VIABILIDAD DE RECICLAJE DE NEUMATICOS EN APLICACIONES DE INGENIERIA CIVIL

EILEEN LORENA GOMEZ HERRERA

NURIAN BIBIANA MUNEVAR PEREZ

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FACULTAD DE CIENCIAS FISICO MECANICAS

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

BUCARAMANGA

2008

VIABILIDAD DE RECICLAJE DE NEUMATICOS EN APLICACIONES DE INGENIERIA CIVIL

EILEEN LORENA GOMEZ HERRERA

NURIAN BIBIANA MUNEVAR PEREZ

Trabajo de grado para optar el titulo de Ingeniero Civil

Director:

HEBENLY CELIS LEGUIZAMO

Ingeniero Civil

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FACULTAD DE CIENCIAS FISICO MECANICAS

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

BUCARAMANGA

2008

NOTA DE ACEPTACIÓN

_____

_____

_____

_____

Presidente del Jurado

_____

JURADO

_____

JURADO

A Dios, y a la Virgen, que durante mi carrera me acompañaron y guiaron por el buen camino

A mis papas, quienes me brindaron su cariño, compresión y confianza, y me infundieron ética y sabiduría, en el desarrollo de mi carrera, por lo cual les viviré eternamente agradecida, a mi hermano y Andrés G., por su apoyo incondicional, porque saben escuchar y brindar ayuda cuando es necesario,

A mi abuela que desde los cielos, me acompaño en cada instante, y sus oraciones fueron escuchadas

Con cariño admiración y respeto,
Eileen L.G.H.

A Dios, y a mi madre por estar siempre conmigo y apoyarme en todo. BIBIANA M.P.

AGRADECIMIENTOS

Gracias a dios, el sabe lo importante de haber alcanzado esta meta, la alegría de saber que hoy terminamos esta etapa

Hemos querido compartir un profundo agradecimiento a nuestros padres que nos brindaron todo su amor, dedicación y compresión para culminar nuestros estudios.

A nuestros amigos por hacer que cada minuto fuera ameno, y no olvidaremos sus experiencias, desveladas, consejos y enseñanzas, y ayuda durante el lapso de nuestra carrera, también hacen parte de esta alegría.

Gracias a cada uno de los profesores que participaron en nuestro desarrollo profesional durante la carrera, sin su ayuda y conocimientos no estaríamos en donde nos encontramos ahora.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCION

OBJETIVO GENERAL

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. ALTERNATIVAS GENERALES DE MANEJO DE NEUMATICOS USADOS 1

2. ASPECTOS TECNICOS 6

2.1 DEFINICIÓN DE NEUMÁTICO 6

2.2 PARTES QUE CONFORMAN EL NEUMATICO 6

2.3 MATERIA PRIMA PARA PRODUCCIÓN DE LOS NEUMÁTICOS 8

2.4 COMPOSICIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE LAS NEUMÁTICO 9

2.5 CLASIFICACIÓN DE LOS NEUMÁTICOS 9

3. SITUACION MUNDIAL DE MANEJO DE NEUMATICOS **11**

3.1 PANORAMA GENERAL DE ALGUNOS PAISES **11**

3.1.1 EE-UU 11

3.1.2 UNION EUROPEA 11

3.1.3 AMERICA LATINA 12

3.2 GENERACIÓN Y DISPOSICIÓN DE DESECHO DE NEUMÁTICOS EN ALGUNOS PAÍSES **16**

3.3 APLICACIONES DE INGENIERIA EN ALGUNOS PAISES **17**

4. SITUACIÓN EN COLOMBIA **18**

4.1 CICLO DEL NEUMATICO EN COLOMBIA 21

4.2 SITUACION ACTUAL EN BUCARAMANGA 24

5. APLICACIONES ESPECÍFICAS EN INGENIERIA CIVIL DE RECICLAJE DE NEUMÁTICO EN BUCARAMANGA 27

6. DESARROLLO EXPERIMENTAL 27

6.1 MATERIALES 27

6.1.1 Finos 27

6.1.2 Arenas 28

6.1.3 Afirmado 28

6.1.4 Neumático reciclado 29

6.1.4.1 Proceso de trituración 30

6.2 CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES UTILIZADOS 32

6.2.1 Ensayo de granulometría, método mecánico (I.N.V. E – 123) 32

6.2.2 Ensayos de Límites Líquido y plástico (I.N.V. E – 125) 33

6.2.2.1 Límite líquido (I.N.V. E – 125) 33

6.2.2.2 Límite plástico (I.N.V. E – 125) 33

6.2.2.3 Índice plástico (I.N.V. E – 125) 33

6.2.3 Clasificación de los suelos 34

6.2.3.1 Fino 34

6.2.3.2 Arena 34

6.2.3.3 Afirmado 35

6.3 DETERMINACION DE RESISTENCIA DE LOS SUELOS SIN Y CON NEUMÁTICO 36

6.3.1 Ensayo de compactación Próctor Modificado (I.N.V.E-142) 37

6.3.2 Ensayo de Compresión Simple (I.N.V. E – 152) 37

6.3.3 Ensayo de Corte directo (I.N.V. E – 154) 38

6.3.4 Ensayo de Relación de Soporte de California o CBR (I.N.V.E – 148) 39

6.4 COMPARACION DE LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS REALIZADOS SOBRE LAS MUESTRAS DE SUELO SIN Y CON NEUMÁTICO **45**

6.4.1 ENSAYO PRÓCTOR MODIFICADO **45**

6.4.2 ENSAYO CORTE DIRECTO **46**

6.4.3 ENSAYO COMPRESIÓN SIMPLE **48**

6.4.4 ENSAYO DE RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA O CBR **49**

CONCLUSIONES **52**

BIBLIOGRAFIA **54**

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.1 Ventajas y desventajas de alternativas de reciclaje de neumático a nivel Mundial. 2

Tabla 1.2 Aplicaciones de reciclaje de neumático triturado en ingeniería civil. 5

Tabla 2.4.1 Composición Físico química del neumatico. 9

Tabla 3.2.1 Generación y Disposición de desechos de neumáticos. 16

Tabla 3.3.1 Aplicaciones a nivel mundial. 17

Tabla 4.1 Algunos datos del parque automotor y potencial de reencauche en Colombia. 19

Tabla 4.1.1 Generacion y disposicion de desecho de neumatico en Colombia. 23

Tabla 4.2.1 Situación actual de Bucaramanga. 24

Tabla 6.2.1 Resumen de los resultados obtenidos del ensayo de granulometría. 36

Tabla 6.3.1 Resumen de los resultados obtenidos del ensayo de Próctor modificado sin neumático. 40

Tabla 6.3.2 Resumen de los resultados obtenidos del ensayo de Próctor modificado con neumático. 40

Tabla 6.3.3 Resumen de los resultados obtenidos del ensayo de compresión simple sin neumático. 41

Tabla 6.3.4 Resumen de los resultados obtenidos del ensayo de compresión simple con neumático. 41

Tabla 6.3.5 Resumen de los resultados obtenidos del ensayo de corte directo sin neumático. 42

Tabla 6.3.6 Resumen de los resultados obtenidos del ensayo de corte directo con neumático. 42

Tabla 6.3.7 Resumen de los resultados obtenidos del ensayo de CBR sin neumático. 43

Tabla 6.3.8 Resumen de los resultados obtenidos del ensayo de CBR con neumático. 44

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. Principales partes del neumático. 7

FIGURA 2. Ciclo del neumático. 21

FIGURA 3. Neumático desechado. 29

FIGURA 4. Corte de neumático. 30

FIGURA 5. Equipo utilizado para la trituración de neumático. 31

FIGURA 6. Tamaños del material utilizados para la realización del proyecto. 31

FIGURA 7. Equipo y proceso utilizado en el ensayo de granulometría. 32

FIGURA 8. Equipo y proceso utilizado en el ensayo limites de atterberg. 33

FIGURA 9. Aspecto de la muestra de suelo fino utilizado para el proyecto. 34

FIGURA 10. Aspecto de la muestra de suelo arenoso utilizado para el proyecto. 35

FIGURA 11. Aspecto de la muestra de suelo afirmado utilizado para el proyecto. 35

FIGURA 12. Equipo y proceso utilizado en el ensayo de proctor modificado. 37

FIGURA 13. Equipo y proceso utilizado en el ensayo de compresión simple. 38

FIGURA 14. Equipo y proceso utilizado en el ensayo de corte directo. 39

FIGURA 15. Equipo y proceso utilizado en el ensayo de cbr. 40

FIGURA 16. Gráfica comparativa de los resultados de humedad optima sin y con neumático. 45

FIGURA 17. Gráfica comparativa de los resultados de densidad seca sin y con neumático. 45

FIGURA 18. Gráfica comparativa de los resultados del ángulo de fricción sin y con neumático. 46

FIGURA 19. Gráfica comparativa de los resultados de cohesión sin y con neumático. 47

FIGURA 20. Gráfica comparativa de los resultados al esfuerzo al corte sin y con neumático. 48

FIGURA 21. Gráfica comparativa de los resultados de cbr sin y con neumatico. 48

FIGURA 22. Gráfica comparativa de los resutados de expansión [%] sin y con neumático. 49

FIGURA 23. Gráfica comparativa de los resultados de agua absorbida [%] sin y con neumático. 50

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Ensayo de Clasificación; Granulometría por método mecánico y Limites Liquido y Plástico **57**

Anexo B. Ensayos de Compactación Próctor Modificado sin neumático **62**

Anexo C. Ensayos de Compresión Simple de suelo sin neumático **66**

Anexo D. Ensayos de Corte Directo de suelo sin neumático **69**

Anexo E. Ensayos de Relación de Soporte de California CBR sin neumático **72**

Anexo F. Ensayos de Compactación Próctor Modificado con neumático **79**

Anexo G. Ensayos de Compresión Simple de suelo con neumático **86**

Anexo I. Ensayos de Corte Directo de suelo con neumático **88**

Anexo J. Ensayos de Relación de Soporte de California CBR con neumático **91**

RESUMEN ESPAÑOL

TITULO: "VIABILIDAD DE RECICLAJE DE NEUMATICO EN APLICACIONES DE INGENIERIA CIVIL". *

AUTORES: GÓMEZ HERRERA, Eileen Lorena

MUNEVAR PÉREZ, Nurian Bibiana**

PALABAS CLAVES: NEUMATICO, SUELOS, REFUERZO, CARACTERIZACION, ENSAYOS, ESFUERZOS, DEFORMACION.

DESCRIPCION

Este proyecto consistió en la investigación del manejo de neumáticos desechados a nivel mundial y local estableciendo su situación actual, recopilando así las aplicaciones utilizadas del neumático triturado. Basándose en esta información se procedió a analizar los efectos de la adición de neumáticos (trabajando para esta primera etapa con un porcentaje y dos tamaños de neumático triturado); a tres tipos de suelos, finos, arenas y afirmado, donde se requiere el mejoramiento de sus características geomecánicas. En este proyecto se estudian los resultados de los ensayos que determinan la caracterización como granulometría, límite líquido y plástico, y su humedad optima, luego se paso a los ensayos que determinan los parámetros de resistencia como compactación, compresión simple, corte directo, y relación de soporte de California (CBR) en suelos sin y con neumático.

Los resultados de los ensayos mostraron que dependiendo del tipo de suelo las fuerzas de fricción en algunas ocasiones mejoran y en otras disminuye, dependiendo de si el suelo se encuentra saturado o en condiciones optimas; con base a esto se concluye que la adiciona de neumático triturado es una alternativa viable y económica en aplicaciones de ingeniería Civil. Se recomienda experimentar con otros tamaños y porcentajes.

---

* Proyecto de grado

** Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas – Escuela de Ingeniería Civil; Directora Ing. Ms.c, Hebenly Celis Leguizamo, Ingeniero Civil.

SUMMARY

TITLE: "VIABILITY OF RECYCLING IN TIRE OF CIVIL ENGINEERING APPLICATIONS" *

AUTHOR: GÓMEZ HERRERA, Eileen Lorena

MUNEVAR PÉREZ, Nurian Bibiana**

KEY WORDS: TIRE, SOIL, STRENGTHENING, CHARACTERIZATION, TEST, EFFORTS, DEFORMATION.

DESCRIPTION

This project it consisted in the investigation of handling of rejected tires at local and world level establishing its present situation, thus compiling the used applications of crushed tire. Being based in this information it was come to analyze the effects of the addition of tires (The first step work with a percentage and two size of crushed tire); to three types of grounds: fine, sands and affirmed, where it is required the improvement of geo-mechanical features. In this project it is investigated the test results that they determine the characterization like the sorting, liquid limit and plastic and its optimum humidity, later, the next step it included the test that they determine resistance parameters like compaction, simple compression, direct cut and the California bearing ratio(CBR) in grounds with or without tire.

The tests results showed that depending of type of ground, the friction force improve in some cases, but in others falls, depending if the ground is saturated in optimum conditions, based on this adding tire crushed, seems to be a viable and economical option for civil engineering purposes. It is recommended to try different percentages and sizes.

---

* Project of Degree

** Mechanical - Physical Engineerings Faculty - School of Civil Engineering - Director Eng. Ms.c, Hebenly Celis Leguizamo, Civil Engineer.

INTRODUCCION

La acumulación de residuos sólidos ha sido un problema en los últimos años debido al aumento en la población, de la gran industrialización y poco reciclaje de materiales, generando una contaminación del medio ambiente; por lo tanto es necesario desarrollar nuevas técnicas para la reutilización de materiales reciclables con la finalidad de preservar los recursos naturales y mantener en equilibrio el medio ambiente.

En el medio se generan grandes cantidades de residuos de neumático usados, estos productos no biodegradables, presentan la necesidad de ser reciclados y manejados adecuadamente, los restos de caucho a menudo son depositados en rellenos sanitarios o terrenos no controlados, ó son acumulados en campo abierto generando la proliferación de insectos, formando un problema de salud publica ó epidemias; algunos son quemados, generando grandes contaminantes al medio ambiente, y una mínima parte es reutilizada por algunas industrias para diferentes procesos.

Actualmente se registra un volumen creciente en la generación de neumáticos usados a nivel mundial; la magnitud del problema se ve reflejada en la conferencia de la Asociación Europa de Reciclaje de Neumáticos (ETRA), celebrada en Bruselas (Bélgica) en el 2007, se estimó que llegan al final de su vida útil en los 27 estados miembros de la Unión Europa el equivalente de 300.000.000 o más neumáticos usados. También se estimó que en Norteamérica, Latinoamérica, Asia y Oriente próximo la cantidad es similar, y la contaminación global total es de cerca de 1.000.000.000 de neumáticos anualmente.

El material de fabricación de los neumáticos esta compuesto por productos químicos, como azufre y zinc, entre otros; haciendo a los neumáticos

polímeros inflamables; cuando estos son sometidos a combustión se liberan compuestos en forma de gases y partículas sólidas muy toxicas para la salud humana y medio ambiente. Estos gases contienen partículas microscópicas que alteran el equilibrio atmosférico, ocasionando al sistema respiratorio humano enfermedades bronco respiratorias, ahogos inmediatos, insuficiencia cardiaca, asma y hasta cáncer pulmonar, a demás de contaminar el aire. La disposición de desechos de neumáticos representa uno de los mayores problemas en los residuos sólidos, aumentando la acumulación en desiertos, bosques, prados y áreas abiertas, lo cual ha generado la necesidad de buscar nuevas alternativas con el objeto de obtener una disposición apropiada a los neumáticos desechados para ayudar a aliviar el inconveniente de los depósitos.

OBJETIVO GENERAL

- Determinar la viabilidad técnica para utilizar el neumático triturado en aplicaciones de ingeniería civil en Bucaramanga y su área metropolitana

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Recopilar las referencias bibliográficas para obtener información suficiente a cerca de aplicaciones a nivel mundial del neumático triturado.

- Establecer la situación actual del manejo y utilización de este residuo en la ciudad de Bucaramanga y su área metropolitana.

- Identificar aplicaciones del neumático triturado en ingeniería civil en Bucaramanga y su área metropolitana.

- Evaluar y analizar el comportamiento de mezclas de neumático triturado con suelos.

1. ALTERNATIVAS GENERALES DE MANEJO DE NEUMATICOS USADOS

Con base en las referencias bibliográficas consultadas, se obtuvo información acerca de las diferentes alternativas para el manejo de neumático utilizado en el mundo.

Estas alternativas se describen a continuación y más adelante se presenta la tabla 1.2, a manera de resumen.

- Reducción de la producción de neumáticos nuevos aumentando la vida útil de estos, mediante el mejoramiento de la capacidad y desempeño de los mismos.

- Apilamiento en rellenos sanitarios, terrenos no controlado o campo abierto

- Entierro de neumáticos en rellenos sanitarios

- La reutilización de los neumáticos mediante un método conocido como reencauche que consiste en adherir al neumático capas nuevas del neumático desechado para ser nuevamente utilizable, esta es una solución parcial, ya que en algún momento el neumático no podrá ser reencauchado más y finalmente tendrá que ser desechado.

- Recuperación del neumático en la quema directa para generar energía, algunas fábricas de cemento los utilizan como combustible para su hornos; pero esto me genera residuos nocivos para el ambiente, principalmente debido a emisiones de humo cargadas con materiales pesados altamente contaminantes.

- Reciclaje de la goma del neumático mediante granulación y otros métodos, con lo cual se obtienen pedazos de goma de diferentes tamaños los cuales pueden ser utilizados ya sea como agregado o para productos moldeados.

- Reciclaje de neumáticos por medio de la regeneración este método consiste en la recuperación del caucho vulcanizado mediante la desvulcanización o despolimeración.

- Reciclaje del neumático por medio de la termólisis el cual consiste en someter a los neumáticos a un calentamiento en un medio en el que no existe oxigeno; esto destruye los enlaces químicos y se obtienen los compuestos originales de los neumáticos.

- Reciclaje de neumáticos por medio de la pirolisis es un caso especial de la termólisis y consiste en la degradación del neumático mediante el calor y en ausencia de el oxigeno; está poco extendido, debido a problemas de separación de compuestos carbonados que ya están siendo superados[1].

Una de las alternativas más viable es el reciclaje, ya que no sólo elimina el problema ambiental, sino que convierte a la goma en un producto útil con valor agregado y crédito económico.

En la tabla 1.1 se presentaron las ventajas y desventajas de las alternativas descritas anteriormente.

Tabla 1. 1 Ventajas y desventajas de alternativas de reciclaje de neumático a nivel Mundial

APLICACIÓN	DESCRIPCIÓN	DESVENTAJAS	VENTAJAS
Apilamiento	Consiste en el acumulamiento de neumáticos.	• Proliferación de vectores perjudiciales para la salud. • Generación de incendios contaminado la atmosfera, suelo, capa freática.	• Ninguna
Entierro	Consiste en enterrar neumáticos enteros en rellenos sanitarios	• Ocupan demasiado volumen.	• Ninguna

[1] Según los datos de la empresa Chemysis SA

Reencauche	El proceso de recauchutado consiste en sustituir las gomas viejas del neumático y reconstruir su estructura original convirtiéndolo en un neumático de características similares al nuevo.	• Es una solución parcial.	• Ahorro de petróleo • Reduce el costo de fabricación 30%-50%. • Reduce el problema de contaminación.
Generación de Energía	Los neumáticos son utilizado como fuente de energía en fábrica de ladrillos, cemento entre otras	• Contaminación ambiental. • Generación de emisiones toxicas si los hornos no están bien implementado.	• Se puede usar el neumático entero. • Económico. • Produce la misma energía que la gasolina. • 25% a 50% mas energía que el carbón. • 100% a 200% mas energía que la madera.
Reciclaje de la goma mediante su granulación para su uso en Ing. civil y otras aplicaciones	Utilización de neumáticos enteros o pedazos de varios tamaños aplicados en los diferentes campos de la Ing. civil como: taludes, rellenos, drenajes, control de erosión, protección ambiental, aislamiento térmico, caucho-asfalto, agregado como mezcla de concreto. Otras aplicaciones como fabricación de revestimientos mediante triturado fino para pistas atléticas y parques infantiles.	• Alta comprensibilidad	• Economía en algunos casos • Durabilidad • Reducción de volumen de neumáticos • Bajo peso • Alta permeabilidad • Reducción de el ruido
Regeneración	• Desvulcanización; rotura selectiva del enlace químico entrecruzado del azufre en el caucho vulcanizado. • Recuperación: recuperar caucho vulcanizado mediante las desvulcanización o despolimeración	• Caucho obtenido con propiedades físicas inferiores al original	• Consigue una descomposición de los componentes de los neumáticos. • Permite reutilizar los componentes de caucho de los neumáticos desechados para la fabricación de diferentes elementos.
Pirolisis	Consiste en la trituración de neumáticos usados donde posteriormente se introduce a hornos con temperaturas que van desde los 600 a los 800 C, en ausencia de oxigeno	• Costos elevados • Riesgos ambientales • Problema técnico en la separación de compuestos carbonatados • Problemática con la aplicación de los aceites condensables obtenidos.	• No necesita energía externa. • Obtención de carbón, aceite y acero. • Obtención de gases piroliticos tiene elevado poder calorífico. • Obtención de negro humo para la fabricación de nuevas llantas. • Negro de pirolitico para coloración y absorbente de luz UV.

Termólisis	Consiste en la trituración de llantas usadas que se someten a un calentamiento en ausencia de oxigeno; la degradación térmica de el material produce una descomposición donde los elementos orgánico volátiles (principalmente cadenas de caucho) se descomponen en gases y líquidos y los elementos inorgánicos (acero y negro de carbono volátil) permanece como residuo sólidos.	• Costos elevados	• Recuperación de todos los compuestos originales de les neumáticos. • Obtención de hidrocarburos y carbón que se convierten en combustible. • Obtención de acero.

Fuente:
www.madrimasd.org/informedevigilanciatecnologica
http://www.recoverytechnologies.com/.
www.oliveros.net/dural/Instituto Brasileiro de Administração Municipal (IBAM). Manual de Gerenciamiento Integrado de Residuos Sólidos. Río de Janeiro. 2001.

El reciclaje se ha identificado como una alternativa viable, ya que no solo alivia el problema ambiental, sino que convierte a la goma en un producto útil con valor agregado y crédito económico.

El reciclaje de la goma triturada en aplicaciones en ingeniería civil es muy amplio en el pasado se ha utilizado en:

Tabla 1.2 Aplicaciones de reciclaje de neumático triturado en ingeniería civil

APLICACIÓN	DESCRIPCIÓN	REFERENCIA	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Drenaje	• Rellenos para drenaje de agua lluvia. • Rellenos para pozos sépticos. • Absorción de metales pesados. • Absorción de lixiviados.	• Cosgrove (1995) • Edil et at (2004) • Hylands y Shulman (2003) • Humphrey y Blumenthal (1998) • Andrew (1996)	• Excelente drenaje • Alta Resistencia química • Durabilidad	
Rellenos y Suelos Reforzados	• Rellenos para terraplenes. • Rellenos detrás de muros. • Rellenos para estabilidad de taludes.	• Humphrey (1993). • Bosscher (1997). • Lee (1999) • Hylands y Shulman (2003). • Baker y otros (2004).	• Economía • Reduce Presiones de Poros • Reduce densidad de la capa	• Alta comprensibilidad
Taludes	• Sistemas de colección de aguas. • Protección de capas de geotextil. • Capas de drenaje en taludes.	• Hylands y Shulman (2003).	• Alta Permeabilidad. • Durabilidad. • Bajo peso. • Reducción de Asentamientos. • Resistencia química.	
Control de Erosión	• Control de erosión fluvial y marítima	• Hylands y Shulman (2003)	• Durabilidad. • Mínimo impacto en la cantidad de agua.	
Protección Ambiental	• Barreras Artificiales	• Hylands y Shulman (2003)	• Baja densidad • Libre drenaje • Durabilidad	
Aislamiento Térmico	• Aislamiento Térmico en vías y estructuras	• Hylands y Shulman (2003) • Humphrey y otros (1995)	• Protección de el suelo por heladas • Protección de tuberías • Aislamiento entre estructuras	
Caucho – Asfalto	• Capa de pavimento • Pistas Atléticas	• Rubber y Plastic news, 1998	• Reducción del ruido. • Durabilidad • Menor Rodamiento.	• Mas costos que el tradicional • Deformaciones a largo plazo
Agregado como mezcla de concreto	• Fachadas y elementos decorativos • Aceras peatonales	• Biel y Lee (1994) • Khatuby y Bayomy(1999) • Huynh (1997)	• Reducción de agrietamientos • Resistencia a impactos de sonido	• Disminución de propiedades mecánicas

2. ASPECTOS TECNICOS

A continuación se describen la composición y ciertas características del neumático nuevo

2.1 DEFINICIÓN DE NEUMÁTICO

Es un elemento elástico de las ruedas de los vehículos con una envoltura que contiene aire a presión, la cual tiene por objeto soportar las cargas que actúan sobre el vehículo y transmitir al terreno las fuerzas necesarias para el movimiento. Está constituida por una cubierta, banda de rodadura de goma labrada, que tiene la finalidad de evitar el derrape del vehículo; una carcasa, estructura resistente, formada por capas de hilos o de cables incorporados en el caucho, y una cámara de aire (ausente en aquellos neumáticos en los que la presión de aire está asegurada por una mezcla especial con la que se recubre el interior de la carcasa).

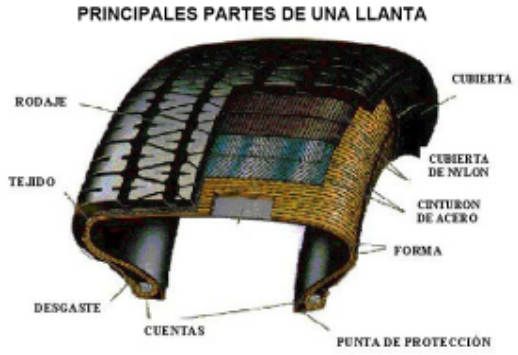
2.2 PARTES QUE CONFORMAN EL NEUMÁTICO

Los neumáticos se conforman por diversas partes que en general se pueden considerar que son las siguientes: la banda de rodadura, el cuerpo y las cuentas.

- La banda de rodadura es una almohadilla espesa de caucho, con ranuras para formar listones o espinazos, la banda proporciona tracción para mover y detener (frenar) al vehículo, también previene el deslizado y patinado del vehículo, cuando este se encuentra en movimiento.

- El cuerpo está constituido por capas de textil intercaladas en el caucho, el cual da fuerza y forma al neumático.

- Las cuentas, son las dos vendas que sostiene al neumático o su rueda, estas se localizan a lo largo de los bordes internos del neumatico y se componen de cuerdas de alambre rodeadas por caucho que se cubre con textil.



Fuente: INCREMI, S.A. de C.V.

Figura 1. Principales partes de un neumático

A su vez estas tres partes están constituidas por las siguientes:

- Cinturón estabilizador: En su mayoría son de acero y proporcionan resistencia al neumático, estabiliza la banda de rodamiento y protege a esta contra pinchaduras.

- Capa Radial: Contiene la presión del aire del neumático y junto a los cinturones estabilizadores transmite toda la fuerza de freno y dirección entre la rueda y la banda de rodamiento.

- Costados: Su hule esta especialmente compuesto para resistir la flexión y la intemperie proporcionando al mismo tiempo protección a la capa radial.

- Sellante: Consiste en adicionar una o dos capas de hule, esto es para los neumáticos.

- Relleno de la ceja: piezas de hule con características especiales que se usan para llenar el área de la ceja y la parte inferior del costado, para proporcionar una transición suave del área rígida de la ceja del área flexible de costado.

- Refuerzos de ceja: Es una capa colocada sobre el interior del amarre de la capa radial, en el área de la ceja y la parte inferior del costado, proporciona una transición de la ceja al costado.

- Ribete: Usado como referencia para el asentamiento adecuado de la ceja sobre rin.

2.3 MATERIA PRIMA PARA PRODUCCIÓN DE LOS NEUMÁTICOS

- Compuestos de hule: Los componentes de hule deben ser diseñados según la función que va a cumplir, es decir para la banda de rodamiento serán resistentes al calor, flexión, la buena adhesividad y para las cejas deberán ser muy duros.

- Materiales textiles: Son los que soportan el aire, golpes, calor, etc. Y para su mejor funcionamiento se recubren de hule, formando capas de neumáticos, cuyo número se diseñara según la resistencia de esta. Las capas por su naturaleza podrán ser de nylon, poliéster, rayón, etc.

- Alambre de acero: Principalmente en la caja para dar la firmeza necesaria al neumático al montarla en el rin. Así como, servir de sostén a las capas de los neumáticos.

2.4 COMPOSICIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE NEUMÁTICO

Los componentes principales se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 2.4.1 Composición Físico-química de las

Material	COMPOSICIÓN	
	Camiones	Automóviles
Caucho Natural	27	14
Caucho Sintético	14	27
Negro de Carbón	18	28
Acero	15	15
Protegido, Relleno	16	16
Peso del neumático nuevo	54,48 Kg	11,35 Kg
Peso del neumático usado	45,40 Kg	9,08 Kg

Fuente: www.engbuffalo.edu/~goutche/html/tirecycl.htm

2.5 CLASIFICACIÓN DE LOS NEUMÁTICOS

Los neumáticos se clasifican según el tipo de transporte que las utiliza:

- Automóvil
- Autobuses
- Camionetas
- Agrícolas

- Industrial
    - Camiones
    - Moto-conformadoras
    - Grúas
    - Tractores
- Mueve Tierras
- Otros
    - Bicicletas
    - Motocicletas
    - Aviones
    - Carritos de tiendas de autoservicio
    - Sistema de transporte eléctrico

3. SITUACION MUNDIAL DE MANEJO DE NEUMATICOS

A continuación se describe la tecnología que diferentes países aplican al neumático.

3.1 PANORAMA GENERAL DE ALGUNOS PAISES

3.1.1 EE-UU

[2]Algunos estados (Arizona, Florida, Lllinois, Minnesoa y Oregon han promulgado leyes que establecen la creación de un pago adicional (sobreprecio), por cada neumático nuevo que se adquiere, para formar un fondo de limpieza para las acumulaciones de los neumáticos usados ya existentes y que asegure que los neumáticos usados que se generen sea adecuadamente dispuestas. Otros estados como California, Texas y Washington, continúan experimentando con diversas opciones y tratando de encontrar la metodología adecuada para atender esta problemática; además el gobierno norte americano exige que el 5% del material usado para pavimentar las carreteras federales sea de caucho molido.

3.1.2 UNION EUROPEA

Actualmente existen *más* de 500 productos en el mercado que usan neumáticos reciclados (ETRA 2005). La mayoría de ellos no se exportan o se comercializa en otros países, provocando que en un país exista una aplicación que se desconozca en los otros. Están creciendo las aplicaciones del troceado y de neumáticos enteros y las especialidades (elastómeros termoplásticos), mientras que en el caso del granulado hay una sobrecapacidad de producción que presiona los precios a la baja, siendo necesaria una ampliación de los mercados para ayudar a sostener los precios.

[2] valorización material y energética de neumáticos fuera de uso - pag. www.madrimasd.or

El gobierno de algunos países europeos obliga a que las carreteras publicas deberán ser construidas asfálticamente, mediante neumáticos usados que unidos al bitumen harán que las carreteras sean menos ruidosas, resistentes, duraderas, con el consiguiente beneficio económico en lo que se refiere a periodicidad de su mantenimiento.

Una encuesta sobre el mercado de Europa revela que el principal mercado de neumáticos reciclados como rellenos en superficies deportivas. Se estima que en el 2003 se prepararon entre 4000 y 6000 campos de futbol que consumieron cada uno entre 50 y 80 toneladas de material, lo que supone entre 200.000 y 480.000 toneladas totales. Se estima que en Europa se convertirán entre 400 y 500 campos, que deberán rellenarse con algunos de los materiales que hay en el mercado, de los cuales el más barato es el neumático reciclado triturado.

3.1.3 AMERICA LATINA

3.1.3.1 México

En la república Mexicana se han iniciado algunos proyectos para la atención a esta problemática, en 1999 se llevo a cabo la XVII conferencia de Gobernadores Fronterizos México-EE-UU en donde se realizaron acuerdos para atender asuntos comunes y relevantes para esta zona de gran importancia entre las dos naciones, de los aspectos mencionados en lo referente al medio ambiente, se acordó coordinarse entre los gobiernos de los estados para resolver los problemas de confinamiento de neumáticos usados en la región fronteriza, ya que es uno de los problemas más agudos en esa zona en conjunto con confinamientos industriales y la generación y transito de residuos peligrosos. Además algunas ciudades en México han iniciado programas de investigación, reuso o reciclaje de neumáticos usados, tales como ciudad Juárez y Tijuana entre otras.

3.1.3.2 Brasil

La producción de neumáticos en Brasil fue de 35 millones en 1995 (IBAM, 2001). Después de la publicación de la Resolución CONAMA N° 258 (1999), las industrias pasaron a destinar sus residuos de producción en hornos de clinker de las industrias cementeras. Sin embargo, no todos los hornos fueron adaptados para procesar neumáticos, ocasionando alteraciones en la calidad del cemento producido y emitiendo efluentes gaseosos fuera de los límites de los organismos ambientales. En la década de 1990 surgió en Brasil una tecnología nueva, que utiliza solventes orgánicos para separar el caucho del armazón metálico y del nylon de los neumáticos, posibilitando su recuperación y reciclaje, poniendo en práctica esta tecnología en el 2001 en un fabrica con capacidad para 20 mil t/año, procesando 70% de caucho recuperado (polvo), 20% de filamentos de acero y 10% de fibras de nylon, el acero será finalmente vendido a las siderúrgicas, el caucho será comercializado para fábricas de tapetes, suelas de calzados, neumáticos y otros artefactos. Puede sustituir el 30% de material virgen. El nylon puede ser transformado en productos textiles, como tapetes y vestuario, pero exige un pos-tratamiento que la Midas no hace. Es decir, el comprador tendrá que reprocesar el nylon para retirar algunos residuos de caucho. (IBAM, 2001).

3.1.3.3 Salvador

Según “El Diario de Hoy”, del 16 de marzo de 2001, [3]desde 1998 a la fecha de publicación de la noticia, se estima que el país importó más de dos millones de neumáticos usados, los cuales, luego de su uso, se convierten en el sitio preferido para que los zancudos depositen sus larvas. En el Salvador se calcula que cada año entran un aproximado de un millón de neumáticos usados, sin contabilizar los cientos de miles de neumáticos nuevos que, al terminar su período de vida útil son desechadas sin control y pasan a formar parte del paisaje urbano de las principales ciudades. En la actualidad, la importación de neumáticos usados no tiene ninguna restricción ni control de

[3] http://www.elsalvador.com/noticias/2001/3/16/NACIONAL/nacio7.html

calidad para sus consumidores. Tampoco existe control para su recolección y destrucción.

El gerente del Distrito 5, indicó que, por el momento, la única forma de evitar que se conviertan en criaderos de zancudos es utilizarlas para muros de contención, en zonas de alto riesgo por derrumbes y juegos recreativos. Sólo en el área de San Salvador existen 35 zonas de alto riesgo. En cuatro de éstas ya se comenzó a trabajar con este tipo de muros.

3.1.3.4 Costa Rica

Mediante Decreto N° 24824-S publicado en La Gaceta No. 243 del 22-12-95, prohíbe la importación de neumáticos usados [4]Entre sus considerandos menciona el grave peligro que para la salud pública representan los neumáticos usados al ser criaderos para el mosquito Aedes aegypti, así como el hecho de que en el país no existe la tecnología necesaria para tratar los neumáticos usados sin que ello implique contaminación ambiental.

Costa Rica realiza también jornadas de recolección de neumático usado, tal como la denominada "Te cambio neumáticos usados por salud", que realizó la Caja Costarricense de Seguro Social (CCSS) y la empresa Brigestone-Firestone de Costa Rica, mediante la cual se recogieron alrededor de 20 mil neumáticos de parques, ríos, acequias, lotes baldíos, casas, etc. La tarea se realizó con el apoyo de unos 100 voluntarios de la CCSS y de las empresas Transportes HH, Tractaco, Reenfrío, Superservicio y la Bridgestone-Firestone

3.1.3.5 Puerto Rico

Produce alrededor de cuatro millones de neumáticos desechados cada año. Éstos no pueden ser dispuestos en los vertederos, según lo ordenado por la ley 171 de 1996. Actualmente, existen en Puerto Rico unos 3,400 almacenadores de neumático, en la actualidad se recoge la totalidad de neumáticos desechados, los cuales se disponen de dos formas: se exporta el neumático

[4] http://www.netsalud.sa.cr/ms/ decretos/dec40.htm.

completo o se tritura para producir material reciclado. Aproximadamente la mitad de los neumáticos desechados que se producen en la Isla están siendo exportados hacia Estados Unidos. La labor de exportar está siendo llevada a cabo por dos empresas: Terralina Environmental y Techniques Recycling; los neumáticos exportados son enviados enteros sin pasar por ningún proceso de triturado. Por otro lado, el proceso de reciclaje y triturado está siendo realizado por las compañías Integrated Waste Management y REMA.

Para incentivar el desarrollo del sector del reciclaje, la Ley 171 ha creado beneficios tributarios para las empresas que participen en las labores de disposición final. La Autoridad de Desperdicios Sólidos de Puerto Rico tiene a su cargo la responsabilidad de coordinar la implantación de la Ley 171. En un intento por garantizar el manejo eficiente de los neumáticos desechados, la ADS busca establecer una estructura corporativa viable para industrias procesadoras de neumáticos. De los variados usos dados a los neumáticos triturados, la ADS está interesada en apoyar y promover aquellos que no sólo consuman grandes volúmenes de neumáticos triturados, sino que generen beneficios económicos para la sociedad puertorriqueña. Ya se ha utilizado neumáticos triturada en sistemas de recolección de lixiviados, como es el caso del vertedero de Humacao (municipio en el Este de Puerto Rico), Sin embargo, ADS considera que actualmente no es posible continuar con esta aplicación en otros lugares ya que la mayoría de vertederos en la Isla no cumplen con los requisitos de calidad, no compactan los estratos de capas adecuadamente, no realizan monitoreos de gases y lixiviados y tampoco cuentan con la infraestructura para el almacenaje y manejo de la goma triturada.

3.2 GENERACIÓN Y DISPOSICIÓN DE DESECHO DE NEUMÁTICOS EN ALGUNOS PAÍSES

Tabla 3.2.1 Generación y disposición de desecho de neumáticos en algunos

GENERACION Y DISPOSICION DE DESECHOS DE NEUMÁTICOS EN ALGUNOS PAISES							
PAIS	LLANTAS GENERADAS	COMBUSTIBLE	APLICACIÓN EN INGENIERIA	RENOVACION RENCAUCHE	OTROS[5]	SIN CONTROL	REFERENCIA
EE.UU	300,000,000	41%	48%	3%	8%	-	Warmer Bulletin, mayo 2004
ESPAÑA	35,000,000	17%	12%	20%	-	51%	www.elpais.com/articulo/sociedad/norma/legal/obligar/reciclar/neumaticos
MEXICO	25,000,000	2%	2%	5%	-	91%	www.pvem.org.mx/web/index.php?option=com_content&task=view&id=1991&Itemid
SALVADOR	3,000,000	-	0,50%	0,50%	-	99%	www.recoverytechnologies.com/.
COSTA RICA	4,000,000	0,50%	0,50%	0,50%	-	98,50%	www.recoverytechnologies.com/.
PUERTO RICO	4,000,000,	35%	10%	5%	-	50%	www.recoverytechnologies.com/.
BRASIL	35,000,000	35%	4%	40%	-	21%	www.recoverytechnologies.com/.
ALEMANIA	74,000,000	44%	8%	-	6%	42%	www.soitu.es/soitu/2008/04/04/info/1207325893_878676.html
REINO UNIDO	33,000,000	24%	8%	2%	2%	66%	www.soitu.es/soitu/2008/04/04/info/1207325893_878676.html
FRANCIA	40,000,000	-	10%	16%	45%	34%	www.soitu.es/soitu/2008/04/04/info/1207325893_878676.html

[5] Se refiere a revestimiento mediante triturado fino (pistas atléticas, campos de golf, parques infantiles) y Exportación

3.3 APLICACIONES DE INGENIERIA EN ALGUNOS PAISES

Tabla 3.3.1 Aplicaciones a nivel mundial

PAIS	CIUDAD	REFERENCIA	APLICACIÓN
MEXICO	JUAREZ	Universidad Autonoma de Ciudad de Juárez Departamento de Ing Civil	Estabilización de suelos arcillosos en ciudad de Juárez Chihuahua
		Universidad Estatal de Nuevo México En las cruces Departamento de Geología y Agricultura	Estabilización de suelos arcillosos en ciudad de Juárez Chihuahua
	TIJUANA	Servicios Comunitarios de La Universidad de Tiponase	Llantas usadas para cultivos
		Cementos Apasco-Cementos Cemex	Combustión
EE-UU	CALIFORNIA	Planta Modesto California	Generación de Energía 15 megawaattss
		Planta sterling en connecticut	Generación de Energía 30 megawaattss
		CEMPRE, 1998	Pavimentación 25 carreteras
	ARIZONA	GARFARCE CEMENT-ARIZONA PORTAND CEMENT-TUCSON MANUFACTURES PHUENIS	Combustión
		Departamento de Transportes	Pavimentación de carreteras del condado 1770 Km
	TEXAS	Departamento de Transportes	Pavimentación de carreteras 700 millas
	DENVER	Humphrey y otros, 2002	Terraplenes para vía "connetor interstate"
	MAINE	Humphrey, 2000	Capa de drenaje en relleno en Fort Fairfield
		Tweedie y otros 1995-Frascosia y Cauley 1995	Subrasante de aislamiento al congelamiento
		Tweedie y otros 2000-Tweedie y otros 1998	Relleno en el estribo de un puente en el proyecto "North Abutment 0f Merry-meeting brigde in Topsham
	MINNESOTA, OREGON, COLORADO	Ahmed y Lovell, 1993	Capa de relleno en suelos
CANADA	MANITOBA	R.A KHAB AND A SHALABY Universidad de Manitoba Winnipeg Canada Departamento de Ing. Civil	Construcción de Base de Caminos con tiras de llantas
	QUEBEC	Tweedie y otros 1995-Frascosia y Cauley 1995	Subrasante de aislamiento al congelamiento
PUERTO RICO	HUMACO	ADS Autoridad de Desperdicios Sólidos	Recolexion de Lixiviados en el Vertedero Humaco

4. SITUACIÓN EN COLOMBIA

Al analizar con mayor detalle la situación actual de Colombia con respecto a residuos sólidos reciclables se ha visto un manejo deficiente. Por lo tanto se ha comprobado que cerca de 800 municipios depositan las basuras a cielo abierto y que las tareas de barrido y recolección son ineficientes. En Colombia se producen aproximadamente 26000 toneladas de residuos, muchas de las cuales se lanzan a las fuentes de agua, otras se botan en lotes baldíos y una parte importante llega a los rellenos sanitarios los cuales están a punto de copar su capacidad de carga y evidencian manejos anti-técnicos.

Por esto el ministerio de medio ambiente hace obligatorio elaborar el PGIR (Planes de Gestión Integral de Residuos) y buscar acuerdos subregionales para manejar los desechos. En Colombia no se controla la ruta de uso de artículos como neumáticos, baterías, aceites, combustibles cuyo efecto sobre el entorno natural son desastrosos.

Aunque uno de los residuos sólidos que más afecta el medio ambiente es el residuo de neumáticos debido a que ha sido un problema de eliminación en el pasado y continúa siendo un inconveniente.

Según datos del Ministerio de Transporte y con la colaboración del DANE, el consolidado del parque automotor para el año 2008 es alrededor de 5.300.769 vehículos. Sin embargo no todos los neumáticos de ciertas clase de vehículos sirven como reencauche (carros, buses, colectivos), solo se puede contar para reencauche los neumáticos de vehículos de tipo camiones y camionetas, aunque los neumáticos de los otros vehículos son desechados a rellenos sanitarios o ha combustible. Cabe resaltar que estos neumáticos son de lona y acero y la duración promedio de los neumáticos en rodamiento es al menos 80.000km equivalente a 10 meses de uso. Lo cual en Colombia se reencaucha alrededor de 684.000 unidades/año representando un bajo índice de reencauchabilidad.

Los bajos niveles de reencauchabilidad del país no son debidos a la falta de capacidad de producción de la industria nacional, o la carencia de planes de expansión de la empresa, sino a la dificultad de encontrar neumáticos en condiciones adecuadas para ser reencauchadas, ello debido fundamentalmente a que las autoridades no han adoptado las acciones necesarias para implementar la legislación de transporte vigente

Además los transportadores independientes tienen una baja concientización en el cuidado de los neumáticos y los posibles ahorros que pueden generarse volviendo a utilizar un buen neumático usado que se reencaucha.

En la tabla 4.1, se observan algunos datos de interés del parque automotor en las algunas de las ciudades del país, para comparar el tráfico en una ciudad principal a una secundaria

Tabla 4.1 Algunos datos del parque automotor y potencial de reencauche en principales ciudades del país

PARQUE AUTOMOTOR EXISTENTE EN COLOMBIA Y POTENCIAL DE REENCAUCHE							
Tipo de servicio	No de vehículos						Consumo anual de neumáticos
	Bogotá	Medellín	Cali	Bucaramanga	Manizales	Pereira	
Servicio público	90.000	80.642	43.563	12.176	3.322	1.036	1.472.586
Sector motos	36.400	81.745	68.068	20.770	26.411	32.974	193.314
Servicio particular	873.600	177.009	242.856	106.946	44.000	45.016	2.751.672
Subtotal	*1.000.000*	*339.396*	*354.487*	*139.892*	*73.733*	*79.026*	4.712.089
Reencauche	78.180	31.027	18.754	6.417	1.004	235	135.617
% de Reencauche	7,82%	9,14%	5,29%	4,59%	1,36%	0,30%	28,50%

Fuente: Mintransporte, agosto / 2004 – 2007

El proceso de reencauche resulta muy rentable especialmente para los transportadores, que pueden tener ahorros considerables en la operación de sus vehículos, ya que un neumático puede ser reencauchado hasta 4 veces, dependiendo de su estado de conservación. Adicionalmente al utilizar completamente cada neumático se contribuye a la conservación del medio

ambiente, al requerir menos insumos en su fabricación y al momento de desecharla, ya que un neumático tarda hasta 80 años en descomponerse.

Los procesos modernos de reencauche en países industrializados o en desarrollo, están tan adelantados y cuentan con tan alta calidad, que se puede obtener una duración similar y hasta superior en un neumático reencauchado, frente a uno totalmente nuevo. Para estos es un servicio habitual, muy valorado y reconocido.

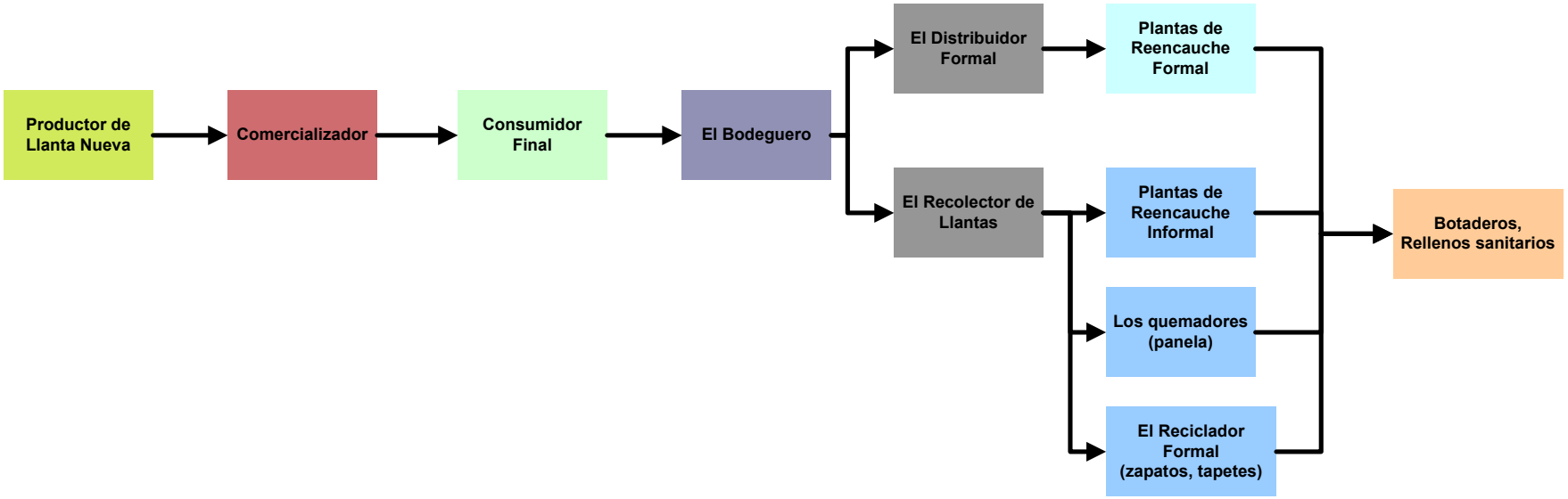
Desafortunadamente este proceso no se utiliza en Colombia en toda la medida de su potencial, principalmente por desconocimiento de sus utilidades y alta eficiencia de sus procesos de calidad.

Cabe a notar que la distribución del aprovechamiento de los neumáticos usados, la mayoría de estos se utiliza para el aprovechamiento energético fundamentalmente como combustible en los hornos de producción de panela en el noroccidente de Cundinamarca, actividad que genera impactos ambientales y de salud pública relacionados con las emisiones de COV’s3 y HAP’s4, contaminantes carcinogénicos y mutagénicos, y otros que causan afecciones al sistema respiratorio y circulatorio.

4.1 CICLO DEL NEUMATICO EN COLOMBIA

Con base en la información recopilada, se elaboró el siguiente mapa acerca del proceso del neumático en Colombia.

Figura 2. Ciclo del Neumático



En Colombia el proceso de producción y reciclaje de neumáticos se ha venido realizando de la siguiente manera

Productor de llanta Nueva

Comercializador: es el principal distribuidor del neumático nuevo, (distribuidores, hipermercados, concesionarios etc.).

Consumidor final: usuarios de neumáticos nuevos y reencauchados. Generalmente el consumidor final una vez terminada la vida útil del neumático, se pone en contacto con reencuachadores y/o intermediarios de reencauche para que le preste el servicio y le devuelvan sus neumáticos reencauchados.

El bodeguero: acumula los neumáticos usados y los vende a las plantas de reencauche generalmente cuenta con capital de trabajo pero es informal, el volumen que se maneja es del orden del 15% de los neumáticos reencauchados.

El recolector de Neumáticos: Por su parte, acopia neumáticos de usuarios finales, talleres, y demás sitios donde se realiza la venta y cambio de neumático.

El distribuidor formal: Aglomera neumáticos usados, contrata el servicio de reencauche con las plantas y después de reencauchadas las comercializa. En algunos casos comercializa neumáticos nuevos.

Las plantas de reencauche formal: reencauchan neumáticos usados propios y de clientes bajo estándares de calidad nacionales. También realizan la actividad de regrabado del neumático con el fin de recuperar su capacidad agarre.

Las plantas de reencauche informal: reencauchan neumáticos usados propios y de clientes, sin considerar los estándares de calidad nacionales. Algunas realizan regrabado inadecuado.

Los recuperadores de banda: Ejercen la labor de recuperación de bandas de los neumáticos usados para venderlos a reencauchadores informales.

Los altos hornos Cementeros: Utilizan los neumáticos como combustible en sus procesos de producción de clinker.

El reciclador formal: Recicla el caucho y materiales residuales del proceso de reencauche (ripio) y lo transforma en nuevos elementos como suelas para zapatos, tapetes, accesorios para autos, entre otros.

El reciclador informal: Ejerce la misma labor que el reciclador formal pero bajo condiciones informales.

Los quemadores: este eslabón de la cadena quema los neumáticos para extraer el acero. También es utilizada como combustible en algunos procesos productivos (ladrilleros, paneleros).

Finalmente parte de los neumáticos luego de su uso, son almacenados en depósitos clandestinos, techos o patios de casas de viviendas, lagos, ríos y calles en todos los rincones de la geografía nacional; por consiguiente se produce un efecto para el medio ambiente y salud pública.

Los neumáticos usados agravan las dificultades que actualmente viven en distintos municipios del país, con la disposición de residuos sólidos como ejemplos tenemos; Doña Juana en Bogotá, Don Matías en Medellín, Navarro en Cali, en El Carrasco en Bucaramanga y por supuestos los botaderos a cielo abierto.

Tabla 4.1.1 Generación y disposición de desecho de neumáticos en Colombia

GENERACION Y DISPOSICION DE DESECHOS DE NEUMÁTICOS EN COLOMBIA							
PAIS	NEUMATICOS GENERADOS	COMBUSTIBLE	APLICACIÓN EN INGENIERIA	RENOVACION RENCAUCHE	OTROS[6]	SIN CONTROL	REFERENCIA
COLOMBIA	4.712.089	15%	0%	28.50%	5%	51.5%	Estimado por las autores del proyecto

[6] Se refiere a uso artesanal (cotizas, correas, zapatos) y regrabado

4.2 SITUACION ACTUAL EN BUCARAMANGA

En Bucaramanga la situación actual de manejo de neumáticos es similar a la del país (Figura 2).

En la tabla 4.2.1 se presentan algunas aplicaciones del neumático a nivel local.

Tabla 4.2.1. Situación actual de Bucaramanga

PROCESO	APLICACIÓN	ÁREA	DATOS DE INTERÉS
Fabricación artesanal de sandalias y correas	Plantilla para zapatos	Artesanal	De un neumático se saca cuatro docenas de plantillas y se hace hasta cinco docenas a la semana. Se fabrica con una lona fuerte, con suela de caucho y se amarra con nylon.
Icineraciòn para fabricaciòn de panela	Debido a la baja eficiencia de los sistemas tradicionales, originan el consumo de combustibles adicionales como el bagazo por ejemplo la leña y neumáticos; lo que trae como consecuencia el deterioro del entorno ambiental. Aun no se ha documentado las em Para la elaboracion de la panela es necesario utilizar los elementos señalados de la siguiente forma: 1 kg leña 1Kg de panela 0.4 kg neumatico	Industria y Artesanal	Segundo productor después de la India consumo por habitante con 34.2kg de panela por habitante al año y el 5to cultivo importante en Colombia
Reencauche	Industria	Reencauche	Se utiliza por lo menos cuatro veces en el neumático. Hay sitios exclusivos donde el reencauche es de alta calidad y son reconocidas a nivel nacional ó municipal y otras que son de carácter informal donde no ofrecen las mismas condiciones de una empresa q

El reciclado del neumático es muy bajo en la ciudad. Se encontró muy poca información acerca del tema ya que no hay una entidad directamente encargada de su control ó legislación.

5. APLICACIONES ESPECÍFICAS EN INGENIERIA CIVIL DE RECICLAJE DE NEUMÁTICO EN BUCARAMANGA

Teniendo en cuenta el uso actual del residuo y los diferentes usos reconocidos con éxito a nivel internacional se han identificado algunas alternativas ingenieriles que se consideran viables como aplicación en nuestro medio con el fin de buscar la mejor manera de aprovechar el residuo teniendo en cuenta sus diferentes propiedades.

Las alternativas propuestas son:

1. La utilización del neumático usado como material de relleno mezclado o no con cualquier tipo de suelo en: terraplenes para vías, muros, estribos de puentes, estabilización taludes, bases granulares para vías etc. Esta tecnología no se ha desarrollado debido a la poca investigación, información y desinterés que hay al respecto siendo esta una manera fácil, económica para la disminución del volumen de neumáticos además supliendo los problemas que se presenta en la ciudad en el área de estabilización de suelos.

2. La utilización del neumático usado como Materia prima para producción de pavimento asfáltico fundamentada en el reconocido éxito de su aplicación en países como Canadá, Estados Unidos y España, entre otros, con base en la adición de caucho pulverizado (malla 80/ malla 40) durante la fabricación de pavimento asfáltico. El caucho de llanta pulverizado le proporciona al pavimento características de flexibilidad y elasticidad que aumentan su vida útil por lo menos en un 50% a un costo efectivo menor que el pavimento convencional. Su aplicación en la malla vial de la ciudad, generaría ahorros importantes en el desarrollo de éstos programas. Como es una tecnología nueva sin desarrollo en país, se

requiere de la implantación de estudios piloto y su validación para las condiciones locales.

3. La utilización del neumático usado triturado en aplicaciones de drenaje para filtros, agua lluvia, rellenos sanitarios para la recolección de lixiviados, pozos sépticos, debido al excelente drenaje además a la buena absorción de metales pesados y sustancias contaminantes como naftaleno, tolueno, iones de mercurio etc...; Por otra parte, en estudios realizados a nivel mundial se determinó que lo pedazos de neumático triturado absorben los fertilizantes y pesticidas de los campos de golf (Carlson,2004) debido a que los pesticidas penetran el suelo y llegan a aguas subterráneas por tal razón es recomendable usar neumático triturado para absorber estas sustancias; Su uso en la ciudad en nuevos proyectos y actuales traería beneficios ambientales reduciendo la contaminación de suelos, aguas subterráneas y atmosfera.

4. La utilización del neumático en la industria de la construcción como agregado para mezcla de concreto debido a que ciertas cualidades como su peso unitario, lo hacen aplicable para propósitos arquitectónicos como fachadas, elementos decorativos (Nehdi y Khan, 2001), aceras peatonales, caminos para ciclistas al ser una mezcla liviana puede usarse en lugares donde se requieran elementos de concretos no estructurales.

En este trabajo se estudiará experimentalmente la alternativa N° 1, es decir la viabilidad de utilizar el neumático como material de relleno en obras de ingeniería.

6. DESARROLLO EXPERIMENTAL

La parte experimental de este trabajo consistió en la selección de tres suelos de diferentes características. Los suelos seleccionados para este estudio fueron de tipo fino, arena y afirmado, el suelo fino se tomó de una excavación ubicada en la Carrera 36 N°33-25 en Bucaramanga. Los suelos fueron ensayados de manera individual, y también en mezclas con neumático triturado.

El propósito de la parte experimental es obtener el comportamiento mecánico del neumático al mezclarlo con diferentes suelos.

6.1 MATERIALES

El objeto es encontrar en estos diferencias en sus principales parámetros de resistencia y establecer sí la adición de neumático tiene efectos en cada uno de ellos.

6.1.1 Finos

Las arcillas son el producto final de la descomposición química de los numerosos minerales que se encuentran en las rocas ígneas y metamórficas y es frecuente encontrarlas en zonas donde predomina un clima húmedo y cálido. Es plástica y pegajosa en límites altos contenido de humedad; cuando es seca forma terrones duros y de baja permeabilidad.

Las partículas de arcilla son de forma laminar, en la cual dos dimensiones son muchísimo mayores que la tercera; son de masa muy pequeña, presentando por tanto, una gran superficie específica. Esta característica es conocida como la relación entre la superficie de las partículas por unidad de masa.

Los arreglos de las partículas de arcilla, debido al escaso tamaño y peso de las partículas y a su forma, predominan principalmente fuerzas de atracción eléctricas entre las partículas.

En la composición química tienen fuerzas diferentes a las gravitacionales ejercen una acción importante, debido a que estos granos, la relación de área a volumen alcanzan valores considerables y fuerzas electromagnéticas desarrolladas en la superficie de los compuestos minerales cobran significado.

6.1.2 Arenas

Cuando las partículas acaban de formarse son angulosas y puntiagudas, haciéndose más pequeñas y redondeadas por fricción provocada por el viento y el agua. Es el producto de la desintegración química y mecánica de las rocas bajo meteorización y abrasión. Los granos de arena son ásperos al tacto y no forman agregados estables, porque conservan su individualidad.

Las importantes aplicaciones industriales de este grupo de minerales radican en sus propiedades físico-químicas. Dichas propiedades derivan, principalmente de que son partículas extremadamente pequeñas (0.06 -2mm). El principal usos de estos materiales se da en el campo de la cerámica de construcción (tejas, ladrillos, tubos, baldosas...), alfarería tradicional, losas, azulejos y gress.

6.1.3 Afirmado

La composición mineralógica es considerada hasta cierto punto secundaria, pues no interviene para nada en su comportamiento mecánico e hidráulico. Estos dependen fundamentalmente de su densidad relativa y de la forma, tamaño y disposición de sus partículas.

Las partículas de los suelos gruesos (granulares) adoptan arreglos sencillos, donde la fuerza que predomina en la disposición de las partículas es la de la gravedad. Cada una de las partículas tiene varios puntos de apoyo sobre las otras.

6.1.4 Neumático reciclado

Es obtenido de los neumáticos en desuso de los automotores, los cuales de otra manera, no tendrían un destino diferente al de los sitios dispuestos como rellenos municipales o simplemente basureros a cielo abierto, cumpliendo un importante y peligroso papel en la creciente contaminación ambiental que nos afecta actualmente. El neumático está compuesto de caucho natural y sintético elastómeros derivados del petróleo, el gas, intrusiones metálicas y fibras textiles. Otros polímeros, metales y aditivos se utilizan también en el proceso de fabricación para mejorar el rendimiento.

Las propiedades básicas (peso especifico, modulo de elasticidad, y la relación de Poisson), del neumático se conservan después si son trituradas en total. El neumático puede considerarse similar al agregado tosco (arena gruesa, grava o roca) pero una diferencia entre estos es que las partículas individuales del neumático son mucho más deformable que las de arenas, gravas o rocas, aunque otra diferencia importante es el peso unitario del neumático es muy bajo comparado al de la arena, grava o roca, por lo tanto el neumático triturado puede ser considerado como un agregado liviano.

Figura 3. Neumático desechado

6.1.4.1 Proceso de trituración

El proceso de trituración del neumático fue bastante complejo debido a que en Bucaramanga y Colombia no se cuenta con una tecnología para trituración de neumático es por esto que este proceso se realizó de forma manual.

Se escogieron dos tamaños de neumáticos triturados para la realización del proyecto:

- 2 cm (tamiz ¾)
- 4.72mm (tamiz Nº 4)

El neumático entero es muy fácil de conseguir, en almacenes donde vendan neumáticos nuevos y de reencauche.

En el mercado se encuentran neumáticos compuestos internamente por lona y acero; el neumático escogido para este proyecto fue de lona ya que este presentaba mejor manejabilidad para el corte. El material para este proyecto se obtuvo en la avenida Quebrada Seca con carrera 13 donde funciona una bodega informal de neumáticos usados, el dueño del lugar se identifica como Víctor García. En esta bodega llevan neumáticos desechados, los cuales son vendidos para reencauche, combustión y productos artesanales. En este lugar se realizó el primer corte obteniéndose un tamaño requerido de 2.0 [cm] (tamiz ¾) valiéndose de un cuchillo bien afilado como se observa en la figura N°4.

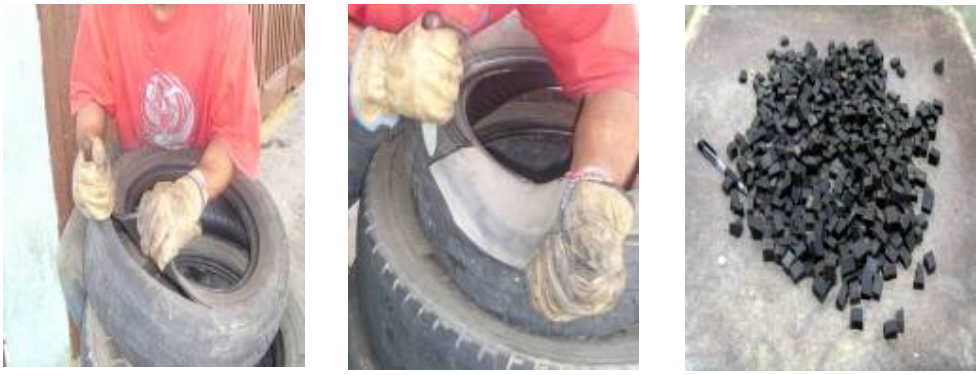


Figura 4. Corte de neumático

Después se realizó un corte secundario con el fin de introducir a la maquina de trituración. El material obtenido en el corte secundario se colocó en un maquina llamada Molino de Cuchillas de referencia Thomas – Wiley, Laboratory Mill Model 4, Arthur H. Thomas Company Philadelphia, PA, USA. Esta maquina se encuentra ubicada en el Laboratorio de Aceros, Escuela de Metalúrgica y es utilizada generalmente para triturar polímeros.

El proceso duró 40 horas, obteniéndose 7000gr de neumático triturado, una vez obtenido este material se procedió a quitarle la lona, consiguiendo finalmente el material para las pruebas.

A continuación se muestran algunas fotografías del proceso de trituración:

Figura 5. Equipo utilizado para la trituración de neumático

Tamaños seleccionados para la realización del proyecto

Figura 6. Tamaños del material utilizados para la realización del proyecto

6.2 CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES UTILIZADOS

Como los granos no son siempre del mismo tamaño ni la constitución mineralógica homogénea, se requiere de un sistema de clasificación sencillo y practico. Aunque existen varios sistemas de clasificación, el más utilizado es el Sistema Unificado de Clasificación (S.U.C.S) y el Sistema de la Asociación Americana de Agencias Oficiales de Carreteras y Transporte (AASHTO).

6.2.1 Ensayo de granulometría, método mecánico (I.N.V. E – 123)

Su objeto es determinar en porcentaje en peso de los diferentes tamaños de las partículas de suelo y con estos datos construir la curva granulométrica del material. Se pasa una muestra de suelo seco a través de diferentes tamices, los cuales se enumeran según las aberturas que tienen por pulgada y se pesa la cantidad de suelo retenido en cada tamiz

Figura 7. Equipo y proceso utilizado en el ensayo de granulometría

6.2.2 Ensayos de Límites Líquido y plástico (I.N.V. E – 125)

Se define como la propiedad de un material por la que es capaz de soportar deformaciones rápidas, sin rebote elástico, sin variación volumétrica apreciable y sin desmoronarse ni agrietarse. Un suelo se puede comportar, dependiendo del contenido de agua presente en el, como un líquido, plástico o un sólido.

Figura 8. Equipo y proceso utilizado en el ensayo de Límites de Atterberg

6.2.2.1 Límite líquido (I.N.V. E – 125)

Es el contenido de humedad para el cual los suelos cohesivos pasan del estado plástico al semi – líquido.

6.2.2.2 Límite plástico (I.N.V. E – 125)

Es el contenido de humedad para el cual los suelos cohesivos pasan del estado plástico al semi – sólido al estado plástico.

6.2.2.3 Índice plástico (I.N.V. E – 125)

Es la representación de la extensión en la que un suelo tiene comportamiento plástico y se determina por la diferencia entre el límite líquido y el plástico.

6.2.3 Clasificación de los suelos

En la clasificación de los tres suelos seleccionados para esta investigación se utilizó el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.UC.S) y el Sistema de la Asociación Americana de Agencias Oficiales de Carreteras y Transporte (AASHTO), en el que se deben determinar los valores de límites líquido y plástico de una fracción de suelo según sea el material. A continuación se encuentra la clasificación de cada suelo seleccionado:

6.2.3.1 Fino

Suelo arcilloso, se color amarillento y según su clasificación según el Sistema Unificado de Clasificación de suelos (S.U.C.S), es CL, que lo determina como una arcilla inorgánica de baja a media plasticidad, con un % alto de arenas. Según el Sistema de la Asociación Americana de Agencias Oficiales de Carreteras y Transporte (AASHTO), es A-6, es una arcilla plástica que normalmente presentan grandes cambios de volúmenes entre los estados secos y húmedos.

Figura 9. Aspecto de la muestra de suelo fino utilizado para este proyecto

6.2.3.2 Arena

Su clasificación según el Sistema Unificado de Clasificación de suelos (S.U.C.S), es SP, que lo determina como arena mal graduada, siendo así un suelo de tamaño de partículas muy uniformes, por lo cual no hay suficiente arcilla para aglomerar las partículas de arena; la plasticidad es nula, por tal

motivo es una arena limpia. Según el Sistema de la Asociación Americana de Agencias Oficiales de Carreteras y Transporte (AASHTO), es A-3 arena fina de playa, sin finos de arcilla, limo o con una pequeña cantidad de limo no plástico.

Figura 10. Aspecto de la muestra de suelo arenoso utilizado para este proyecto

6.2.3.3 Afirmado

Su clasificación según el Sistema Unificado de Clasificación de suelos (S.U.C.S), es GW , que lo determina como una grava bien graduada, siendo así un suelo con muchos tamaños de partículas, de mayor capacidad de fricción, grava con arena con poco o nada de finos, es una grava limpia. Y según el Sistema de la Asociación Americana de Agencias Oficiales de Carreteras y Transporte (AASHTO), es A-1-a, principalmente gravas con o sin partículas finas de granulometrías

Figura 11. Aspecto de la muestra de suelo afirmado utilizado para este proyecto

Tabla 6.2.1 Resumen de los resultados obtenidos del ensayo de granulometría

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS
TABLA DE RESUMEN DE GRANULOMETRIA

TIPO DE SUELO		FINO	ARENA	AFIRMADO
GRANULOMETRIA	%G	0	0	65,32
	%A	43,6	98,25	33,7
	%F	56,4	1,75	0,99
LIMITES	LL	30,20	-	-
	LP	18,10	-	-
	IP	12,10	-	-
CLASIFICACIÓN	SUCS	CL	SP	GW
	AASHTO	A- 6	A - 3	A - 1 - a

6.3 DETERMINACION DE RESISTENCIA DE LOS SUELOS SIN Y CON NEUMÁTICO

Con el objetivo de conocer las características, la resistencia y el comportamiento mecánico de los suelos seleccionados, se llevaron a cabo ensayos de compactación, compresión simple, corte directo y relación de soporte de California o CBR. Estos ensayos se realizaron sobre muestras de suelo individuales y mezcladas con neumático (para los dos tamaños requeridos), y así analizar los cambios que pueden ocurrir en sus propiedades mecánicas por la adición de este.

En esta etapa se le adiciono a los tres tipos de suelo un 30% en peso de neumático triturado equivalente a un 50 % en volumen de neumático este % se escogió de acuerdo a literatura que sugería este % como adecuado.

6.3.1 Ensayo de compactación Próctor Modificado (I.N.V.E-142)

Su objeto es determinar la cantidad óptima de agua de un suelo y así permitir un mejor movimiento de partículas, dando una buena compactación para una energía dada, esto se realiza en molde de un tamaño dado con un martillo de a.54 kg (10lb) que cae desde una altura de 457 mm (18”). Debido a que la resistencia de un suelo depende principalmente de su capacidad y densidad, de igual forma se elaboró el ensayo para la muestra con adición de neumático grande y pequeño.

Los ensayos de compactación y los resultados de humedad óptima y densidad seca se encuentran en el Anexo B sin neumático y en el Anexo F con neumático.

Figura 12. Equipo y proceso utilizado en el ensayo de Proctor Modificado

6.3.2 Ensayo de Compresión Simple (I.N.V. E – 152)

Este ensayo consiste en determinar las relaciones esfuerzo – deformación de los suelos de igual manera conocer su resistencia hasta que se produzca la falla. Se basa en aplicar una carga longitudinal de compresión a una probeta, con condiciones inalteradas, remoldeadas y elaboradas en el laboratorio. Este ensayo se realizo para el tamaño de neumático triturado (tamiz Nº4) en el maquina de compresión.

Los ensayos de compresión simple y los resultados de esfuerzo de corte y cohesión se encuentran en el Anexo C sin neumático y en el Anexo G con neumático.

Figura 13. Equipo y proceso utilizado en el ensayo de Compresión simple

6.3.3 Ensayo de Corte directo (I.N.V. E – 154)

Esta prueba consiste en someter una muestra inconfinada fallándola en un plano predeterminado sobre el cual actúan dos esfuerzos: una debido a una carga vertical (normal) y otra debido a una carga horizontal (cortante), la cual aumenta gradualmente hasta hacer fallar la muestra, obteniendo así una relación entre la cohesión, la fricción interna y la resistencia a la falla por rotura (ruptura), depende primordialmente de su resistencia a la cizalladura.

Los ensayos de corte directo y los resultados de esfuerzo de rotura, cohesión y fricción se encuentran en el Anexo D sin neumático y en el Anexo I con neumático.

Figura 14. Equipo y proceso utilizado en el ensayo de Corte Directo

6.3.4 Ensayo de Relación de Soporte de California o CBR (I.N.V.E – 148)

Este ensayo se desarrollo como una forma para clasificar la capacidad de soporte de un suelo y mide la resistencia al corte de este, bajo condiciones de humedad y densidad controladas. El CBR es la relación de la carga unitaria (en Newton por metro cuadrado) necesaria para lograr una profundidad del pistón dentro de una muestra de suelo, compactada con la humedad óptima y su densidad correspondiente; con respecto a la carga patrón para obtener la misma penetración en una muestra estándar.

Los ensayos de relación de soporte de California (CBR) y los resultados del porcentaje de la resistencia del suelo se encuentran en el Anexo E sin neumático y en el Anexo J con neumático.

Figura 15. Equipo y Proceso utilizado en el ensayo de CBR

Tabla resumen de los ensayos realizados en el laboratorio sin y con neumático respectivamente.

Tabla 6.3.1 Resumen de los resultados obtenidos del ensayo de Próctor modificado sin neumático

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS
TABLA DE RESUMEN DE PROCTOR MODIFICADO

TIPO DE SUELO	SUELO		
	FINO	ARENOSO	AFIRMADO
% HUMEDAD OPTIMA	16,30	12,27	6,00
DENSIDAD SECA [gr/cm³]	1,850	1,950	2,190

Tabla 6.3.2. Resumen de los resultados obtenidos del ensayo de Próctor modificado con neumático

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS
TABLA DE RESUMEN DE PROCTOR MODIFICADO

TIPO DE SUELO	SUELO + NEUMATICO (Nº 3/4)			SUELO + NEUMATICO (Nº 4)		
	FINO	ARENOSO	AFIRMADO	FINO	ARENOSO	AFIRMADO
% HUMEDAD OPTIMA	14,40	16,40	8,20	17,20	13,50	12,90
DENSIDAD SECA [gr/cm³]	1,550	1,403	1,700	1,495	1,385	1,360

A continuación se presentan los ensayos de compresión simple, fueron realizados a las muestras de suelo individual, y a las muestras de suelo mezclada con neumático triturado (tamiz Nº4).

Las probetas realizadas con neumático triturado (tamiz Nº 4), fueron elaboradas en moldes de tamaño: (altura: 7.1cm y diámetro: 3.27cm) y falladas en la maquina Harvard tradicional de este ensayo.

Tabla 6.3.3 Resumen de los resultados obtenidos del ensayo de compresión simple sin neumático

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS
TABLA DE RESUMEN DE COMPRESION SIMPLE

	MAQUINA HARVARD MINIATURA
TIPO DE SUELO	**FINO**
Esfuerzo de corte (Qu) [Kg/cm²]	1,39
C [Kg/cm²]	0,70

Tabla 6.3.4 Resumen de los resultados obtenidos del ensayo de compresión simple con neumático

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS
TABLA DE RESUMEN DE COMPRESION SIMPLE

	MAQUINA HARVARD MINIATURA
TIPO DE SUELO	**FINO + NEUMATICO P.**
Esfuerzo de corte (Qu) [Kg/cm²]	0,17
C [Kg/cm²]	0,08

En las tablas 6.3.5 y 6.3.6 se presentan ensayos de corte directo realizados de acuerdo a las Norma ASTM. Este ensayo solo se realizó para el suelo fino y la arena mezclados con el neumático de tamaño Nº4.

El material de afirmado y el neumático tamaño ¾ no se ensayaron debido a que exceden el tamaño máximo de la norma.

Tabla 6.3.5 Resumen de los resultados obtenidos del ensayo de corte directo sin neumático

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

TIPO DE SUELO	FINO	ARENA
ANGULO DE FRICCION [ø]	15,00	40,00
C [gr/cm²]	503,08	0,00

Tabla 6.3.6 Resumen de los resultados obtenidos del ensayo de corte directo con neumático

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

TIPO DE SUELO	FINO + NEUMATICO P.	ARENA + NEUMATICO P.
ANGULO DE FRICCION [ø]	24,00	42,00
C [gr/cm²]	245,05	0,00

Debido a que se contaba con poca cantidad de neumático triturado en el ensayo de CBR solo se realizó para un número de golpes de 55

A continuación se presentan los resultados.

Tabla 6.3.7 Resumen de los resultados obtenidos del ensayo de CBR sin neumático

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS
TABLA DE RESUMEN DE CBR

TIPO DE SUELO	SUELO		
	FINO	ARENOSO	AFIRMADO
% HUMEDAD COMPACTACION	16,29	12,67	5,81
% HUMEDAD PENETRACION	23,90	15,60	7,20
% H20 Absorbida	7,61	2,93	2,03
Densidad Seca [gr/cm³]	1,86	1,92	2,13
0,1" [%]	5,86	20,26	52,59
0,2" [%]	5,89	20,56	62,69
Exp [mm]	1,27	1,02	2,57
%Exp	1,00	0,80	2,02

Tabla 6.3.8 Resumen de los resultados obtenidos del ensayo de CBR con neumático

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS

TABLA DE RESUMEN DE CBR

TIPO DE SUELO	SUELO + NEUMATICO (Nº3/4)			SUELO + NEUMATICO (N º4)		
	FINO	ARENOSO	AFIRMADO	FINO	ARENOSO	AFIRMADO
% HUMEDAD COMPACTACION	14,20	16,07	8,01	17,08	13,00	12,26
% HUMEDAD PENETRACION	31,20	21,10	10,30	32,20	16,60	15,30
% H20 Absorbida	17,00	5,03	2,29	15,12	3,60	3,04
Densidad Seca [gr/cm³]	1,36	1,53	1,56	1,33	1,39	1,39
0,1" [%]	3,10	17,23	26,68	1,72	7,46	12,41
0,2" [%]	3,17	20,61	23,38	1,81	7,93	13,14
Exp [mm]	3,96	1,78	1,19	7,04	2,18	1,42
%Exp	3,12	1,40	0,94	5,50	1,72	1,12

6.4 COMPARACION DE LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS REALIZADOS SOBRE LAS MUESTRAS DE SUELO SIN Y CON NEUMÁTICO

6.4.1 Ensayo Próctor Modificado

Figura 16. Grafica comparativa de los resultados de humedad optima con y sin neumático

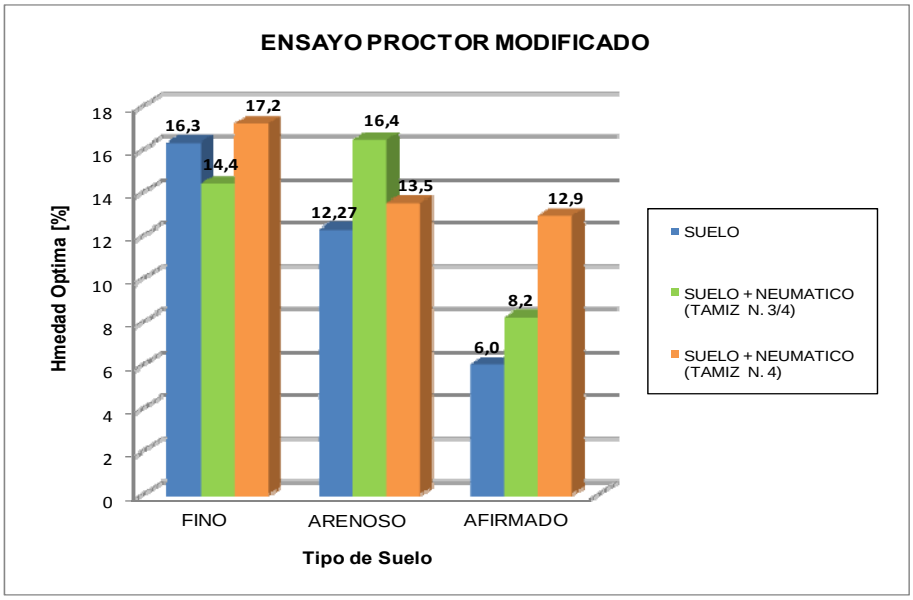
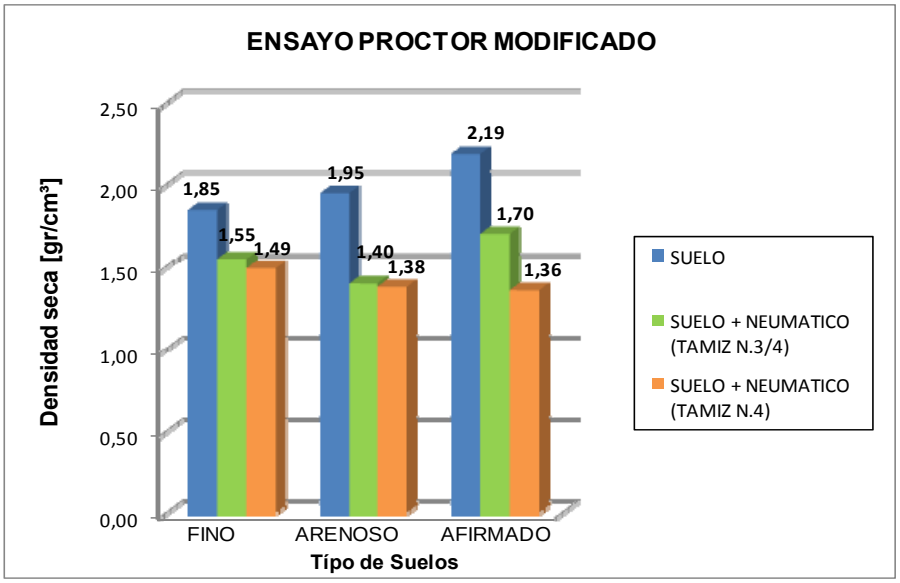


Figura 17. Grafica comparativa de los resultados de Densidad seca sin y con neumático



Durante la elaboración de este laboratorio se observo que al mezclarse el suelo con el neumático triturado hay poca adherencia, presentándose problemas en el momento de la compactación aumentando la complejidad en el neumático tamaño 3/4.

En general se observa un aumento de la humedad óptima y una disminución de la densidad seca.

6.4.2 Ensayo Corte directo

Se utilizó arcilla de baja compresibilidad donde se controló la distribución granulométrica y la densidad seca en cada ensayo realizado para el suelo solo y con la combinación de neumático triturado requeridos (Nº 4), estos se sometieron a unos esfuerzos preestablecidos bajo condiciones drenadas (humedad optima). Finalmente cada probeta fue llevada a la falla para obtener los parámetros de resistencia al corte cuando se opone a la falla y el deslizamiento (fatiga y deformación) a lo largo de un plano interno.

Figura 18. Grafica comparativa de resultados del Angulo de Fricción sin y con neumático

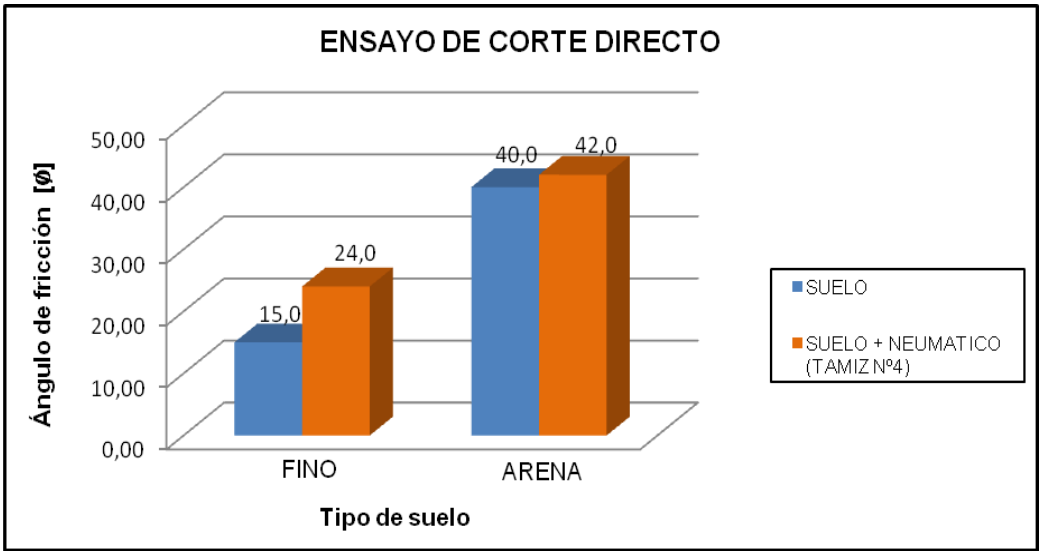
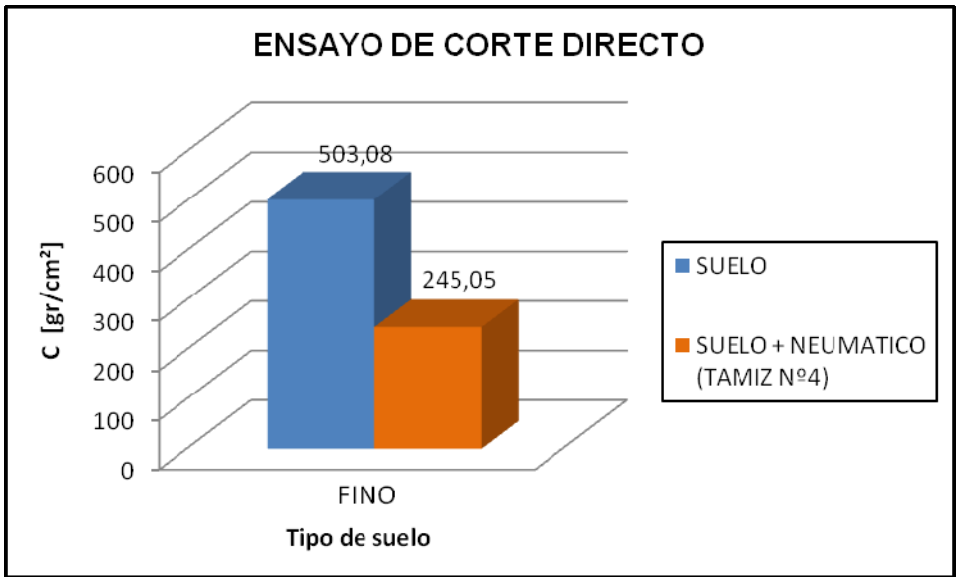


Figura 19. Grafica comparativa de los resultados de Cohesión sin y con neumático



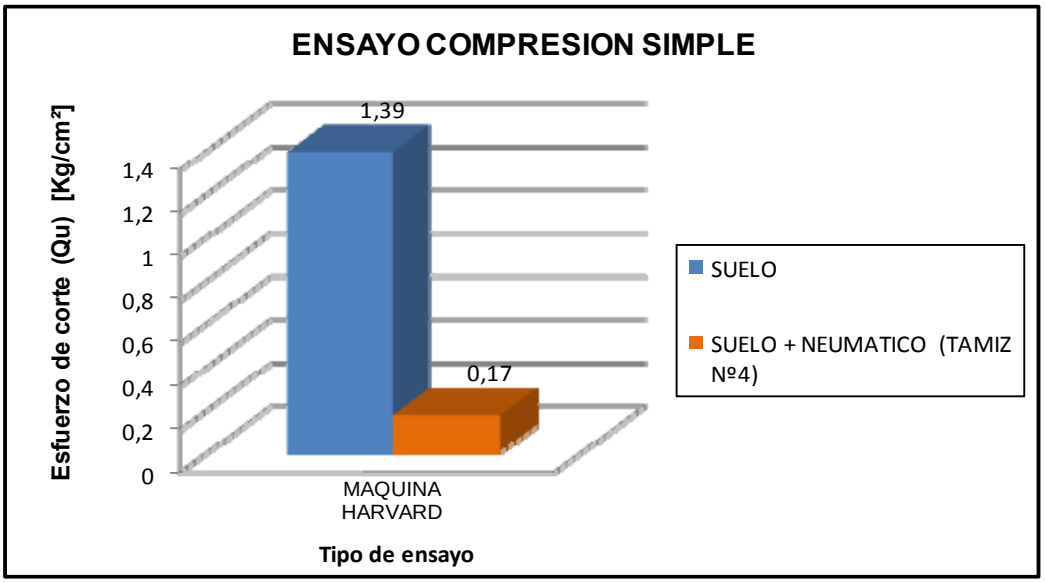
Para los finos los resultados obtenidos muestran una disminución en la cohesión cuando el suelo es mezclado con el neumático no obstante el ángulo de fricción aumenta con el neumático.

En cuanto a las arenas al incorporar el neumático triturado (Tamiz Nº4), el ángulo de fricción aumenta en 2 grados, bajo la humedad optima del suelo.

6.4.3 Ensayo Compresión simple

Solo se estudió en los suelos finos debido a que este método es solo aplicable a materiales cohesivos que no expulsen agua durante la etapa de carga del ensayo y que mantienen su resistencia intrínseca después de remover las presiones de confinamiento, por tal razón a las arenas y al afirmado, no se analizaron por este método para obtener valores significativos de la resistencia a la compresión no confinada.

Figura 20. Grafica comparativa de los resultados de Esfuerzo al corte sin y con neumático



Los resultados de compresión simple en la muestra de suelo – neumático (Tamiz Nº4), se presenta en la Figura 20, Se observa una disminución en el esfuerzo al corte de 88 %, estas muestras se trabajaron con una humedad cercana a la óptima de compactación.

6.4.4 Ensayo de Relación de Soporte de California o CBR

Figura 21. Grafica comparativa de los resultados de CBR sin y con neumático

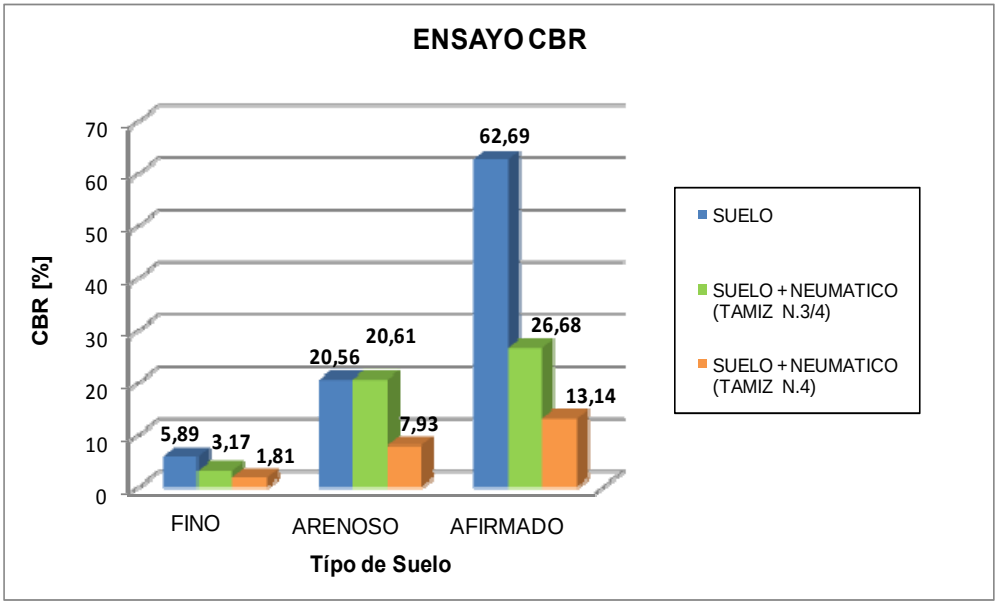


Figura 22. Grafica comparativa de los resultados de Expansión [%] sin y con neumático

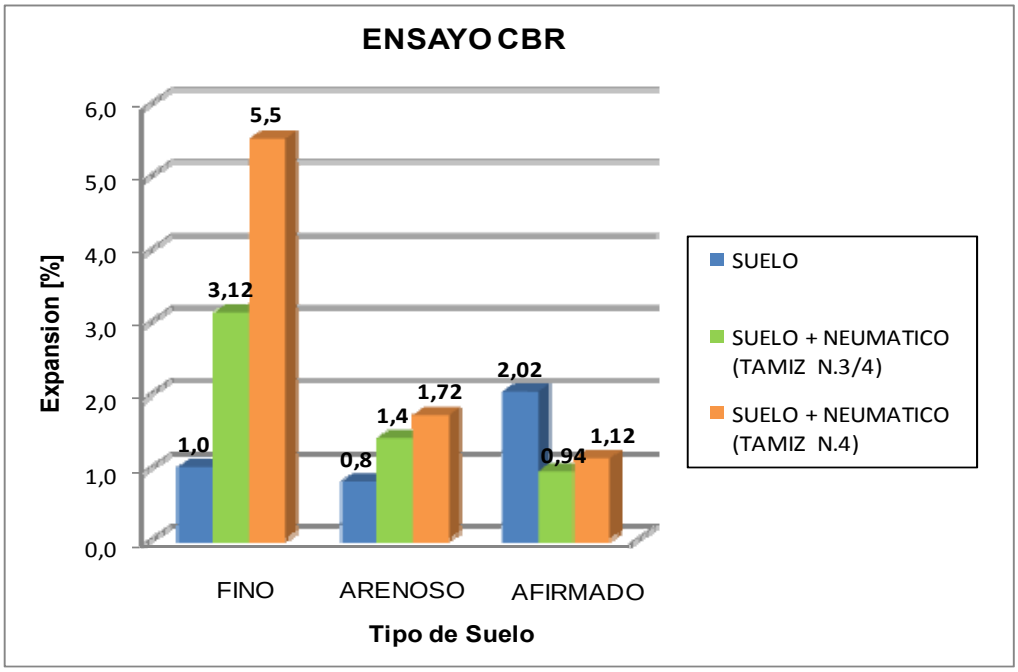
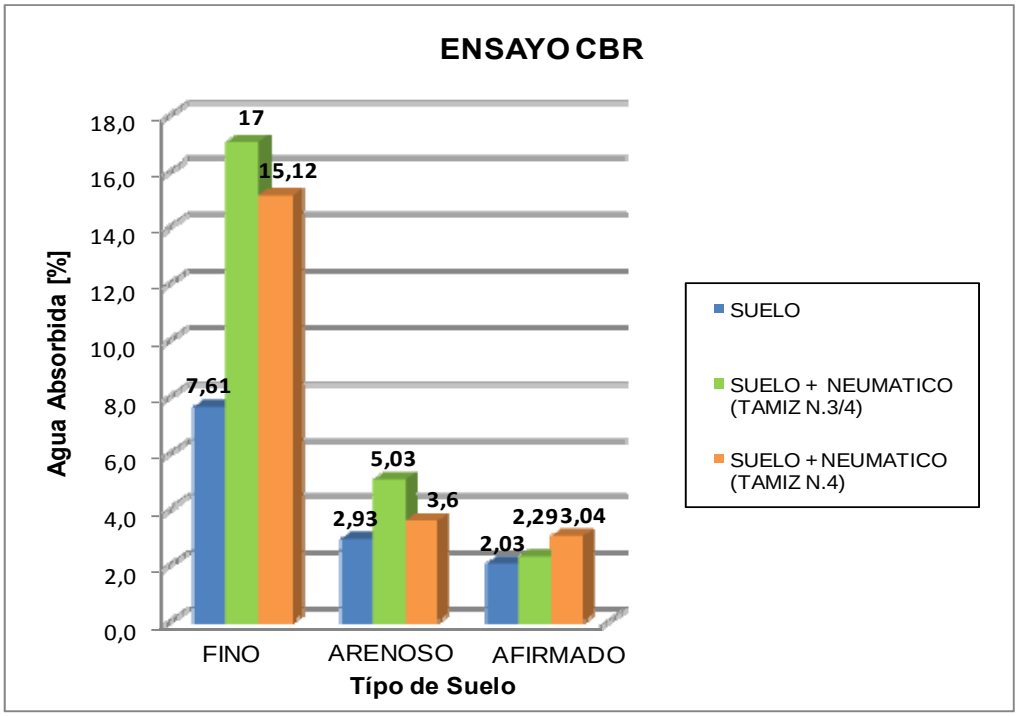


Figura 23. Grafica comparativa de los resultados de Agua absorbida [%] sin y con neumático



En general se observó que la resistencia de los suelos se mantuvo en algunos casos y en otros disminuyó considerablemente; la expansión aumenta notoriamente en suelos finos, en el suelo arenoso aumenta de una manera menos significativa y disminuye en el afirmado; y en cuanto al % agua absorbida aumenta en los tres tipos de suelo. Esto tal vez debido a la poca adherencia del suelo con el neumático triturado creando planos por donde puede entrar agua.

También se demuestra que un factor importante en su uso es la baja densidad seca cuando se mezcla con suelos.

Según el análisis de los resultados de laboratorio de CBR el mejor comportamiento del suelo con neumático triturado se presento en la arena con el tamaño de [Nº 3/4"], aumentando la resistencia en un 0.24% con respecto al suelo.

El suelo que se comporto de una forma deficiente fue el afirmado debido a que su resistencia disminuye considerablemente respecto al suelo.

CONCLUSIONES

El neumático desechado, puede ser aprovechado de diferentes maneras, muchas veces aun sin llevar un proceso muy elaborado de trituración y separación, en la ciudad existe mucho material disponible para realizar proyectos innumerables, ya sea de construcción o de cualquier otro tipo.

De una manera general se investigó y se analizó el estado actual de las tecnologías y aplicaciones para la recuperación de los neumáticos usados.

A partir de esto, puede decirse que en el desarrollo del proyecto en cuanto al enfoque de suelos respecta, es viable siempre y cuando se adelante un estudio de suelos más detallado que permita caracterizar las propiedades geotécnicas del subsuelo y del neumático, para determinar los parámetros de diseño y así conocer el comportamiento de estos dos materiales cuando entran en combinación y a su vez pueda establecerse todas las recomendaciones necesarias cuando se vayan a usar.

Durante el proyecto, de una forma generalizada se observó que la resistencia de los suelos con el neumático se mantuvo en algunos casos y otros disminuyó considerablemente, esto tal vez a la poca adherencia del suelo con el neumático triturado; creando planos donde puede entrar el agua; igualmente se demuestra que un factor importante en su uso es la baja densidad seca cuando se mezcla con suelo.

Por tal razón el suelo que mejor se comportó durante los ensayos con la mezcla de neumático triturado, fue la arena al adicionarle el neumático triturado (tamiz 3/4).

Se encontró que un factor que influye bastante en los resultados de resistencia mecánica fue las condiciones de humedad internas del suelo, por lo tanto se recomienda hacer ensayos con el neumático triturado teniendo en cuenta este factor antes de utilizar este método.

Basado en los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio y en la información acerca de este material anteriormente descrito, se recomienda probar con otros tamaños y porcentajes de neumáticos para una mejor comparación entre estas mezclas y así obtener mejores resultados.

.

BIBLIOGRAFIA

JUAREZ, Badilllo, Mecánica de suelos. Tomo 1 México; Limusa Noriega Editores, 1997. 642p

RICO, Alfonso y DEL CASTILLO, Hermilio, La ingeniería de suelos, Volumen 1 México; Limusa Noriega Editores, 1990. 459p

VEGA, Alfredo y TORRES, Luz. Uso de fibras sintéticas para el mejoramiento de los suelos finos. Bucaramanga.; Tesis de grado de Universidad Industrial de Santander, 2001.139p

ANGULO, Ricardo y DUARTE, José, Modificación de una asfalto con caucho de reciclado de llanta para su aplicación en movimientos. 2005. 94p

ROJAS, Arturo y VERA Freddy. Desarrollo de soporte técnico e informático para pruebas de laboratorio de suelos. 2008. 203p

SUAREZ, Jaime. Diseño de Cimientos. 1992

http://www.mintransporte.gov.co/Servicios/Estadisticas/home.htm

http://www.recoverytechonoligies.com

http://www.recoverytechnologies.com

http://www.elpais.com/articulos/sociedad/norma/legal/obligar/reciclaje/neumaticos.htm

http://www.satu.es/suitu/2008/04/04/info/1207325893_878676.htm

http://www.elsalvador.com/noticias/2001/1/2/3/16/NACIONAL.

http://www.netsalud.sa.cr/ms/decretos/dec40.htm

http://www.madrimasd.or Valorización material y energética de neumáticos fuera de uso

Anexo A. Ensayos de clasificación; Granulometría por el método mecánico y Límite Líquido y Plástico.

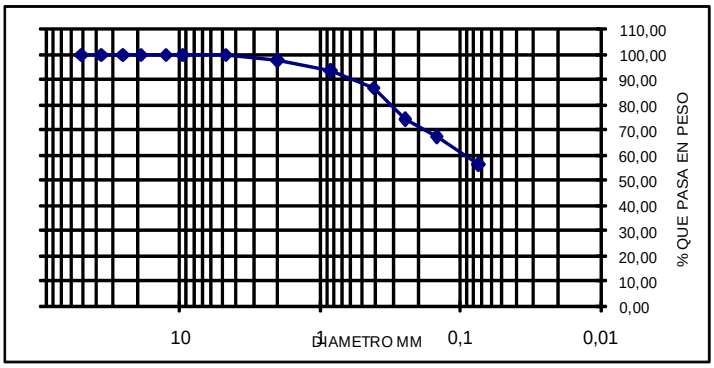
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS
ENSAYO DE GRANULOMETRIA INV E- 123

FECHA Septiembre 15-2008
PROYECTO Viabilidad de reciclaje de neumaticos en aplicaciones de ingenieria civil **MUESTRA** FINO
LOCALIZACION Bucaramanga

PESO TARA (gr)	
TARA+MUESTRA HUMEDA (gr)	
TARA+MUESTRA SECA (gr)	
PESO AGUA (gr)	
PESO MUEST. SECA (gr)	3000
HUMEDAD (%)	

PESO INICIAL DE LA MUESTRA gr:	500,00
PESO DESPUES DE LAVADO gr:	297,10
PESO SECO gr:	218,04
PORCENTAJE DE ERROR %:	0,01

MALLA No	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA	MALLA No	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA
****	mm	g	%	%	****	mm	g	%	%
2"	50,8	0,00	0,00	100,00	10	2	13,24	2,65	97,35
1 1/2"	36,1	0,00	0,00	100,00	20	0,84	18,88	3,78	93,58
1"	25,4	0,00	0,00	100,00	40	0,42	33,25	6,65	86,93
3/4"	19,05	0,00	0,00	100,00	60	0,25	63,33	12,67	74,26
1/2"	12,7	0,00	0,00	100,00	100	0,149	33,84	6,77	67,49
3/8"	9,52	0,00	0,00	100,00	200	0,074	55,46	11,09	56,40
No 4	4,75	0,00	0,00	100,00	PASA 200	*****	281,96		
SUMA	*****	0,00	0,00		SUMA	*****	499,96	43,60	
					TOTAL		**499,96**		



D10=
D30=
D60=

GRAVAS=	0,00	%
ARENAS =	43,60	%
FINOS=	56,40	%

CLASIFICACION SUCS: CL (Arcilla de baja compresibilidad), arcilla inorganica de baja a media plasticidad
CLASIFICACION AASHTO: A-6 Arcilla plastica que normalmente presentan grandes volumens en los estados secos y humedos

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

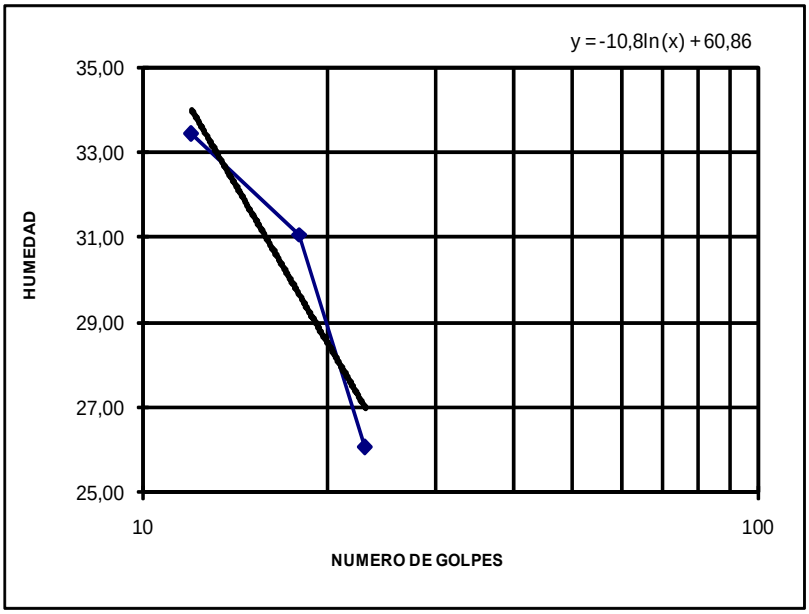
FECHA Septiembre 15-2008
PROYECTO Viabilidad de reciclaje de neumaticos en aplicaciones de ingenieria civil **MUESTRA** FINO
LOCALIZACION Bucaramanga

LIMITE LIQUIDO

CAPSULA	NUMERO DE GOLPES	PESO CAPSULA [gr]	PESO CAPSULA + SUELO HUMEDO [gr]	PESO CAPSULA + SUELO SECO [gr]	PESO DEL AGUA [gr]	PESO SUELO SECO [gr]	CONTENIDO AGUA [%]
1	23	6,55	26,04	22,01	4,03	15,46	26,07
2	18	7,00	22,94	19,16	3,78	12,16	31,09
3	12	10,50	28,17	23,74	4,43	13,24	33,46

LIMITE PLASTICO

4		11,3300	16,3300	15,4900	0,84	4,16	20,19
5		9,7500	17,8200	16,6300	1,19	6,88	17,30
6		10,8900	15,8900	15,1700	0,72	4,28	16,82



LIMITE LIQUIDO : 30,20

LIM. PLASTICO : 18,10

IND. DE PLASTI. 12,10

CLASIFICACION CL

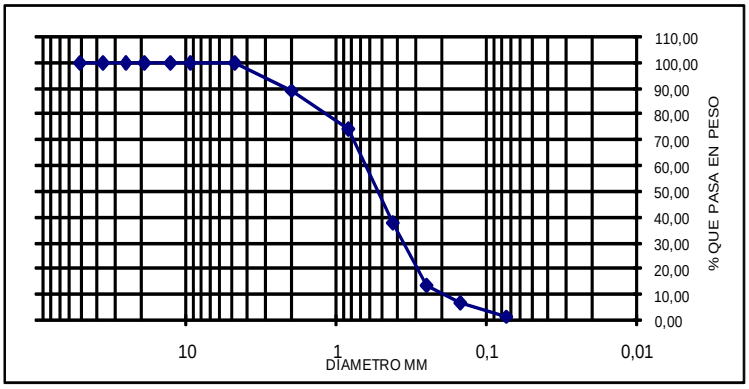
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS
ENSAYO DE GRANULOMETRIA INV E- 123

FECHA Septiembre 15-2008
PROYECTO Viabilidad de reciclaje de neumaticos en aplicaciones de ingenieria civil **MUESTRA** ARENA
LOCALIZACION Bucaramanga

PESO TARA [gr]	
TARA+MUESTRA HUMEDA [gr]	
TARA+MUESTRA SECA[gr]	
PESO AGUA [gr]	
PESO MUEST. SECA [gr]	3000
HUMEDAD (%)	

PESO INICIAL DE LA MUESTRA [gr]: 1000,00
PESO DESPUES DE LAVADO [gr]: 0,00
PORCENTAJE DE ERROR %: 0,00

MALLA No	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA	MALLA No	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA
****	mm	g	%	%	****	mm	g	%	%
2"	50,8	0,00	0,00	100,00	10	2	105,20	10,52	89,48
1 1/2"	36,1	0,00	0,00	100,00	20	0,84	153,30	15,33	74,15
1"	25,4	0,00	0,00	100,00	40	0,42	365,35	36,54	37,62
3/4"	19,05	0,00	0,00	100,00	60	0,25	242,04	24,20	13,41
1/2"	12,7	0,00	0,00	100,00	100	0,149	65,88	6,59	6,82
3/8"	9,52	0,00	0,00	100,00	200	0,074	50,69	5,07	1,75
No 4	4,75	0,00	0,00	100,00	PASA 200	*****	17,54		
SUMA	*****	0,00	0,00		SUMA	*****	1000,00	98,25	
					TOTAL		**1000,00**		



D10=	0,2	Cu:	2,5	GRAVAS=	0,00	%
D30=	0,47	Cc:	2,209	ARENAS =	98,25	%
D60=	0,5			FINOS=	1,75	%

CLASIFICACION SUCS: SP (ARENA MAL GRADADA) Arena con grava con poco o nada de finos
CLASIFICACION AASHTO: A-3 Arena fina de playa, sin finos de arcilla, limo o con una pequeña cantidad de limo no plástico.

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

FECHA Septiembre 15-2008

PROYECTO Viabilidad de reciclaje de neumaticos en aplicaciones de ingenieria civil **MUESTRA** AFIRMADO

LOCALIZACION Bucaramanga

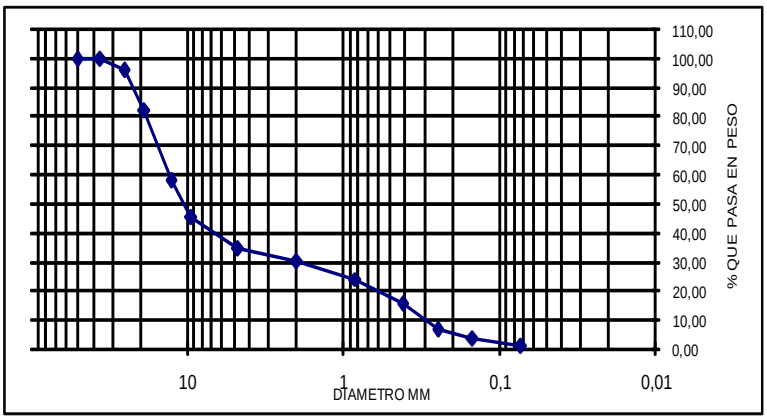
PESO TARA (gr)	
TARA+MUESTRA HUMEDA (gr)	
TARA+MUESTRA SECA (gr)	
PESO AGUA (gr)	
PESO MUEST. SECA (gr)	3000
HUMEDAD (%)	

PESO INICIAL DE LA MUESTRA gr: 3000,00

PESO DESPUES DE LAVADO gr: 0,00

PORCENTAJE DE ERROR %: 0,00

MALLA No	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA	MALLA No	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA
****	mm	g	%	%	****	mm	g	%	%
2"	50,8	0,00	0,00	100,00	10	2	141,16	4,71	29,98
1 1/2"	36,1	0,00	0,00	100,00	20	0,84	175,41	5,85	24,13
1"	25,4	116,59	3,89	96,11	40	0,42	255,45	8,52	15,62
3/4"	19,05	419,10	13,97	82,14	60	0,25	275,20	9,17	6,44
1/2"	12,7	716,10	23,87	58,27	100	0,149	88,30	2,94	3,50
3/8"	9,52	384,90	12,83	45,44	200	0,074	75,40	2,51	0,99
No 4	4,75	322,80	10,76	34,68	PASA 200	*****	29,59		
SUMA	*****	1959,49	65,32		SUMA	*****	1040,51	33,70	
					TOTAL		**3000,00**		



D10=	0,3	Cu:	42,33	GRAVAS=	65,32	%
D30=	2	Cc:	1,05	ARENAS =	33,70	%
D60=	12,7			FINOS=	0,99	%

CLASIFICACION SUCS: GW (Grava Bien gradada), es una grava con arena con poco o nada de finos, es una grava limpia

CLASIFICACION AASHTO: A-1-a Gravas con o sin partículas finas de granulometrias

Anexo B. Ensayos de Compactación Próctor Modificado sin neumático

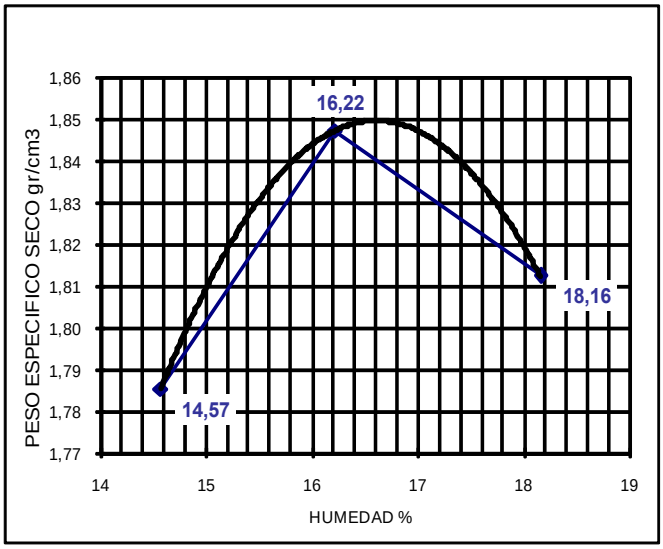
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS
ENSAYO DE COMPACTACION INV-142

FECHA	Septiembre 11 del 2008
PROYECTO	Viabilidad de reciclaje de neumaticos en aplicaciones de ing. Civil
LOCALIZACION	Bucaramanga
MUESTRA	Fino

NUMERO DE CAPAS	5
NUMERO DE GOLPES POR CAPA	25
MOLDE No	6
DIAMETRO MOLDE [cm]	10,15
ALTURA MOLDE [cm]	11,60
VOLUMEN MOLDE [cm³]	938,60

Determinación Número	1	2	3
PESO TARA [gr]	10,62	6,65	10,73
PESO DE TARA + SUELO HUMEDO [gr]	83,43	95,73	115,09
PESO DE TARA + SUELO SECO [gr]	74,17	83,30	99,05
PESO DE AGUA [gr]	9,26	12,43	16,04
PESO SUELO SECO [gr]	63,55	76,65	88,32
HUMEDAD EN [%]	14,57	16,22	18,16

PESO MOLDE [gr]	4115	4115	4115
PESO DE MOLDE + SUELO HUMEDO [gr]	6035	6130	6125
PESO DEL SUELO HUMEDO [gr]	1920	2015	2010
DENSIDAD HUMEDA [gr/cm³]	2,046	2,147	2,141
DENSIDAD SECA [gr/cm³]	1,785	1,847	1,812



%Hoptima =16,30
d seca = 1,85 gr/cm³

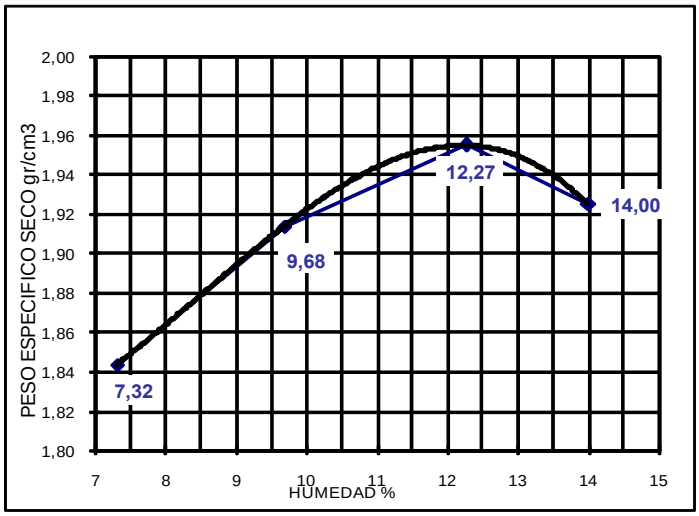
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS
ENSAYO DE COMPACTACION INV-142

FECHA	Septiembre 11 del 2008
PROYECTO	Viabilidad de reciclaje de neumaticos en aplicaciones de ing. Civil
LOCALIZACION	Bucaramanga
MUESTRA	Arenoso

NUMERO DE CAPAS	5
NUMERO DE GOLPES POR CAPA	25
MOLDE No	6
DIAMETRO MOLDE [cm]	10,15
ALTURA MOLDE [cm]	11,60
VOLUMEN MOLDE [cm³]	938,60

Determinación Número	1	2	3	4
PESO TARA [gr]	9,10	6,93	9,02	10,10
PESO DE TARA + SUELO HUMEDO [gr]	108,80	126,42	142,60	144,90
PESO DE TARA + SUELO SECO [gr]	102	115,87	128,00	128,35
PESO DE AGUA [gr]	6,80	10,55	14,60	16,55
PESO SUELO SECO [gr]	92,90	108,94	118,98	118,25
HUMEDAD EN [%]	7,32	9,68	12,27	14,00

PESO MOLDE [gr]	4115	4115	4115	4115
PESO DE MOLDE + SUELO HUMEDO [gr]	5972	6085	6175	6175
PESO DEL SUELO HUMEDO [gr]	1857	1970	2060	2060
DENSIDAD HUMEDA [gr/cm³]	1,978	2,099	2,195	2,195
DENSIDAD SECA [gr/cm³]	1,844	1,914	1,955	1,925



%Hoptima =12,27
d seca = 1,95gr/cm³

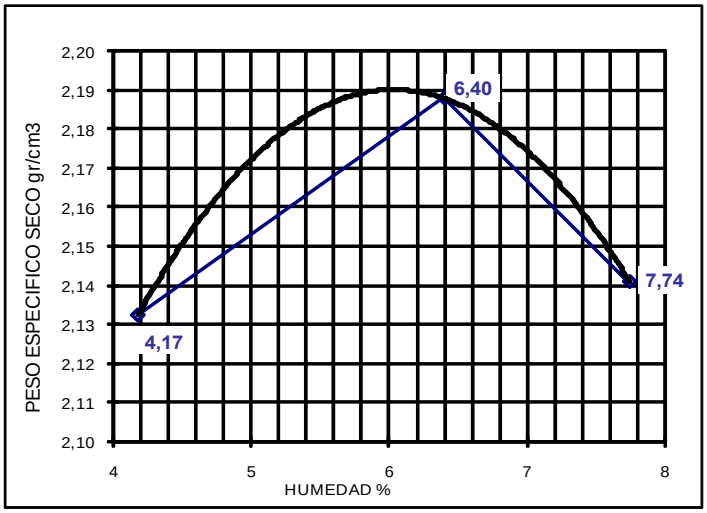
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS
ENSAYO DE COMPACTACION INV-142

FECHA	Septiembre 11 del 2008
PROYECTO	Viabilidad de reciclaje de neumaticos en aplicaciones de ing. Civil
LOCALIZACION	Bucaramanga
MUESTRA	Afirmado

NUMERO DE CAPAS	5
NUMERO DE GOLPES POR CAPA	25
MOLDE No	6
DIAMETRO MOLDE [cm]	10,15
ALTURA MOLDE [cm]	11,60
VOLUMEN MOLDE [cm³]	938,60

Determinación Número	1	2	3
PESO TARA [gr]	6,84	7,15	7,0
PESO DE TARA + SUELO HUMEDO [gr]	114,40	117,60	112,82
PESO DE TARA + SUELO SECO [gr]	110,09	110,96	105,22
PESO DE AGUA [gr]	4,31	6,64	7,60
PESO SUELO SECO [gr]	103,25	103,81	98,22
HUMEDAD EN [%]	4,17	6,40	7,74

PESO MOLDE [gr]	4115	4115	4115
PESO DE MOLDE + SUELO HUMEDO [gr]	6200	6300	6280
PESO DEL SUELO HUMEDO [gr]	2085	2185	2165
DENSIDAD HUMEDA [gr/cm³]	2,221	2,328	2,307
DENSIDAD SECA [gr/cm³]	2,132	2,188	2,141



%Hoptima =6,0
d seca = 2,19 gr/cm³

Anexo C. Ensayos de Compresión Simple de suelo sin neumático

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS
ENSAYO DE COMPRESION SIMPLE

FECHA: Octubre 7 del 2008
PROYECTO: Viabilidad de reciclaje de neumaticos en aplicaciones de ingenieria civil
LOCALIZACION Bucaramanga
MUESTRA: Fino (maquina harvard)

DETERMINACION DE LA DENSIDAD

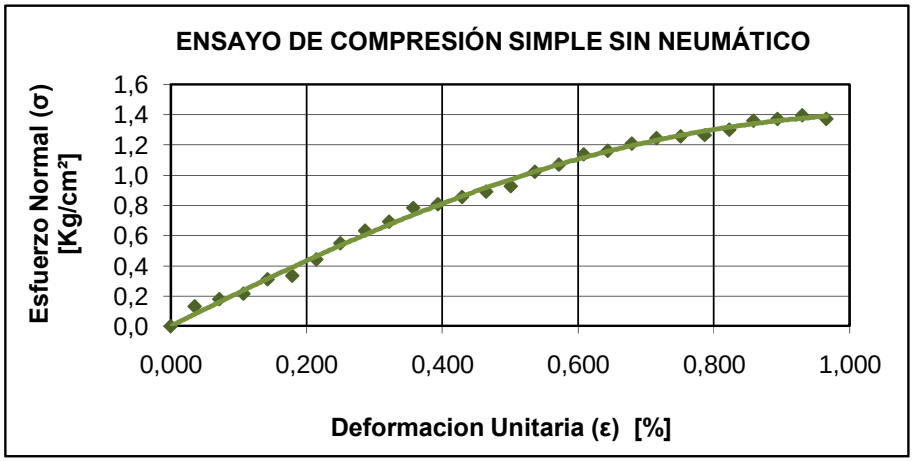
DIAMETRO SUPERIOR [cm]	3,2	PESO DEL ANILLO [gr]	118,69
DIAMETRO CENTRAL [cm]	3,3	[gr]	241,58
DIAMETRO INFERIOR [cm]	3,3	PESO MUESTRA	122,89
PROMEDIO DIAMETRO [cm]	3,27	VOLUMEN [cm³]	59,5
AREA [cm²]	8,38	[gr/cm³]	2,07
ALTURA MEDIA [cm]	7,1	DENSIDAD SECA [gr/cm³]	1,77

DETERMINACION DE LA HUMEDAD EN %

PESO DE LA TARA [gr]	11,1	PESO AGUA [gr]	17,45
P.TARA + SUELO HUMEDO [gr]	132,95	PESO SECO [gr]	104,4
P.TARA + SUELO SECO [gr]	115,50	HUMEDAD %	16,71

LECTURA DEFORMIMETRO [pulg]	DEFORMACION VERTICAL (DV) [cm]	CARGA (P) [Kg]	**DEFORMACION UNITARIA (ε)**	**1-ε**	**AREA CORRECION [cm]**	**ESFUERZO NORMAL (σ) [Kg/cm²]**	**DEFORMACION UNITARIA (ε) [%]**
0	0,00000	0,00	0,00000	1,00000	8,3811	0,00000	0,00000
10	0,00254	1,10	0,00036	0,99964	8,3841	0,13120	0,03577
20	0,00508	1,50	0,00072	0,99928	8,3871	0,17885	0,07155
30	0,00762	1,80	0,00107	0,99893	8,3901	0,21454	0,10732
40	0,01016	2,60	0,00143	0,99857	8,3931	0,30978	0,14310
50	0,01270	2,80	0,00179	0,99821	8,3961	0,33349	0,17887
60	0,01524	3,70	0,00215	0,99785	8,3991	0,44052	0,21465
70	0,01778	4,60	0,00250	0,99750	8,4021	0,54748	0,25042
80	0,02032	5,30	0,00286	0,99714	8,4051	0,63057	0,28620
90	0,02286	5,80	0,00322	0,99678	8,4082	0,68981	0,32197
100	0,02540	6,60	0,00358	0,99642	8,4112	0,78467	0,35775
110	0,02794	6,80	0,00394	0,99606	8,4142	0,80816	0,39352
120	0,03048	7,20	0,00429	0,99571	8,4172	0,85539	0,42930
130	0,03302	7,50	0,00465	0,99535	8,4203	0,89071	0,46507
140	0,03556	7,80	0,00501	0,99499	8,4233	0,92601	0,50085
150	0,03810	8,60	0,00537	0,99463	8,4263	1,02061	0,53662
160	0,04064	9,00	0,00572	0,99428	8,4293	1,06770	0,57239
170	0,04318	9,60	0,00608	0,99392	8,4324	1,13847	0,60817
180	0,04572	9,80	0,00644	0,99356	8,4354	1,16177	0,64394
190	0,04826	10,20	0,00680	0,99320	8,4384	1,20875	0,67972
200	0,05080	10,50	0,00715	0,99285	8,4415	1,24386	0,71549
210	0,05334	10,60	0,00751	0,99249	8,4445	1,25525	0,75127
220	0,05588	10,70	0,00787	0,99213	8,4476	1,26664	0,78704
230	0,05842	11,00	0,00823	0,99177	8,4506	1,30168	0,82282
240	0,06096	11,50	0,00859	0,99141	8,4537	1,36036	0,85859
250	0,06350	11,60	0,00894	0,99106	8,4567	1,37169	0,89437
260	0,06604	11,80	0,00930	0,99070	8,4598	1,39484	0,93014
270	0,06858	11,60	0,00966	0,99034	8,4628	1,37070	0,96592

Esfuerzo de corte (Qu)	**1,3943**	[Kg/cm²]
Cohesion (C)	**0,6972**	

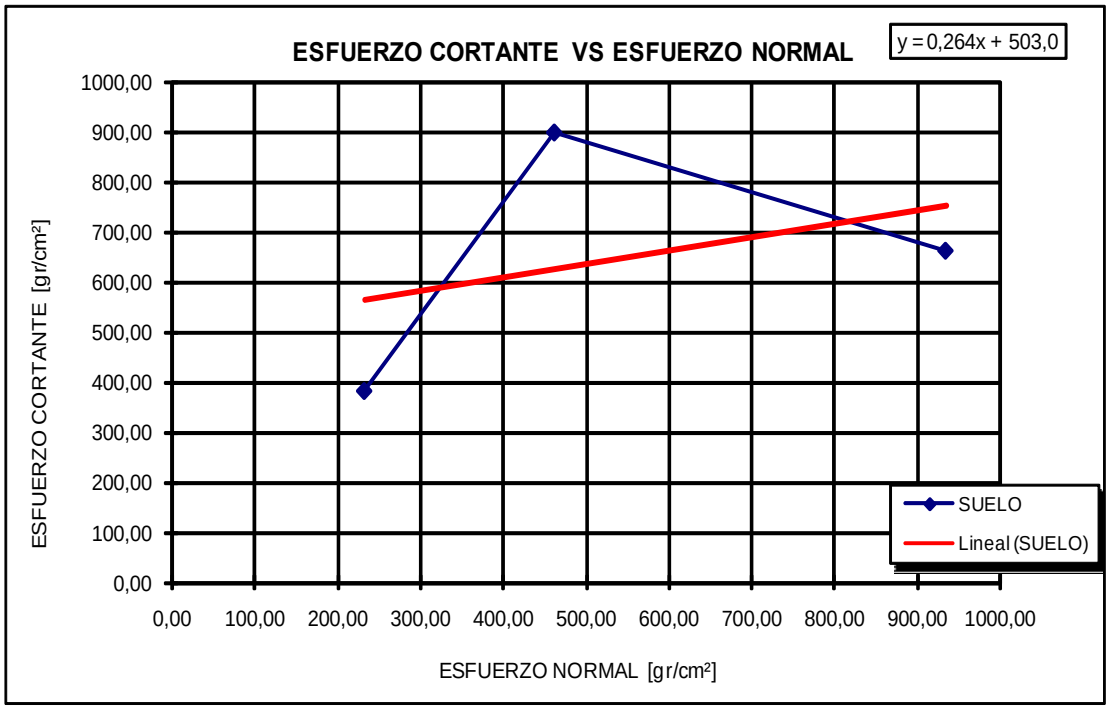

ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE SIN NEUMÁTICO
Esfuerzo Normal (σ) [Kg/cm²]
1,6
1,4
1,2
1,0
0,8
0,6
0,4
0,2
0,0
0,000
0,200
0,400
0,600
0,800
1,000
Deformacion Unitaria (ε) [%]

Anexo D. Ensayos de Corte Directo de suelo sin neumático

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS
ENSAYO DE CORTE DIRECTO INV E-154

FECHA: Octubre 6 del 2008
PROYECTO: Viabilidad de reciclaje de neumaticos en aplicaciones de ingenieria civil
LOCALIZACION: Bucaramanga
MUESTRA: FINO

CARGA VERTICAL gramos	AREA [cm²]	CARGA HORIZONTAL MAXIMA [gr]	ESFUERZO NORMAL [gr/cm²]	ESFUERZO CORTANTE [gr/cm²]
8000	34,21	13055,7	233,84	381,61
16000	34,56	31019,6	462,98	897,60
32000	34,21	22626,7	935,34	661,37

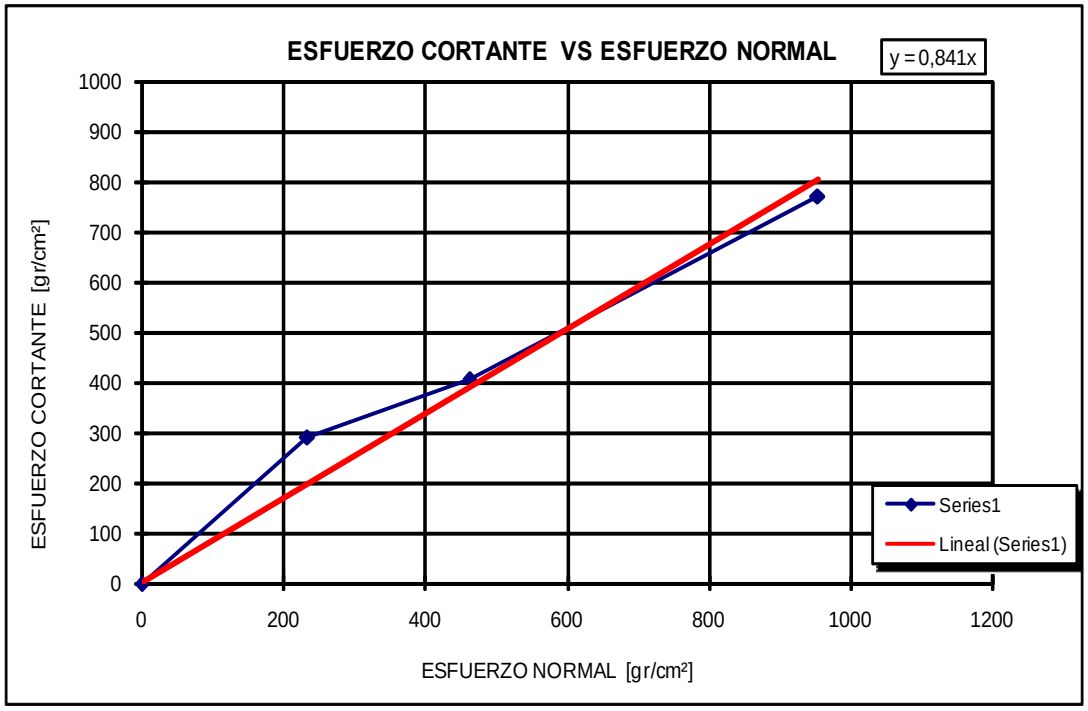


HUMEDAD %	15%	DE ENSAYO
PENDIENTE	0,2643	
ANGULO FRICCION	15	[grados]
COHESION	503,08	[gr/cm²]
COHESION	0,5031	[Kg/cm²]

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS
ENSAYO DE CORTE DIRECTO INV E-154

FECHA: Octubre 6 del 2008
PROYECTO: Viabilidad de reciclaje de neumaticos en aplicaciones de ingenieria civil
LOCALIZACION: Bucaramanga
MUESTRA: Arena

CARGA VERTICAL gramos	AREA [cm²]	CARGA HORIZONTAL MAXIMA [gr]	ESFUERZO NORMAL [gr/cm²]	ESFUERZO CORTANTE [gr/cm²]
			0	0
8000	34,21	9963,6	233,84	291,23
16000	34,56	14086,4	462,98	407,61
32000	33,52	25866,0	954,53	771,56



HUMEDAD %	14%	DE ENSAYO
PENDIENTE	0,8417	
ANGULO FRICCION	40	[grados]
COHESION	0	[gr/cm²]
COHESION	0	[Kg/cm²]

ANEXO E. Ensayo de Relación Soporte de California, CBR sin Neumático

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS

COMPACTACION PARA CBR

FECHA	Septiembre 11 del 2008
PROYECTO	Viabilidad de reciclaje de neumaticos en aplicaciones de ing. Civil
LOCALIZACION	Bucaramanga
MUESTRA	Finos

DIAMETRO [cm]	15,08
ALTURA [cm]	12,74
VOLUMEN [cm³]	2,28E+03
N° DE GOLPES	55

HUMEDAD DE COMPACTACION

PESO TARA [gr]	10,14
PESO DE TARA + SUELO HUMEDO [gr]	95,51
PESO DE TARA + SUELO SECO [gr]	83,55
PESO DE AGUA [gr]	11,96
PESO SUELO SECO [gr]	73,41
HUMEDAD EN [%]	16,29

CONTENIDO DE HUMEDAD [%]	16,29
PESO DE MOLDE + SUELO HUMEDO [gr]	11975
PESO MOLDE [gr]	7050
W DEL SUELO QUE ESTA EN MOLDE [gr]	4925,0
DENSIDAD HUMEDA [gr/cm³]	2,16
DENSIDAD SECA [gr/cm³]	1,86

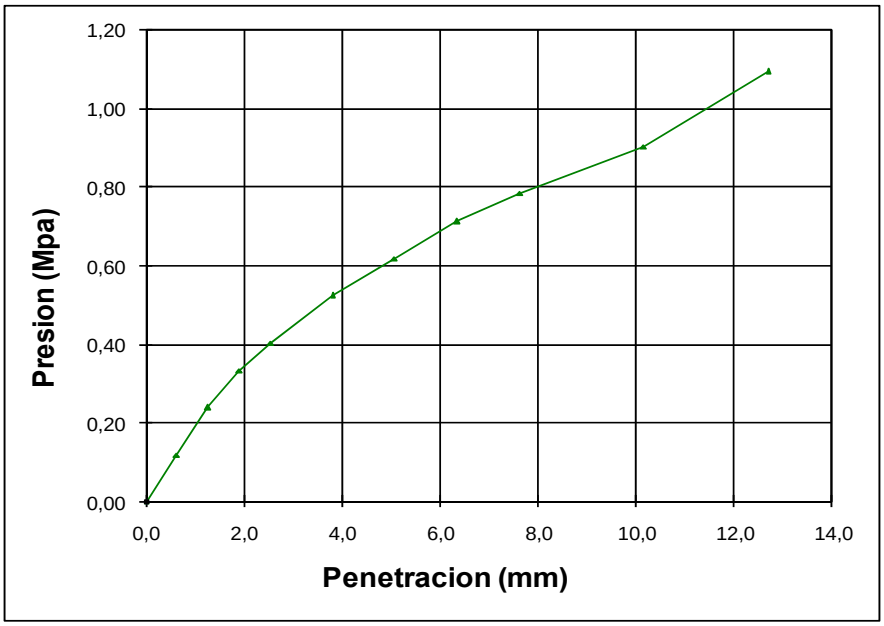
HUMEDAD DE PENETRACION

PESO TARA [gr]	10,5
PESO DE TARA + SUELO HUMEDO [gr]	52,02
PESO DE TARA + SUELO SECO [gr]	44,00
HUMEDAD EN [%]	23,9

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

FECHA	Septiembre 11 del 2008
PROYECTO	Viabilidad de reciclaje de neumaticos en aplicaciones de ing. Civil
LOCALIZACION	Bucaramanga
MUESTRA	Finos

MOLDE No	8		
No DE GOLPES	55		
DIAS DE INMERSION	4		
PENETRACION [mm]	**LEC**	**CARGA[KN]**	**PRESION[Mpa]**
0,0	0	0	0,00
0,6	5	0,2	0,12
1,3	10	0,5	0,24
1,9	14	0,6	0,33
2,5	17	0,8	0,40
3,8	22	1,0	0,52
5,1	26	1,2	0,62
6,4	30	1,4	0,71
7,6	33	1,5	0,78
10,2	38	1,7	0,90
12,7	46	2,1	1,09
CBR A 0.1"	5,86		
CBR A 0.2"	5,89		
CBR CORR. 0.1"	5,86		
CBR CORR. 0.2"	5,89		
EXPANSION [mm]	1,27		
EXPANSION [%]	1,00		



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS

COMPACTACION PARA CBR

FECHA	Septiembre 11 del 2008
PROYECTO	Viabilidad de reciclaje de neumaticos en aplicaciones de ing. Civil
LOCALIZACION	Bucaramanga
MUESTRA	Arenoso

DIAMETRO (cm)	15,08
ALTURA (cm)	12,74
VOLUMEN (cm3)	2,28E+03
N° DE GOLPES	55

HUMEDAD DE COMPACTACION

PESO TARA [gr]	7,15
PESO DE TARA + SUELO HUMEDO [gr]	81,96
PESO DE TARA + SUELO SECO [gr]	73,55
PESO DE AGUA [gr]	8,41
PESO SUELO SECO [gr]	66,40
HUMEDAD EN [%]	12,67

CONTENIDO DE HUMEDAD [%]	12,67
PESO DE MOLDE + SUELO HUMEDO [gr]	11975
PESO MOLDE [gr]	7050
W DEL SUELO QUE ESTA EN MOLDE [gr]	4925,0
DENSIDAD HUMEDA [gr/cm³]	2,16
DENSIDAD SECA [gr/cm³]	1,92

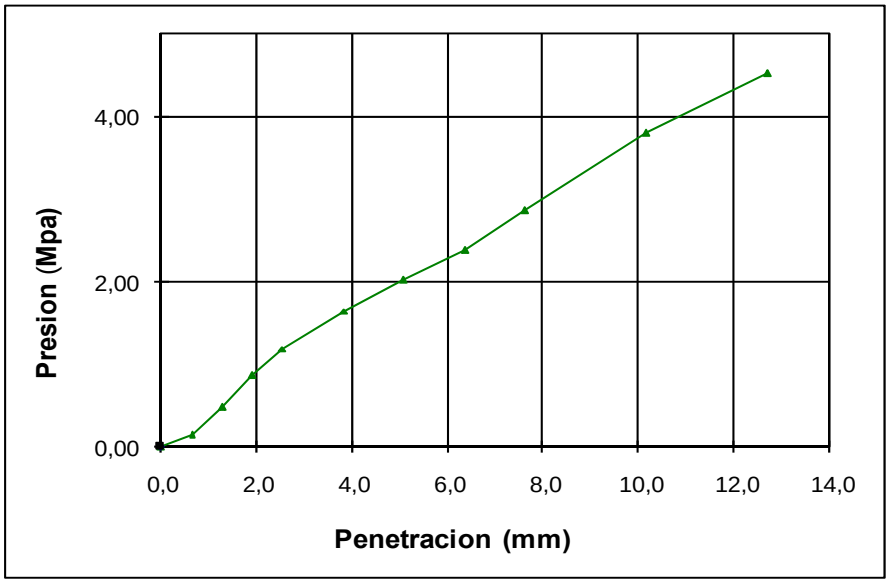
HUMEDAD DE PENETRACION

PESO TARA [gr]	7,3
PESO DE TARA + SUELO HUMEDO [gr]	71,10
PESO DE TARA + SUELO SECO [gr]	62,48
PESO DE AGUA	8,6
PESO SUELO SECO	55
HUMEDAD EN [%]	15,6

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

FECHA	Septiembre 11 del 2008
PROYECTO	Viabilidad de reciclaje de neumaticos en aplicaciones de ing. Civil
LOCALIZACION	Bucaramanga
MUESTRA	Arenoso

MOLDE No	9		
No DE GOLPES	55		
DIAS DE INMERSION	4		
PENETRACION [mm]	**LEC**	**CARGA[KN]**	**PRESION[Mpa]**
0,0	0	0,00	0,00
0,6	6	0,28	0,14
1,3	20	0,92	0,48
1,9	36	1,66	0,86
2,5	50	2,30	1,19
3,8	69	3,18	1,64
5,1	85	3,91	2,02
6,4	100	4,60	2,38
7,6	120	5,52	2,85
10,2	160	7,36	3,80
12,7	190	8,74	4,52
CBR A 0.1"	17,23		
CBR A 0.2"	19,25		
CBR CORR. 0.1"	20,26		
CBR CORR. 0.2"	20,56		
EXPANSION [mm]	1,02		
EXPANSION [%]	0,80		



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS

COMPACTACION PARA CBR

FECHA	Septiembre 11 del 2008
PROYECTO	Viabilidad de reciclaje de neumaticos en aplicaciones de ing. Civil
LOCALIZACION	Bucaramanga
MUESTRA	Afirmado

DIAMETRO [cm]	15,08
ALTURA [cm]	12,74
VOLUMEN [cm³]	2,28E+03
N° DE GOLPES	55

HUMEDAD DE COMPACTACION

PESO TARA [gr]	9,15
PESO DE TARA + SUELO HUMEDO [gr]	119,12
PESO DE TARA + SUELO SECO [gr]	113,08
PESO DE AGUA [gr]	6,04
PESO SUELO SECO [gr]	103,93
HUMEDAD EN [%]	5,81

CONTENIDO DE HUMEDAD [%]	5,81
PESO DE MOLDE + SUELO HUMEDO [gr]	12235
PESO MOLDE [gr]	7095
W DEL SUELO QUE ESTA EN MOLDE [gr]	5140
DENSIDAD HUMEDA [gr/cm³]	2,26
DENSIDAD SECA [gr/cm³]	2,13

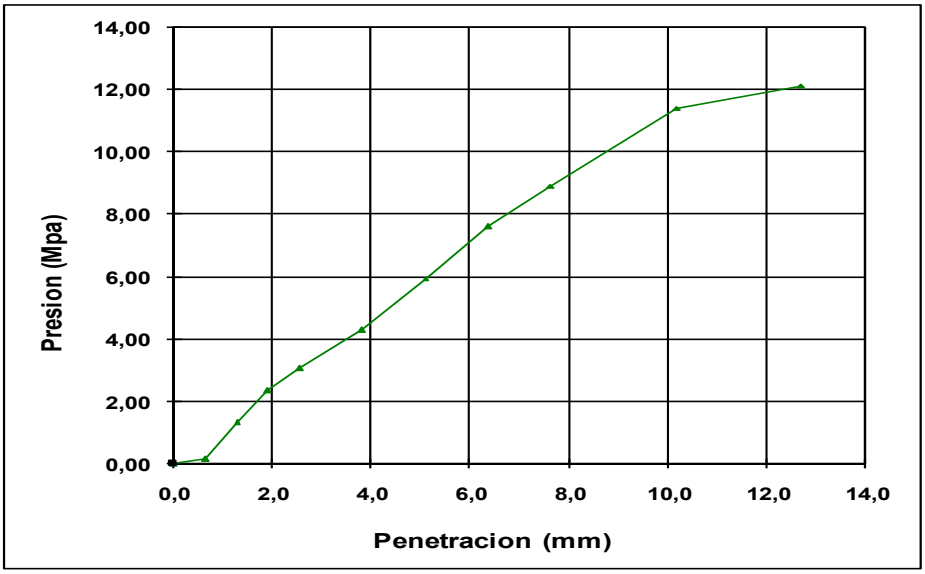
HUMEDAD DE PENETRACION

PESO TARA [gr]	6,66
PESO DE TARA + SUELO HUMEDO [gr]	82,62
PESO DE TARA + SUELO SECO [gr]	77,55
PESO DE AGUA [gr]	5,1
PESO SUELO SECO [gr]	71
HUMEDAD EN [%]	7,2

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

FECHA	Septiembre 11 del 2008
PROYECTO	Viabilidad de reciclaje de neumaticos en aplicaciones de ing. Civil
LOCALIZACION	Bucaramanga
MUESTRA	Afirmado

MOLDE No	14		
No DE GOLPES	55		
DIAS DE INMERSION	4		
PENETRACION [mm]	**LEC**	**CARGA[KN]**	**PRESION[Mpa]**
0,0	0	0	0,00
0,6	6	0,3	0,14
1,3	55	2,5	1,31
1,9	98	4,5	2,33
2,5	129	5,9	3,07
3,8	180	8,3	4,28
5,1	250	11,5	5,94
6,4	320	14,7	7,61
7,6	375	17,3	8,92
10,2	480	22,1	11,41
12,7	510	23,5	12,13
CBR A 0.1"	44,46		
CBR A 0.2"	56,62		
CBR CORR. 0.1"	52,59		
CBR CORR. 0.2"	62,69		
EXPANSION [mm]	2,57		
EXPANSION [%]	2,02		



Anexo F. Ensayos de compactación Próctor modificado con neumático

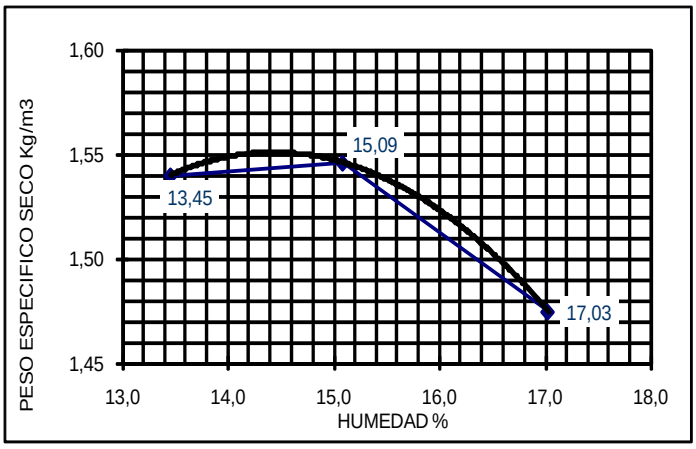
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS
ENSAYO DE COMPACTACION INV-142

FECHA	Septiembre 19 del 2008
PROYECTO	Viabilidad de reciclaje de neumaticos en aplicaciones de ing. Civil
LOCALIZACION	Bucaramanga
MUESTRA	Fino + Neumatico tamiz (Nº3/4)

NUMERO DE GOLPES POR CAPA	25
MOLDE No	6
DIAMETRO MOLDE [cm]	10,15
ALTURA MOLDE [cm]	11,60
VOLUMEN MOLDE [cm³]	938,60

Determinación Número	1	2	3
PESO TARA [gr]	7,01	9,11	9,53
PESO DE TARA + SUELO HUMEDO [gr]	74,89	90,81	103,88
PESO DE TARA + SUELO SECO [gr]	66,84	80,10	90,15
PESO AGUA [gr]	8,05	10,71	13,73
PESO SOLIDO [gr]	59,83	70,99	80,62
HUMEDAD [%]	13,45	15,09	17,03

PESO MOLDE [gr]	4115	4115	4115
PESO DE MOLDE + SUELO HUMEDO [gr]	5755	5785	5735
PESO DEL SUELO HUMEDO [gr]	1640	1670	1620
DENSIDAD HUMEDA [gr/cm³]	1,747	1,779	1,726
DENSIDAD SECA [gr/cm³]	1,540	1,546	1,475



%Hoptima =14,40
d seca = 1,55 gr/cm³

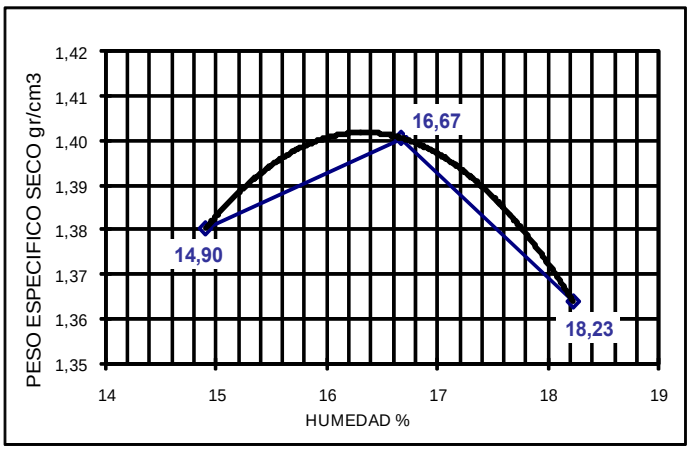
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS
ENSAYO DE COMPACTACION INV-142

FECHA	Septiembre 19 del 2008
PROYECTO	Viabilidad de reciclaje de neumaticos en aplicaciones de ing. Civil
LOCALIZACION	Bucaramanga
MUESTRA	Arenoso + Neumatico tamiz (Nº3/4)

NUMERO DE CAPAS	5
NUMERO DE GOLPES POR CAPA	25
MOLDE No	6
DIAMETRO MOLDE [cm]	10,15
ALTURA MOLDE [cm]	11,56
VOLUMEN MOLDE [cm³]	936,36

Determinación Número	1	2	3
PESO TARA [gr]	10,75	7,85	7,24
PESO DE TARA + SUELO HUMEDO [gr]	92,27	55,86	96,67
PESO DE TARA + SUELO SECO [gr]	81,70	49,00	82,88
PESO AGUA [gr]	10,57	6,86	13,79
PESO SOLIDO [gr]	70,95	41,15	75,64
HUMEDAD [%]	14,90	16,67	18,23

PESO MOLDE [gr]	4175	4175	4175
PESO DE MOLDE + SUELO HUMEDO [gr]	5660	5705	5685
PESO DEL SUELO HUMEDO [gr]	1485	1530	1510
DENSIDAD HUMEDA [gr/cm³]	1,586	1,634	1,613
DENSIDAD SECA [gr/cm³]	1,380	1,401	1,364



%Hoptima =16,4
d seca = 1,403 [gr/cm³]

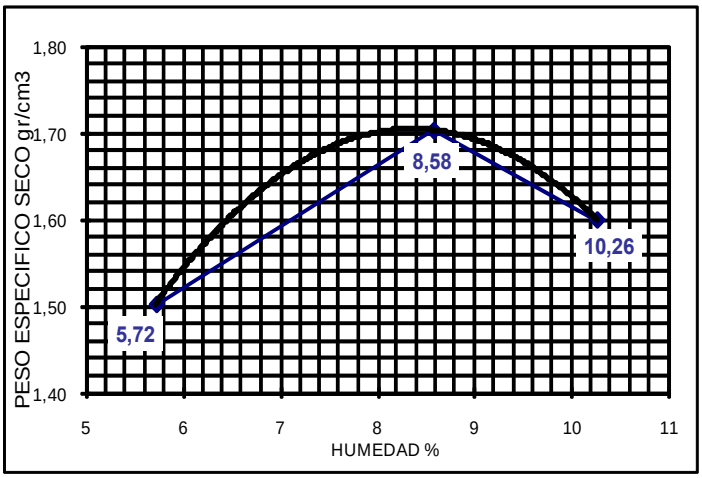
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS
ENSAYO DE COMPACTACION INV-142

FECHA	Septiembre 19 del 2008
PROYECTO	Viabilidad de reciclaje de neumaticos en aplicaciones de ing. Civil
LOCALIZACION	Bucaramanga
MUESTRA	Afirmado + Neumatico tamiz (№3/4)

NUMERO DE CAPAS	5
NUMERO DE GOLPES POR CAPA	25
MOLDE No	6
DIAMETRO MOLDE [cm]	10,15
ALTURA MOLDE [cm]	11,60
VOLUMEN MOLDE [cm³]	938,60

Determinación Número	1	2	3
PESO TARA [gr]	17,36	9,20	7,12
PESO DE TARA + SUELO HUMEDO [gr]	87,39	114,41	67,19
PESO DE TARA + SUELO SECO [gr]	83,60	106,10	61,60
PESO AGUA [gr]	3,79	8,31	5,59
PESO SOLIDO [gr]	66,24	96,90	54,48
HUMEDAD [%]	5,72	8,58	10,26

PESO MOLDE [gr]	4175	4175	4175
PESO DE MOLDE + SUELO HUMEDO [gr]	5665	5910	5830
PESO DEL SUELO HUMEDO [gr]	1490	1735	1655
DENSIDAD HUMEDA [gr/cm³]	1,587	1,848	1,763
DENSIDAD SECA [gr/cm³]	1,502	1,702	1,599



%Hoptima =8,20
d seca = 1,70 gr/cm³

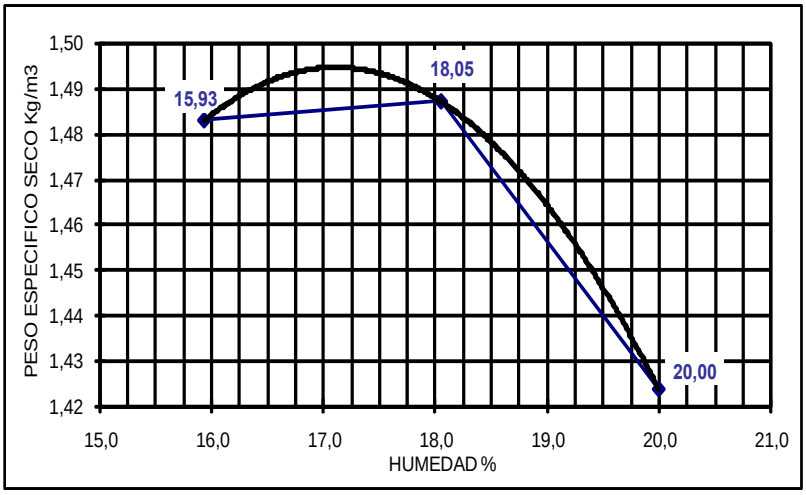
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS
ENSAYO DE COMPACTACION INV-142

FECHA	Septiembre 18 del 2008
PROYECTO	Viabilidad de reciclaje de neumaticos en aplicaciones de ing. Civil
LOCALIZACION	Bucaramanga
MUESTRA	Fino + Neumatico tamiz (Nº4)

NUMERO DE CAPAS	5
NUMERO DE GOLPES POR CAPA	25
MOLDE No	6
DIAMETRO MOLDE [cm]	10,15
ALTURA MOLDE [cm]	11,56
VOLUMEN MOLDE [cm³]	935,36

Determinación Número	1	2	3
PESO TARA [gr]	7,30	10,8	10,64
PESO DE TARA + SUELO HUMEDO [gr]	56,93	71,23	84,57
PESO DE TARA + SUELO SECO [gr]	50,11	61,99	72,3
PESO AGUA [gr]	6,82	9,24	12,32
PESO SOLIDO [gr]	42,81	51,19	61,61
HUMEDAD [%]	15,93	18,05	20,00

PESO MOLDE [gr]	4160	4160	4160
PESO DE MOLDE + SUELO HUMEDO [gr]	5768	5802	5758
PESO DEL SUELO HUMEDO [gr]	1608	1642	1598
DENSIDAD HUMEDA [gr/cm³]	1,719	1,755	1,708
DENSIDAD SECA [gr/cm³]	1,48	1,49	1,42



%Hoptima =17,20
d seca = 1,495gr/cm³

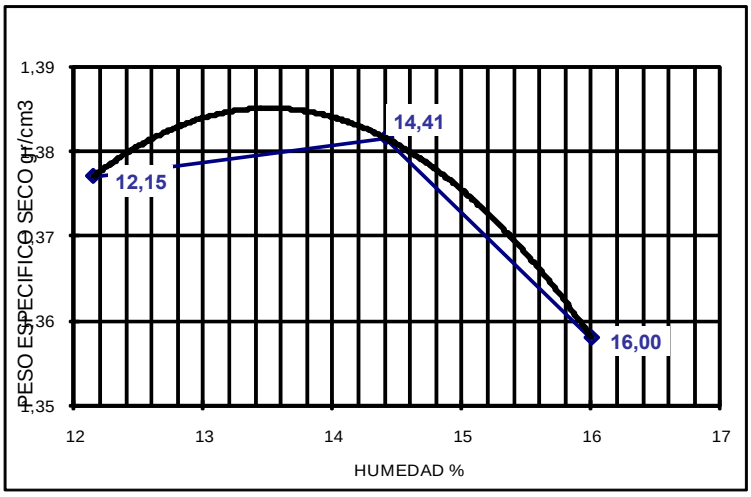
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS
ENSAYO DE COMPACTACION INV-142

FECHA	Septiembre 18 del 2008
PROYECTO	Viabilidad de reciclaje de neumaticos en aplicaciones de ing. Civil
LOCALIZACION	Bucaramanga
MUESTRA	Arenoso + Neumatico tamiz (Nº4)

NUMERO DE CAPAS	5
NUMERO DE GOLPES POR CAPA	25
MOLDE No	6
DIAMETRO MOLDE [cm]	10,15
ALTURA MOLDE [cm]	11,56
VOLUMEN MOLDE [cm³]	936,36

Determinación Número	1	2	3
PESO TARA [gr]	10,48	10,76	7,18
PESO DE TARA + SUELO HUMEDO [gr]	76,85	75,15	70,19
PESO DE TARA + SUELO SECO [gr]	69,66	67,04	61,50
PESO AGUA [gr]	7,19	8,11	8,69
PESO SOLIDO [gr]	59,18	56,28	54,32
HUMEDAD [%]	12,15	14,41	16,00

PESO MOLDE [gr]	4160	4160	4160
PESO DE MOLDE + SUELO HUMEDO [gr]	5606	5640	5635
PESO DEL SUELO HUMEDO [gr]	1446	1480	1475
DENSIDAD HUMEDA [gr/cm³]	1,54	1,58	1,58
DENSIDAD SECA [gr/cm³]	1,377	1,382	1,358



%Hoptima =13,50
d seca = 1,385 gr/cm³

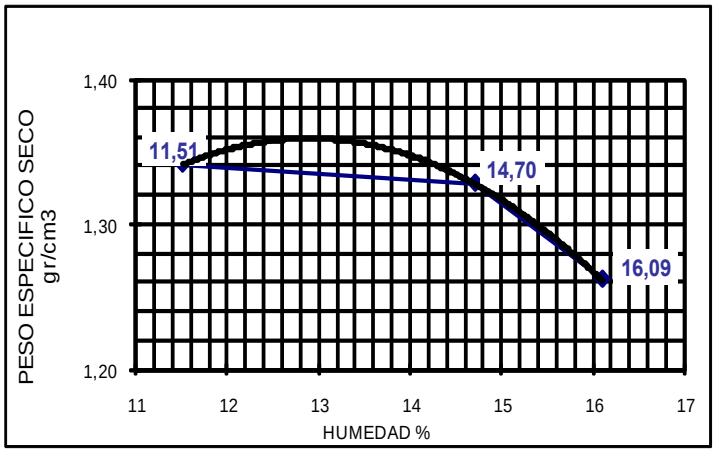
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS
ENSAYO DE COMPACTACION INV-142

FECHA	Septiembre 18 del 2008
PROYECTO	Viabilidad de reciclaje de neumaticos en aplicaciones de ing. Civil
LOCALIZACION	Bucaramanga
MUESTRA	Afirmado + Neumatico tamiz (Nº4)

NUMERO DE CAPAS	5
NUMERO DE GOLPES POR CAPA	25
MOLDE No	6
DIAMETRO MOLDE [cm]	10,15
ALTURA MOLDE [cm]	11,60
VOLUMEN MOLDE [cm³]	938,60

Determinación Número	1	2	3
PESO TARA [gr]	7,22	7,27	7,37
PESO DE TARA + SUELO HUMEDO [gr]	72,54	59,07	71,50
PESO DE TARA + SUELO SECO [gr]	65,80	52,43	62,61
PESO AGUA [gr]	6,74	6,64	8,89
PESO SOLIDO [gr]	58,58	45,16	55,24
HUMEDAD [%]	11,51	14,70	16,09

PESO MOLDE [gr]	4160	4160	4160
PESO DE MOLDE + SUELO HUMEDO [gr]	5564	5590	5535
PESO DEL SUELO HUMEDO [gr]	1404	1430	1375
DENSIDAD HUMEDA [gr/cm³]	1,496	1,524	1,465
DENSIDAD SECA [gr/cm³]	1,341	1,328	1,262



%Hoptima =12,90
d seca = 1,36 gr/cm³

Anexo G. Ensayos de Compresión Simple de suelo con neumático

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS
ENSAYO DE COMPRESION SIMPLE

FECHA: Octubre 7 del 2008
PROYECTO: Viabilidad de reciclaje de neumaticos en aplicaciones de ingenieria civil
LOCALIZACION Bucaramanga
MUESTRA: Fino + neumatico pequeño (maquina harvard)

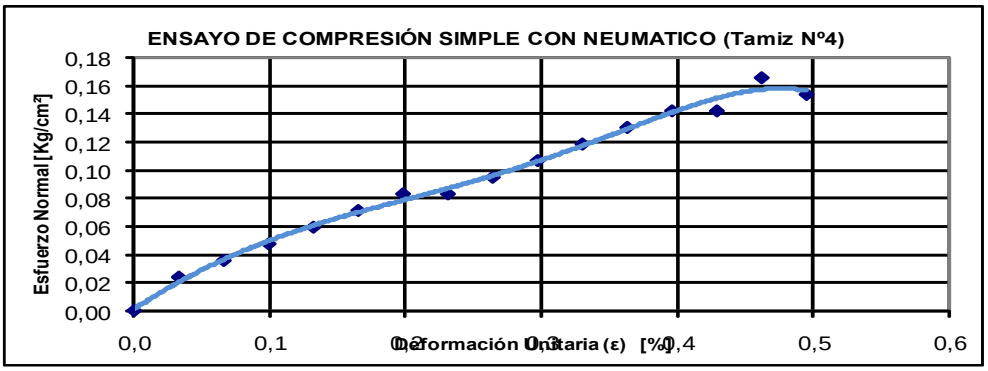
DETERMINACION DE LA DENSIDAD

DIAMETRO SUPERIOR [cm]	3,2	PESO DEL ANILLO [gr]	118,69
DIAMETRO CENTRAL [cm]	3,3	PESO MUESTRA+ANILLO [gr]	219,5
DIAMETRO INFERIOR [cm]	3,3	PESO MUESTRA	100,81
PROMEDIO DIAMETRO [cm]	3,27	VOLUMEN [cm³]	64,5
AREA [cm²]	8,38	DENSIDAD HUMEDA [gr/cm³]	1,56
ALTURA MEDIA [cm]	7,7	DENSIDAD SECA [gr/cm³]	1,27

DETERMINACION DE LA HUMEDAD EN %

PESO DE LA TARA [gr]	7,1	PESO AGUA [gr]	17,98
P.TARA + SUELO HUMEDO [gr]	104,38	PESO SECO [gr]	79,3
P.TARA + SUELO SECO [gr]	86,40	HUMEDAD %	22,67

LECTURA DEFORMIMETRO [pulg]	DEFORMACION VERTICAL (DV) [cm]	CARGA (P) [Kg]	DEFORMACION UNITARIA (ε)	1 - ε	AREA CORRECION [cm]	ESFUERZO NORMAL (σ) [Kg/cm²]	DEFORMACION UNITARIA (ε) [%]
0	0,0000	0,00	0,0000	1,0000	8,3811	0,0000	0,0000
10	0,0025	0,20	0,0003	0,9997	8,3839	0,0239	0,0330
20	0,0051	0,30	0,0007	0,9993	8,3866	0,0358	0,0660
30	0,0076	0,40	0,0010	0,9990	8,3894	0,0477	0,0990
40	0,0102	0,50	0,0013	0,9987	8,3922	0,0596	0,1319
50	0,0127	0,60	0,0016	0,9984	8,3949	0,0715	0,1649
60	0,0152	0,70	0,0020	0,9980	8,3977	0,0834	0,1979
70	0,0178	0,70	0,0023	0,9977	8,4005	0,0833	0,2309
80	0,0203	0,80	0,0026	0,9974	8,4033	0,0952	0,2639
90	0,0229	0,90	0,0030	0,9970	8,4060	0,1071	0,2969
100	0,0254	1,00	0,0033	0,9967	8,4088	0,1189	0,3299
110	0,0279	1,10	0,0036	0,9964	8,4116	0,1308	0,3629
120	0,0305	1,20	0,0040	0,9960	8,4144	0,1426	0,3958
130	0,0330	1,20	0,0043	0,9957	8,4172	0,1426	0,4288
140	0,0356	1,40	0,0046	0,9954	8,4200	0,1663	0,4618
150	0,0381	1,30	0,0049	0,9951	8,4228	0,1543	0,4948



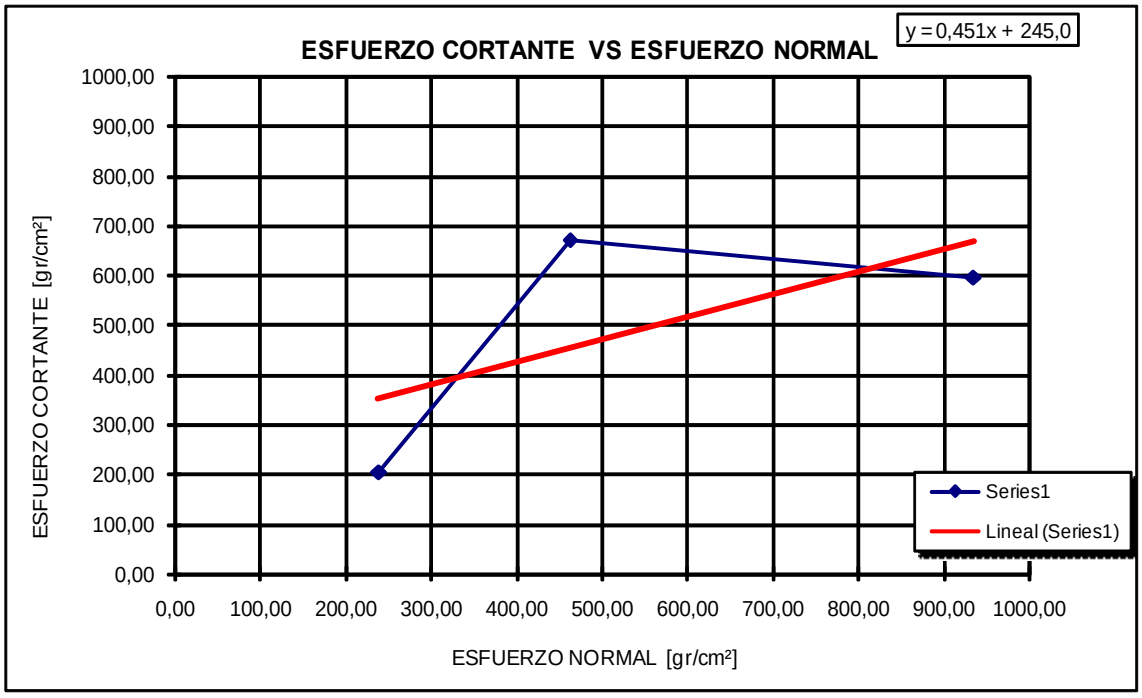
Esfuerzo de corte (Qu)	**0,1662**	[Kg/cm²]
Cohesion (C)	**0,0831**	

Anexo I. Ensayos de Corte Directo de suelo con neumático

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS
ENSAYO DE CORTE DIRECTO INV E-154

FECHA: Octubre 6 del 2008
PROYECTO: Viabilidad de reciclaje de neumaticos en aplicaciones de ingenieria civil
LOCALIZACION: Bucaramanga
MUESTRA: FINO + NEUMATICO

CARGA VERTICAL gramos	AREA [cm²]	CARGA HORIZONTAL MAXIMA [gr]	ESFUERZO NORMAL [gr/cm²]	ESFUERZO CORTANTE [gr/cm²]
8000	33,52	6871,4	238,63	204,97
16000	34,56	23215,6	462,98	671,78
32000	34,21	20418,0	935,34	596,81

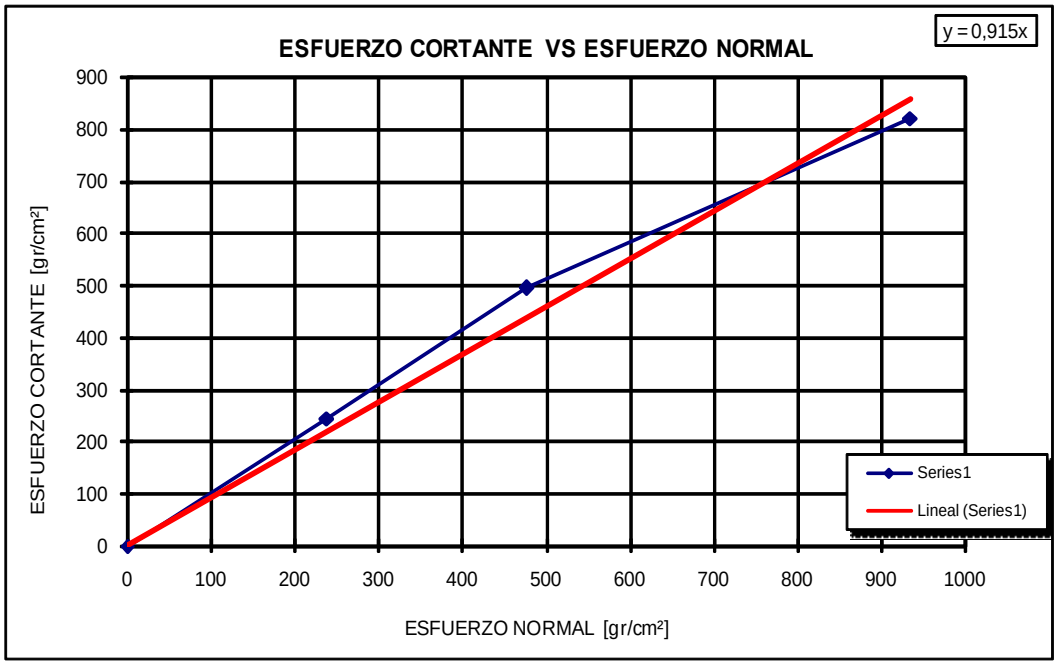


HUMEDAD %	12%	DE ENSAYO
PENDIENTE	0,4511	
ANGULO FRICCION	24	[grados]
COHESION	245,05	[gr/cm²]
COHESION	0,2451	[Kg/cm²]

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS
ENSAYO DE CORTE DIRECTO INV E-154

FECHA: Octubre 6 del 2008
PROYECTO: Viabilidad de reciclaje de neumaticos en aplicaciones de ingenieria civil
LOCALIZACION: Bucaramanga
MUESTRA: Neumatico + Arena

CARGA VERTICAL gramos	AREA [cm²]	CARGA HORIZONTAL MAXIMA [gr]	ESFUERZO NORMAL [gr/cm²]	ESFUERZO CORTANTE [gr/cm²]
			0	0
8000	33,52	8196,6	238,63	244,50
16000	33,52	16589,6	477,26	494,85
32000	34,21	28074,7	935,34	820,61



HUMEDAD %	15%	DE ENSAYO
PENDIENTE	0,916	
ANGULO FRICCION	42	[grados]
COHESION	0,00	[gr/cm²]
COHESION	0,000	[Kg/cm²]

ANEXO J. ENSAYOS DE RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA CBR CON NEUMÁTICO (TAMIZ 3/4) Y (TAMIZ Nº4)

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS

COMPACTACION PARA CBR

FECHA	Septiembre 22 del 2008
PROYECTO	Viabilidad de reciclaje de neumaticos en aplicaciones de ing. Civil
LOCALIZACION	Bucaramanga
MUESTRA	Fino + Neumatico tamiz (Nº3/4)

DIAMETRO [cm]	15,08
ALTURA [cm]	12,74
VOLUMEN [cm³]	2,28E+03
N° DE GOLPES	55

HUMEDAD DE COMPACTACION

PESO TARA [gr]	10,85
PESO DE TARA + SUELO HUMEDO [gr]	97,40
PESO DE TARA + SUELO SECO [gr]	86,64
PESO DE AGUA [gr]	10,8
PESO SUELO SECO [gr]	76
HUMEDAD EN [%]	14,2

CONTENIDO DE HUMEDAD [%]	14,20
PESO DE MOLDE + SUELO HUMEDO [gr]	10580
PESO MOLDE [gr]	7050
W DEL SUELO QUE ESTA EN MOLDE [gr]	3530,0
DENSIDAD HUMEDA [gr/cm³]	1,55
DENSIDAD SECA [gr/cm³]	1,36

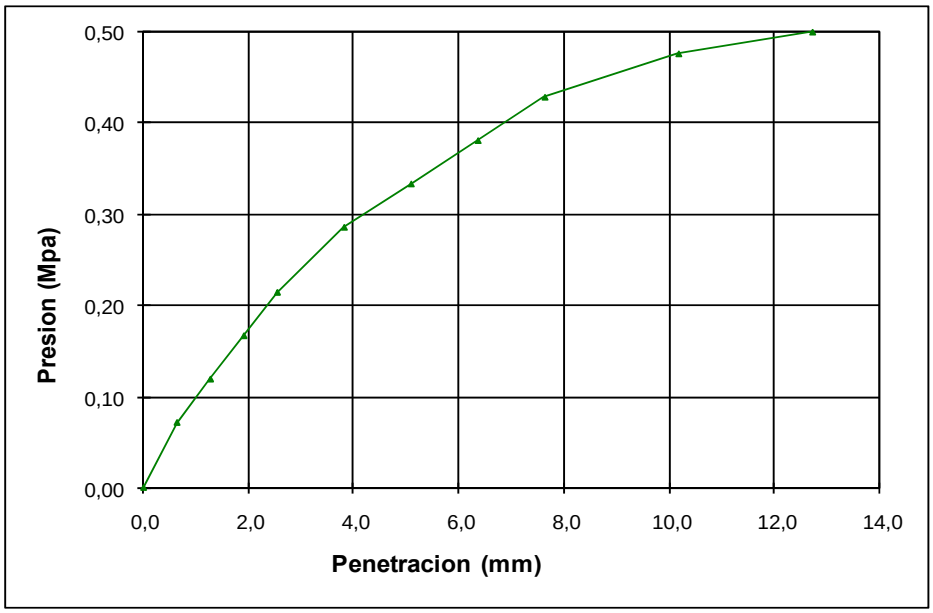
HUMEDAD DE PENETRACION

PESO TARA [gr]	7,16
PESO DE TARA + SUELO HUMEDO [gr]	69,62
PESO DE TARA + SUELO SECO [gr]	54,78
HUMEDAD EN [%]	31,2

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

FECHA	Septiembre 22 del 2008
PROYECTO	Viabilidad de reciclaje de neumaticos en aplicaciones de ing. Civil
LOCALIZACION	Bucaramanga
MUESTRA	Fino + Neumatico tamiz (№3/4)

MOLDE No	8		
No DE GOLPES	55		
DIAS DE INMERSION	4		
PENETRACION [mm]	**LEC**	**CARGA[KN]**	**PRESION[Mpa]**
0,0	0	0,00	0,00
0,6	3	0,14	0,07
1,3	5	0,23	0,12
1,9	7	0,32	0,17
2,5	9	0,41	0,21
3,8	12	0,55	0,29
5,1	14	0,64	0,33
6,4	16	0,74	0,38
7,6	18	0,83	0,43
10,2	20	0,92	0,48
12,7	21	0,97	0,50
CBR A 0.1"	3,10		
CBR A 0.2"	3,17		
CBR CORR. 0.1"	3,10		
CBR CORR. 0.2"	3,17		
EXPANSION [mm]	3,96		
EXPANSION [%]	3,12		



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS

COMPACTACION PARA CBR

FECHA	Septiembre 22 del 2008
PROYECTO	Viabilidad de reciclaje de neumaticos en aplicaciones de ing. Civil
LOCALIZACION	Bucaramanga
MUESTRA	Arenoso + Neumatico tamiz (Nº3/4)

DIAMETRO [cm]	15,08
ALTURA [cm]	12,74
VOLUMEN [cm³]	2,28E+03
N° DE GOLPES	55

HUMEDAD DE COMPACTACION

PESO TARA [gr]	10,4
PESO DE TARA + SUELO HUMEDO [gr]	113,20
PESO DE TARA + SUELO SECO [gr]	98,97
PESO DE AGUA [gr]	14,23
PESO SUELO SECO [gr]	88,57
HUMEDAD EN [%]	16,07

CONTENIDO DE HUMEDAD [%]	16,07
PESO DE MOLDE + SUELO HUMEDO [gr]	11090
PESO MOLDE [gr]	7050
W DEL SUELO QUE ESTA EN MOLDE [gr]	4040,0
DENSIDAD HUMEDA [gr/cm³]	1,78
DENSIDAD SECA [gr/cm³]	1,53

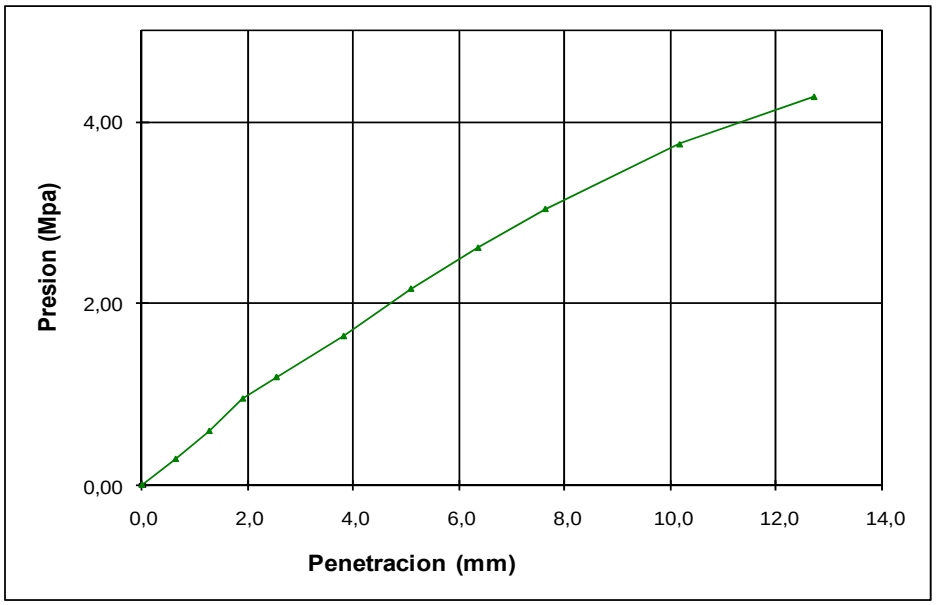
HUMEDAD DE PENETRACION

PESO TARA [gr]	7,34
PESO DE TARA + SUELO HUMEDO [gr]	70,46
PESO DE TARA + SUELO SECO [gr]	59,48
PESO DE AGUA [gr]	11,0
PESO SUELO SECO [gr]	52
HUMEDAD EN [%]	21,1

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

FECHA	Septiembre 22 del 2008
PROYECTO	Viabilidad de reciclaje de neumaticos en aplicaciones de ing. Civil
LOCALIZACION	Bucaramanga
MUESTRA	Arenoso + Neumatico tamiz (Nº3/4)

MOLDE No	9		
No DE GOLPES	55		
DIAS DE INMERSION	4		
PENETRACION [mm]	**LEC**	**CARGA[KN]**	**PRESION[Mpa]**
0,0	0	0	0,00
0,6	12	0,6	0,29
1,3	25	1,2	0,59
1,9	40	1,8	0,95
2,5	50	2,3	1,19
3,8	69	3,2	1,64
5,1	91	4,2	2,16
6,4	110	5,1	2,62
7,6	128	5,9	3,04
10,2	158	7,3	3,76
12,7	180	8,3	4,28
CBR A 0.1"	17,23		
CBR A 0.2"	20,61		
CBR CORR. 0.1"	17,23		
CBR CORR. 0.2"	20,61		
EXPANSION [mm]	1,78		
EXPANSION [%]	1,40		



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS

COMPACTACION PARA CBR

FECHA	Septiembre 22 del 2008
PROYECTO	Viabilidad de reciclaje de neumaticos en aplicaciones de ing. Civil
LOCALIZACION	Bucaramanga
MUESTRA	Afirmado + Neumatico (Nº3/4)

DIAMETRO [cm]	15,08
ALTURA [cm]	12,74
VOLUMEN [cm³]	2,28E+03
N° DE GOLPES	55

HUMEDAD DE COMPACTACION

PESO TARA [gr]	10,47
PESO DE TARA + SUELO HUMEDO [gr]	111,37
PESO DE TARA + SUELO SECO [gr]	103,89
PESO DE AGUA [gr]	7,48
PESO SUELO SECO [gr]	93,42
HUMEDAD EN [%]	8,01

CONTENIDO DE HUMEDAD [%]	8,01
PESO DE MOLDE + SUELO HUMEDO [gr]	10890
PESO MOLDE [gr]	7055
W DEL SUELO QUE ESTA EN MOLDE [gr]	3835
DENSIDAD HUMEDA [gr/cm³]	1,69
DENSIDAD SECA [gr/cm³]	1,56

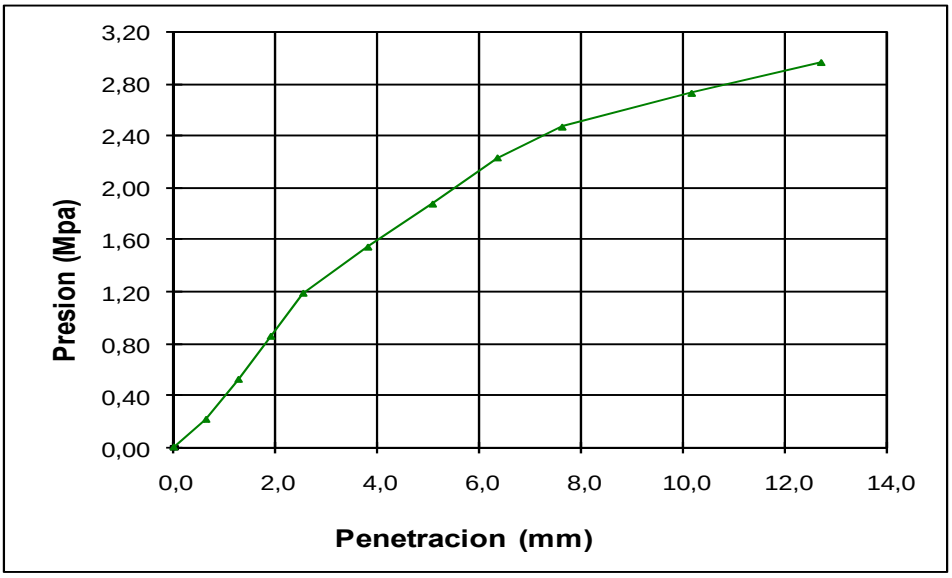
HUMEDAD DE PENETRACION

PESO TARA [gr]	7,38
PESO DE TARA + SUELO HUMEDO [gr]	88,11
PESO DE TARA + SUELO SECO [gr]	80,59
PESO DE AGUA [gr]	7,5
PESO SUELO SECO [gr]	73
HUMEDAD EN [%]	10,3

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

FECHA	Septiembre 22 del 2008
PROYECTO	Viabilidad de reciclaje de neumaticos en aplicaciones de ing. Civil
LOCALIZACION	Bucaramanga
MUESTRA	Afirmado + Neumatico tamiz (Nº3/4)

MOLDE No	7		
No DE GOLPES	55		
DIAS DE INMERSION	4		
PENETRACION [mm]	**LEC**	**CARGA[KN]**	**PRESION[Mpa]**
0,0	0	0	0,00
0,6	9	0,4	0,21
1,3	22	1,0	0,52
1,9	36	1,7	0,86
2,5	50	2,3	1,19
3,8	65	3,0	1,55
5,1	79	3,6	1,88
6,4	94	4,3	2,24
7,6	104	4,8	2,47
10,2	115	5,3	2,73
12,7	125	5,8	2,97
CBR A 0.1"	17,23		
CBR A 0.2"	17,89		
CBR CORR. 0.1"	26,88		
CBR CORR. 0.2"	23,38		
EXPANSION [mm]	1,19		
EXPANSION [%]	0,94		



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS

COMPACTACION PARA CBR

FECHA	Septiembre 26 del 2008
PROYECTO	Viabilidad de reciclaje de neumaticos en aplicaciones de ing. Civil
LOCALIZACION	Bucaramanga
MUESTRA	Finos + Neumatico tamiz (№4)

ALTURA [cm]	15,08
VOLUMEN [cm³]	12,74
N° DE GOLPES	2,28E+03
N° DE GOLPES	55

HUMEDAD DE COMPACTACION

PESO TARA [gr]	7,39
PESO DE TARA + SUELO HUMEDO [gr]	73,55
PESO DE TARA + SUELO SECO [gr]	63,90
PESO DE AGUA [gr]	9,65
PESO SUELO SECO [gr]	56,51
HUMEDAD EN [%]	17,08

CONTENIDO DE HUMEDAD [%]	17,08
PESO DE MOLDE + SUELO HUMEDO [gr]	10599
PESO MOLDE [gr]	7050
W DEL SUELO QUE ESTA EN MOLDE [gr]	3549,0
DENSIDAD HUMEDA [gr/cm³]	1,56
DENSIDAD SECA [gr/cm³]	1,33

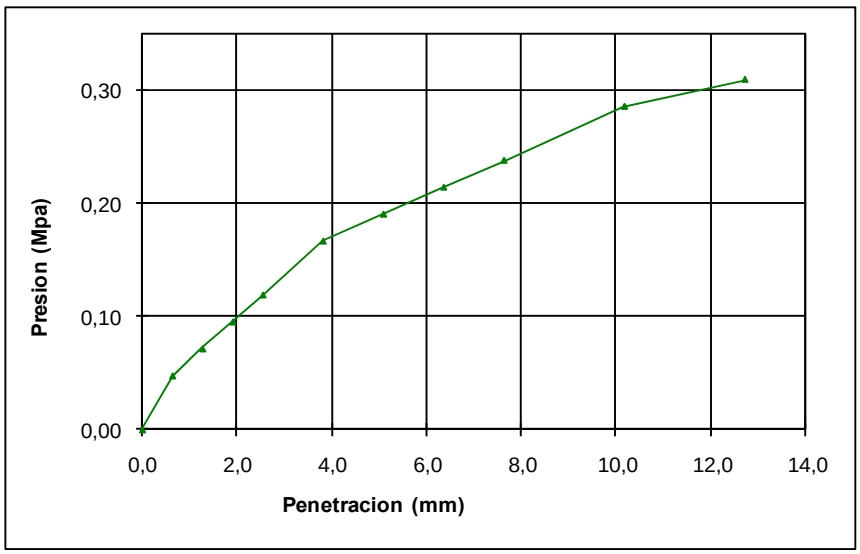
HUMEDAD DE PENETRACION

PESO TARA [gr]	10,5
PESO DE TARA + SUELO HUMEDO [gr]	82,50
PESO DE TARA + SUELO SECO [gr]	64,97
HUMEDAD EN [%]	32,2

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

FECHA	Septiembre 26 del 2008
PROYECTO	Viabilidad de reciclaje de neumaticos en aplicaciones de ing. Civil
LOCALIZACION	Bucaramanga
MUESTRA	Finos + Neumatico tamiz (Nº4)

MOLDE No	8		
No DE GOLPES	55		
DIAS DE INMERSION	4		
PENETRACION [mm]	**LEC**	**CARGA[KN]**	**PRESION[Mpa]**
0,0	0	0,00	0,00
0,6	2	0,09	0,05
1,3	3	0,14	0,07
1,9	4	0,18	0,10
2,5	5	0,23	0,12
3,8	7	0,32	0,17
5,1	8	0,37	0,19
6,4	9	0,41	0,21
7,6	10	0,46	0,24
10,2	12	0,55	0,29
12,7	13	0,60	0,31
CBR A 0.1"	1,72		
CBR A 0.2"	1,81		
CBR CORR. 0.1"	1,72		
CBR CORR. 0.2"	1,81		
EXPANSION [mm]	7,04		
EXPANSION [%]	5,5		



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS

COMPACTACION PARA CBR

FECHA	Septiembre 26 del 2008
PROYECTO	Viabilidad de reciclaje de neumaticos en aplicaciones de ing. Civil
LOCALIZACION	Bucaramanga
MUESTRA	Arenoso + Neumatico tamiz (№4)

ALTURA [cm]	15,08
VOLUMEN [cm³]	12,74
N° DE GOLPES	2,28E+03
N° DE GOLPES	55

HUMEDAD DE COMPACTACION

PESO TARA [gr]	7,3
PESO DE TARA + SUELO HUMEDO [gr]	72,77
PESO DE TARA + SUELO SECO [gr]	65,24
PESO DE AGUA [gr]	7,53
PESO SUELO SECO [gr]	57,94
HUMEDAD EN [%]	13,00

CONTENIDO DE HUMEDAD [%]	13,00
PESO DE MOLDE + SUELO HUMEDO [gr]	10627
PESO MOLDE [gr]	7050
W DEL SUELO QUE ESTA EN MOLDE [gr]	3577,0
DENSIDAD HUMEDA [gr/cm³]	1,57
DENSIDAD SECA [gr/cm³]	1,39

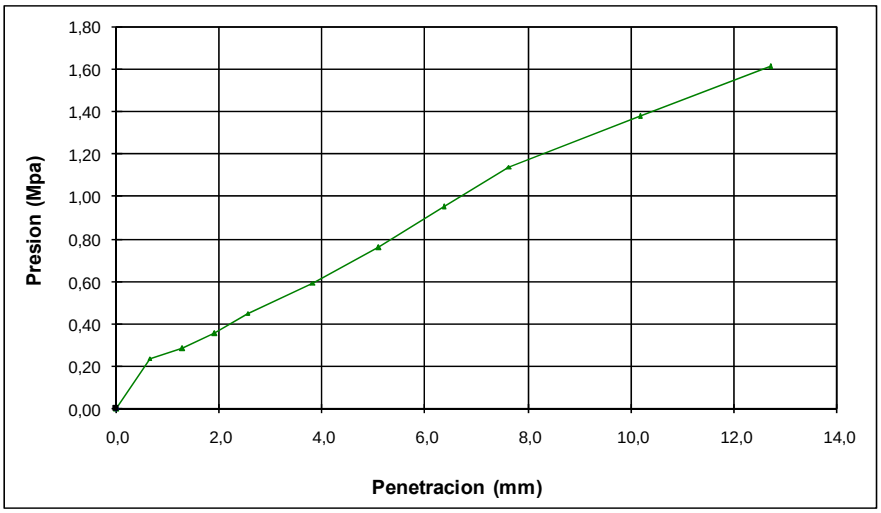
HUMEDAD DE PENETRACION

PESO TARA [gr]	7,5
PESO DE TARA + SUELO HUMEDO [gr]	69,10
PESO DE TARA + SUELO SECO [gr]	60,34
PESO DE AGUA [gr]	8,8
PESO SUELO SECO [gr]	53
HUMEDAD EN [%]	16,6

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

FECHA	Septiembre 26 del 2008
PROYECTO	Viabilidad de reciclaje de neumaticos en aplicaciones de ing. Civil
LOCALIZACION	Bucaramanga
MUESTRA	Arenoso + Neumatico tamiz (Nº4)

MOLDE No	9		
No DE GOLPES	55		
DIAS DE INMERSION	4		
PENETRACION [mm]	**LEC**	**CARGA[KN]**	**PRESION[Mpa]**
0,0	0	0	0,00
0,6	10	0,5	0,24
1,3	12	0,6	0,29
1,9	15	0,7	0,36
2,5	19	0,9	0,45
3,8	25	1,2	0,59
5,1	32	1,5	0,76
6,4	40	1,8	0,95
7,6	48	2,2	1,14
10,2	58	2,7	1,38
12,7	68	3,1	1,62
CBR A 0.1"	6,55		
CBR A 0.2"	7,25		
CBR CORR. 0.1"	7,46		
CBR CORR. 0.2"	7,93		
EXPANSION [mm]	2,18		
EXPANSION [%]	1,72		



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS

COMPACTACION PARA CBR

FECHA	Septiembre 26 del 2008
PROYECTO	Viabilidad de reciclaje de neumaticos en aplicaciones de ing. Civil
LOCALIZACION	Bucaramanga
MUESTRA	Afirmado + Neumatico tamiz (№4)

ALTURA [cm]	15,08
VOLUMEN [cm³]	12,74
N° DE GOLPES	2,28E+03
N° DE GOLPES	55

HUMEDAD DE COMPACTACION

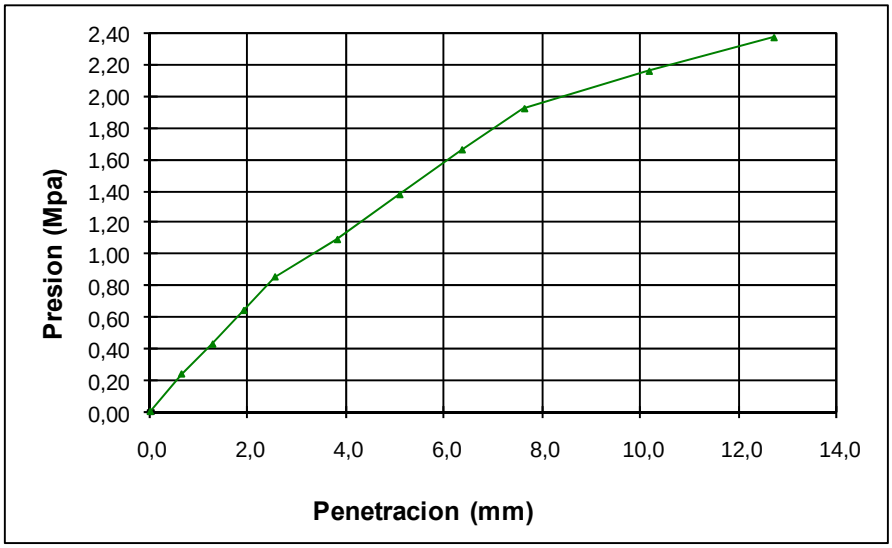
PESO TARA [gr]	12
PESO DE TARA + SUELO HUMEDO [gr]	84,15
PESO DE TARA + SUELO SECO [gr]	76,27
PESO DE AGUA [gr]	7,88
PESO SUELO SECO [gr]	64,27
HUMEDAD EN [%]	12,26

CONTENIDO DE HUMEDAD [%]	12,26
PESO DE MOLDE + SUELO HUMEDO [gr]	10600
PESO MOLDE [gr]	7050
W DEL SUELO QUE ESTA EN MOLDE [gr]	3550
DENSIDAD HUMEDA [gr/cm³]	1,56
DENSIDAD SECA [gr/cm³]	1,39

HUMEDAD DE PENETRACION

PESO TARA [gr]	7,38
PESO DE TARA + SUELO HUMEDO [gr]	88,11
PESO DE TARA + SUELO SECO [gr]	77,39
PESO DE AGUA [gr]	10,7
PESO SUELO SECO [gr]	70
HUMEDAD EN [%]	15,3

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

FECHA	Septiembre 26 del 2008
PROYECTO	Viabilidad de reciclaje de neumaticos en aplicaciones de ing. Civil
LOCALIZACION	Bucaramanga
MUESTRA	Afirmado + Neumatico tamiz (Nº4)

MOLDE No	8		
No DE GOLPES	55		
DIAS DE INMERSION	4		
PENETRACION [mm]	**LEC**	**CARGA[KN]**	**PRESION[Mpa]**
0,0	0	0	0,00
0,6	10	0,5	0,24
1,3	18	0,8	0,43
1,9	27	1,2	0,64
2,5	36	1,7	0,86
3,8	46	2,1	1,09
5,1	58	2,7	1,38
6,4	70	3,2	1,66
7,6	81	3,7	1,93
10,2	91	4,2	2,16
12,7	100	4,6	2,38
CBR A 0.1"	12,41		
CBR A 0.2"	13,14		
CBR CORR. 0.1"	12,41		
CBR CORR. 0.2"	13,14		
EXPANSION [mm]	1,42		
EXPANSION [%]	1,12