como botellas PET, para el envasado y distribución tanto de bebidas como de productos de limpieza, generando a su vez una de las mayores cantidades de desechos que afectan negativamente el medio ambiente. Debido a este deterioro ecológico que se genera a nivel global, diferentes ramas de la ingeniería como la ingeniería civil han empezado a desarrollar técnicas y procesos para la reutilización de materiales, y así de algún modo mitigar el impacto ambiental que generan algunas sustancias y/o elementos como las botellas PET. Es importante la implementación de este material en diferentes ámbitos, ya que algunas de sus propiedades físico-mecánicas lo hace un buen aliado para la construcción. En esta investigación se utilizarán botellas PET de 600 ml reciclados, como material para la elaboración de rejillas, con una estructura que se rellenará con un material a determinar en el desarrollo de esta investigación, con el fin de que sean utilizadas en la aplicación correspondiente dependiendo de los resultados obtenidos.

Este libro inicialmente expone el origen de la idea principal del estudio realizado. Posteriormente, lista los materiales que se utilizaron, y explica el procedimiento de los ensayos realizados. Finalmente muestra un análisis de resultados.

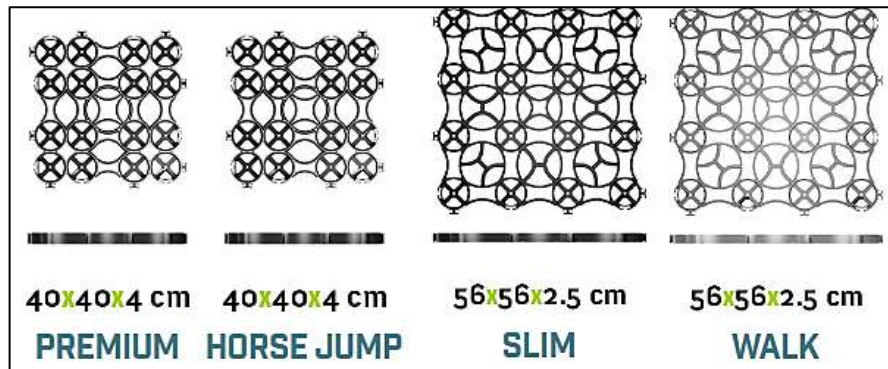
1. ORIGEN Y ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

La protección del medio ambiente es un tema de gran importancia hoy día, lo que ha llevado a tomar conciencia y practicar el reciclaje de los residuos provenientes de las diferentes industrias. En este capítulo se hace una revisión del estado del arte respecto a la reutilización de botellas PET en diferentes áreas de la construcción.

1.1. GRAVALOCK.

Existe un sistema de rejillas de plástico procesado que se ensamblan entre sí para posteriormente llenarlas con gravas, con el fin de mejorar la capacidad de carga y la permeabilidad de suelos con diferentes fines de uso [2]. Esta técnica está siendo implementada en México por Gravalock piso permeable, una empresa fundada en el 2004, que se especializa en el diseño y producción de estas piezas. Actualmente Gravalock cuenta con cuatro productos (Figura 1), que se pueden utilizar en suelos destinados para áreas desde peatonales, hasta patios de maniobras de bodegas industriales [3].

Figura 1. Rejilla fabricada por la empresa Gravalock piso permeable



Fuente: Gravalock

Queriendo ampliar la información existente sobre este producto, se planteó estudiar el comportamiento de rejillas similares a estas, fabricadas con materiales, como botellas PET reusadas. Estas rejillas serán rellenas con un material que se definirá en el proceso. Todo esto con el fin de poder dar una premisa que sirva a futuro en un estudio para la fabricación de productos similares a los distribuidos por Gravalock.

2. DISEÑO EXPERIMENTAL

Para llevar a cabo el estudio, se precisó adquirir materiales tanto para realizar el ensamble de las rejillas, como también material para rellenarlas. Así como también la aplicación de pruebas de laboratorio para la verificación de su aplicación como material para el mejoramiento de una subrasante.

2.1. MATERIAL PARA LA REJILLA

En la fase inicial del proyecto, se consideró trabajar con botellas Pet que han sido utilizadas previamente para envasar agua potable y bebidas gaseosas. En el proceso se encontró dificultad en la recolección de las mismas, y debido a la no uniformidad que tienen, el área de contacto entre botellas se reduce, lo que podría causar inconvenientes en el proceso de ensamble de las rejillas, por lo cual se recolectaron botellas Pet genéricas como se puede apreciar en la Figura 2, y que de hecho, actualmente son usadas por muchas fábricas de químicos para envasar productos de limpieza para el hogar y demás, como es el caso del desinfectantes para pisos, entre otros. En la figura 3, se puede observar cómo se realizó el corte de las botellas, hacia la zona donde ésta se hace uniforme, removiendo los primeros centímetros de la botella en la zona superior de ésta.

Figura 2. Botella Pet seleccionada para la rejilla.



Figura 3. Corte de las botellas



Las botellas se cortaron en la parte superior, a la altura donde inicia la sección uniforme de estas, quedando con dimensiones finales de 14.5 cm de altura y, 7.73 cm de diámetro. Para los ensayos en los que se definirá la altura con que mejor se

comporta la rejilla bajo una carga axial, se realizaron cortes a una altura de 7.5, 10, y 12 cm.

Para el proceso de armado de las rejillas se utilizó un pegante especial con tiempo de secado de 48 horas. Se ensamblaron tres rejillas en forma de matriz de 3x3 con un altura de 14.5 cm (Figura 4), para corroborar los resultados necesarios para definir el material con mejor comportamiento. También se hicieron tres rejillas más con alturas de 7.5, 10, y 12 cm cada una, para el proceso de definición de altura óptima, y dos rejillas más de 5x4 con formas de pegado diferentes, para evaluar la forma de unión de las botellas que mejor sobrelleva el sometimiento a una carga axial, y el comportamiento de la rejilla en confinamiento. Las formas de pegado seleccionadas para efectuar la comparación, se muestran en la figura 5.

Figura 4. Rejilla de 3x3 antes de realizar el relleno



Figura 5. Formas de pegado de rejillas



El pegado lineal se hizo uniendo las botellas en filas y columnas organizadas linealmente, y para el diagonal se organizaron las botellas de manera que quedaran con una mayor superficie de pegado, y menos espacios entre ellas.

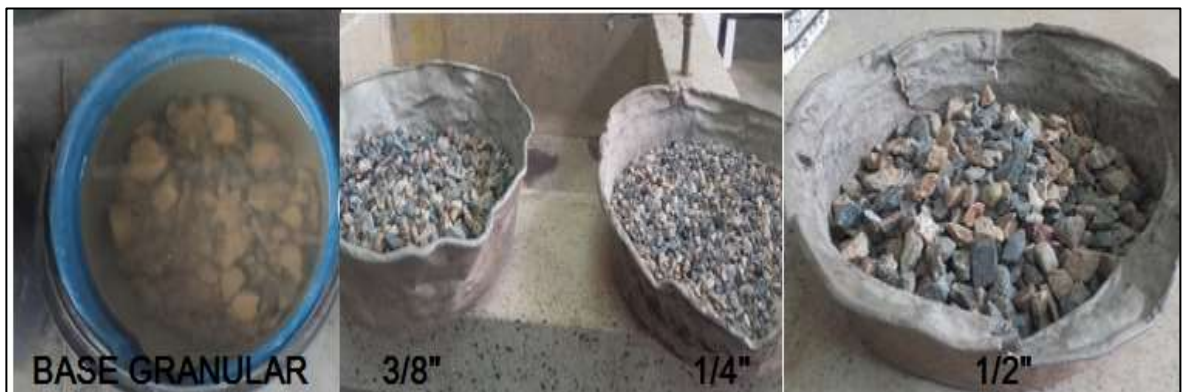
2.2. MATERIAL DE RELLENO PARA LA REJILLA

Teniendo en cuenta las especificaciones generales de construcción del Instituto Nacional de Vías, se realizó un análisis de las granulometrías de los materiales que conforman la capa en que se apoya un pavimento (Afirmado, Base granular y Sub base granular) [4]. Basados en esto, se definió trabajar con base granular (Figura 6), que es un material de tamaño intermedio, posee la menor cantidad de agregado fino y el agregado grueso con tamaño apropiado para rellenar las botellas Pet con las que se trabajaron a lo largo del proyecto. Los materiales de afirmado y sub base granular no se tuvieron en cuenta para el estudio por el diámetro de sus agregados. En el caso del afirmado, por ser un material tan pequeño, podría salirse de la rejilla una vez sea instalada en lugares abiertos, por factores externos como la lluvia. El material de subbase granular, contiene agregados con diámetros grandes

comparados con el diámetro de la botella seleccionada, lo que ocasionaría una falla rápida, al tener mayor contenido de vacíos.

Para analizar el comportamiento de las botellas individuales y las rejillas con diferentes materiales, se seleccionó también agregado grueso de $\frac{1}{4}$ ", $\frac{1}{2}$ " y $\frac{3}{8}$ " de diámetro (Figura 6), agregados que pudieran generar menor cantidad de vacíos en la rejilla una vez aplicada la carga.

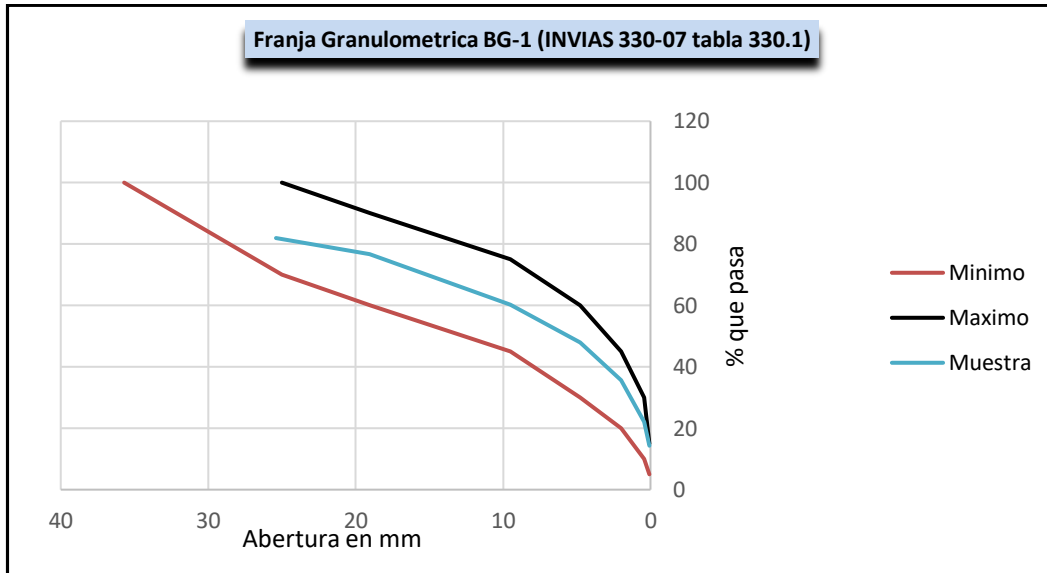
Figura 6. Materiales seleccionados para los ensayos



2.3. ENSAYOS DE GRANULOMETRÍA

Una vez seleccionados los materiales a utilizar durante el proyecto, se realizó un ensayo de granulometría a la base granular recolectada en Bocas, Santander, teniendo en cuenta las normas de ensayos para materiales de carreteras del Instituto Nacional de Vías [5], con el fin de verificar que cumpliera con la franja granulométrica establecida por este mismo ente [6]. Los resultados arrojaron la curva granulométrica mostrada en la figura 7.

Figura 7. Curva granulométrica de material de base granular



El relleno de las botellas y rejillas se realizó con tres capas de 25 golpes cada capa (figura 8), simulando la compactación en campo. Este método de relleno se realizó igual para todas las botellas y rejillas utilizadas en el proyecto.

Figura 8. Compactación de relleno de botellas



3. PROCEDIMIENTO DE ENSAYOS

El procedimiento para identificar las especificaciones óptimas del sistema de rejillas con botellas Pet parte de la selección del material de relleno óptimo de la rejilla. Luego de esto se define la altura con la que mayor carga soporte, y por último se precisa que forma de pegado de la rejilla tiene mejor comportamiento.

3.1. SELECCIÓN DEL MATERIAL

La selección del material necesitó de ensayos en los que se sometieron doce botellas rellenas (Figura 9), tres por cada material, a una carga axial con una velocidad de carga de 0.10 mm/s, con el fin de seleccionar el material que mayor capacidad de carga presentara, y realizar con este las pruebas posteriores. En la figura 10 se muestra uno de los ensayos realizados en esta sección.

Figura 9. Botellas rellenas con diferentes materiales



Figura 10. Ensayo de compresión en Máquina MTS



Se encontró que las botellas rellenas con material de base granular soportaron mayor carga, pero el material esparcido en la máquina (Figura 11), confirmó que trabajar con que agregados finos generaría pérdidas de material de relleno, que al ser significativas alterarían el comportamiento de la rejilla, ocasionando que falle antes de lo esperado. Por esta razón se descartó este material.

Todas las botellas rellenas con agregado grueso se comportaron de forma similar. Se planteó que la mayor carga soportada está limitada por la resistencia de las botellas, por lo que se decidió ensayar tres rejillas de 3x3 con pegado en forma lineal y altura de 14.5 cm. Cada rejilla se rellenoó con material de $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, y $\frac{3}{8}$, respectivamente, y se les realizaron ensayos de compresión (Figura 12), para poder definir qué tipo de agregado soporta mayor carga con menor deformación, en caso

de refutar la idea de que la carga final está directamente relacionada con la resistencia de la botella.

Figura 11. Ensayo de compresión a botella rellena con base granular



Figura 12. Ensayo de compresión en maquina MTS a rejilla 3x3 para definir material



Los resultados obtenidos en estos ensayos, muestran que cuando las botellas se ensamblan en rejillas de 3x3, se comportan mucho mejor, con resultados variados para cada tipo de material, contradiciendo la idea de que el tipo de relleno no influye con el comportamiento de la rejilla. El material de relleno que mejores resultados arrojó fue el de ¼" de diámetro, razón por la que en adelante las rejillas ensayadas se rellenaron solo con este tipo de agregado.

3.2. SELECCIÓN DE ALTURA ÓPTIMA DE LA REJILLA

Teniendo definido el material que genera mejor comportamiento, se procedió a ejecutar los ensayos de las rejillas con alturas variadas de 7.5, 10, y 12 cm, como se muestra en la figura 13. La velocidad de aplicación de la carga fue de 0.10 mm/s, y el área de aplicación de la carga fue el área total de la rejilla vista en planta.

Figura 13. Rejillas 3x3 con las diferentes alturas

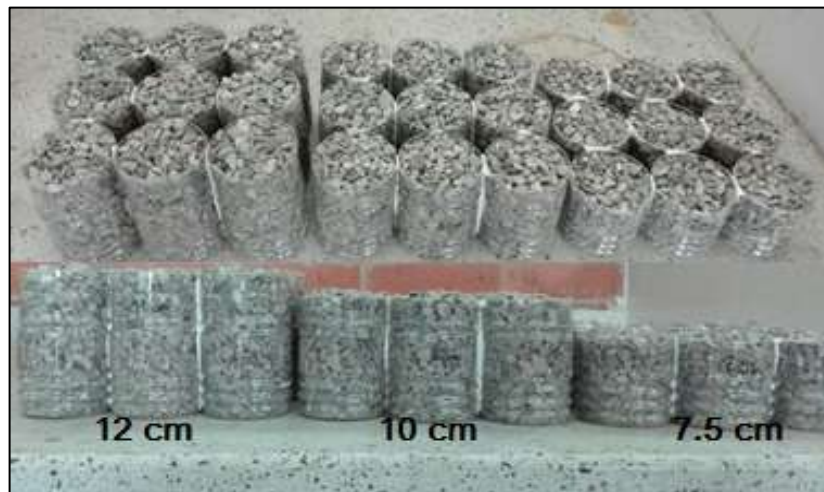


Figura 14. Ensayo de compresión en máquina MTS realizado a rejilla 3x3 para definir altura óptima



En este caso la rejilla que mayor carga soportó fue la de 7.5 cm de altura.

3.3. COMPORTAMIENTO DE REJILLAS EN CONFINAMIENTO CON DIFERENTES FORMAS DE PEGADO

Establecido el material y la altura óptima, se ensamblaron las rejillas para definir la forma de pegado que mejor se comportara en confinamiento, y controlar el asentamiento ocasionado al aplicar la carga axial sobre un área circular confinada, similar a la huella aproximada de una rueda con presión de inflado de 55 N/cm² (80psi)[6]. Esta área es aproximadamente 0.036 m².

Teniendo en cuenta las cargas máximas para cada tipo de vehículo como se muestra en la tabla 1, y conociendo la presión de inflado de su rueda, se puede calcular su área de contacto de forma circular usando la siguiente expresión:

$$r = \sqrt{\frac{Q}{P_o * \Pi}}$$

Donde: Q es la carga que transmite la rueda, Po es la presión de contacto de la rueda y r el radio del círculo equivalente del área de contacto [7].

Tabla 1. Peso máximo por eje

Tipo de eje	Peso máximo por eje, Kg
Eje sencillo	
Dos llantas	6000
Cuatro llantas	11000
Eje tandem	
Cuatro llantas	11000
Seis llantas	15500
Ocho llantas	20000
Eje tridem	
Seis llantas	16500
Ocho llantas	19000
Diez llantas	21500
Doce llantas	24000

Fuente: Norma Técnica Colombiana 47888

3.4. COMPORTAMIENTO DE REJILLAS CON POLIPROPILENO

Con el fin de comparar el comportamiento de las botellas Pet, frente a otro tipo de plástico, se realizó una matriz con vasos comunes elaborados de polipropileno o PP, un tipo de plástico más rígido que el Pet. Esta rejilla se ensayó con una carga axial en un área de contacto circular, transmitida por un neopreno de 6" de diámetro (figura 15).

Figura 15. Ensayo de compresión a rejilla con vasos plásticos comunes



4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

El análisis para selección de material se realizó con el promedio de los resultados obtenidos en las pruebas de botellas individuales rellenas con los diferentes materiales (Figura 16). Se ensayaron tres botellas por cada material, con una altura de 14.5 cm.

Figura 16. Ensayo a botella individual rellena con agregado de $\frac{1}{4}$ " de diámetro



Los promedios de los resultados mencionados anteriormente se muestran en la figura 17, y se resumen en la tabla 2.

Figura 17. Resultados promedio ensayos de compresión a botellas individuales rellenas con diferentes materiales

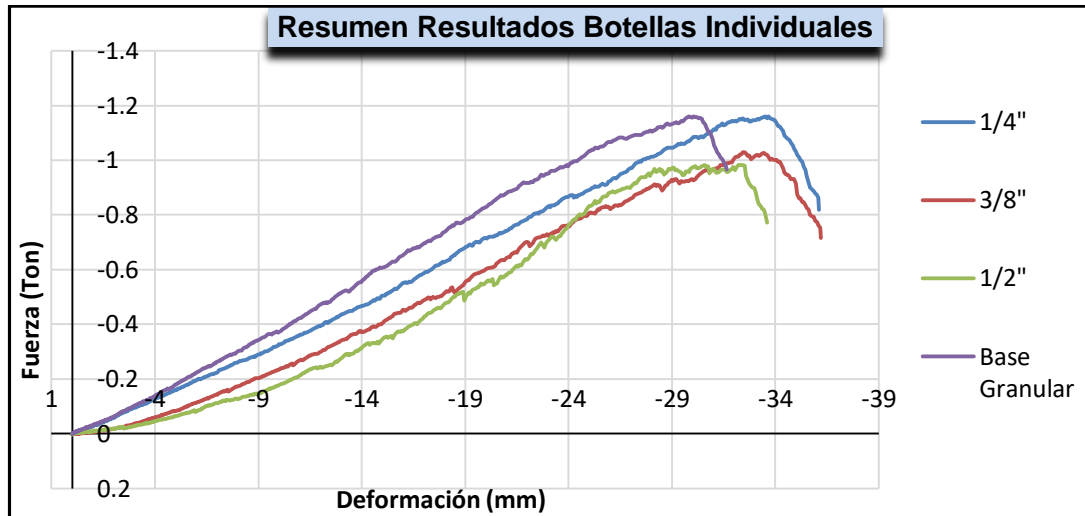


Tabla 2. Resumen de resultados promedio a ensayo de botellas individuales

Área de contacto (cm ²)=		46.929	
Ensayo	CARGA MAXIMA SOPORTADA [TON]	DEFORMACIÓ N MAXIMA SUFRIDA [mm]	Esfuerzo [Ton/cm ²]
Botella con material retenido en 1/4 "	1.1635	36.11	0.02479277 2
Botella con material retenido en 3/8 "	1.0305	36.19	0.02195870 4
Botella con material retenido en 1/2"	0.9868	33.59	0.02102751
Botella con material de Base granular	1.7635	33.68	0.03757804 3

Luego de analizar los resultados de los ensayos realizados a las botellas individuales se incluyó evaluar los materiales en rejillas de 3x3 para determinar el de mejor comportamiento, ya que no se presentaron diferencias significativas en los resultados. De acuerdo con los datos mostrados en la figura 18 y resumidos en la tabla 3, el agregado que mejor comportamiento obtuvo fue el retenido en el tamiz de $\frac{1}{4}$ de pulgada, soportando un esfuerzo de 0.026 Ton/cm² con un asentamiento de 39.64 mm. Por ende, los ensayos para definir la altura de la rejilla, y cómo se comportan en confinamiento con diferentes formas de pegado, se realizaron con este material.

Figura 18. Resultados promedio a ensayos de rejillas para selección de material

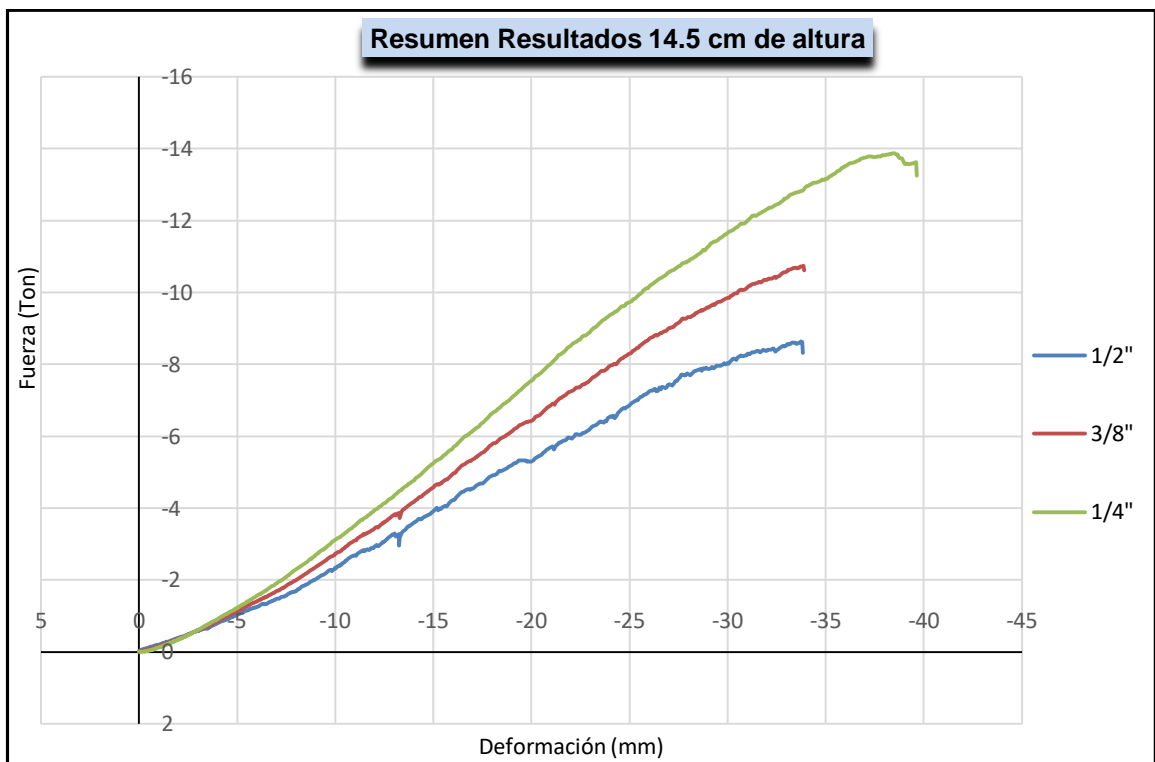


Tabla 3. Resumen de resultados a ensayos de rejillas para selección de material

Área de contacto (cm ²)=	537.77		
Ensayo	CARGA MAXIMA SOPORTADA [TON]	DEFORMACIÓN MAXIMA SUFRIDA [mm]	Esfuerzo [Ton/cm ²]
Rejilla 14.5 cm rellena con material retenido en 1/4 "	13.8724	39.64	0.025796158
Rejilla 14.5 cm rellena con material retenido en 3/8 "	10.74	33.86	0.019971363
Rejilla 14.5 cm rellena con material retenido en 1/2"	8.6343	33.85	0.016055749

Los resultados de los ensayos para definir altura óptima realizados a rejillas de 3x3 rellenas con material de ¼" de diámetro, se muestran en la figura 19.

Figura 19. Resultados promedio a ensayos de rejillas para definir altura óptima

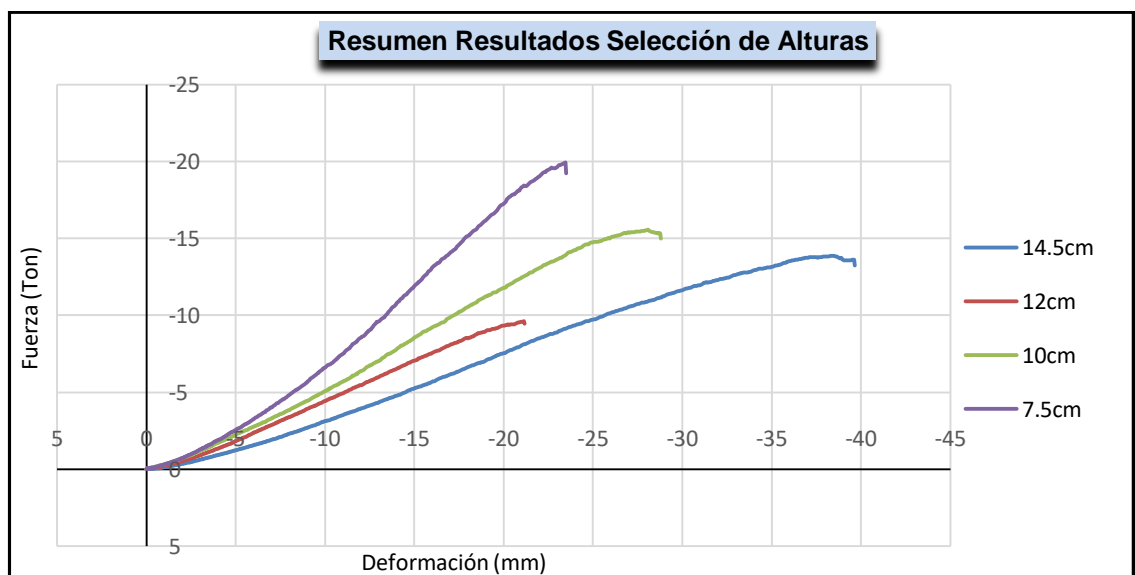


Tabla 4. Resumen de resultados de ensayos realizados a rejillas para la selección de la altura óptima

Área Rejilla 3x3 (cm ²)	537.77		
Ensayo	CARGA MAXIMA SOPORTADA [TON]	DEFORMACIÓN MAXIMA SUFRIDA [mm]	Esfuerzo [Ton/cm²]
Rejilla 12 cm de altura	9.63	21.28	0.017907284
Rejilla de 10 cm de altura	15.5698	28.81	0.028952526
Rejilla de 7.5 cm de altura	19.929	23.49	0.037058594

Analizando los resultados obtenidos en las pruebas anteriores, mostrados en la tabla 4, se determinó que la altura óptima para el ensamble de las rejillas con botellas Pet es de 7.5 cm, ya que esta muestra fue la que mayor esfuerzo soportó. Luego de obtener los resultados para determinar la altura optima, se procedió a ensayar las rejillas en confinamiento con las dos formas de pegado mostradas en la figura 5.

En este orden de ideas, se obtuvieron los siguientes resultados que se muestran en la Figura 20, y que se resumen en la tabla 5.

Figura 20. Resultados promedio a ensayos de rejillas para definir forma

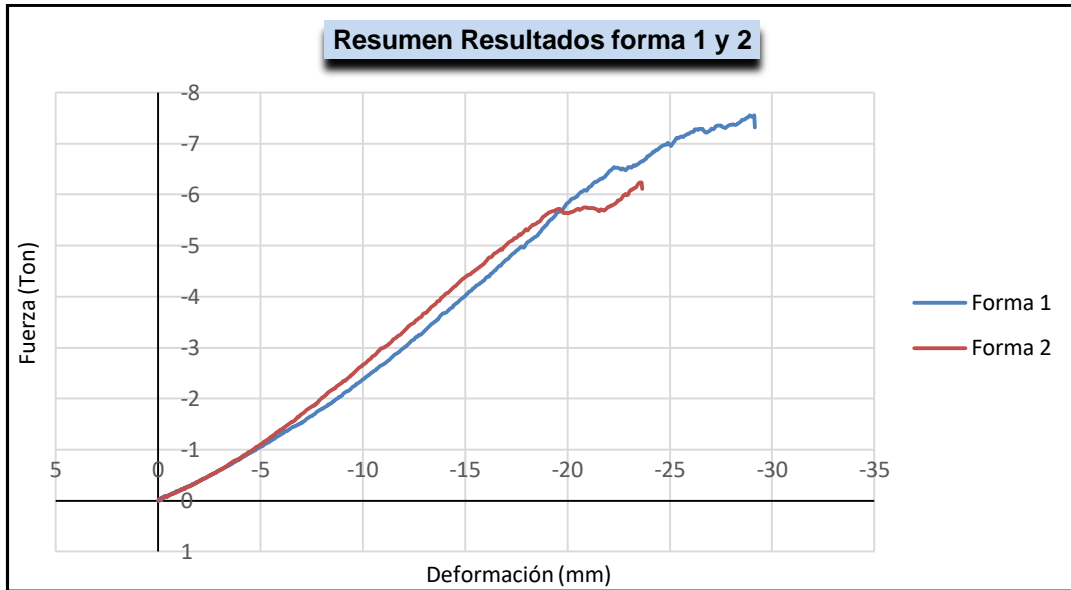


Tabla 5. Resumen de resultados de ensayos a rejillas en confinamiento con diferentes formas de pegado

Área Neopreno (cm ²)	182.414		
Ensayo	CARGA MAXIMA SOPORTADA [TON]	DEFORMACIÓN MAXIMA SUFRIDA [mm]	Esfuerzo [Ton/cm ²]
Rejilla confinada pegado lineal	7.57	29.17	0.041499008
Rejilla confinada pegado diagonal	6.25	23.655	0.034262721

Los resultados encontrados en las dos formas de ensamble de las rejillas no mostraron grandes diferencias en cuanto a la carga soportada. La rejilla ensamblada en forma lineal soportó una carga axial de 7.57 Ton, 1.32 Ton más que la rejilla pegada en forma diagonal. Sin embargo la rejilla con pegado en forma diagonal sufrió una deformación 5.5 mm menos que la lineal, por lo que se podría recomendar el uso de las dos formas, dependiendo del factor de importancia de los asentamientos generados en el uso en el que se proponga la rejilla.

4.1. ANÁLISIS DE REJILLAS FABRICADAS CON PROPILENO

Los resultados de la rejilla con vasos de polipropileno no fueron significativos (figura 21). En la tabla 6 se muestran los resultados de las rejillas elaboradas con botellas Pet, y con vasos de polipropileno.

Figura 21. Comparación de rejillas Pet vs Vasos PP

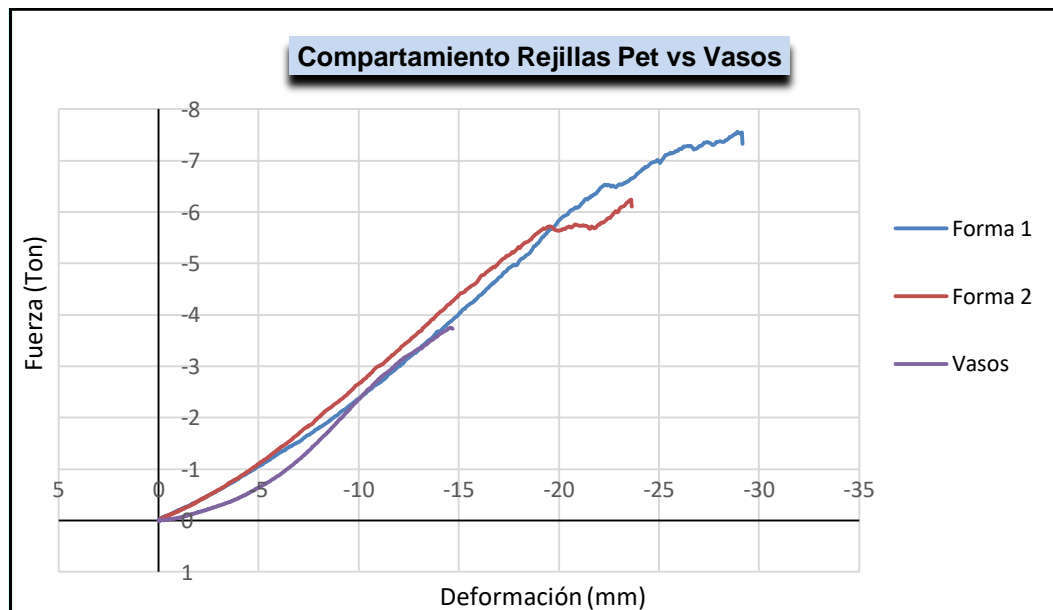


Tabla 6. Comparación de rejillas con diferentes materiales

Área Neopreno (cm ²)	182.414		
Ensayo	CARGA MAXIMA SOPORTADA [TON]	DEFORMACIÓN MAXIMA SUFRIDA [mm]	Esfuerzo [Ton/cm²]
Rejilla confinada forma lineal	7.57	29.17	0.041499008
Rejilla confinada forma diagonal	6.25	23.655	0.034262721
Rejilla con vasos plásticos	3.75	28.81	0.020557633

Se evidencia mejor comportamiento en la rejilla con botellas Pet, ya que el esfuerzo soportado por las rejillas difiere en un 50%.

4.2. ANÁLISIS DE COSTOS

Se realizó un costo aproximado de la rejilla por m², esto para evaluar la viabilidad económica del uso de las botellas Pet para el mejoramiento de subrasantes, obteniendo un precio aproximado de 25000 pesos. En donde se puede concluir que existe viabilidad económica para la realización de las rejillas. Para observar detalladamente el análisis realizado, éste se encuentra sintetizado en la tabla 7 que se muestra a continuación.

Tabla 7. Análisis de precios unitarios gravapet por m2

GRAVAPET (13x13)					Unidad: M2
DESCRIPCION	UND	CANT.	DES P.%	PRECIO UNIT	VALOR TOTAL
MATERIALES					
BOTELLAS RECILCADAS	UND	169	0%	100.00	16,900.00
AGREGADO GRUESO RETENIDO EN TAMIZ 1/4	M3	0.0591 76136	5%	60,000.00	3,728.10
				SUBTOTAL MATERIALES	20,628.10
MANO DE OBRA	H cuadr illa	Presta c.	Jorn al Ttl	Rendim/hora	Valor- Unit.
CUADRILLA AA 1:1	9,914 .30	185%	18,3 41.4 6	5.000	3,668.29
				SUBTOTAL MANO DE OBRA	3,668.29
EQUIPO					
CORTADORA DEWALT	DIA	0.0000 1		450,000.00	4.50
HERRAMIENTA MENOR	%	5%			183.41
				SUBTOTAL EQUIPO	187.91
				COSTO DIRECTO	24,484.30

Con esto finalmente, se valora la viabilidad económica del uso de botellas Pet como alternativa para el mejoramiento de una subrasante.

4.3. ANÁLISIS DE PRUEBAS DE ASENTAMIENTO REALIZADAS

En el caso de las pruebas de asentamiento la carga se aplicó sobre un cilindro de neopreno con un área de contacto de 6" y una rejilla de mayor tamaño simulando el área de contacto de una rueda común y el confinamiento que se presenta en la rejilla instalada y en uso. Se tomó como referencia un eje tándem de rueda doble con una carga de 11 toneladas (ver tabla1), y una presión de inflado de 80 psi, que corresponde a un camión ligero como el caso de un Chevrolet npr como el mostrado en la figura23, con llanta Michelin 215/75R17.5 G (figura22) con una presión de inflado recomendada por el fabricante en la tabla7. Con todas estas precisiones, los resultados de esfuerzo obtenidos fueron de 0.00559 Ton/cm², que comparado con el comportamiento presentado en la rejilla confinada pegada en forma lineal que llego hasta un esfuerzo de 0.04149 Ton/cm² (Ver tabla 5).

Como se muestra en la tabla 8, se puede inferir que la rejilla armada con botellas Pet de 600 ml, cortadas a una altura de 7.5 cm y rellenas con grava retenida en ¼" es capaz de soportar el paso de camiones tipo C3 ya que estos presentan solo ejes sencillos, rueda simple y ejes tándem rueda doble.

Figura 22. Llanta Michelin 215/75R17.5G



Fuente: Michelin Americas Truck Tires

Figura 23. Chevrolet Npr 2017



Fuente: Chevrolet

Tabla 8. Presión de inflado de llantas recomendado por fabricante

215/75R17.5 G													
XZE®2													
PSI	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	Maximum load & pressure on sidewall		
kPa	380	410	450	480	520	550	590	620	660	690			
LBS	Single	4650	4980	5310	5640	5960	6270	6590	6890	7200	7500	S	3750 LBS at 100 PSI
	Dual	8740	9380	9980	10600	11200	11800	12380	12960	13540	14100	D	3525 LBS at 100 PSI
KG	Single	2110	2240	2420	2540	2720	2840	3000	3120	3280	3400	S	1700 KG at 690 kPa
	Dual	3960	4240	4560	4800	5120	5320	5640	5880	6160	6400	D	1600 KG at 690 kPa

5. CONCLUSIONES

- En los primeros ensayos de carga axial efectuados en botellas Pet individuales cuyos resultados se muestran en la tabla 2, aunque el mejor comportamiento se obtuvo de la base granular, esto debido al porcentaje de finos que evitan los espacios vacíos en la botella, aumentando su capacidad de carga; ésta se descarta ya que presenta pérdidas de material por filtración en épocas de lluvia al ser utilizados en cualquier campo de la ingeniería civil.
- En los ensayos de rejillas de 3x3 se observó un mejor comportamiento por parte del material retenido en $\frac{1}{4}$ " (Ver tabla 3), debido a que este por su menor tamaño de partículas permite un mejor ordenamiento y por consiguiente deja menos espacios vacíos en la botella que se reflejan en una mayor capacidad de carga.
- La altura óptima fue la de 7.5 cm como se observa en la tabla 4, en este caso se ensayaron rejillas de 3x3 con material de $\frac{1}{4}$ ", con alturas de 12, 10 y 7.5 cm. La zona inferior de la botella Pet utilizada presenta una composición más robusta, permitiéndole alcanzar una mayor capacidad de carga.
- La rejilla armada con botellas Pet de 600 ml, cortadas a una altura de 7.5 cm y rellenas con grava retenida en $\frac{1}{4}$ " es capaz de soportar el paso de camiones tipo C3 ya que estos presentan solo ejes sencillos, rueda simple y ejes tándem rueda doble.

6. RECOMENDACIONES

- Usar las rejillas ensambladas con botellas Pet en estacionamientos y vías peatonales debido a facilidad en el proceso constructivo, bajo costo para generar una superficie plana y cómoda de transitar.
- Continuar con el diseño y estudio de forma más especializada. Realizar el análisis del comportamiento de rejillas fabricadas con plástico reciclado y procesado, teniendo en cuenta todas las variables que afectan los esfuerzos y el asentamiento que generaría esta rejilla.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

[1] VÁZQUEZ, Alethia., et al., *“El origen de los plásticos y su impacto en el ambiente”*, Universidad Autónoma Metropolitana, México, mayo del 2016., p.1

[2] Gravalock piso permeable, Sistema modular de rejillas. Disponible en <http://www.gravalock.com.mx/es-mx/gravalock.php>

[3] Gravalock piso permeable, Sistema modular de rejillas, Productos. Disponible en <http://www.gravalock.com.mx/es-mx/gravalock.php>

[4] Instituto Nacional de Vías., Especificaciones generales de construcción, Capitulo 3, Afirmado bases y subbases. Articulos 311, 320, y 330 de 2013.

[5] Instituto Nacional de Vías, Normas de ensayos para materiales de carreteras, INVE–123–07, Análisis granulométrico de suelos por tamizado

[6] Instituto Nacional de Vías, Especificaciones generales de construcción de carreteras, Capitulo 3, Afirmado bases y subbases, Artículo 330-13, Base granular.

[7] Michelin Americas Truck Tires, references material, load and inflation tables, The latest load and inflation table standards. Disponible en <http://www.michelintruck.com/reference-materials/manuals-bulletins-and-warranties/load-and-inflation-tables/#/>

[8] E. Juarez Badillo, Mecánica de suelos “Teoría y aplicaciones de la mecánica de suelos”, Tomo 2, Editorial Limusa grupo Noriega editores, Balderas Mexico 2004.

BIBLIOGRAFÍA

E. Juarez Badillo, Mecánica de suelos “Teoría y aplicaciones de la mecánica de suelos”, Tomo 2, Editorial Limusa grupo Noriega editores, Balderas Mexico 2004.

Gravalock piso permeable, Sistema modular de rejillas. Disponible en <http://www.gravalock.com.mx/es-mx/gravalock.php>

Gravalock piso permeable, Sistema modular de rejillas, Productos. Disponible en <http://www.gravalock.com.mx/es-mx/gravalock.php>

Instituto Nacional de Vías., Especificaciones generales de construcción, Capitulo 3, Afirmado bases y subbases. Articulos 311, 320, y 330 de 2013.

Instituto Nacional de Vías, Normas de ensayos para materiales de carreteras, INVE–123–07, Análisis granulométrico de suelos por tamizado

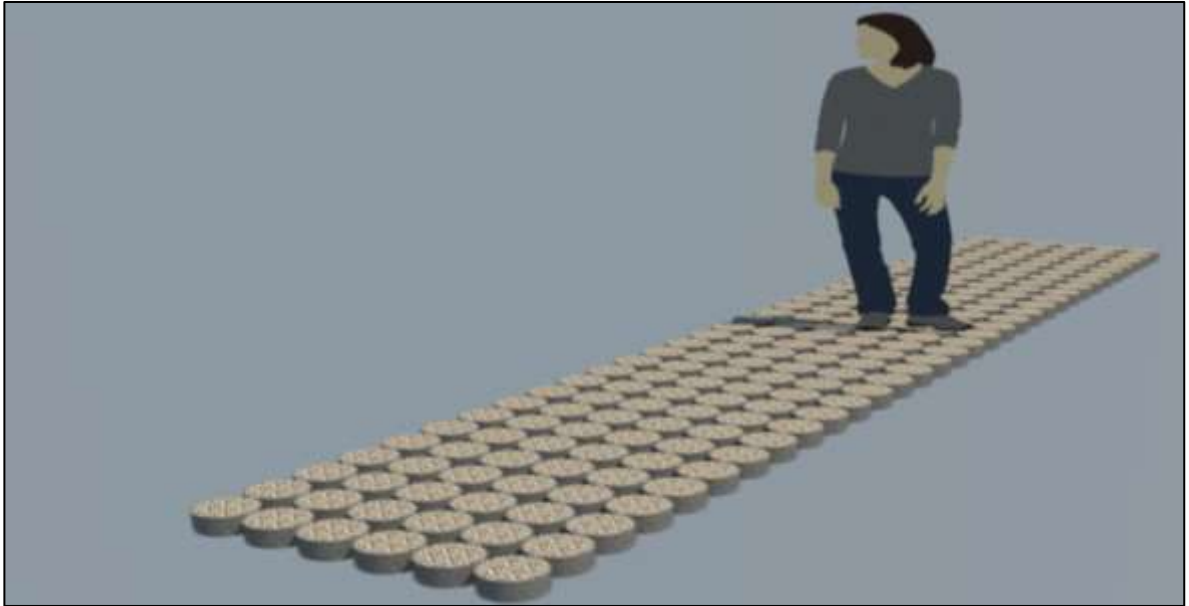
Instituto Nacional de Vías, Especificaciones generales de construcción de carreteras, Capitulo 3, Afirmado bases y subbases, Artículo 330-13, Base granular.

Michelin Americas Truck Tires, references material, load and inflation tables, The latest load and inflation table standards. Disponible en <http://www.michelintruck.com/reference-materials/manuals-bulletins-and-warranties/load-and-inflation-tables/#/>

VÁZQUEZ, Alethia., et al., *“El origen de los plásticos y su impacto en el ambiente”*, Universidad Autónoma Metropolitana, México, mayo del 2016.

ANEXOS

ANEXO A. Proyección sistema de rejillas Gravapet, Software Sketch up.



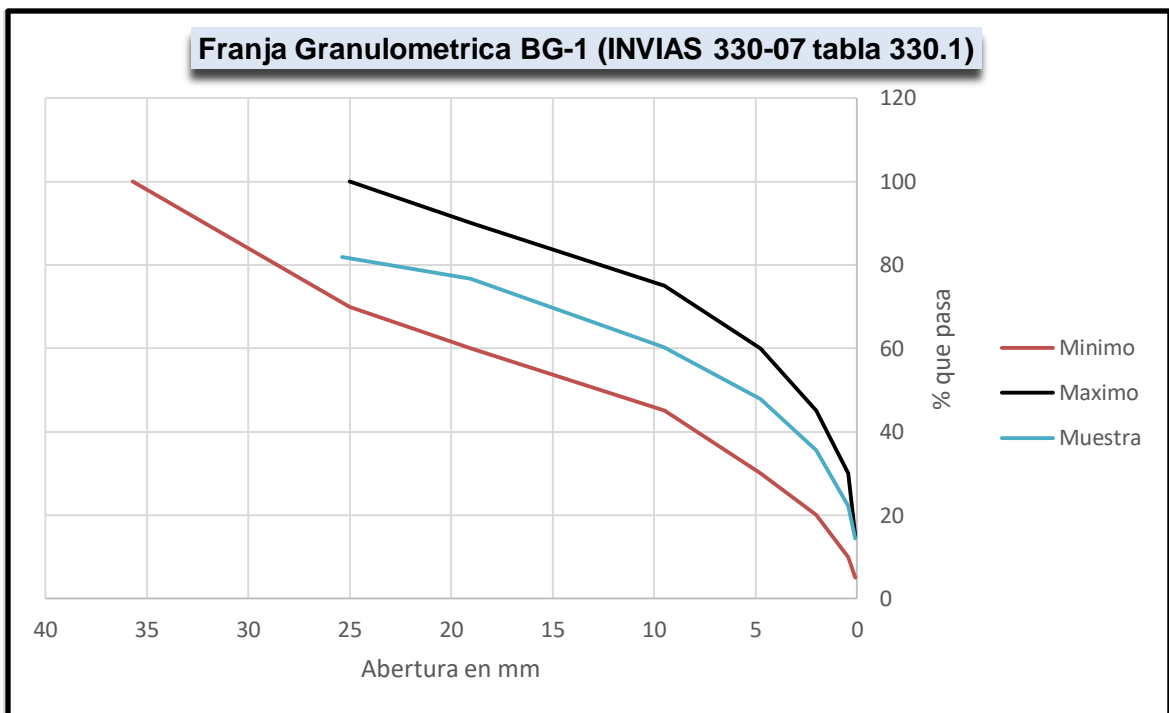
ANEXO B. Descripción granulométrica

Granulometría Base granular utilizada					
PESO MUESTRA (gr)					8,396.8
PESO MUESTRA LAVADA POR TAMIZ Nº 200 (gr)					7,232.7
FONDO (gr)					1,164.1
TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO			
		Retenido			Pasa (%)
		Parcial (gr)	Parcial (%)	Acumulado (%)	
1"	25.40	1,516.2	18.06	18.06	81.94
3/4"	19.05	437.2	5.21	23.26	76.74
3/8"	9.52	1,389.0	16.54	39.81	60.19
Nº 4	4.75	1,035.5	12.33	52.14	47.86
Nº 10	2.000	1,032.3	12.29	64.43	35.57
Nº 40	0.420	1,126.4	13.41	77.85	22.15
Nº 200	0.074	658.3	7.84	85.69	14.31
Fondo	1,201.9	14.31	100.00	0.00
Total parcial		8,396.8			

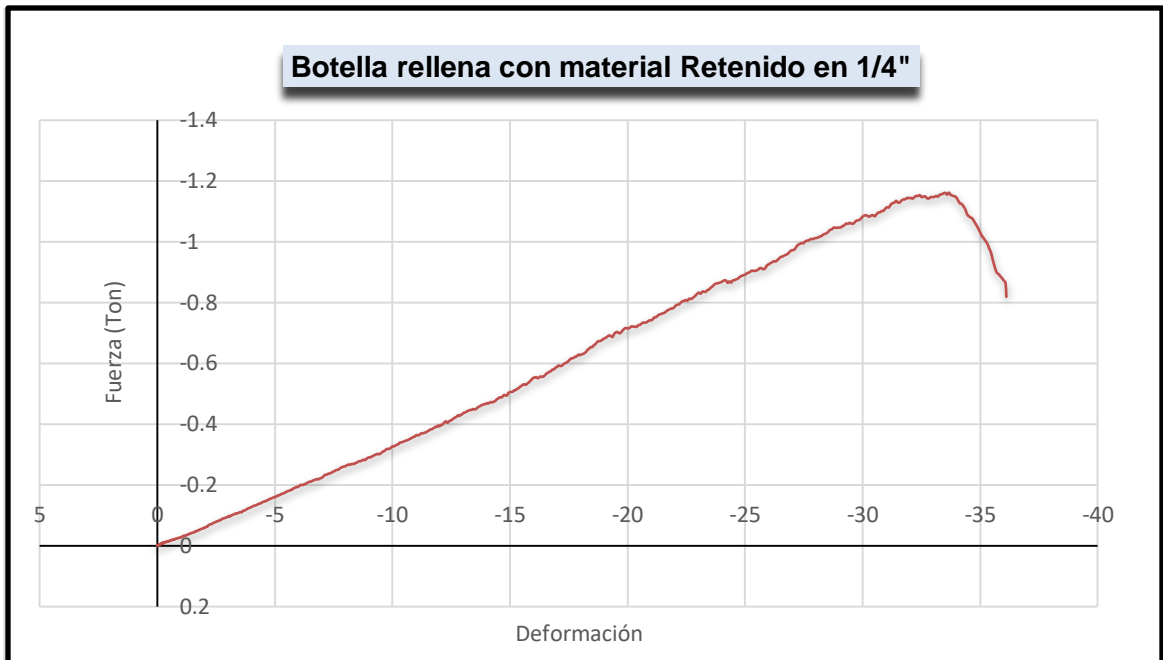
Tabla 330.1
Franjas granulométricas del material de base granular

TAMIZ		PORCENTAJE QUE PASA	
NORMAL	ALTERNO	BG-1	BG-2
37.5 mm	1 1/2"	100	-
25.0 mm	1	70-100	100
19.0 mm	3/4"	60-90	70-100
9.5 mm	3/8"	45-75	50-80
4.75 mm	No.4	30-60	35-65
2.0 mm	No.10	20-45	20-45
425 µm	No.40	10-30	10-30
75 µm	No.200	5-15	5-15

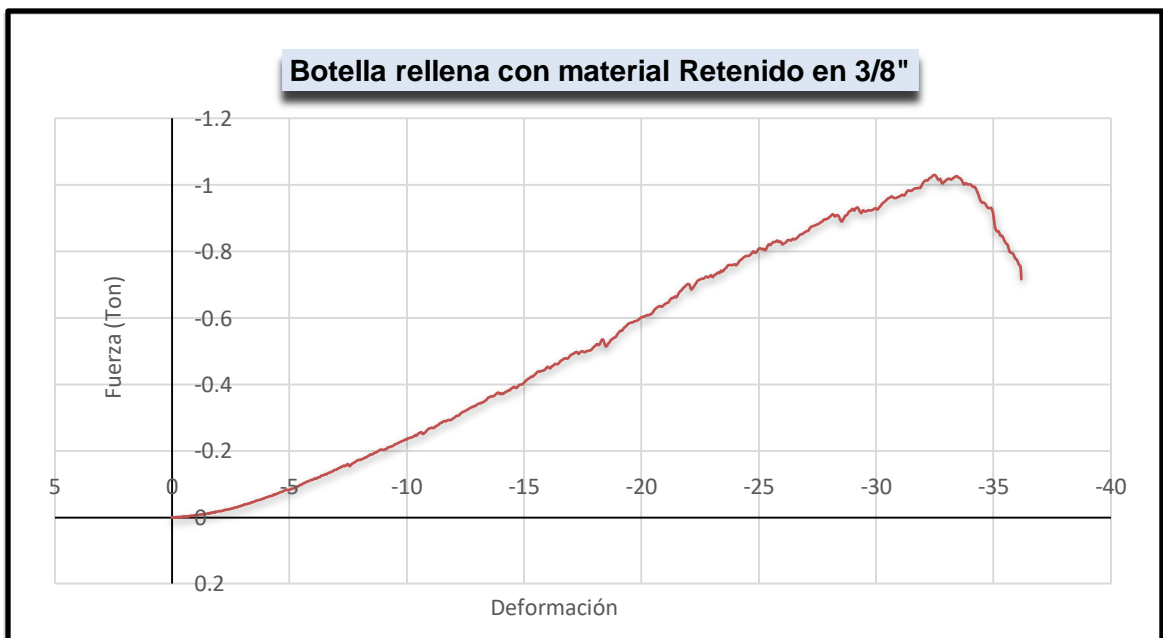
Tamiz Normal Cmm)	Alterno	Bg1	Porcentaje que pasa	
35.7	1 1/2		100	100
25	1		70	100
19	3/4		60	90
9.5	3/8		45	75
4.75	No 4		30	60
2	No 10		20	45
0.425	No 40		10	30
0.075	No 200		5	15



ANEXO C. Descripción para botella rellena con material retenido en 1/4"



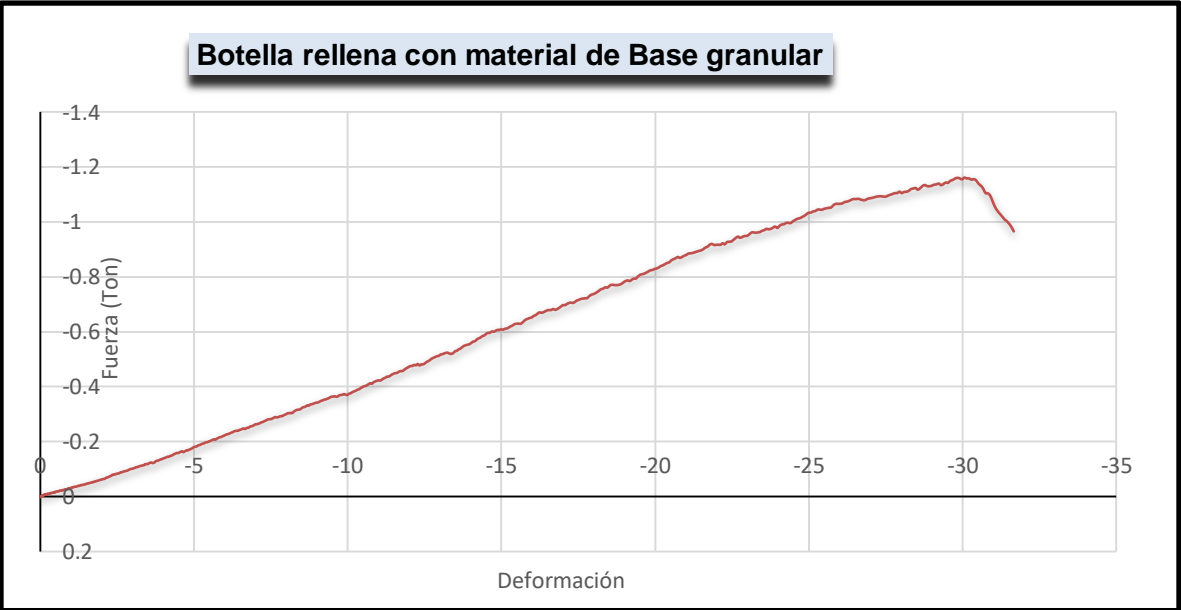
ANEXO D. Descripción para botella rellena con material retenido en 3/8"



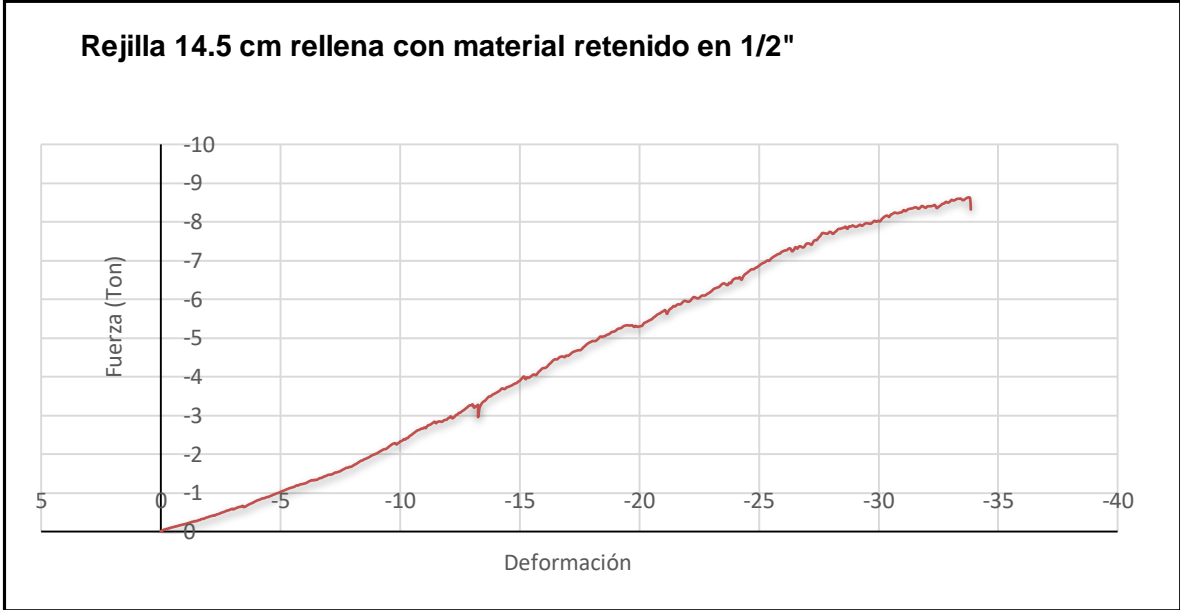
ANEXO E. Descripción para botella rellena con material retenido en 1/2"



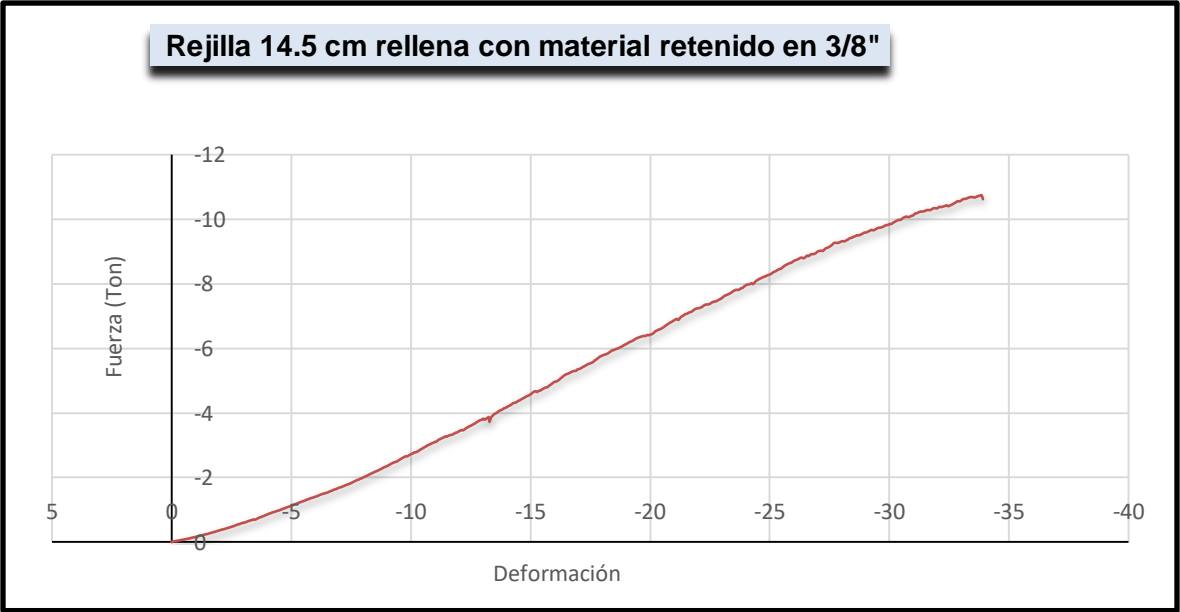
ANEXO F. Descripción para botella rellena con material de base granular



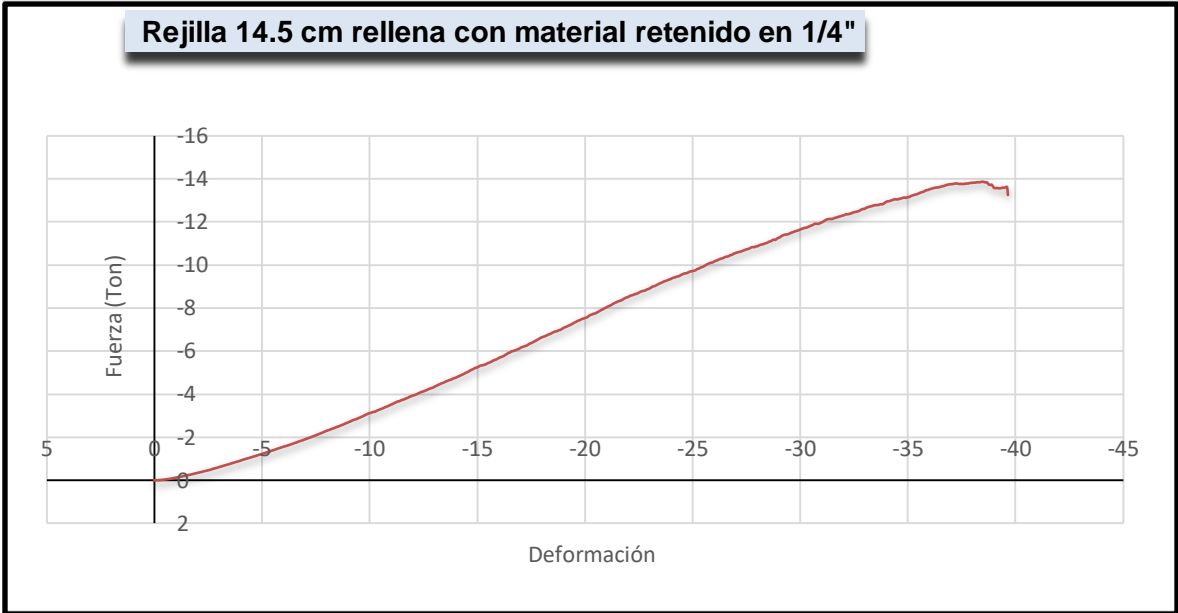
ANEXO G. Rejilla 14.5 cm rellena con material retenido en 1/2"



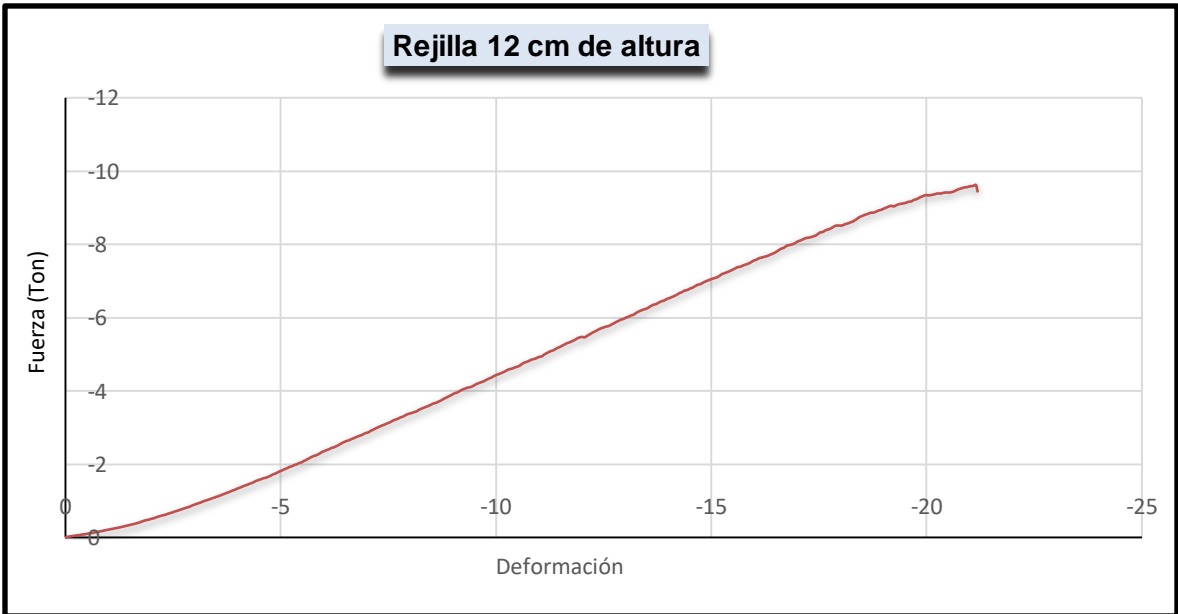
ANEXO H. Rejilla 14.5 cm rellena con material retenido en 3/8"



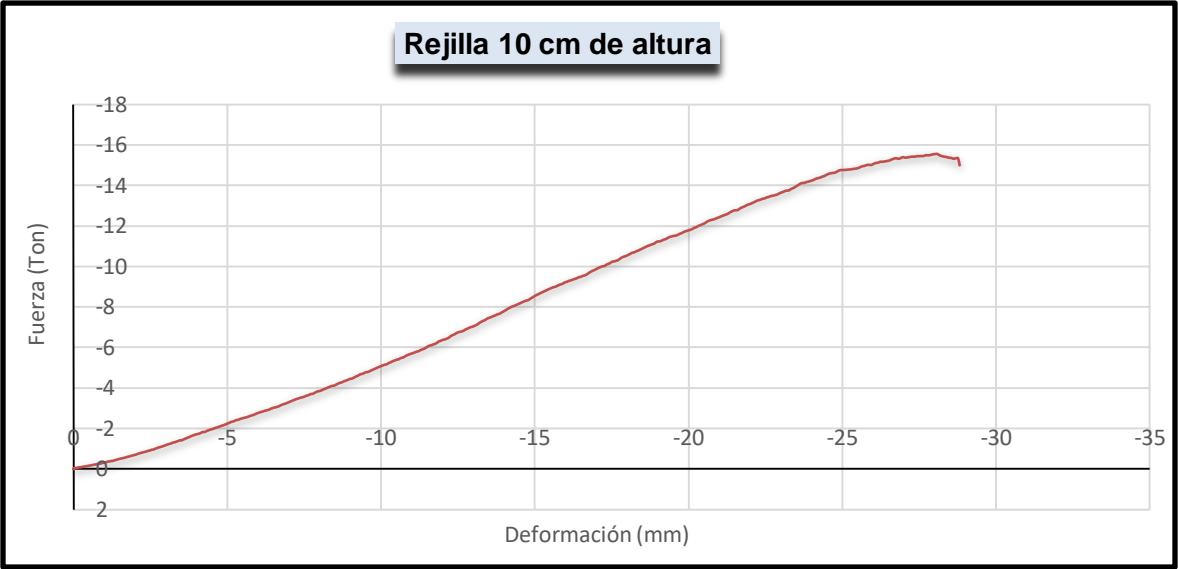
ANEXO I. Rejilla 14.5 cm rellena con material retenido en 1/4"



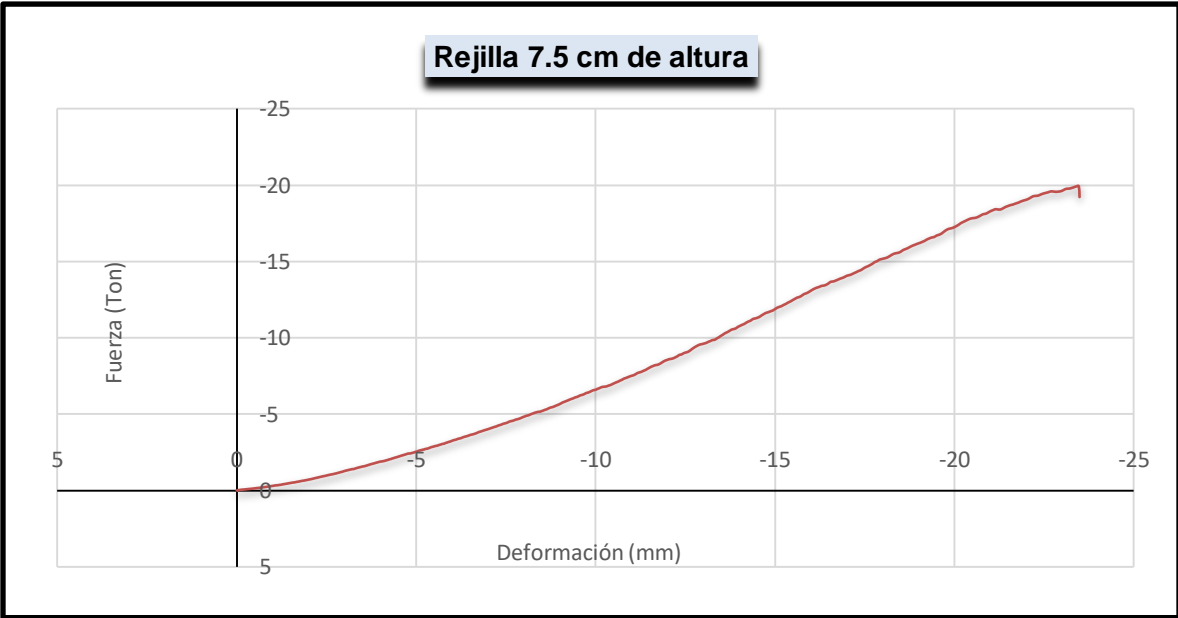
ANEXO J. Rejilla con 12 cm de altura



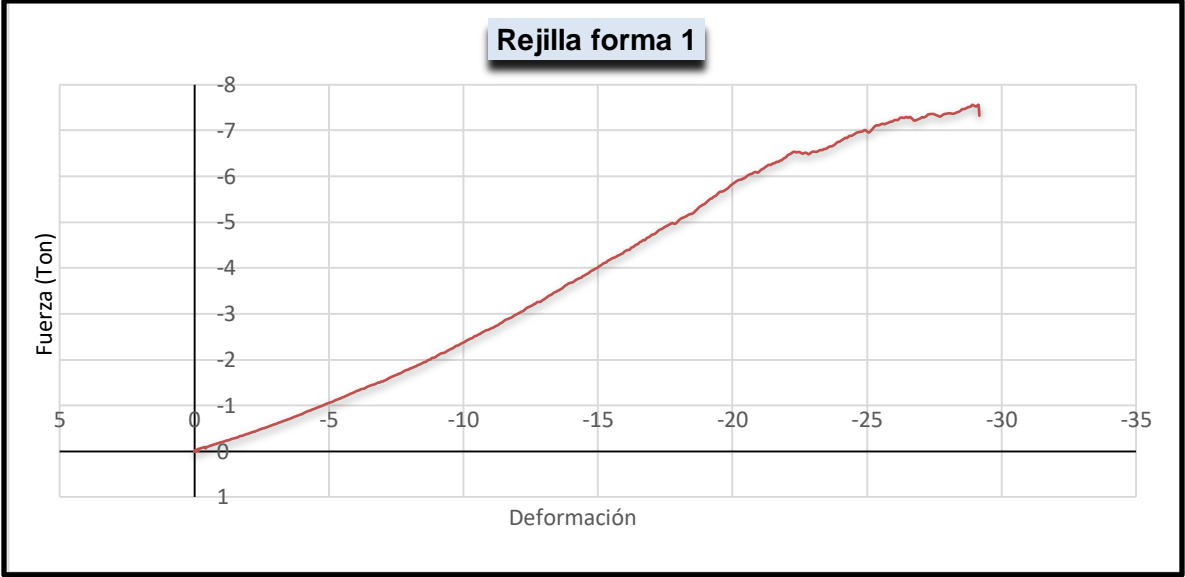
ANEXO K. Rejilla 10cm de altura



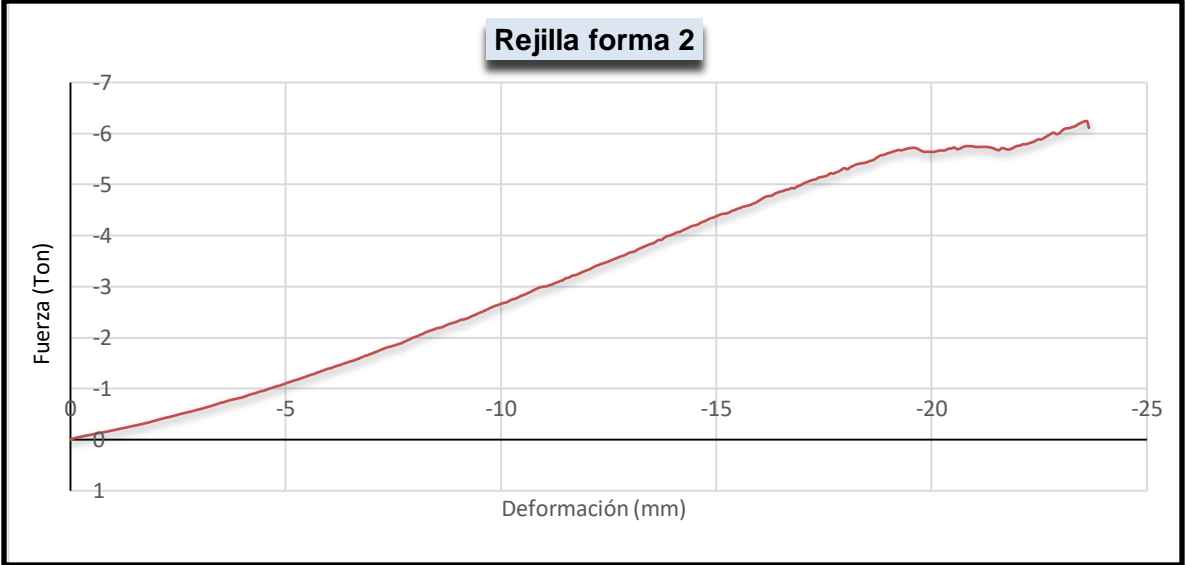
ANEXO L. Rejilla 7.5 cm de altura



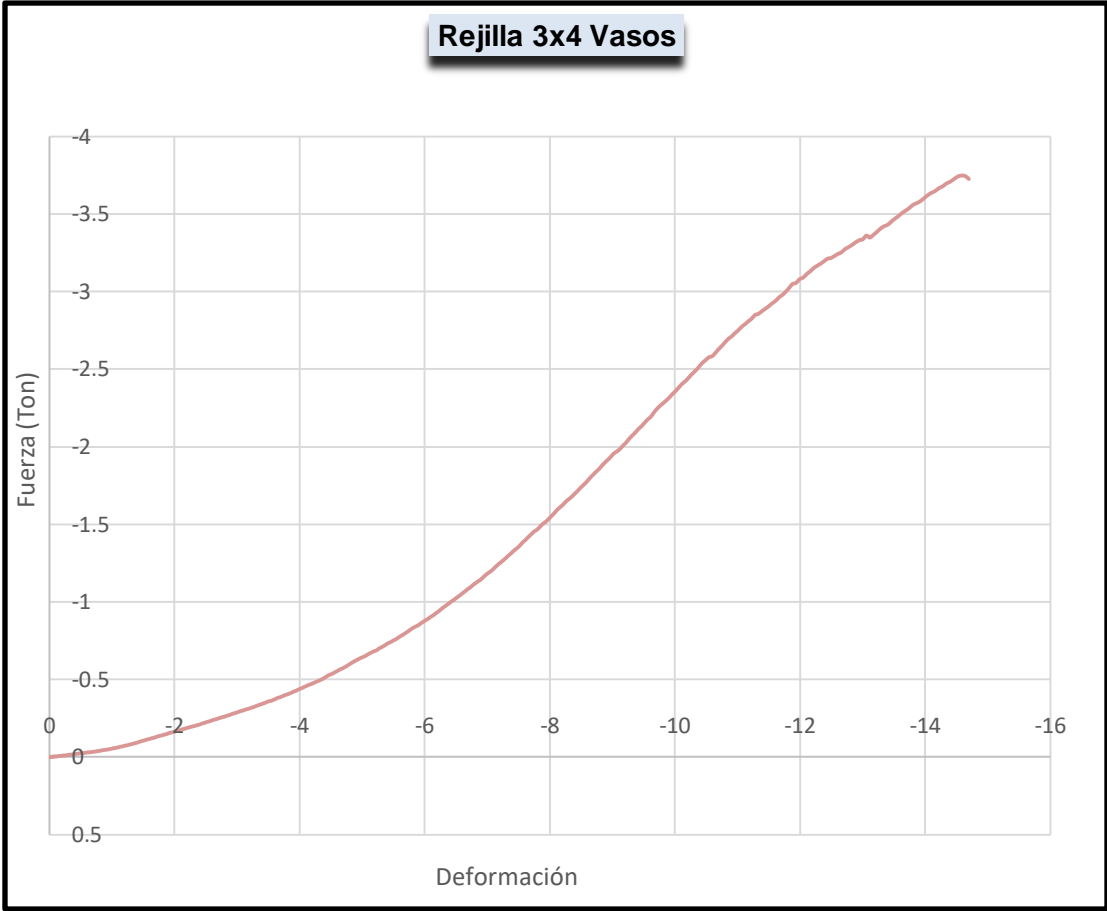
ANEXO M. Rejilla forma 1



ANEXO N. Rejilla forma 2



ANEXO O. Rejilla forma con vasos



ANEXO P. Area de contacto con llanta eje tándem

Área de contacto de llanta con una presión de inflado de 80 psi y una carga de 11 toneladas correspondiente a un eje tándem de 4 llantas:

Calculo de la carga y área de Contacto de Llantas					
Parámetro	Valor	Unidades	Parámetro	Valor	Unidades
Peso del Eje	11	Ton	Presión de Inflado de llanta	80	psi
Carga	2.75	Ton	Área Circular	0.04911	m ²
Carga	26978	N	Radio	0.125	in

Esfuerzo (Ton/cm²)= 0.005599674

Tipo de eje	Peso máximo por eje, kg
<i>Eje sencillo</i>	
Dos llantas	6 000
Cuatro llantas	11 000
<i>Eje tandem</i>	
Cuatro llantas	11 000
Seis llantas	15 500
Ocho llantas	20 000
<i>Eje tridem</i>	
6 llantas	16 500
8 llantas	19 000
10 llantas	21 500
12 llantas	24 000

Ensayo	CARGA MAXIMA SOPORTADA [TON]	DEFORMACIÓN MAXIMA SUFRIDA [mm]	Esfuerzo [Ton/cm ²]
Rejilla confinada forma 1	7.57	29.17	0.005599674