

**ESTUDIO DE LAS CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DE MEZCLAS DE
SUELOS-NEUMÁTICO TRITURADO.**

**MÓNICA MARÍA CARREÑO VILLAMIZAR
ARIEL ANDRÉS SÁNCHEZ AGUIRRE**

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

2010

**ESTUDIO DE LAS CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DE MEZCLAS DE
SUELOS-NEUMÁTICO TRITURADO.**

**MÓNICA MARÍA CARREÑO VILLAMIZAR
ARIEL ANDRÉS SÁNCHEZ AGUIRRE**

**Trabajo de grado modalidad investigación
Para optar al título de:
Ingeniero Civil**

**Director:
HEBENLY CELIS LEGUIZAMO
Ingeniero Civil, M. Sc.**

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

2010

A Dios, por ser el guía de cada uno de nuestros sueños; a mis padres por brindarme ese apoyo incondicional y darme mucha fuerza y amor para seguir adelante; a mi hermano por tantos años de convivencia y preocupación; a toda mi familia, amigos y compañeros de estudio, que hicieron que pasara momentos agradables en esta etapa de mi vida.

Ariel Andrés Sánchez Aguirre

A Dios, por haberme permitido terminar esta etapa importante de mi vida; a mi madre que siempre me ha dado su comprensión y afecto; a mi familia, por apoyarme en todas mis actividades; a mis compañeros que durante todos estos años me han brindado su amistad, los llevaré en el corazón con mucha gratitud y aprecio.

Mónica María Carreño Villamizar

AGRADECIMIENTOS

A Dios por ser el guía de nuestros actos.

A nuestras familias por apoyarnos en todas nuestras actividades.

A la profesora Ingeniera Hebenly Celis Leguizamo por ser nuestra directora y orientarnos en la realización de este proyecto.

A la Universidad Industrial de Santander por permitirnos usar los laboratorios de suelos y pavimentos para el desarrollo de nuestra investigación.

Gracias a cada uno de los profesores que participaron en nuestro desarrollo profesional durante la carrera, por ser nuestros guías y heredarnos cada una de sus experiencias como personas y profesionales

.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	18
OBJETIVOS.....	19
OBJETIVO GENERAL.....	19
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
ANTECEDENTES.....	20
1 CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES	24
1.1 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO (I.N.V.E – 123– 07)	24
1.2 ENSAYOS DE LÍMITES DE ATTERBERG.....	25
1.2.1 Determinación del límite líquido de los suelos (I.N.V. E – 125 – 07)..	25
1.2.2 Límite plástico e índice de plasticidad de suelos (I.N.V. E – 126 – 07)	25
1.3 DESCRIPCIÓN DE LOS MATERIALES.....	26
1.3.1 Suelo de Provenza.....	26
1.3.2 Suelo de Floridablanca.....	27
1.3.3 Suelo Carrera 24 N°31 Centro	28
1.3.4 Resumen de la caracterización de los suelos	30
1.3.5 Neumático reciclado.....	30
2 ENSAYOS DE RESISTENCIA DEL SUELO SIN NEUMÁTICO.....	34
2.1 ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO (I.N.V. E – 142 – 07).....	34
2.2 ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE (I.N.V. E – 152 – 07).....	35

2.3	ENSAYO DE CORTE DIRECTO (I.N.V.E – 154 – 07).....	37
2.4	ENSAYO DE RELACIÓN DE SOPORTE DE SUELO O CBR (I.N.V.E – 148 – 07)	39
3	TAMAÑO Y PORCENTAJE ÓPTIMO DE NEUMÁTICO TRITURADO	42
3.1	TAMAÑO OPTIMO DE NEUMÁTICO TRITURADO.	42
3.1.1	Ensayo de proctor al neumático triturado.....	42
3.1.2	Resistencia al corte del neumático triturado.....	43
3.1.3	Resumen propiedades neumático triturado.....	43
3.1.4	Resultado del tamaño optimo de neumático para el suelo.....	44
3.2	PORCENTAJE ÓPTIMO DE NEUMÁTICO TRITURADO.	44
3.2.1	Ensayo de compresión simple (I.N.V. E – 152 – 07).....	46
3.2.2	Ensayo de corte directo (I.N.V.E – 154 – 07).	48
4	ENSAYO DE RELACIÓN DE SOPORTE DE SUELO O CBR (I.N.V.E – 148 – 07) CON PORCENTAJE Y TAMAÑO OPTIMO DE NEUMÁTICO TRITURADO..	52
5	COMPARACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LOS ENSAYOS.	53
5.1	ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE.	53
5.2	ENSAYO CORTE DIRECTO.	54
5.3	ENSAYO DE RELACIÓN DE SOPORTE DE SUELO O CBR.....	55
	CONCLUSIONES	59
	BIBLIOGRAFÍA.....	62
	ANEXOS.....	63

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1-1 Equipo utilizado para tamizado.....	24
Figura 1-2 Equipo y procedimiento para el ensayo de límites	26
Figura 1-3 Suelo N°1	27
Figura 1-4 Curva granulométrica suelo N°1	27
Figura 1-5 Suelo N°2	28
Figura 1-6 Curva granulométrica suelo N°2.....	28
Figura 1-7 Suelo N°3	29
Figura 1-8 Curva granulométrica suelo N°3.....	29
Figura 1-9 Equipo utilizado en el raspado del neumático	31
Figura 1-10 Material resultado del raspado de la banda de rodamiento del neumático	32
Figura 1-11 Curva granulométrica del neumático triturado	32
Figura 1-12 Tamaños N°1, N°2 y N°3.....	33
Figura 2-1 Equipo proctor modificado	34
Figura 2-2 Humedad óptima del suelo	35
Figura 2-3 Equipo utilizado ensayo compresión simple	36
Figura 2-4 Falla de la probeta a compresión simple	36
Figura 2-5 Grafica esfuerzo cortante vs esfuerzo normal	38
Figura 2-6 Muestras falladas a corte directo	39
Figura 2-7 Equipo utilizado para el ensayo de corte directo.	39
Figura 2-8 Equipo y falla probeta para CBR.	40
Figura 2-9 Falla probeta y equipo CBR sumergido	40
Figura 3-1 Equipo utilizado para el ensayo de proctor en el neumático triturado. .	42
Figura 3-2 Material escogido.....	44
Figura 3-3 Dificultad de utilizar porcentajes de neumático mayores al 20%	45
Figura 3-4 Mezclas suelo - Neumático.....	45

Figura 3-5 Curvas Esfuerzo – Deformación.....	46
Figura 3-6 Tipo de falla a la compresión simple con porcentajes de neumático triturado.....	47
Figura 3-7 Variación del Esfuerzo último según el porcentaje de neumático.....	48
Figura 3-8 Falla de las probetas de corte directo de la mezcla suelo – neumático 10 y 15%.....	49
Figura 3-9 Variación del ángulo de fricción según el porcentaje de neumático.	49
Figura 3-10 Variación de la cohesión según el porcentaje de neumático.	50
Figura 4-1 Ensayo de CBR sumergido para la mezcla suelo – neumático.	52
Figura 5-1 Grafica comparativa esfuerzo último con y sin neumático.....	53
Figura 5-2 Grafica comparativa esfuerzo cortante vs normal.	54
Figura 5-3 Grafica comparativa de los resultados de cohesión.	55
Figura 5-4 Grafica comparativa de los resultados del ángulo de fricción.....	55
Figura 5-5 Variación CBR 0.1" 55 golpes sin sumergir.....	57
Figura 5-6 Variación CBR 0.2" 55 golpes sin sumergir.....	57

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 0-1 Resumen de estudios experimentales involucrando neumático triturado	20
Tabla 0-2 Resumen tesis "Viabilidad de reciclaje de neumáticos en ingeniería civil"	22
Tabla 1-1 Resumen clasificación de los suelos	30
Tabla 2-1 Humedad óptima del suelo	35
Tabla 2-2 Esfuerzo máx. a la compresión simple del suelo sin neumático	37
Tabla 2-3 Esfuerzos cortantes máximos del suelo.....	38
Tabla 2-4 Cohesión y fricción del suelo	38
Tabla 2-5 Características muestra patrón	40
Tabla 2-6 Resumen ensayo de CBR.	41
Tabla 2-7 Expansión CBR sumergido.....	41
Tabla 3-1 Resumen propiedades neumático triturado.	43
Tabla 3-2 Densidad suelta de cada material.....	45
Tabla 3-3 Variación densidad seca según el porcentaje de neumático triturado. ...	50
Tabla 3-4 Resumen propiedades mezclas.....	51
Tabla 4-1 Resumen del ensayo de CBR con porcentaje óptimo de neumático.	52
Tabla 4-2 Expansión CBR sumergido mezcla suelo - neumático triturado	52
Tabla 5-1 Comparación de esfuerzos cortantes.	54
Tabla 5-2 Comparación de CBR con y sin neumático para 100% de densidad seca	56
Tabla 5-3 Comparación de CBR para 12, 26 y 55 golpes.....	56
Tabla 5-4 Comparación de resultados tesis Viabilidad de reciclaje de neumáticos en ingeniería civil – Estudio de las características mecánicas de mezclas de suelo neumático triturado	58

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO 1. ENSAYOS DE CLASIFICACIÓN; GRANULOMETRÍA, LIMITE LIQUIDO Y LIMITE PLÁSTICO DE LOS SUELOS.....	63
ANEXO 2. ENSAYOS DE RESISTENCIA AL CORTE SUELO N.3 CARRERA 24 N° 31 CENTRO – (ARENA ARCILLOSA).....	70
ANEXO 3. ENSAYOS DE GRANULOMETRÍA Y RESISTENCIA AL CORTE DEL NEUMÁTICO TRITURADO.....	80
ANEXO 4. ENSAYOS DE RESISTENCIA AL CORTE DE LAS MEZCLAS SUELO –NEUMÁTICO TRITURADO.....	94

RESUMEN

TITULO:

ESTUDIO DE LAS CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DE MEZCLAS DE SUELOS – NEUMÁTICO TRITURADO*

AUTOR:

SÁNCHEZ AGUIRRE, Ariel Andrés**

CARREÑO VILLAMIZAR, Mónica María**

PALABRAS CLAVES:

Suelos, Neumático triturado, Ensayos, Caracterización, Resistencia, Esfuerzo, Deformación.

CONTENIDO

El presente documento muestra el estudio de las características mecánicas que se realizaron a un suelo fino – granular al ser mezclado con neumático triturado. Inicialmente para la caracterización del suelo se practicaron ensayos de granulometría, límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad y se clasificó de acuerdo al sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS), posteriormente para determinar su resistencia se tuvo en cuenta los ensayos de corte directo, compresión simple y relación de soporte de California o CBR.

El neumático empleado en el estudio proviene de un proceso de raspado de la banda de rodamiento de la llanta, el tamaño y porcentaje óptimo de neumático triturado a emplear en la mezcla se determinó a partir del análisis de la resistencia al corte, para luego determinar la resistencia de esta mezcla y proceder a comparar el comportamiento con el suelo sin modificar. Los resultados de los laboratorios de resistencia mostraron que el comportamiento del suelo mezclado con neumático triturado fue diferente, disminuyendo en algunos casos y aumentando en otros, con base en esto se concluye que la adición de neumático triturado al suelo podría servir para condiciones en que el suelo tenga solicitud de resistencia en su mayoría por cortante pero debería estudiarse en el caso en que el suelo tuviera como condición crítica cargas de compresión o de penetración.

*Proyecto de grado

**Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas - Escuela de Ingeniería Civil – Director Ingeniera Hebenly Celis Leguizamo.

ABSTRACT

TITLE:

STUDY OF THE MECHANICALS CHARACTERISTICS OF MIXTURES OF SOILS –SHREDDED TIRES

AUTHOR:

SÁNCHEZ AGUIRRE, Ariel Andrés
CARREÑO VILLAMIZAR, Mónica María

KEY WORDS:

Soils, Shredded tire, Testing, Characterization, Resistance, Stress, Deformation.

CONTENT

This paper shows the study of mechanical characteristics was done on a fine – granular soil when it was mix with shredded tire. Initially for soil characterization tests were performed grain size, liquid limit, plastic limit and plasticity index and it was classified according to the unified soil classification (SUCS), then for resistance was taken into account the shear test direct, simple compression and California Bearing Ratio or CBR.

The tire used in the study comes from a process of scraping the tread of the tire, the size and optimal percentage of shredded tires to be used in the mixture were determined from the analysis of shear strength, and then determine resistance of this mixture and proceed to compare the performance without changing soil.

The laboratory results showed that the resistance behavior of soil mixed with shredded tire was different, decreasing in some cases and increasing in others, on this basis it is concluded that the addition of shredded tire in the soil could be used for conditions where the Soil application of resistance has mostly shear but should be considered in cases where the soil had a condition critical compression loads or penetration.

*Degree grade

**Faculty of Mechanical Engineering Physics - School of Civil Engineering – Director Engineer Hebenly Celis Leguizamo.

INTRODUCCIÓN

El neumático triturado y la mezcla suelo – neumático triturado han sido utilizados como materiales de construcción en proyectos como taludes, terraplenes para vías, rellenos para muros de contención, aplicaciones de drenaje, aislamiento térmico y rellenos sanitarios, aprovechando sus ventajas técnicas como su bajo peso, alta permeabilidad, durabilidad y resistencia química.

En estudios anteriores ha resultado que el comportamiento del material cambia con la variación del tamaño del neumático.

Con este proyecto se quiere evaluar el comportamiento mecánico de la mezcla suelo – neumático para un tamaño de neumático comprendido entre el tamiz N°4 y el N°200. El material utilizado es el sobrante de la trituración de llantas usadas, las cuales han sido separadas de otros elementos como el acero y textiles obtenidos también en el proceso de trituración.

El proyecto consta de dos partes, en la primera se obtuvo la cantidad y tamaño óptimo de neumático triturado de los diferentes tamaños obtenidos en el proceso de trituración del material.

En la segunda parte se estudian las características mecánicas del material mediante ensayos de compresión inconfiada, corte directo y CBR. Los ensayos se realizaron a un tamaño de neumático triturado, el cual se mezcló con un suelo fino – granular.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Obtener las características mecánicas en suelos Fino-granulares mezclados con neumático triturado.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Establecer la cantidad y tamaño óptimo de neumático reciclado que se le debe agregar a un suelo para obtener su mejor comportamiento.
- Obtener los parámetros de resistencia al corte de mezclas de neumático triturado con suelos fino-granulares.
- Analizar las características mecánicas que presenta el suelo al incorporarle el neumático.

ANTECEDENTES

A continuación se presentan algunos estudios que identifican posibles aplicaciones y opciones de reciclaje para neumáticos usados dentro de la ingeniería civil:

Tabla 0-1 Resumen de estudios experimentales involucrando neumático triturado

APLICACIÓN	LUGAR	TAMAÑO NEUMÁTICO [mm]	COMPORTAMIENTO	REFERENCIA
Rellenos para muros de contención	_____	12.7	<ul style="list-style-type: none"> - Factores de seguridad aumentaron cuando se utilizaba neumático. - Ahorro en el costo del muro del 52 – 67%. 	Cecich y otros (1996)
Rellenos de bajo peso y terraplenes para vías	Minnesota, Oregon y Colorado	50.8 – 4.75	<ul style="list-style-type: none"> - Los asentamientos en terraplenes construidos con neumático triturado estuvieron entre 10% y 15% calculados con respecto al espesor inicial. - Se consideró óptimo un contenido de neumático de 40% en peso en la mezcla suelo – neumático. 	Ahmed y Lovell (1993)
Rellenos de aproximación a puentes	Maine Turnpike	Tipo A = 75 Tipo B = 305	Los asentamientos medidos en el terreno resultaron 13% más altos que los esperados de acuerdo al laboratorio debido en parte a la compresión a largo plazo.	Humphrey y otros (2000)
Terraplén en vías	Estado de New York	305	La compresibilidad inmediata debida a la colocación de la sobrecapa estuvo entre el 10% y el 12%, y el asentamiento a largo plazo medido en un período de 60 días después de la colocación de la sobrecapa estuvo entre 0.01 y 0.025 m o en términos de deformación unitaria entre 0.3% y 0.9%.	Dickson y otros (2001)

Terraplén de acceso	Winnipeg, Manitoba, Canadá	50 150 300	Deformaciones de 36.5%, 38.5%y 41% para tamaños de neumático de 50 mm, 150 mm, y 300 mm respectivamente.	Shalaby y Khan (2002)
Terraplén en vías	_____	38.1	-Proporción 50/50 en volumen. El máximo asentamiento fue de 12 mm. -Después de un año no se evidenciaron asentamientos diferenciales significativos.	Salgado y otros (2003)
Terraplén en vías	_____	_____	El asentamiento fue aproximadamente el doble del que se obtiene en terraplenes convencionales. Las presiones verticales del relleno en el suelo de fundación fueron la mitad que las ejercidas normalmente en terraplenes convencionales.	Hoppe y Mullen (2004)

Fuente: CELIS, Hebenly. Evaluación de mezclas de arena y goma triturada como rellenos de muros de contención. Tesis de Maestría Universidad de Puerto Rico. 2008. 255p

Como se observa, los estudios en que se involucra el neumático triturado han sido desarrollados en otros países dándole una disposición adecuada a este material, pero en nuestro país Colombia la investigación en este campo ha sido muy poca.

En la tesis “viabilidad de reciclaje de neumáticos en ingeniería civil” estudiaron tres suelos (fino, arena y grava), los cuales fueron mezclados con tamaños de neumático triturado de 4.75 mm. y 2 cm. en una proporción en 30% de peso equivalente a 50% en volumen, a estas mezclas se le realizaron ensayos como compresión simple, corte directo y CBR.

Tabla 0-2 Resumen tesis "Viabilidad de reciclaje de neumáticos en ingeniería civil"

Proyecto		VIABILIDAD DE RECICLAJE DE NEUMÁTICOS EN INGENIERÍA CIVIL				
Suelos		Arcilla inorgánica de baja a media plasticidad (CL)				
		Arena mal graduada (SP)				
		Grava bien graduada (GW)				
Neumático	Tamaño	N°4 (4.75mm) y 3 / 4"(2cm)				
	Forma	Prismática (Rectangular)				
	Proporción en la mezcla	50% volumen (30%peso)				
			Suelo	3 / 4"	N°4	
Ensayo de corte directo		CL	Cohesión [kg/cm ²]	0.503	-----	0.245
			Angulo de Fricción	15	-----	24
		SP	Cohesión [kg/cm ²]	0	-----	0
			Angulo de Fricción	40°	-----	42°
Ensayo de compresión simple		CL	qu [kg/cm ²]	1.39	-----	0.17
Relación de soporte de california o CBR a 55 golpes sumergido		CL	CBR 0,1"	5.86	3.10	1.72
			CBR 0,2"	5.89	3.17	1.81
		SP	CBR 0,1"	20.26	17.23	7.46
			CBR 0,2"	20.56	20,61	7.93

Fuente: GÓMEZ, Eileen y MUNEVAR, Nurian. Viabilidad de reciclaje de neumáticos en aplicaciones de ingeniería civil. Bucaramanga.; Tesis de grado de Universidad Industrial de Santander, 2008. 84p.

INVESTIGACIÓN REALIZADA

Con el fin de comparar el comportamiento del suelo en su estado natural y posteriormente reforzado con neumático triturado, se realizaron los ensayos de resistencia al suelo; compresión simple, corte directo y CBR.

Posteriormente se escogió el tamaño y porcentaje óptimo del neumático de acuerdo a su resistencia al corte mediante el ensayo de corte directo para realizar nuevamente estos ensayos a la mezcla suelo-neumático triturado con la proporción encontrada y comparar los resultados.

Se caracterizaron tres muestras de suelos tomados de excavaciones en diferentes zonas del área metropolitana, de estos se escogió uno al que se le realizaron las pruebas anteriormente descritas.

1 CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES

En el presente capítulo se hará una descripción de los materiales utilizados en este trabajo experimental incluyendo los resultados de la caracterización de estos.

1.1 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO (I.N.V.E – 123– 07)

La distribución de tamaños de las partículas de un suelo, es uno de los primeros aspectos a considerar en la determinación de las propiedades mecánicas de un suelo.

La granulometría es el fraccionamiento del mismo en diferentes porciones según el tamaño de las partículas. Estas fracciones se separan haciendo uso de tamices de diferentes aberturas.

El procedimiento consiste en secar una muestra de suelo, conocer su peso y proceder a separar en diferentes fracciones por medio de tamices empezando por los de mayor abertura y ayudando su paso por el tamiz No. 200 mediante lavado con agua.

Finalmente se determina el peso seco de las partículas en cada tamiz y se calcula en porcentaje de cada fracción respecto al peso inicial.

Figura 1-1 Equipo utilizado para tamizado



Fuente: Registro fotográfico propio

1.2 ENSAYOS DE LÍMITES DE ATTERBERG

1.2.1 Determinación del límite líquido de los suelos (I.N.V. E – 125 – 07)

Esta propiedad se mide mediante un procedimiento normalizado en que una mezcla de suelo y agua, capaz de ser moldeada, se deposita en la Cuchara de Casagrande, y se golpea consecutivamente contra la base de la máquina, haciendo girar la manivela, hasta que la zanja que previamente se ha recortado, se cierra en una longitud de 12 mm (1/2"). Si el número de golpes para que se cierre la zanja es 25, la humedad del suelo (razón peso de agua/peso de suelo seco) corresponde al límite líquido.

Un suelo con contenido de agua o humedad por debajo del límite líquido se encuentra en estado plástico y con humedad superior se encuentra en estado líquido.

1.2.2 Límite plástico e índice de plasticidad de suelos (I.N.V. E – 126 – 07)

El Límite plástico es humedad por encima de la cual el suelo está en estado plástico y por debajo de ella está en estado semisólido o sólido.

Para determinar su valor se amasan rollitos de suelo que van perdiendo humedad por contacto con la superficie de amasado. Cuando los rollitos son de 3 mm y empiezan a agrietarse, el suelo se encuentra en el límite plástico y se procede a determinar el contenido de humedad.

El índice de plasticidad mide la magnitud del intervalo de humedades, en el que el suelo se comporta plásticamente. Se calcula como la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico.

Figura 1-2 Equipo y procedimiento para el ensayo de límites



Fuente: Registro fotográfico propio

1.3 DESCRIPCIÓN DE LOS MATERIALES.

Los materiales escogidos para este proyecto fueron: Neumático triturado proveniente de la empresa METROLLANTAS, suelos de excavaciones ubicadas en las zonas de Provenza, Floridablanca y en la Carrera 24 N°31 Centro, a continuación se describen con más detalle estos materiales:

1.3.1 Suelo de Provenza

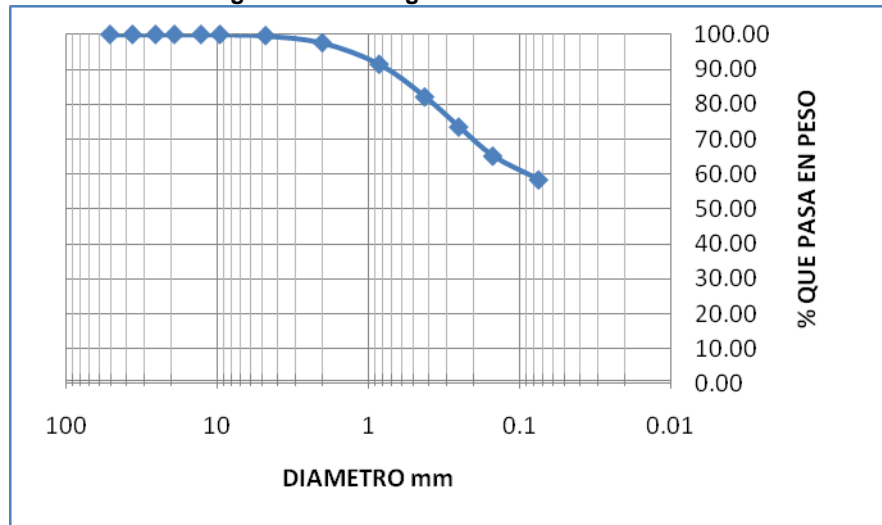
Este suelo presenta un color rojizo con una textura arcillosa con gran contenido de arenas, según SUCS este se clasifica como una arcilla de baja plasticidad CL, en la Figura 1-3 y en la Figura 1-4 se observan la muestra del suelo y la granulometría del material. En este proyecto será designado como suelo N°1.

Figura 1-3 Suelo N°1



Fuente: Registro fotográfico propio

Figura 1-4 Curva granulométrica suelo N°1



Fuente: Elaboración propia

1.3.2 Suelo de Floridablanca

Este suelo presenta un color amarillento claro con textura arenosa con partículas subredondeadas, según SUCS este se clasifica como una arena limosa mal graduada SP-SM, en la Figura 1-5 se observa la muestra del suelo y la

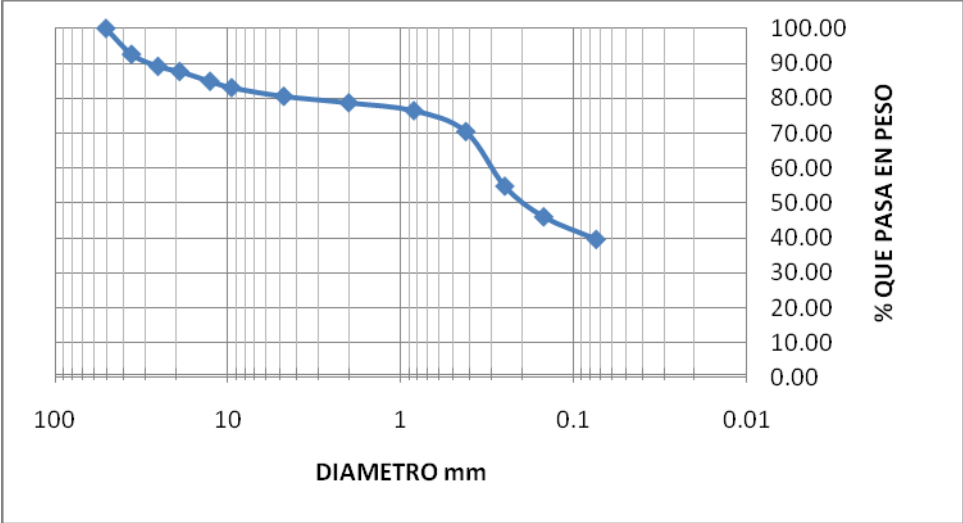
granulometría del material se presenta en la Figura 1-8. En este proyecto será designado como suelo N°3.

Figura 1-7 Suelo N°3



Fuente: Registro fotográfico propio

Figura 1-8 Curva granulométrica suelo N°3



Fuente: Elaboración propia

1.3.4 Resumen de la caracterización de los suelos

La Tabla 1-1 presenta el resumen de los resultados obtenidos de los ensayos de granulometría y límites de Atterberg realizados a cada una de las muestras de suelo:

Tabla 1-1 Resumen clasificación de los suelos

Suelo	Ubicación	Granulometría		Límites		Clasificación SUCS
1	Provenza	% G	0,33	LL	47,03	ARCILLA DE BAJA PLASTICIDAD CL
		% A	41,20	LP	24,37	
		% F	58,18	IP	22,66	
2	Floridablanca	% G	3,21	LL	35,37	ARENA LIMOSA SM
		% A	70,95	LP	25,57	
		% F	25,52	IP	9,80	
3	Cra. 24 N° 31 Centro	% G	19,43	LL	39,43	ARENA ARCILLOSA SC
		% A	41,01	LP	23,20	
		% F	38,01	IP	16,23	

Fuente: Elaboración propia

Una vez se determinó las características de cada suelo, se escogió uno para el desarrollo de la investigación, el cual se basó en su granulometría donde el porcentaje de arenas y finos fuera significativo. El suelo escogido fue el suelo N°3 (arena arcillosa SC).

1.3.5 Neumático reciclado

Nuestro país cuenta con un gran parque automotor y por ende la cantidad de neumáticos desechados continuamente es significativa sin registrarse en general ningún sistema formal de disposición selecta o lugares especialmente destinados al efecto, motivo por el cual se busca darle una aplicación adecuada en la ingeniería civil aprovechando sus propiedades como el bajo peso específico, elasticidad entre otras.

Se evaluó diferentes alternativas para la obtención del material y su posterior trituración, entre las que se encontraron locales informales que reciclan estos neumáticos y son vendidos para reencauche, combustión y productos artesanales.

La dificultad que se encontró con este material fue en su proceso de corte ya que manualmente solo se obtuvo tamaños superiores a 1cm, que para efecto de los ensayos de laboratorio presentaban dificultad por lo que debían ser sometidos a un proceso de trituración más complejo y obtener tamaños inferiores a este.

Otra de las alternativas que se encontró fueron empresas que adquieren parte de estas llantas fuera de uso, evalúan sus condiciones y según normas de calidad extienden su vida útil sometiéndola al proceso de reencauche. Durante este proceso se efectúa el raspado de la banda de rodamiento, preparando el perfil y textura de la llanta, dando lugar a un material donde los trozos de neumático tiene tamaños inferiores a 4.75 mm.

1.3.5.1 Neumático triturado

Según lo mencionado anteriormente y debido a que en la ciudad y en el país no se encuentra la tecnología adecuada para llevar a cabo el proceso de trituración de las llantas, el material para la investigación se obtuvo de la empresa reencauchadora METROLLANTAS ubicada en la calle 14 N°15 – 75 que resulta del raspado a la banda de rodamiento como se muestra en la Figura 1-9 y Figura 1-10.

La producción de este material es de aproximadamente 10 toneladas al mes a un precio de \$200 por kilogramo.

Figura 1-9 Equipo utilizado en el raspado del neumático



Fuente: Registro fotográfico propio

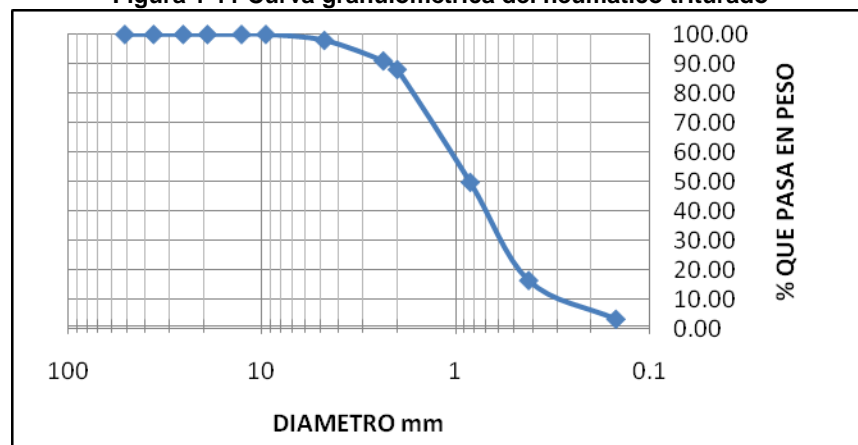
Figura 1-10 Material resultado del raspado de la banda de rodamiento del neumático



Fuente: Registro fotográfico propio

A este material se le realizó un tamizado cuya curva granulométrica representativa se muestra en la Figura 1-11.

Figura 1-11 Curva granulométrica del neumático triturado



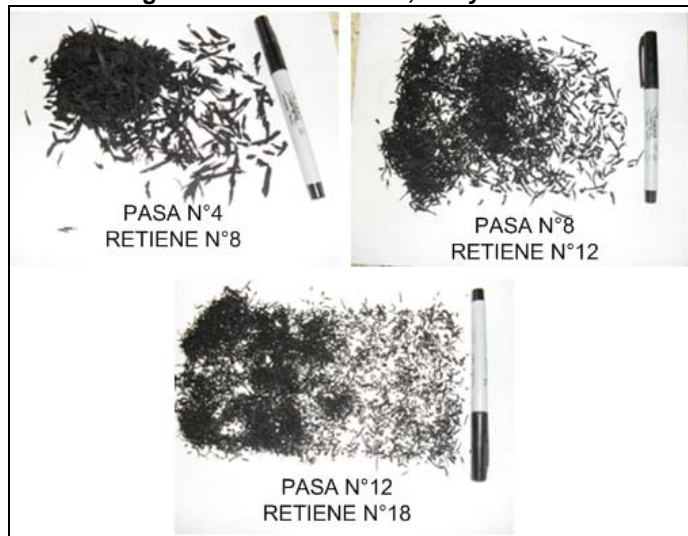
Fuente: Elaboración propia

La distribución de tamaños de las partículas según la curva granulométrica está comprendido entre el tamiz N°4 (4.75mm) y el tamiz N°200 (0.075mm) y la forma de estas son alargadas.

Para el desarrollo de este proyecto se tomó el material completo y tres tamaños del mismo, los cuales están comprendidos en los siguientes intervalos:

- Tamaño N°1: Pasa tamiz N°4 retiene tamiz N°8
- Tamaño N°2: Pasa tamiz N°8 retiene tamiz N°12
- Tamaño N°3: Pasa tamiz N°12 retiene tamiz N°18

Figura 1-12 Tamaños N°1, N°2 y N°3



Fuente: Registro fotográfico propio

2 ENSAYOS DE RESISTENCIA DEL SUELO SIN NEUMÁTICO.

2.1 ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO (I.N.V. E – 142 – 07).

La importancia de la compactación de suelos estriba en el aumento de la resistencia y disminución de la capacidad de deformación que se obtiene al someter el suelo a técnicas convenientes, que aumentan el peso específico seco, disminuyendo sus vacíos.

El propósito de un ensayo de compactación es determinar la correcta cantidad de agua a usar cuando se compacte el suelo, y el grado de compacidad (Densidad seca) que puede esperarse al compactarse el suelo en este grado de humedad óptimo.

Este ensayo se realiza en un molde de diámetro de 4" y una altura de 4.59", con un martillo de $W = 54 \text{ kg}$ (10lb) que cae desde una altura de $h = 457 \text{ mm}$ (18"). El suelo se compacta en 5 capas(n) cada una con 25 golpes(N) para una energía de compactación de:

$$E = \frac{WhNn}{V} = 56250 \frac{\text{lb} - \text{pie}}{\text{pie}^3}$$

Figura 2-1 Equipo proctor modificado



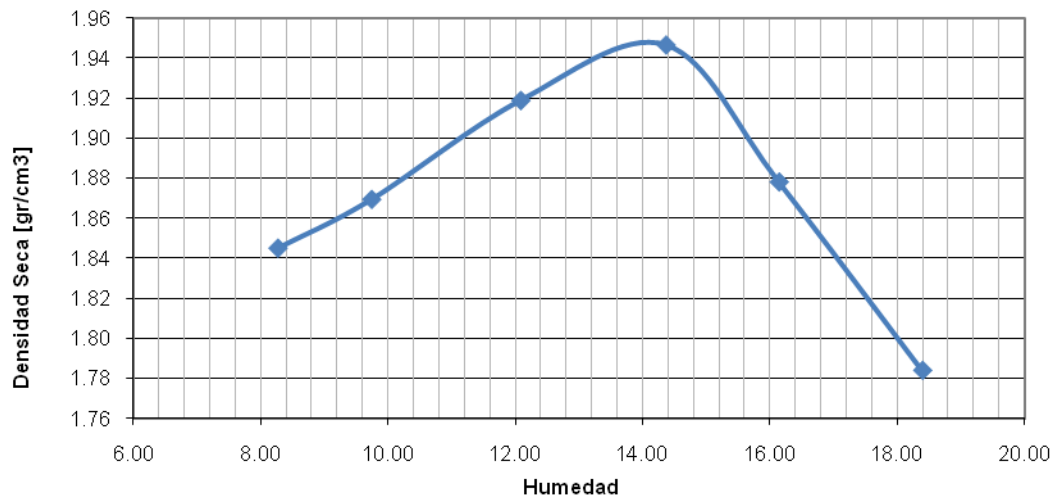
Fuente: Registro fotográfico propio

Tabla 2-1 Humedad óptima del suelo

Suelo	Humedad Optima	Densidad Seca [gr/cm ³]
N°3	14.36	1.95

Fuente: Elaboración propia

Figura 2-2 Humedad óptima del suelo



Fuente: Elaboración propia

2.2 ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE (I.N.V. E – 152 – 07).

El objeto del ensayo es determinar la resistencia a la compresión inconfiada de suelos cohesivos bajo condiciones inalteradas o remoldeadas, aplicando carga axial, usando cualquiera de los métodos de resistencia controlada o deformación controlada.

Consiste en una probeta de dimensiones de longitud de 15 cm y 8cm de diámetro, para dichas dimensiones la probeta será llamada probeta mediana.

Para su compactación fue necesario calcular el número de golpes con el objetivo de conservar la energía de compactación del proctor modificado, teniendo en cuenta de realizarla con la humedad óptima para asegurar la máxima densidad seca del suelo.

El material fue compactado en 5 capas de 36 golpes con un martillo de 5.5 lb que se deja caer desde una altura de 1.5 pies.

Las condiciones del ensayo fueron:

- Carga aplicada a una velocidad de 1mm/min
- La falla se determina cuando se mantiene constante en más de tres lecturas o el valor de la carga empieza a disminuir.

Figura 2-3 Equipo utilizado ensayo compresión simple



Fuente: Registro fotográfico propio

Figura 2-4 Falla de la probeta a compresión simple



Fuente: Registro fotográfico propio

Se puede observar que la probeta fallo a 45°, clasificándose como un material frágil.

Tabla 2-2 Esfuerzo máx. a la compresión simple del suelo sin neumático

Suelo	Esfuerzo Max. [kg/cm ²]
N°3	3.66

Fuente: Elaboración propia

2.3 ENSAYO DE CORTE DIRECTO (I.N.V.E – 154 – 07).

El ensayo de corte directo se realiza con el objetivo principal de determinar el valor de la cohesión, así como el ángulo de fricción interna de un suelo sometido a esfuerzo cortante.

Este ensayo impone sobre un suelo condiciones idealizadas, o sea indica la ocurrencia de una falla a través de un plano de localización predeterminado. Sobre este plano actúan dos fuerzas, una normal por una carga vertical aplicada y un esfuerzo cortante debido a la acción de una carga horizontal.

Para determinar los parámetros resistentes, c y ϕ de un suelo, se utiliza un equipo de corte directo en el que una probeta de suelo de forma cilíndrica que se encuentra restringida lateralmente por una pared rígida, se corta a lo largo de un plano horizontal mientras se encuentra sometida a una presión normal a dicho plano.

Las condiciones del ensayo fueron:

- Carga aplicada a una velocidad de 1mm/min.
- Muestra compactada con la energía de compactación del proctor modificado y humedad optima.

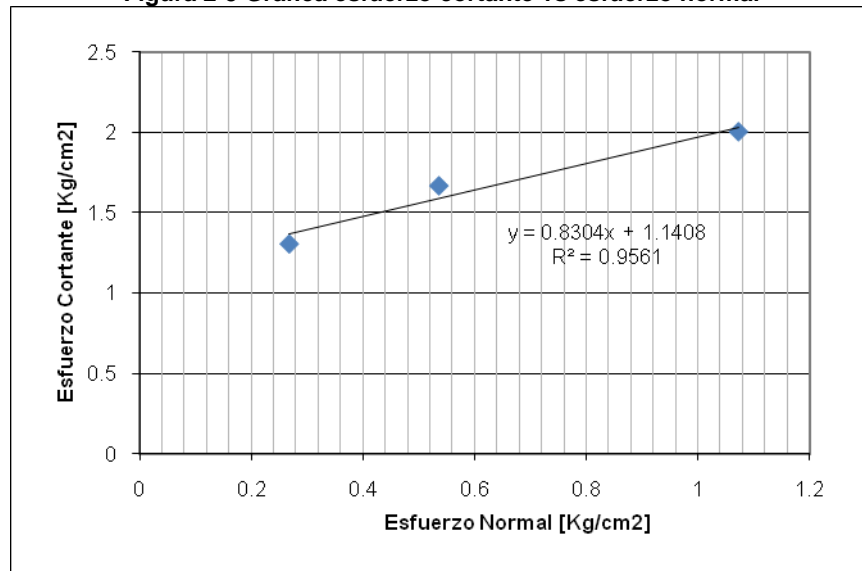
- La falla se determina cuando se mantiene constante en más de tres lecturas o el valor de la carga empieza a disminuir.
- Fuerza normal aplicada a la muestra 8000 gr, 16000gr y 32000 gr.

Tabla 2-3 Esfuerzos cortantes máximos del suelo

Suelo	Carga Normal[kg]	Esfuerzo Cortante[kg/cm ²]
N°3	8	1.309
	16	1.669
	32	2.005

Fuente: Elaboración propia

Figura 2-5 Grafica esfuerzo cortante vs esfuerzo normal



Fuente: Elaboración propia

Tabla 2-4 Cohesión y fricción del suelo

Suelo	Cohesión [kg/cm ²]	Angulo de fricción [φ]
N°3	1.1408	39.71°

Fuente: Elaboración propia

Figura 2-6 Muestras falladas a corte directo



Fuente: Registro fotográfico propio

Figura 2-7 Equipo utilizado para el ensayo de corte directo.



Fuente: Registro fotográfico propio.

2.4 ENSAYO DE RELACIÓN DE SOPORTE DE SUELO O CBR (I.N.V.E – 148 – 07)

Se llama valor de la relación de soporte (CBR) al tanto por ciento de la presión ejercida por el pistón sobre el suelo, para una penetración determinada, con relación a la presión correspondiente a la misma penetración en una muestra patrón (Tabla 2.4-1).

Tabla 2-5 Características muestra patrón

Penetración		Presión		
mm	Pulgadas	Mpa	Kg./cm ²	lb/plg ²
2.54	0.1	6.90	70.31	1.000
5.08	0.2	10.35	105.46	1.500

Fuente: Norma (I.N.V.E – 148 – 07)

El ensayo de CBR se lleva a cabo con las siguientes condiciones:

- Carga aplicada a una velocidad de 1mm/min.
- Muestra compactada a 12, 26 y 55 golpes en 5 capas con el contenido de humedad óptimo.
- Para CBR sumergido el periodo de inmersión en el agua es de cuatro días (tiempo estimado para suelos finos).
- Después del periodo de inmersión se deja escurrir el molde durante 10 minutos antes de ser ensayado.

Figura 2-8 Equipo y falla probeta para CBR.



Fuente: Registro fotográfico propio.

Figura 2-9 Falla probeta y equipo CBR sumergido



Fuente: Registro fotográfico propio

En la Tabla 2-6 se muestra los resultados del ensayo de CBR sumergido y sin sumergir para el suelo N°3. En el Anexo 2 se muestran los cálculos de estos ensayos.

Tabla 2-6 Resumen ensayo de CBR.

% Densidad máx.	Densidad [kg/m ³]	SIN SUMERGIR		SUMERGIDO	
		CBR 0.1"[%]	CBR 0.2"[%]	CBR 0.1"[%]	CBR 0.2"[%]
95	1852.5	20.48	22.68	12.1165	12.99875
98	1911	22.19	26.78	15.3574	16.5965
100	1950	23.32	29.52	17.518	18.995

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2-7 Expansión CBR sumergido

N° GOLPES	12	55
EXPANSIÓN [mm]	1.956	1.118
EXPANSIÓN [%]	1.54	0.88

Fuente: Elaboración propia

3 TAMAÑO Y PORCENTAJE ÓPTIMO DE NEUMÁTICO TRITURADO

3.1 TAMAÑO OPTIMO DE NEUMÁTICO TRITURADO.

Para determinar el tamaño óptimo del neumático, se analizó la resistencia al corte mediante ensayos de corte directo a cada uno de los tamaños escogidos y al material sin tamizar, para encontrar el que mayor resistencia ofrecía, este material se compacto con la densidad máxima hallada por medio del ensayo de proctor.

3.1.1 Ensayo de proctor al neumático triturado.

Para la realización de este ensayo se utilizo un molde de dimensiones 33 mm de diámetro y una altura de 70 mm, la muestra se compacto en 3 capas de 25 golpes, el equipo utilizado para llevar a cabo el ensayo se muestra en la Figura 3-1.

El proceso de compactación de las probetas fue difícil ya que el neumático triturado es un material que no tiene cohesión por lo que sus partículas no se adhieren.

Figura 3-1 Equipo utilizado para el ensayo de proctor en el neumático triturado.



Fuente: Registro fotográfico propio.

El Anexo 3 se muestra los resultados del ensayo de proctor al neumático triturado, allí se observó que la densidad seca del material permanece constante a los cambios de humedad, esto se debe a que el neumático es un material que no absorbe agua.

La Tabla 3-1 muestra las densidades secas encontradas para cada uno de los tamaños utilizados.

3.1.2 Resistencia al corte del neumático triturado.

La resistencia al corte del neumático triturado se evaluó mediante el ensayo de corte directo bajo las recomendaciones generales de la norma (I.N.V.E – 154) con una velocidad de aplicación de la carga de 1mm/min y bajo cargas normales de 8, 16 y 32 kg, las muestras se compactaron usando el neumático triturado en seco y a la densidad seca máxima encontrada.

Debido a que el neumático es un material elástico, este sufre grandes deformaciones cuando se le aplica una fuerza, motivo por el cual para este ensayo se llevo hasta un 20% de su deformación unitaria.

El Anexo 3 se muestra los resultados del ensayo de corte directo al neumático triturado y en la Tabla 3-1 los ángulos de fricción encontrados para cada uno de los tamaños utilizados.

3.1.3 Resumen propiedades neumático triturado.

La Tabla 3-1 presenta el resumen de los ensayos de proctor y corte directo realizado a cada uno de los tamaños de neumático triturado.

Tabla 3-1 Resumen propiedades neumático triturado.

Tamaño	Densidad Seca [gr/cm³]	Angulo de fricción [φ]
Muestra completa	0.6609	26.42
N°1	0.5746	28.67
N°2	0.6199	26.31
N°3	0.5978	27.14

Fuente: Elaboración propia.

3.1.4 Resultado del tamaño óptimo de neumático para el suelo.

Como criterio de selección se tuvo en cuenta el tamaño que presentó mejor comportamiento a la compactación, es decir el que presentó el mayor valor de densidad seca, que para este caso fue el material completo.

No se tuvo en cuenta para la selección el ángulo de fricción ya que este parámetro no varió significativamente para cada tamaño como se puede observar en la Tabla 3-1.

Figura 3-2 Material escogido.



Fuente: Registro fotográfico propio.

3.2 PORCENTAJE ÓPTIMO DE NEUMÁTICO TRITURADO.

Una de las características que posee el neumático triturado utilizado es su bajo peso específico, por lo que porcentajes mayores al 20% (proporción en volumen) corresponden a gran cantidad de neumático lo que hacía difícil la mezcla y adherencia al suelo, por esta razón se optó por variar los porcentajes de 5%, 10%, 15% y 20% y hallar los parámetros de resistencia inicialmente a compresión simple y luego por medio del ensayo de corte directo.

Los cálculos para determinar las cantidades de los materiales en las mezclas se hicieron con la densidad suelta de cada uno.

Figura 3-3 Dificultad de utilizar porcentajes de neumático mayores al 20%



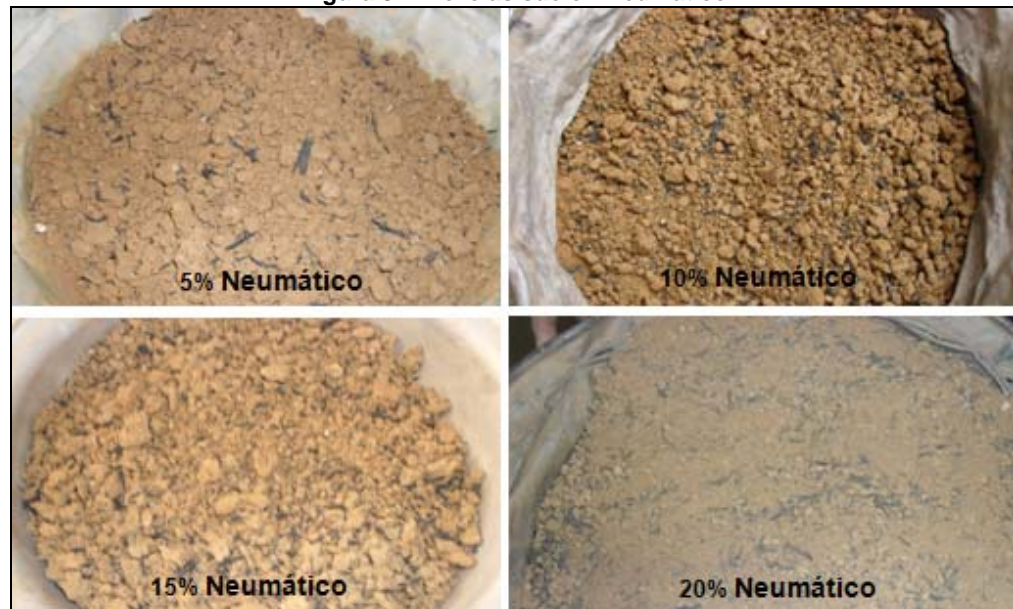
Fuente: Registro fotográfico propio.

Tabla 3-2 Densidad suelta de cada material.

Material	Vol. Molde [cm ³]	Peso molde[gr]	Peso Molde + Material[gr]	Peso Material [gr]	ρ suelta [gr/cm ³]
Suelo	926.169	4122	5368	1246	1.3453
Neumático	926.169	4298.7	4716.2	417.5	0.4508

Fuente: Elaboración propia

Figura 3-4 Mezclas suelo - Neumático



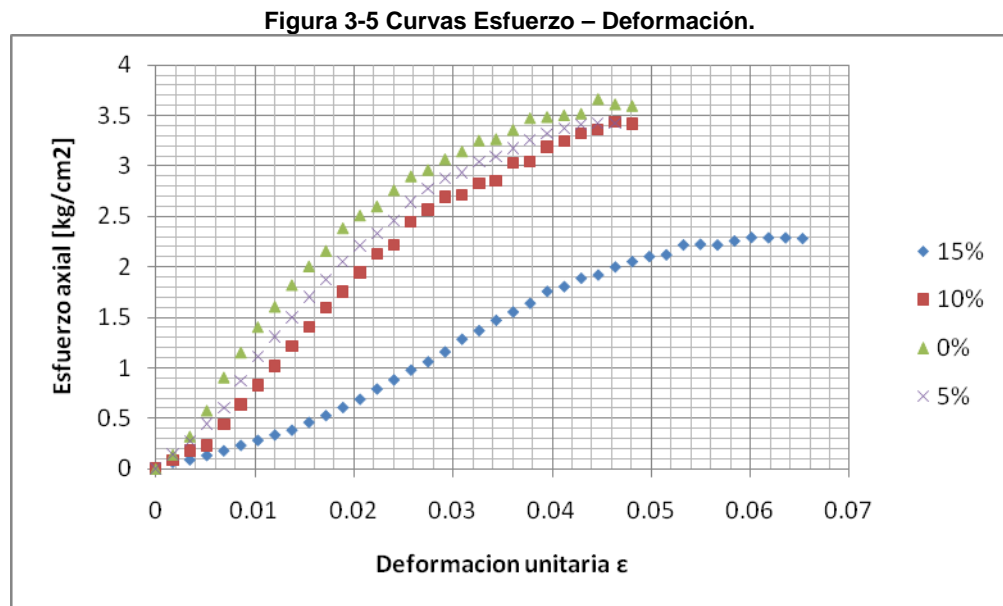
Fuente: Registro fotográfico propio

3.2.1 Ensayo de compresión simple (I.N.V. E – 152 – 07).

Las dimensiones de las probetas para compresión simple fueron las mismas que se utilizaron en el ensayo para suelo sin neumático, estas muestras se compactaron con la misma energía del proctor modificado y humedad óptima.

Los resultados de los ensayos de compresión simple se encuentran en el Anexo 4. La Figura 3-5 muestra las curvas de Esfuerzo – Deformación de las mezclas de suelo con los diferentes porcentajes de neumático.

A medida que se aumenta la proporción de neumático triturado en el suelo, éste tiende a presentar un comportamiento plástico, la Figura 3-6 muestra el tipo de falla que se presenta en las diferentes probetas, que a diferencia del suelo sin neumático no presentan un plano de falla definido.



Fuente: Elaboración propia.

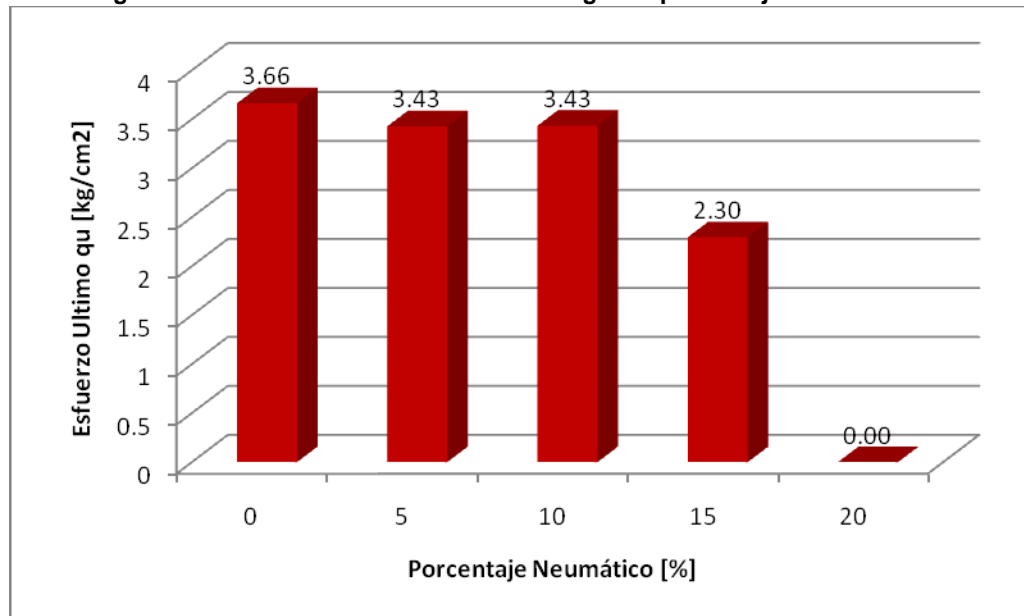
Figura 3-6 Tipo de falla a la compresión simple con porcentajes de neumático triturado.



Fuente: Registro fotográfico propio.

En la Figura 3-7 se muestra los esfuerzos últimos para los diferentes porcentajes de neumático triturado, en esta se observa una leve disminución del esfuerzo para los porcentajes de 5 en 6.4% y para 10 en 6.24%; y una disminución mayor para el porcentaje de 15 en 37.34%.

Figura 3-7 Variación del Esfuerzo último según el porcentaje de neumático.



Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de este ensayo solo sirvieron para describir el comportamiento del suelo a compresión reforzado con neumático, y no fue el indicado para obtener el porcentaje óptimo el cual mejora los otros parámetros de resistencia por lo que se procedió a determinarlo por medio del ensayo de corte directo.

3.2.2 Ensayo de corte directo (I.N.V.E – 154 – 07).

Las probetas de las mezclas suelo-neumático para el ensayo de corte directo fueron compactadas con las mismas condiciones utilizadas para el suelo sin neumático.

Los resultados de estos ensayos se encuentran en el Anexo 4.

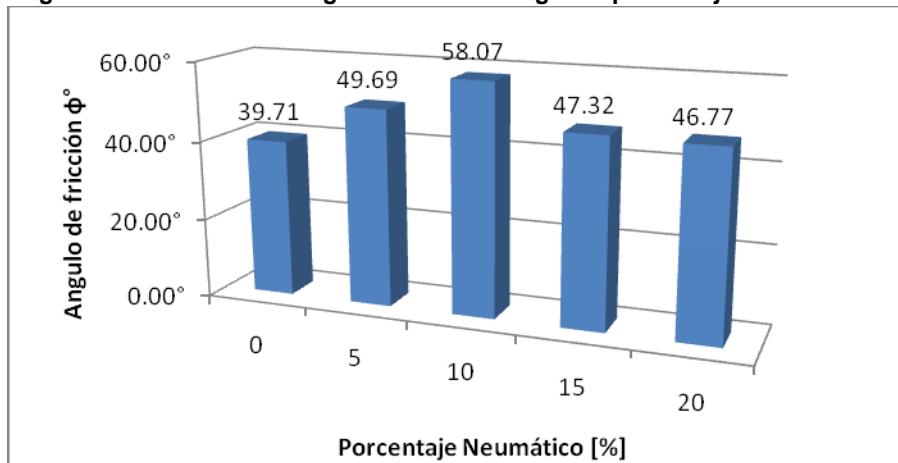
Figura 3-8 Falla de las probetas de corte directo de la mezcla suelo – neumático 10 y 15%



Fuente: Registro fotográfico propio.

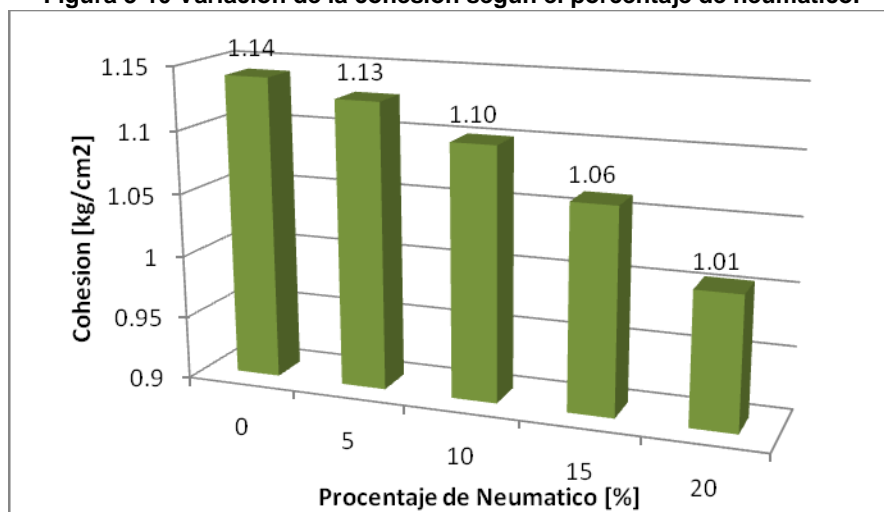
La Figura 3-9 muestra la variación del ángulo de fricción según el porcentaje de neumático, el cual aumenta hasta en un 46.23% para un 10% de neumático triturado (proporción en volumen) y luego presenta una disminución para porcentajes mayores a este. En la Figura 3-10 se aprecia como disminuye la cohesión de la mezcla a medida que aumenta la proporción de neumático.

Figura 3-9 Variación del ángulo de fricción según el porcentaje de neumático.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-10 Variación de la cohesión según el porcentaje de neumático.



Fuente: Elaboración propia.

Cabe resaltar que aunque las probetas de las mezclas suelo - neumático triturado fueron compactadas con la humedad óptima del suelo solo, la densidad seca máxima de estas disminuyó a medida que el porcentaje de neumático triturado aumentaba.

Tabla 3-3 Variación densidad seca según el porcentaje de neumático triturado.

% Neumático	Densidad seca [gr/cm ³]
0	1.95
5	1.86
10	1.81
15	1.71
20	1.52

Fuente: Elaboración propia.

- **Resumen propiedades mezclas suelo - neumático triturado.**

La Tabla 3-4 presenta el resumen del ensayo de corte directo realizado a cada una de las mezclas de suelo - neumático triturado.

Tabla 3-4 Resumen propiedades mezclas.

% Goma		0	5	10	15	20
Cohesión [kg/cm ²]		1.1408	1.1274	1.101	1.0628	1.0058
Angulo de fricción ϕ°		39.71°	49.69°	58.07°	47.32°	46.77°
Carga Max [kg]	8000 gr	39	39	42.95	38.1	37.05
	16000 gr	49.75	58.5	62.5	52.4	49.15
	32000 gr	59.75	69.3	82.8	65.25	63.3

Fuente: Elaboración propia.

- **Resultado del porcentaje optimo de neumático para el suelo**

Una vez determinados los parámetros de resistencia al corte (ángulo de fricción y cohesión), se escogió como **porcentaje óptimo el 10%** (porcentaje en volumen), ya que éste presentó mejor comportamiento al ser mezclado con el suelo.

4 ENSAYO DE RELACIÓN DE SOPORTE DE SUELO O CBR (I.N.V.E – 148 – 07) CON PORCENTAJE Y TAMAÑO OPTIMO DE NEUMÁTICO TRITURADO.

Para la compactación de las probetas se tuvo en cuenta las mismas condiciones usadas en el ensayo de CBR para suelo sin neumático.

Figura 4-1 Ensayo de CBR sumergido para la mezcla suelo – neumático.



Fuente: Registro fotográfico propio.

En la Tabla 4-1 se muestra los resultados del ensayo de CBR sumergido y sin sumergir para el suelo N°3 con el porcentaje óptimo de neumático triturado. En el Anexo 4 se muestran los cálculos de estos ensayos.

Tabla 4-1 Resumen del ensayo de CBR con porcentaje óptimo de neumático.

% Densidad máx.	Densidad [kg/m ³]	SIN SUMERGIR		SUMERGIDO	
		CBR 0.1"[%]	CBR 0.2"[%]	CBR 0.1"[%]	CBR 0.2"[%]
95	1729	10.93	9.97	1.207	0.839
98	1784	11.84	11.80	4.985	5.677
100	1820	12.46	13.02	7.504	8.902

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4-2 Expansión CBR sumergido mezcla suelo - neumático triturado

N° GOLPES	12	55
EXPANSION [mm]	2.972	1.600
EXPANSIÓN [%]	2.34	1.26

Fuente: Elaboración propia

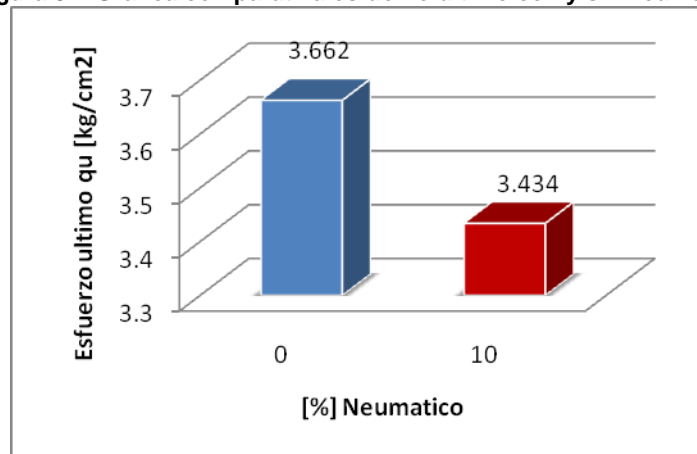
5 COMPARACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LOS ENSAYOS.

En este capítulo se hace una comparación de los resultados obtenidos de los ensayos de resistencia hechos al suelo sin neumático y con el porcentaje y tamaño óptimo de neumático triturado.

5.1 ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE.

En la Figura 5-1 se puede observar que la adición del neumático triturado en su porcentaje óptimo (10% proporción en volumen) y tamaño óptimo disminuye la resistencia a la compresión simple alrededor del 6.24%, aunque la disminución no representa un cambio muy significativo.

Figura 5-1 Grafica comparativa esfuerzo último con y sin neumático



Fuente: Elaboración propia

5.2 ENSAYO CORTE DIRECTO.

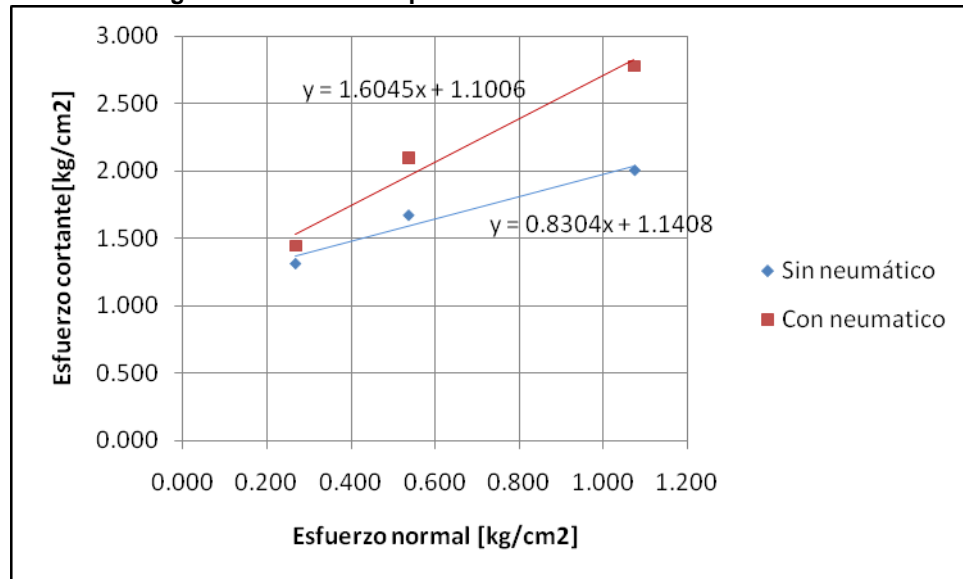
En la Tabla 5-1 y Figura 5-2, se puede observar un aumento de los esfuerzos cortantes hasta en un 38.55% al ser mezclado el suelo con el neumático triturado.

Tabla 5-1 Comparación de esfuerzos cortantes.

		8 kg	16 kg	32 kg
Sin Neumático	Esf. Cortante [kg/cm ²]	1.309	1.669	2.005
Con Neumático		1.441	2.097	2.778
[%] de aumento		10.08	25.64	38.55

Fuente: Elaboración propia

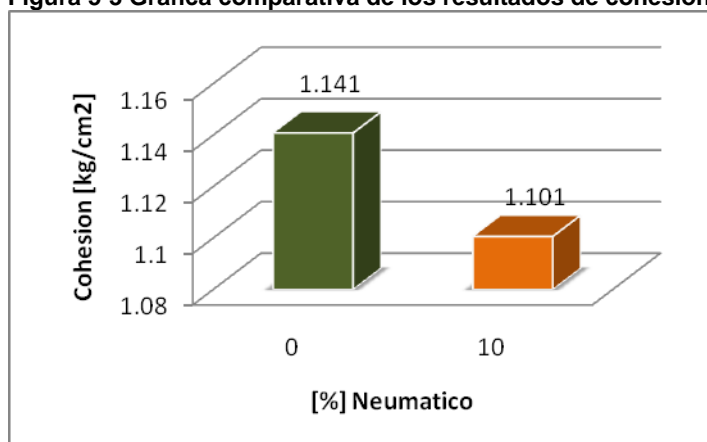
Figura 5-2 Grafica comparativa esfuerzo cortante vs normal.



Fuente: Elaboración propia

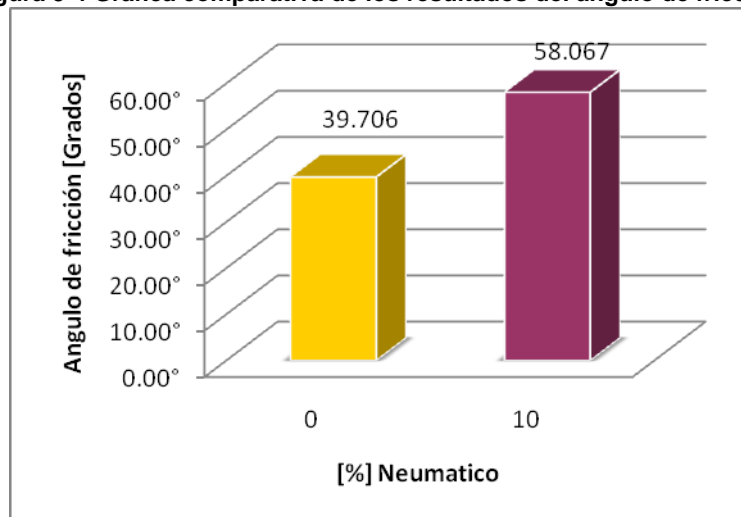
Para la mezcla de suelo con neumático triturado los resultados muestran una disminución de la cohesión mientras que su ángulo de fricción aumenta en 18.361 grados que corresponde a 46.23% respecto al suelo solo.

Figura 5-3 Grafica comparativa de los resultados de cohesión.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-4 Grafica comparativa de los resultados del ángulo de fricción.



Fuente: Elaboración propia.

5.3 ENSAYO DE RELACIÓN DE SOPORTE DE SUELO O CBR.

La siguiente tabla muestra los resultados de CBR a 0.1" y 0.2" para el 100% de densidad seca del suelo y de la mezcla suelo – neumático triturado obtenidos de la ecuación de la gráfica Densidad seca – CBR.

En general se observó que la resistencia a la penetración de la mezcla suelo – neumático triturado disminuye considerablemente siendo más crítico para los valores de CBR sumergido.

Tabla 5-2 Comparación de CBR con y sin neumático para 100% de densidad seca

	% Densidad máx.	SIN SUMERGIR		SUMERGIDO	
		CBR 0.1"[%]	CBR 0.2"[%]	CBR 0.1"[%]	CBR 0.2"[%]
Sin Neumático	100	23.321	29.515	17.518	18.995
Con Neumático	100	12.455	13.020	7.504	8.902
% de Disminución	100	46.593	55.887	57.164	53.135

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5-3 Comparación de CBR para 12, 26 y 55 golpes

	N° GOLPES	SIN SUMERGIR		SUMERGIDO	
		CBR 0.1"[%]	CBR 0.2"[%]	CBR 0.1"[%]	CBR 0.2"[%]
Sin Neumático	12	17.887	15.823	7.222	7.337
	26	19.603	21.093	11.693	12.839
	55	23.386	29.118	16.851	18.112
Con Neumático	12	11.695	11.466	3.783	4.127
	26	12.037	12.381	5.159	5.961
	55	13.412	14.903	8.254	9.859

Fuente: Elaboración propia

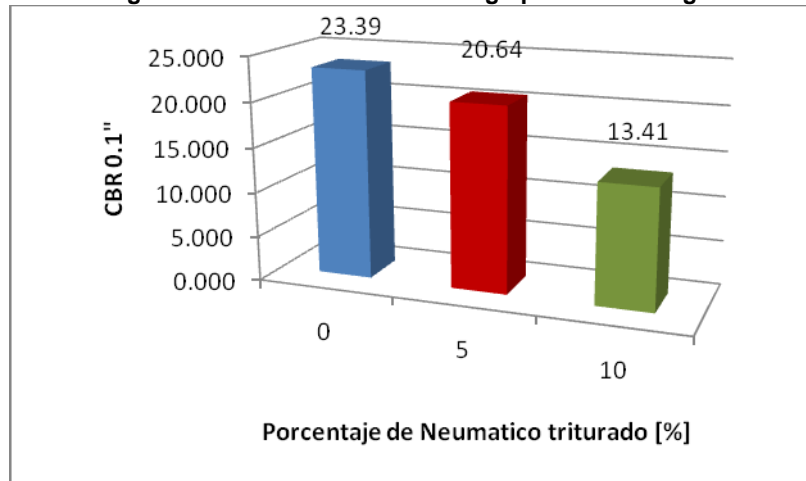
Según la Tabla 5-2 el porcentaje de disminución de CBR es significativo por lo cual se decidió realizar nuevamente un ensayo para un porcentaje menor en este caso para el 5% (proporción en volumen) de neumático triturado, con el fin de comprobar que la tendencia del CBR de la mezcla suelo – neumático triturado es disminuir al aumentar el porcentaje de neumático.

Este ensayo se hizo bajo las siguientes condiciones:

- Sin sumergir
- Con un solo punto el cual fue de 55 golpes (Densidad seca máxima).

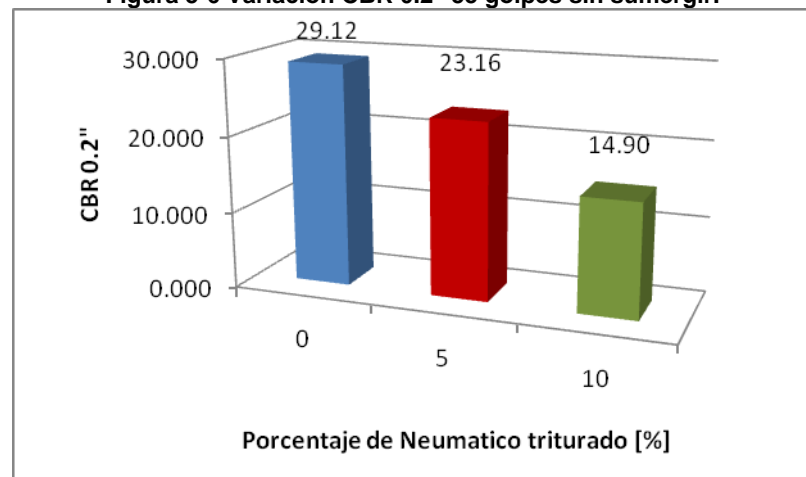
El resultado se comparó con los valores de la Tabla 5-3 para 55 golpes con 0 y 10% de neumático triturado.

Figura 5-5 Variación CBR 0.1" 55 golpes sin sumergir.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-6 Variación CBR 0.2" 55 golpes sin sumergir.



Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 5-4 se comparó los resultados obtenidos en este proyecto con los del proyecto "Viabilidad de reciclaje de neumático en ingeniería civil" para mostrar el comportamiento que tiene el suelo al agregarle neumático triturado para diferentes condiciones.

Tabla 5-4 Comparación de resultados tesis Viabilidad de reciclaje de neumáticos en ingeniería civil – Estudio de las características mecánicas de mezclas de suelo neumático triturado

Proyecto		VIABILIDAD DE RECICLAJE DE NEUMÁTICOS EN INGENIERÍA CIVIL				ESTUDIO DE LAS CARACTERÍSTICAS DE MEZCLAS DE SUELO - NEUMÁTICO TRITURADO				
Suelos		Arcilla inorgánica de baja a media plasticidad (CL)				Arena arcillosa (SC)				
		Arena mal graduada (SP)								
		Grava bien graduada (GW)								
Neumático	Tamaño	N°4 (4.75mm) y 3 / 4"(2cm)				Material completo, tamaño N° 1, N°2 y N°3				
	Forma	Prismática (Rectangular)				Alargada con espesores pequeños				
	Proporción en la mezcla	50% volumen (30%peso)				5, 10 ,15 y 20% en volumen				
			Suelo	Suelo + 3 / 4"	Suelo + N°4			Suelo	S + Material completo	
Ensayo de corte directo		CL	Cohesión [kg/cm ²]	0.503	-----	0.245	SC	Cohesión [kg/cm ²]	1.1408	1.101
			Angulo de Fricción	15	-----	24		Angulo de Fricción	39.71°	58°
		SP	Cohesión [kg/cm ²]	0	-----	0		Angulo de Fricción	39.71°	58°
			Angulo de Fricción	40°	-----	42°				
Ensayo de compresión simple		CL	qu [kg/cm ²]	1.39	-----	0.17	SC	qu [kg/cm ²]	3.66	3.434
Relación de soporte de california o CBR a 55 golpes sumergido		CL	CBR 0,1"	5.86	3.10	1.72	SC	CBR 0,1"	16.851	8.254
			CBR 0,2"	5.89	3.17	1.81		CBR 0,2"	18.112	9.859
		SP	CBR 0,1"	20.26	17.23	7.46				
			CBR 0,2"	20.56	20,61	7.93				

Fuente: Elaboración propia

CONCLUSIONES

Para los diferentes tamaños de neumático analizados N°1 (pasa tamiz N°4 – retiene tamiz N°8), N°2 (pasa tamiz N°8 – retiene N°12), N°3 (pasa tamiz N°12 – retiene tamiz N°18) y material completo, no se encontraron diferencias significativas en la resistencia del corte del material.

Los ensayos realizados (compresión simple, corte directo y CBR) pretenden evaluar propiedades mecánicas del suelo y de la mezcla suelo – neumático en diferentes condiciones.

Se observó que el tamaño de neumático utilizado (material completo) no siempre mejoro las propiedades mecánicas de la mezcla, y que el comportamiento en cada uno de los ensayos realizados fue diferente.

Para el ensayo de corte directo el cual evalúa la resistencia al corte del material, el valor del ángulo de fricción aumento en un 46.242% y la cohesión permaneció relativamente constante. Esto para un porcentaje de neumático de 10%.

En el ensayo de compresión inconfiada la adición del neumático no mostró aumento en la curva esfuerzo – deformación, presentándose valores relativamente iguales para el suelo solo y con porcentajes de neumático de 5 y 10%.

Contrario a los resultados anteriores el ensayo de CBR el cual evalúa la penetración de una carga dentro del material mostro disminuciones de resistencia bastante altas, 46.6% y 55.9% para CBR 0.1” y 0.2” respectivamente y de 57.16% y 53.13% para CBR 0.1” y 0.2” sumergido. (Para 10% de neumático).

Una de las posibles causas de esta disminución es debido a que el neumático es un material elástico, que ante cargas sufre grandes deformaciones y ofrece menos resistencia a esfuerzos normales.

La adición de neumático triturado al suelo hace que este tenga un comportamiento más plástico, como se evidencia en el ensayo a compresión simple, donde a medida que el porcentaje de éste aumenta la falla tiende a ser por aplastamiento de la probeta, a diferencia del suelo solo que presenta una falla por cortante.

Como no hay adherencia entre el suelo y el neumático triturado, se crean pequeñas grietas por donde el agua fluye con mayor facilidad, aumentando la humedad como se evidencia cuando se realizó el ensayo de CBR sumergido, aunque la variación de la humedad no fue muy significativa.

Los resultados muestran que la adición de neumático triturado podría servir para condiciones en que el suelo tenga solicitud de resistencia en su mayoría por cortante (como por ejemplo en taludes). Pero debería estudiarse en el caso en que el suelo tuviera como condición crítica cargas de compresión o de penetración.

Se recomienda verificar estos resultados con tamaños de neumático triturado significativamente más grandes.

Se recomienda probar estos resultados con otros tipos de suelo.

Se recomienda no utilizar porcentajes mayores del 20% (proporción en volumen) de este tipo de neumático triturado, ya que presenta problemas en la compactación para posteriores investigaciones.

Se recomienda obtener otros parámetros de comparación entre el suelo solo y mezclado con neumático triturado, como por ejemplo el de permeabilidad para saber si es viable su uso en estructuras de drenaje.

BIBLIOGRAFÍA

CELIS, Hebenly. Evaluación de mezclas de arena y goma triturada como rellenos de muros de contención. Tesis de Maestría Universidad de Puerto Rico. 2008. 255p.

DEL TORO, Wilfredo y CASTAÑEDA, Eduardo Guía de conocimientos básicos de mecánica de suelos. 1993. 127p.

GÓMEZ, Eileen y MUNEVAR, Nurian. Viabilidad de reciclaje de neumáticos en aplicaciones de ingeniería civil. Bucaramanga.; Tesis de grado de Universidad Industrial de Santander, 2008. 84p.

REY, Giovanni y PACHECO, John. Análisis del comportamiento de suelos reforzados con fibra sintética; Tesis de grado de Universidad Industrial de Santander, 2009. 137p.

I.N.V. E – 123 – 07 Análisis Granulométrico de Suelos por Tamizado

I.N.V. E – 125 – 07 Determinación del Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad de Suelos

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

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

I.N.V. E – 152 – 07 Compresión Inconfinada en Muestras de Suelos

I.N.V. E – 154 – 07 Determinación de la Resistencia al Corte Método de Corte Directo

**ANEXO 1. ENSAYOS DE CLASIFICACIÓN; GRANULOMETRÍA, LIMITE
LIQUIDO Y LIMITE PLÁSTICO DE LOS SUELOS**



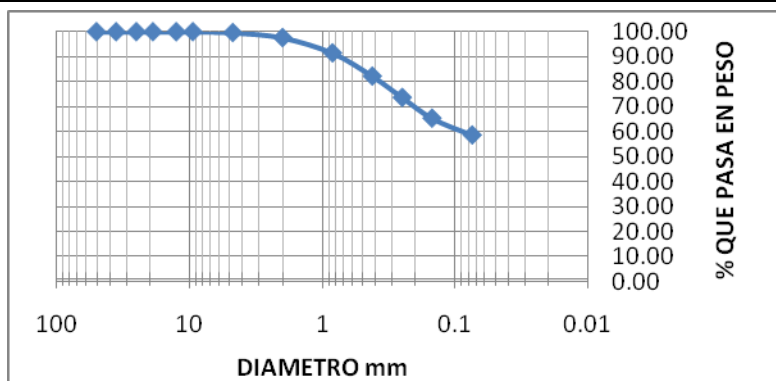
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS
ENSAYO DE GRANULOMETRIA INV E-123

FECHA Noviembre 6 de 2009
 PROYECTO Características mecánicas de mezclas de suelo-neumático triturado MUESTRA 1
 LOCALIZACIÓN Provenza

PESO TARA (gr)	9.5
TARA + MUESTRA SECA (gr)	1009.5

PESO INICIAL DE LA MUESTRA gr: 1000
 PESO DESPUÉS DE LAVADO gr: 429.5
 PESO SECO gr: 420
 PORCENTAJE DE ERROR %: 0.690

MALLA No.	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA	MALLA No.	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA
***	mm	gr	%	%	***	mm	gr	%	%
2"	50.8	0.00	0.00	100.00	10	2	20.4	2.04	97.63
1 1/2"	36.1	0.00	0.00	100.00	20	0.84	61.4	6.14	91.49
1"	25.4	0.00	0.00	100.00	40	0.42	93.4	9.34	82.15
3/4"	19.05	0.00	0.00	100.00	60	0.25	85.9	8.59	73.56
1/2"	12.7	0.00	0.00	100.00	100	0.149	83	8.30	65.26
3/8"	9.52	0.00	0.00	100.00	200	0.074	67.9	6.79	58.47
No. 4	4.75	3.30	0.33	99.67	PASA 200	***	1.8	0.18	
SUMA	***	3.30	0.33		SUMA		413.8	41.38	
					TOTAL		417.10	41.71	



D10 =
 D30 =
 D60 = 0.09

GRAVAS = 0.33 %
 ARENAS = 41.20 %
 FINOS = 58.18 %

CLASIFICACIÓN SUCS: ARCILLA DE BAJA PLASTICIDAD CL



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

FECHA Noviembre 9 de 2009

PROYECTO Características mecánicas de mezclas de suelo-neumático triturado

MUESTRA 2

LOCALIZACIÓN Floridablanca

PESO TARA (gr)	9.6
TARA + MUESTRA SECA (gr)	1009.6
PESO MUESTRA SECA (gr)	1000

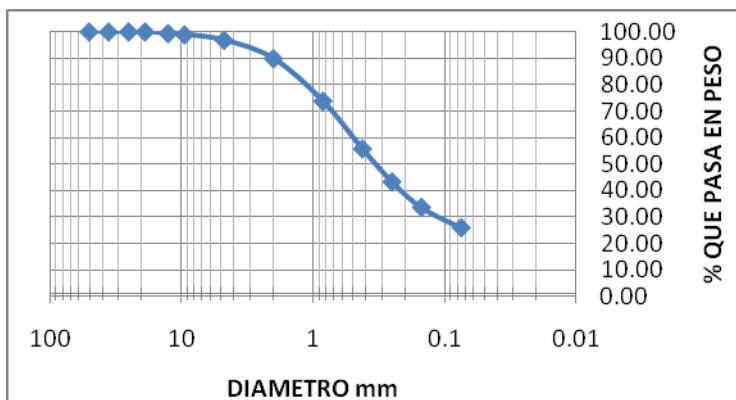
PESO INICIAL DE LA MUESTRA gr: 1000

PESO DESPUÉS DE LAVADO gr: 760.8

PESO SECO gr: 751.2

PORCENTAJE DE ERROR %: 0.430

MALLA No.	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA	MALLA No.	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA
***	mm	gr	%	%	***	mm	gr	%	%
2"	50.8	0.00	0.00	100.00	10	2	69.2	6.92	89.87
1 1/2"	36.1	0.00	0.00	100.00	20	0.84	161	16.10	73.77
1"	25.4	0.00	0.00	100.00	40	0.42	180.7	18.07	55.70
3/4"	19.05	0.00	0.00	100.00	60	0.25	124.97	12.50	43.20
1/2"	12.7	6.20	0.62	99.38	100	0.149	96.7	9.67	33.53
3/8"	9.52	4.80	0.48	98.90	200	0.074	76.9	7.69	25.84
No. 4	4.75	21.10	2.11	96.79	PASA 200	***	6.4	0.64	
SUMA	***	32.10	3.21		SUMA		715.87	71.59	
					TOTAL		747.97	74.80	



D10 = _____

D30 = 0.125

D60 = 0.5

GRAVAS = 3.21 %

ARENAS = 70.95 %

FINOS = 25.52 %

CLASIFICACIÓN SUCS: ARENA LIMOSA SM



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

FECHA Noviembre 13 de 2009

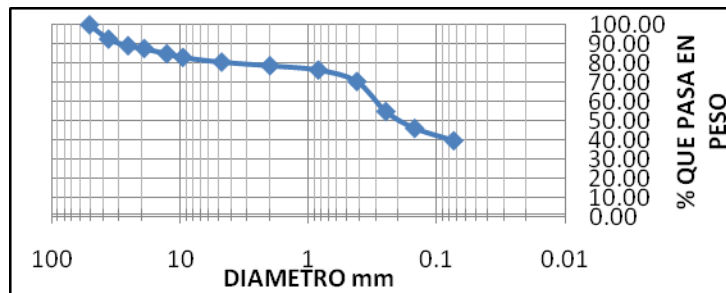
PROYECTO Características mecánicas de mezclas de suelo-neumático triturado MUESTR A 3

LOCALIZACIÓN Carrera 24 N° 31 Centro

PESO TARA (gr)	28.36
TARA + MUESTRA SECA (gr)	5028.36

PESO INICIAL DE LA MUESTRA gr: 5000
 PESO DESPUÉS DE LAVADO gr: 3143.16
 PESO SECO gr: 3114.8
 PORCENTAJE DE ERROR %: 2.50

MALLA No.	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA	MALLA No.	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA
***	mm	gr	%	%	***	mm	gr	%	%
2"	50.8	0.00	0.00	100.00	10	2	93.3	1.87	78.71
1 1/2"	36.1	370.80	7.42	92.58	20	0.84	112.6	2.25	76.46
1"	25.4	172.13	3.44	89.14	40	0.42	299.8	6.00	70.46
3/4"	19.05	74.16	1.48	87.66	60	0.25	782.2	15.64	54.82
1/2"	12.7	139.92	2.80	84.86	100	0.149	439.24	8.78	46.03
3/8"	9.52	91.09	1.82	83.04	200	0.074	323.3	6.47	39.56
No. 4	4.75	123.22	2.46	80.57	PASA 200	***	15.1	0.30	
SUMA	***	971.32	19.43		SUMA		2065.54	41.31	
					TOTAL		3,036.86		



D10 = _____

GRAVAS = 19.43

D30 = _____

ARENAS = 41.01

D60 = 0.3

FINOS = 38.01

CLASIFICACIÓN SUCS: ARENA ARCILLOSA SC



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

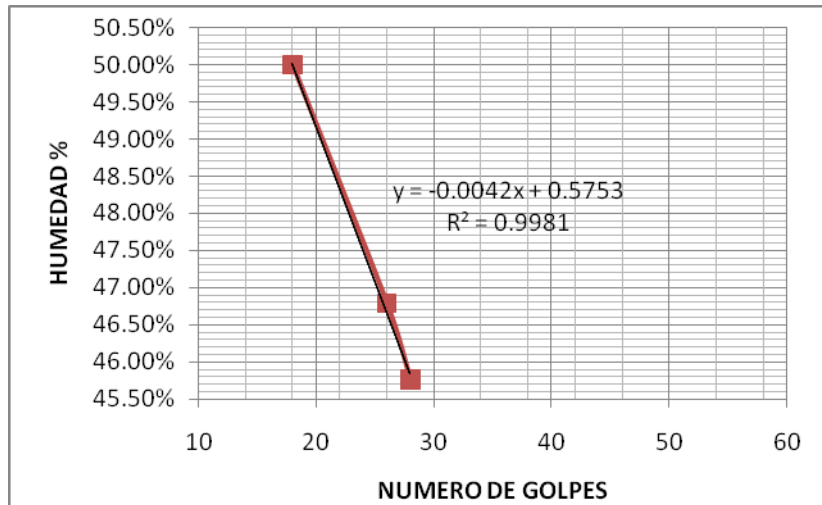
FECHA Noviembre 17 de 2009
 PROYECTO Características mecánicas de mezclas de suelo-neumático triturado MUESTRA 1
 LOCALIZACIÓN Provenza

LIMITE LIQUIDO

CAPSULA	NUMERO DE GOLPES	PESO CAPSULA	PESO CAPSULA + SUELO HÚMEDO	PESO CAPSULA + SUELO SECO	PESO DEL AGUA	PESO SUELO SECO	CONTENIDO DE AGUA
***	***	gr	gr	gr	gr	gr	%
2	28	3	20.2	14.8	5.4	11.8	45.76%
3	26	2.4	18.4	13.3	5.1	10.9	46.79%
4	18	2.4	16.8	12	4.8	9.6	50.00%

LIMITE PLÁSTICO

1	-	7.06	17.38	15.32	2.06	8.26	24.94%
2	-	1.5	4.1	3.6	0.5	2.1	23.81%



LIMITE LIQUIDO: 47.03
 LIMITE PLÁSTICO: 24.374
 IND. DE PLASTI: 22.656
 CLASIFICACIÓN: CL (ARCILLA DE BAJA PLASTICIDAD)



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

FECHA Noviembre 23 de 2009

PROYECTO Características mecánicas de mezclas de suelo-neumático triturado

MUESTRA 2

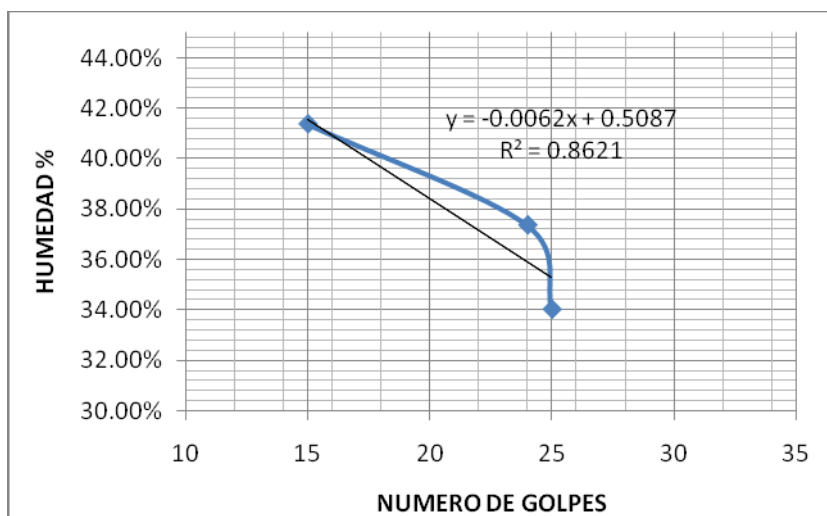
LOCALIZACIÓN Floridablanca

LIMITE LIQUIDO

CAPSULA	NUMERO DE GOLPES	PESO CAPSULA	PESO CAPSULA + SUELO HÚMEDO	PESO CAPSULA + SUELO SECO	PESO DEL AGUA	PESO SUELO SECO	CONTENIDO DE AGUA
***	***	gr	gr	gr	gr	gr	%
1	15	6.98	15.35	12.9	2.45	5.92	41.39%
2	24	10.45	31.7	25.92	5.78	15.47	37.36%
3	25	6.83	19.4	16.21	3.19	9.38	34.01%

LIMITE PLÁSTICO

1	-	10.39	26.35	23.25	3.1	12.86	24.11%
2	-	9.74	20.36	18.1	2.26	8.36	27.03%



LIMITE LIQUIDO: 35.37

LIMITE PLÁSTICO: 25.5696

IND. DE PLASTI: 9.8038

CLASIFICACIÓN: SM (ARENA LIMOSA)



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

FECHA Noviembre 24 de 2009

PROYECTO Características mecánicas de mezclas de suelo-neumático triturado

MUESTRA 3

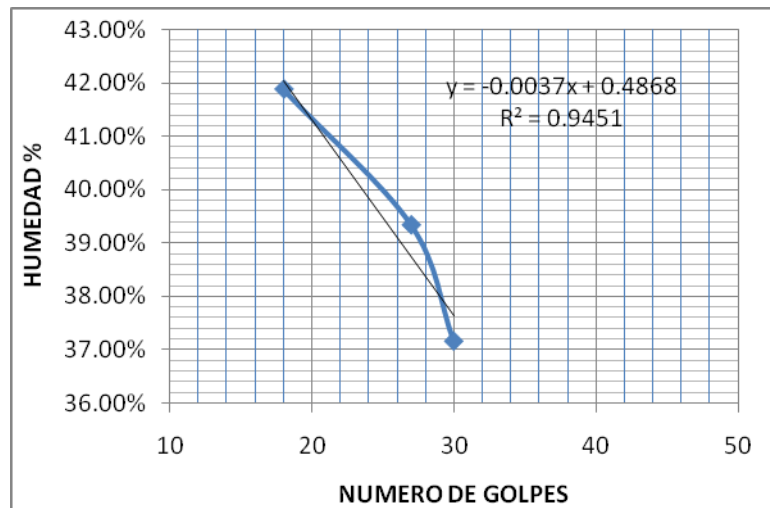
LOCALIZACIÓN Carrera 24 N°31 Centro

LIMITE LIQUIDO

CAPSULA	NUMERO DE GOLPES	PESO CAPSULA	PESO CAPSULA + SUELO HÚMEDO	PESO CAPSULA + SUELO SECO	PESO DEL AGUA	PESO SUELO SECO	CONTENIDO DE AGUA
***	***	gr	gr	gr	gr	gr	%
1	30	7.06	20.31	16.72	3.59	9.66	37.16%
2	27	6.95	24.41	19.48	4.93	12.53	39.35%
3	18	10.5	27.3	22.34	4.96	11.84	41.89%

LIMITE PLÁSTICO

1	-	8.3	20.5	18.23	2.27	9.93	22.86%
2	-	7.3	17.9	15.88	2.02	8.58	23.54%



LIMITE LIQUIDO: 39.43

LIMITE PLÁSTICO: 23.2016

IND. DE PLASTI: 16.2284

CLASIFICACIÓN: SC (ARENA ARCILLOSA)

**ANEXO 2. ENSAYOS DE RESISTENCIA AL CORTE SUELO N.3
CARRERA 24 N° 31 CENTRO – (ARENA ARCILLOSA)**

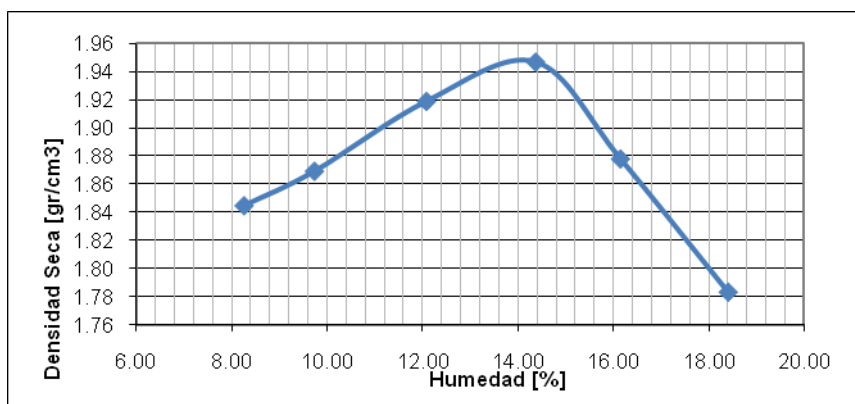


UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS
ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

FECHA	Diciembre 1 de 2009
PROYECTO	Características mecánicas de mezclas de suelo-neumático triturado
LOCALIZACIÓN	Carrera 24 N° 31 centro
MUESTRA	Suelo N°3

NUMERO DE CAPAS	5					
NUMERO DE GOLPES POR CAPA	25					
MOLDE No.	1					
DIÁMETRO MOLDE [cm]	10.1					
ALTURA MOLDE [cm]	11.56					
VOLUMEN MOLDE [cm ³]	926.17					
DETERMINACIÓN HUMEDAD	1	2	3	5	6	7
PESO TARA [gr]	8.25	7.05	6.94	6.94	8.25	10.5
PESO TARA + SUELO HÚMEDO [gr]	23.58	37.37	33.29	36	31.85	56.9
PESO TARA + SUELO SECO [gr]	22.41	34.68	30.45	32.35	28.57	49.69
PESO DE AGUA [gr]	1.17	2.69	2.84	3.65	3.28	7.21
HUMEDAD [%]	8.26	9.74	12.08	14.36	16.14	18.40
PESO MOLDE [gr]	4162	4162	4162	4162	4162	4162
PESO DE MOLDE + SUELO HÚMEDO [gr]	6012	6062	6154	6224.1	6182	6118
PESO DEL SUELO HÚMEDO [gr]	1850	1900	1992	2062.1	2020	1956
DENSIDAD HÚMEDA [gr/cm ³]	1.997	2.051	2.151	2.226	2.181	2.112
DENSIDAD SECA [gr/cm ³]	1.85	1.87	1.92	1.95	1.88	1.78

HUMEDAD OPTIMA %	14.36
DENSIDAD SECA [gr/cm³]	1.947





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

FECHA 12 Abril de 2010

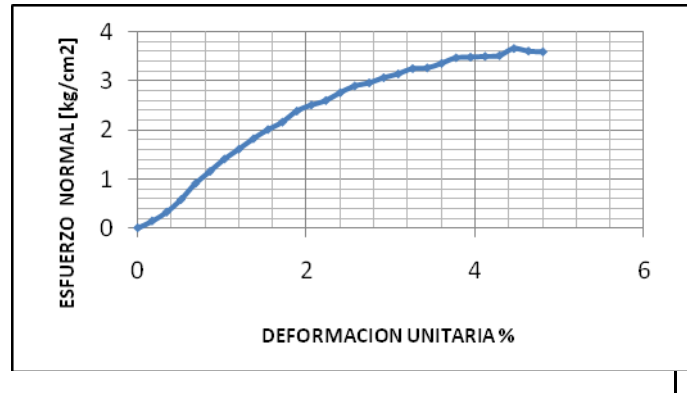
PROYECTO Características mecánicas de mezclas de suelo-neumático triturado

LOCALIZACIÓN Carrera24 N° 31 Centro

MUESTRA Suelo N°3

DIMENSIONES CILINDRO

DIÁMETRO SUPERIOR [cm]	8.2
DIÁMETRO CENTRAL [cm]	8.2
DIÁMETRO INFERIOR [cm]	8.3
PROMEDIO DIÁMETRO [cm]	8.23
ALTURA [cm]	14.8
ÁREA [cm ²]	53.24
VOLUMEN [cm ³]	787.96



TIEMPO [seg]	CARGA (P) [kg]	DEFORMACIÓN [mm]	DEFORMACIÓN UNITARIA (ε)	1 - ε	A _c [cm ²]	ESFUERZO (σ) [kg/cm ²]	DEFORMACIÓN UNITARIA [%]
0	0	0	0	0	0	0	0
15	7.5	0.254	0.001716216	0.99828	53.33193	0.1406287	0.17162162
30	17.2	0.508	0.003432432	0.99657	53.42377	0.3219541	0.34324324
45	30.9	0.762	0.005148649	0.99485	53.51593	0.5773982	0.51486486
60	48.6	1.016	0.006864865	0.99314	53.60841	0.9065742	0.68648649
75	61.9	1.27	0.008581081	0.99142	53.70121	1.1526742	0.85810811
90	75.6	1.524	0.010297297	0.9897	53.79433	1.4053525	1.02972973
105	86.6	1.778	0.012013514	0.98799	53.88778	1.6070434	1.20135135
120	98.3	2.032	0.01372973	0.98627	53.98155	1.8209926	1.37297297
135	108.5	2.286	0.015445946	0.98455	54.07565	2.0064485	1.54459459
150	117	2.54	0.017162162	0.98284	54.17007	2.1598642	1.71621622
165	129.4	2.794	0.018878378	0.98112	54.26483	2.3846017	1.88783784
180	136.4	3.048	0.020594595	0.97941	54.35992	2.5092018	2.05945946
195	141.6	3.302	0.022310811	0.97769	54.45534	2.600296	2.23108108
210	150.6	3.556	0.024027027	0.97597	54.5511	2.7607144	2.4027027
225	158.4	3.81	0.025743243	0.97426	54.64719	2.8985936	2.57432432

240	162.1	4.064	0.027459459	0.97254	54.74363	2.9610753	2.74594595
255	168.2	4.318	0.029175676	0.97082	54.8404	3.0670818	2.91756757
270	172.7	4.572	0.030891892	0.96911	54.93752	3.1435711	3.08918919
285	179	4.826	0.032608108	0.96739	55.03498	3.2524767	3.26081081
300	180.11	5.08	0.034324324	0.96568	55.13279	3.2668398	3.43243243
315	185.5	5.334	0.036040541	0.96396	55.23095	3.3586241	3.60405405
330	192.2	5.588	0.037756757	0.96224	55.32946	3.4737373	3.77567568
345	193.2	5.842	0.039472973	0.96053	55.42832	3.485583	3.9472973
360	194.5	6.096	0.041189189	0.95881	55.52753	3.502767	4.11891892
375	195.7	6.35	0.042905405	0.95709	55.6271	3.5180695	4.29054054
390	204.1	6.604	0.044621622	0.95538	55.72703	3.6624958	4.46216216
405	201.6	6.858	0.046337838	0.95366	55.82731	3.6111356	4.63378378
420	201.1	7.112	0.048054054	0.95195	55.92796	3.5956969	4.80540541



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

FECHA	13 de Abril de 2010
PROYECTO	Características mecánicas de mezclas de suelo-neumático triturado
LOCALIZACIÓN	Carrera 24 N° 31 Centro
MUESTRA	Suelo No.3

CARGA NORMAL [gr]	8000
DIÁMETRO [cm]	6.16
ÁREA PROBETA [cm²]	29.802
ALTURA PROBETA [cm]	2.32

ESFUERZO NORMAL [kg/cm²]	0.268
PESO ANILLO [gr]	111.8
PESO MUESTRA + ANILLO [gr]	262.7
PESO MUESTRA [gr]	150.9
DENSIDAD HUMEDAD [gr/cm³]	2.182
DENSIDAD SECA [gr/cm³]	1.913

CALCULO DE LA HUMEDAD

PESO TARA [gr]	7.7
P. TARA + SUELO HÚMEDO [gr]	45
P. TARA + SUELO SECO [gr]	40.4

PESO AGUA [gr]	4.6
PESO SECO [gr]	32.7
HUMEDAD %	14.06728

CARGA ULTIMA [kg] 39
ESFUERZO CORTANTE [kg/cm²] 1.3086

CARGA NORMAL [gr]	16000
DIÁMETRO [cm]	6.16
ÁREA PROBETA [cm²]	29.802
ALTURA PROBETA [cm]	2.32

ESFUERZO NORMAL [kg/cm²]	0.537
PESO ANILLO [gr]	111.8
PESO MUESTRA + ANILLO [gr]	263.4
PESO MUESTRA [gr]	151.6
DENSIDAD HUMEDAD [gr/cm³]	2.193
DENSIDAD SECA [gr/cm³]	1.922

CALCULO DE LA HUMEDAD

PESO TARA [gr]	6.9
P. TARA + SUELO HÚMEDO [gr]	38.5
P. TARA + SUELO SECO [gr]	34.6

PESO AGUA [gr]	3.9
PESO SECO [gr]	27.7
HUMEDAD %	14.07942

CARGA ULTIMA [kg] 49.75
ESFUERZO CORTANTE [kg/cm²] 1.6693

CARGA NORMAL [gr]	32000
DIÁMETRO [cm]	6.16
ÁREA PROBETA [cm ²]	29.802
ALTURA PROBETA [cm]	2.32

ESFUERZO NORMAL [kg/cm²]	1.074
PESO ANILLO [gr]	111.8
PESO MUESTRA + ANILLO [gr]	262.9
PESO MUESTRA [gr]	151.1
DENSIDAD HUMEDAD [gr/cm ³]	2.185
DENSIDAD SECA [gr/cm ³]	1.916

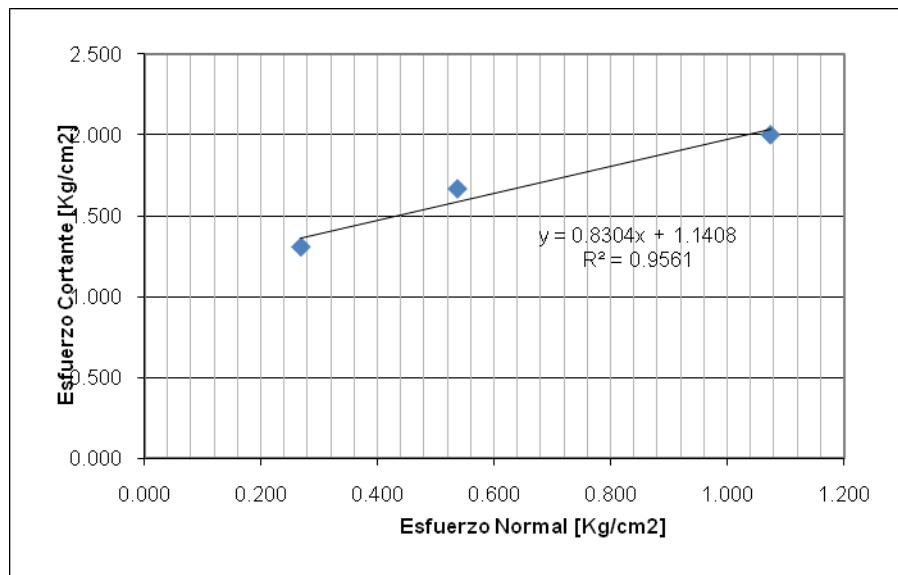
CALCULO DE LA HUMEDAD

PESO TARA [gr]	7.6
P. TARA + SUELO HÚMEDO [gr]	43.3
P. TARA + SUELO SECO [gr]	38.9

PESO AGUA [gr]	4.4
PESO SECO [gr]	31.3
HUMEDAD %	14.05751

CARGA ULTIMA [kg] 59.75
ESFUERZO CORTANTE [kg/cm²] 2.0049

	8 kg	16 kg	32 kg
ESFUERZO CORTANTE [kg/cm ²]	1.309	1.669	2.005
ESFUERZO NORMAL [kg/cm ²]	0.268	0.537	1.074



$\phi^\circ =$	39.706
$C [kg/cm^2] =$	1.1408

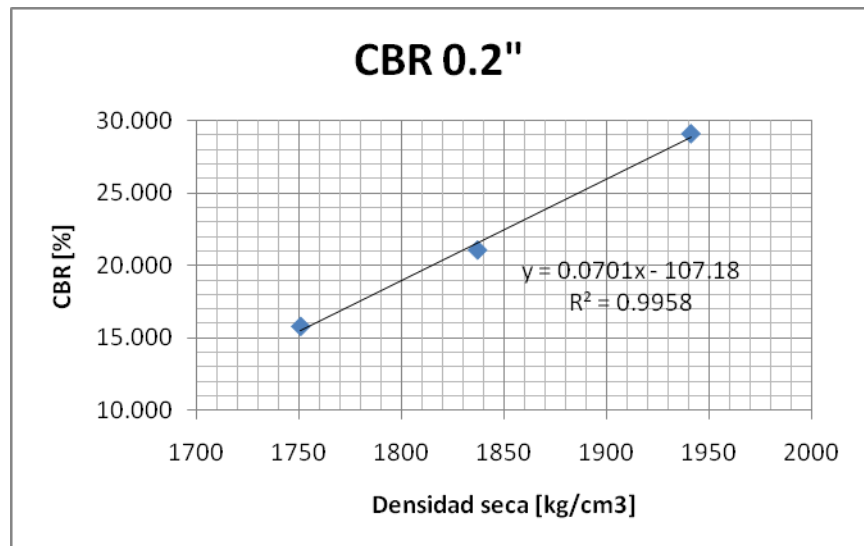
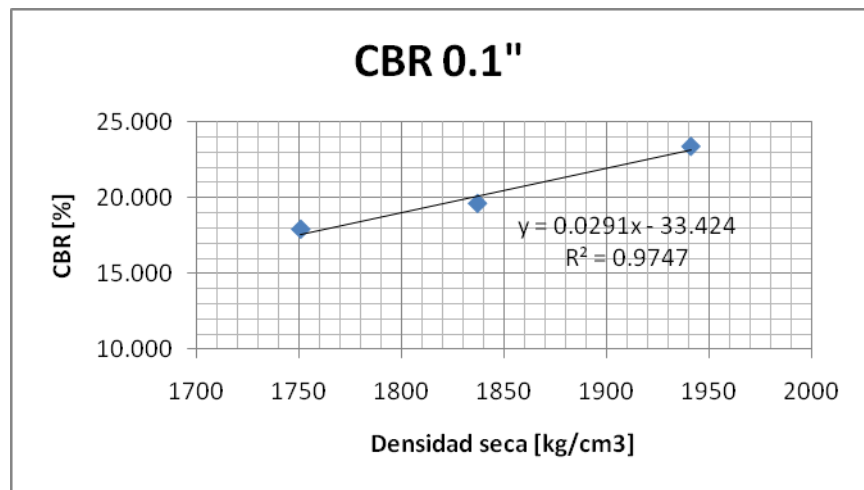
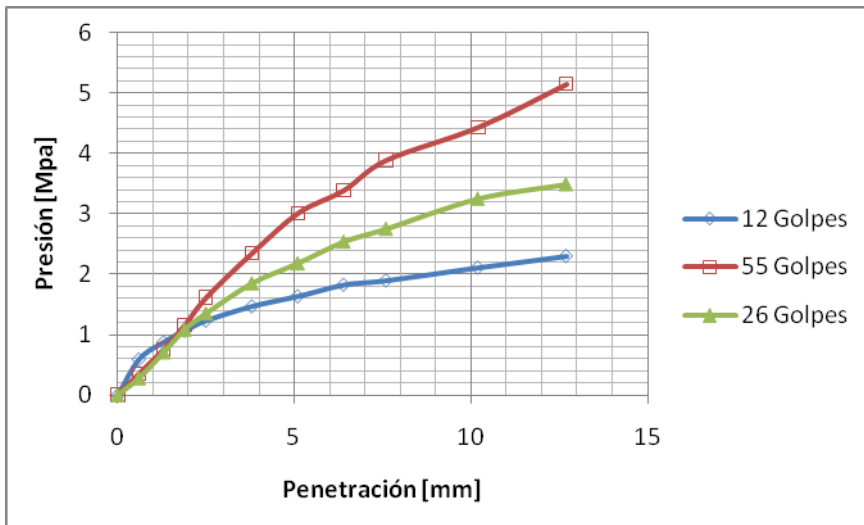


UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS
ENSAYO DE CBR

FECHA	15 de Abril de 2010
PROYECTO	Características mecánicas de mezclas de suelo-neumático triturado
LOCALIZACIÓN	Cra 24 N° 31 Centro
MUESTRA	Suelo N°3

MOLDE	1			2			3		
N° GOLPES	12			26			55		
PENETRACIÓN	LEC	CARGA	PRESIÓN	LEC	CARGA	PRESIÓN	LEC	CARGA	PRESIÓN
[mm]		[KN]	[Mpa]		[KN]	[Mpa]		[KN]	[Mpa]
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.6	25	1.1482	0.59337	12	0.551	0.284756	15	0.6888	0.3559448
1.3	37	1.6993	0.87819	30	1.37751	0.71189	32	1.4693	0.7593488
1.9	45	2.0667	1.06807	46	2.11218	1.091564	49	2.2499	1.1627529
2.5	52	2.3882	1.23421	57	2.61726	1.35259	68	3.1223	1.6136163
3.8	62	2.8475	1.47156	78	3.58152	1.850913	99	4.5458	2.3492355
5.1	69	3.169	1.63771	92	4.22435	2.183128	127	5.8314	3.0136657
6.4	77	3.5364	1.82759	107	4.91311	2.539073	143	6.5661	3.3933401
7.6	80	3.6742	1.89879	116	5.32636	2.75264	164	7.5304	3.8916628
10.2	89	4.0875	2.1124	137	6.29061	3.250962	187	8.5865	4.4374448
12.7	97	4.4549	2.30228	147	6.74978	3.488259	217	9.964	5.1493343
CBR A 0.1"	17.887			19.603			23.386		
CBR A 0.2"	15.823			21.093			29.118		

% Densidad máx.	Densidad [kg/m ³]	CBR 0.1"[%]	CBR 0.2"[%]
95	1853	20.48	22.68
98	1911	22.19	26.78
100	1950	23.32	29.52



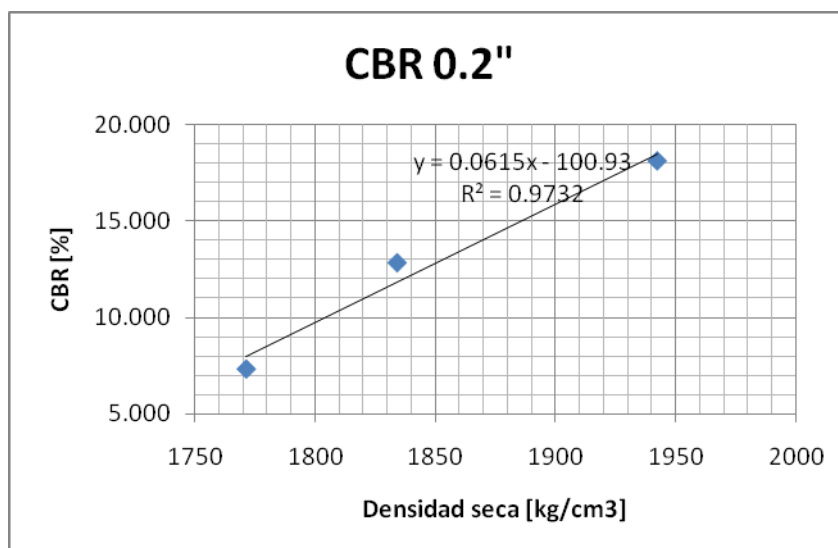
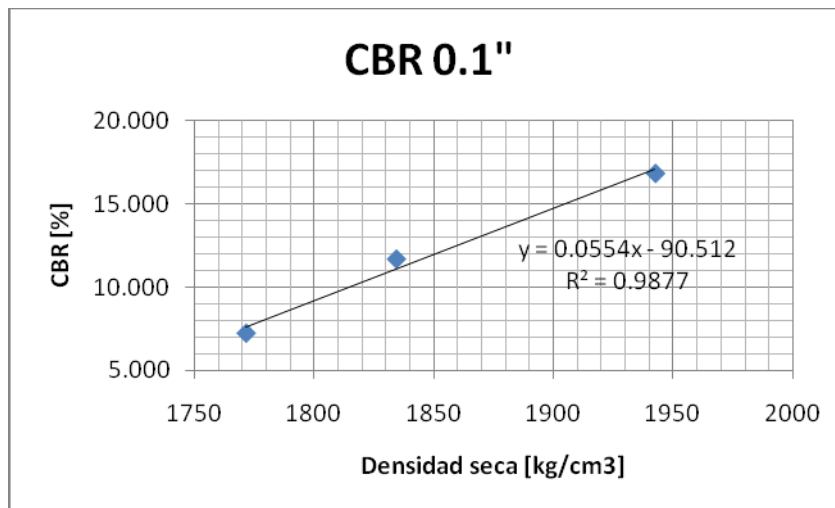
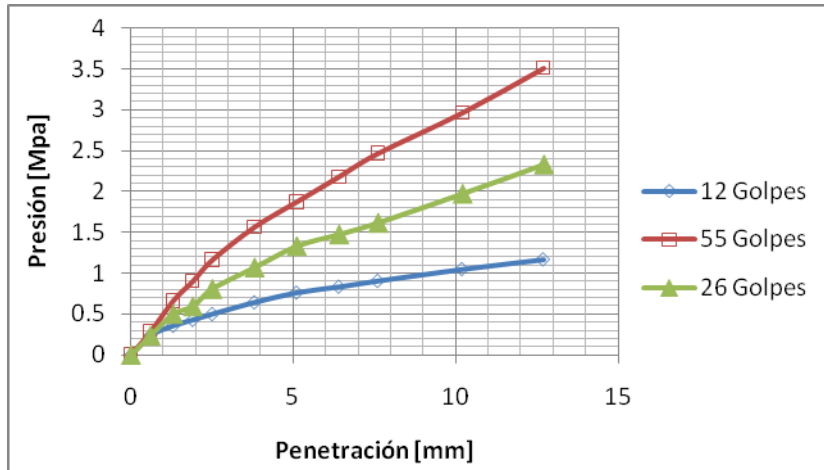


UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS
ENSAYO DE CBR SUMERGIDO

FECHA	19 de Abril de 2010
PROYECTO	Características mecánicas de mezclas de suelo-neumático triturado
LOCALIZACIÓN	Cra 24 N° 31 Centro
MUESTRA	Suelo N°3

MOLDE	1			2			3		
N° GOLPES	12			26			55		
PENETRACIÓN	LEC	CARGA	PRESIÓN	LEC	CARGA	PRESIÓN	LEC	CARGA	PRESIÓN
[mm]		[KN]	[Mpa]		[KN]	[Mpa]		[KN]	[Mpa]
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.6	10	0.4592	0.2373	10	0.45917	0.237297	12	0.551	0.2847558
1.3	15	0.6888	0.35594	21	0.96425	0.498323	28	1.2857	0.6644302
1.9	18	0.8265	0.42713	25	1.14792	0.593241	38	1.7448	0.9017267
2.5	21	0.9643	0.49832	34	1.56117	0.806808	49	2.2499	1.1627529
3.8	27	1.2398	0.6407	45	2.06626	1.067834	66	3.0305	1.566157
5.1	32	1.4693	0.75935	56	2.57135	1.32886	79	3.6274	1.8746424
6.4	35	1.6071	0.83054	62	2.84685	1.471238	92	4.2244	2.1831279
7.6	38	1.7448	0.90173	68	3.12235	1.613616	104	4.7754	2.4678837
10.2	44	2.0203	1.0441	83	3.8111	1.969561	125	5.7396	2.9662064
12.7	49	2.2499	1.16275	98	4.49985	2.325506	148	6.7957	3.5119884
CBR A 0.1"	7.222			11.693			16.851		
CBR A 0.2"	7.337			12.839			18.112		
EXPANSIÓN [mm]	1.9558						1.1176		
EXPANSIÓN [%]	1.54						0.88		

% Densidad máx.	Densidad [kg/m ³]	CBR 0.1"[%]	CBR 0.2"[%]
95	1853	12.1165	12.99875
98	1911	15.3574	16.5965
100	1950	17.518	18.995



**ANEXO 3. ENSAYOS DE GRANULOMETRÍA Y RESISTENCIA AL CORTE DEL
NEUMÁTICO TRITURADO**



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

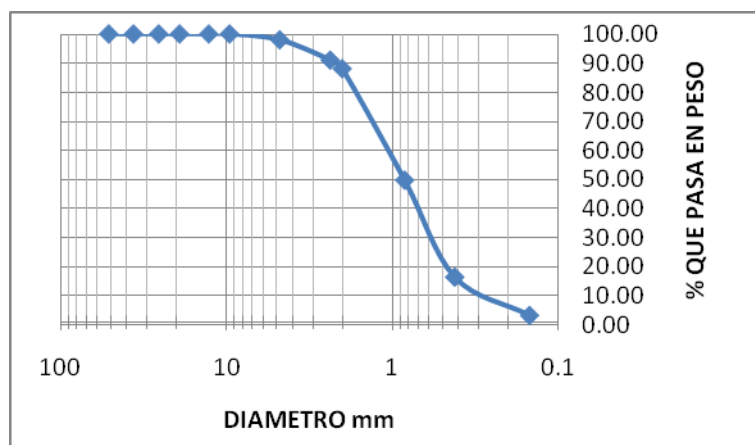
FECHA 18 de Noviembre de 2010

PROYECTO Características mecánicas de mezclas de suelo-neumático triturado **MUESTRA** Neumático

LOCALIZACIÓN Calle 14 N° 15 - 75

PESO INICIAL DE LA MUESTRA [gr]:	500
----------------------------------	-----

MALLA No.	ABERTURA	PESO	PORCIENTO	% QUE	MALLA No.	ABERTURA	PESO	PORCIENTO	% QUE
		NEUMÁTICO	RETENIDO	PASA LA			NEUMÁTICO	RETENIDO	PASA LA
		RETENIDO	PARCIAL	MALLA			RETENIDO	PARCIAL	MALLA
***	mm	gr	%	%	***	mm	gr	%	%
2"	50.8	0.00	0.00	100.00	8	2.36	34.9	6.98	91.00
1 1/2"	36.1	0.00	0.00	100.00	10	2	14.7	2.94	88.06
1"	25.4	0.00	0.00	100.00	20	0.84	191.96	38.39	49.67
3/4"	19.05	0.00	0.00	100.00	40	0.42	166.98	33.40	16.27
1/2"	12.7	0.00	0.00	100.00	100	0.149	65.89	13.18	3.09
3/8"	9.52	0.00	0.00	100.00	PASA 200	***	10.6	2.12	
No. 4	4.75	10.10	2.02	97.98					
SUMA	***	10.10	2.02		SUMA		485.03	97.01	
					TOTAL		495.13	99.03	



D10 = 0.3

D30 = 0.7

D60 = 1.1

GRAVAS = 2.02 %

ARENAS = 94.89 %

FINOS = 2.12 %

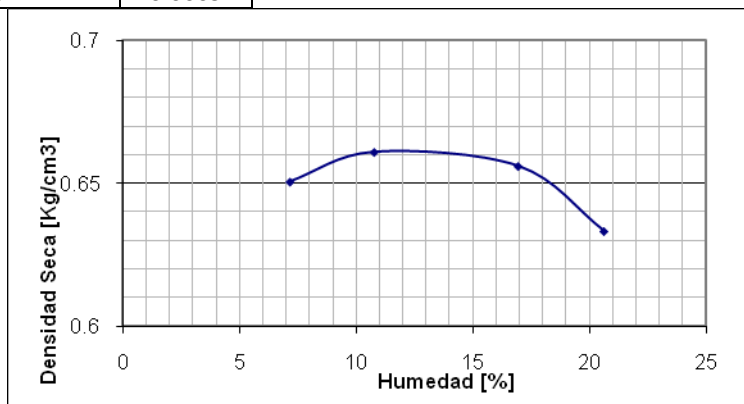


UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS
ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

FECHA	Marzo 15 de 2010
PROYECTO	Características mecánicas de mezclas de suelo-neumático triturado
LOCALIZACIÓN	Calle 14 N° 15 - 75
MUESTRA	Neumático total

NUMERO DE CAPAS	3			
NUMERO DE GOLPES POR CAPA	25			
MOLDE No.	1			
DIÁMETRO MOLDE [cm]	3.3			
ALTURA MOLDE [cm]	7			
VOLUMEN MOLDE [cm ³]	59.871			
DETERMINACIÓN HUMEDAD	1	2	3	4
PESO TARA [gr]	9.45	1.5	1.1	9.45
PESO TARA + GOMA HÚMEDO [gr]	50.97	8.7	8	54.65
PESO TARA + GOMA SECO [gr]	48.2	8	7	46.92
PESO DE AGUA [gr]	2.77	0.7	1	7.73
HUMEDAD [%]	7.15	10.77	16.95	20.63

PESO MOLDE [gr]	118.27	118.27	118.27	118.27
PESO DE MOLDE + GOMA HÚMEDO [gr]	160	162.1	164.2	164
PESO DEL GOMA HÚMEDO [gr]	41.73	43.83	45.93	45.73
DENSIDAD HÚMEDA [gr/cm ³]	0.697	0.732	0.767	0.764
DENSIDAD SECA [gr/cm ³]	0.6505	0.6609	0.6560	0.6332
HUMEDAD OPTIMA %	-----			
DENSIDAD SECA [gr/cm³]	0.6609			



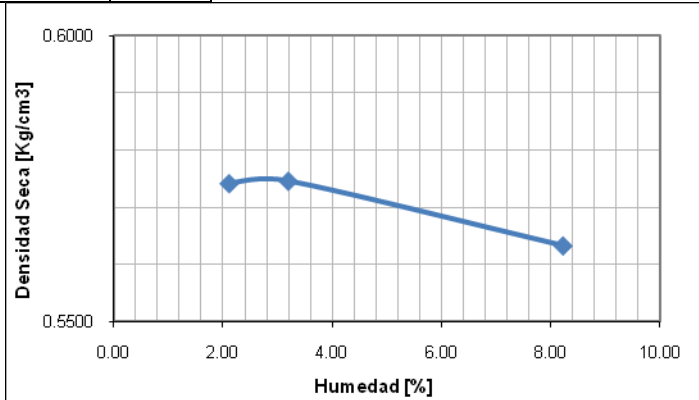


UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS
ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

FECHA	Marzo 23 de 2010
PROYECTO	Características mecánicas de mezclas de suelo-neumático triturado
LOCALIZACIÓN	Calle 14 N° 15 - 75
MUESTRA	Pasa No.4 - Retiene No.8

NUMERO DE CAPAS	3
NUMERO DE GOLPES POR CAPA	25
MOLDE No.	1
DIÁMETRO MOLDE [cm]	3.3
ALTURA MOLDE [cm]	7
VOLUMEN MOLDE [cm ³]	59.871
DETERMINACIÓN HUMEDAD	1 2 3
PESO TARA [gr]	1.6 2 1.7
PESO TARA + GOMA HÚMEDO [gr]	11.3 11.7 10.9
PESO TARA + GOMA SECO [gr]	11.1 11.4 10.2
PESO DE AGUA [gr]	0.2 0.3 0.7
HUMEDAD [%]	2.11 3.19 8.24

PESO MOLDE [gr]	118.6	118.6	118.6
PESO DE MOLDE + GOMA HÚMEDO [gr]	153.7	154.1	155.1
PESO DEL GOMA HÚMEDO [gr]	35.1	35.5	36.5
DENSIDAD HÚMEDA [gr/cm ³]	0.586	0.593	0.610
DENSIDAD SECA [gr/cm ³]	0.5742	0.5746	0.5633
HUMEDAD OPTIMA %	-----		
DENSIDAD SECA [gr/cm³]	0.5746		





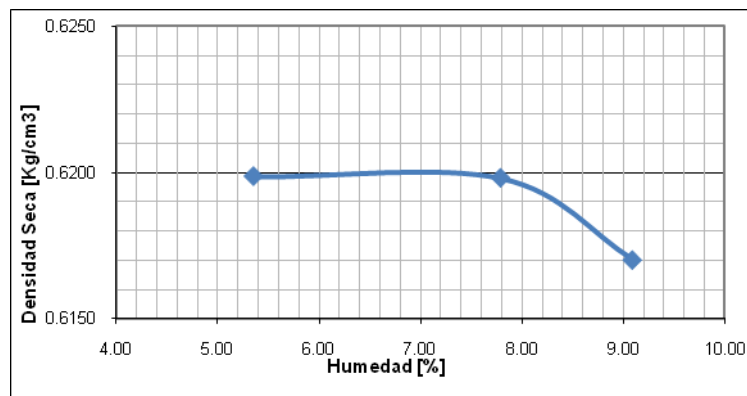
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS
ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

FECHA	Marzo 23 de 2010
PROYECTO	Características mecánicas de mezclas de suelo-neumático triturado
LOCALIZACIÓN	Calle 14 N° 15 - 75
MUESTRA	Pasa No.8 - Retiene No.12

NUMERO DE CAPAS	3
NUMERO DE GOLPES POR CAPA	25
MOLDE No.	1
DIÁMETRO MOLDE [cm]	3.3
ALTURA MOLDE [cm]	7
VOLUMEN MOLDE [cm ³]	59.871

DETERMINACIÓN HUMEDAD	2	3	4
PESO TARA [gr]	1.6	1.1	1.7
PESO TARA + GOMA HÚMEDO [gr]	7.5	9.4	8.9
PESO TARA + GOMA SECO [gr]	7.2	8.8	8.3
PESO DE AGUA [gr]	0.3	0.6	0.6
HUMEDAD [%]	5.36	7.79	9.09

PESO MOLDE [gr]	118.6	118.6	118.6
PESO DE MOLDE + GOMA HÚMEDO [gr]	157.7	158.6	158.9
PESO DEL GOMA HÚMEDO [gr]	39.1	40	40.3
DENSIDAD HÚMEDA [gr/cm ³]	0.653	0.668	0.673
DENSIDAD SECA [gr/cm ³]	0.6199	0.6198	0.6170
HUMEDAD OPTIMA %	-----		
DENSIDAD SECA [gr/cm³]	0.6199		





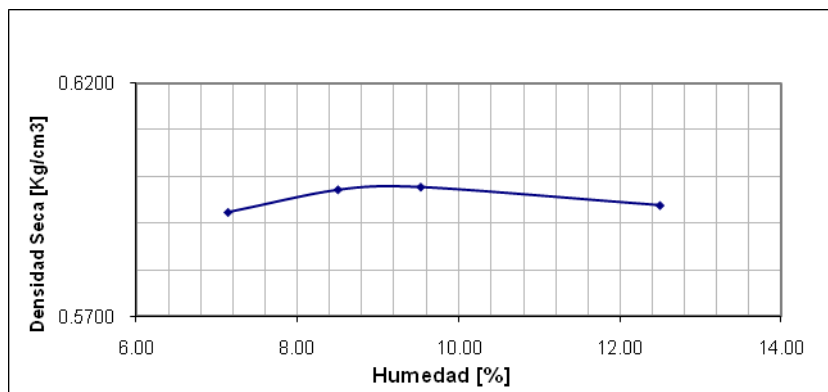
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS
ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

FECHA	Marzo 23 de 2010
PROYECTO	Características mecánicas de mezclas de suelo-neumático triturado
LOCALIZACIÓN	Calle 14 N° 15 - 75
MUESTRA	Pasa No.12 - Retiene No.18

NUMERO DE CAPAS	3
NUMERO DE GOLPES POR CAPA	25
MOLDE No.	1
DIÁMETRO MOLDE [cm]	3.3
ALTURA MOLDE [cm]	7
VOLUMEN MOLDE [cm ³]	59.871

DETERMINACIÓN NUMERO	1	2	3	4
PESO TARA [gr]	1.7	1.5	1.5	2.1
PESO TARA + GOMA HÚMEDO [gr]	10.7	6.6	8.4	7.5
PESO TARA + GOMA SECO [gr]	10.1	6.2	7.8	6.9
PESO DE AGUA [gr]	0.6	0.4	0.6	0.6
HUMEDAD [%]	7.14	8.51	9.52	12.50

PESO MOLDE [gr]	118.6	118.6	118.6	118.6
PESO DE MOLDE + GOMA HÚMEDO [gr]	156.6	157.4	157.8	158.6
PESO DEL GOMA HÚMEDO [gr]	38	38.8	39.2	40
DENSIDAD HÚMEDA [gr/cm ³]	0.635	0.648	0.655	0.668
DENSIDAD SECA [gr/cm ³]	0.5924	0.5972	0.5978	0.5939
HUMEDAD OPTIMA %	-----			
DENSIDAD SECA [gr/cm³]	0.5978			





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

FECHA	24 Marzo de 2010
PROYECTO	Características mecánicas de mezclas de suelo-neumático triturado
LOCALIZACIÓN	Calle 14 N° 15 - 75
MUESTRA	Pasa No.12 Retiene No.18

CARGA NORMAL [gr]	8000
DIÁMETRO [cm]	6.1
ÁREA PROBETA [cm²]	29.225
ALTURA PROBETA [cm]	2.32

CARGA ULTIMA [kg] 11.4
ESFUERZO CORTANTE [kg/cm²] 0.390

ESFUERZO NORMAL [kg/cm²]	0.274
PESO ANILLO [gr]	111.8
PESO MUESTRA + ANILLO [gr]	151.8
PESO MUESTRA [gr]	40
DENSIDAD SECA [gr/cm³]	0.59

CARGA NORMAL [gr]	16000
DIÁMETRO [cm]	6.1
ÁREA PROBETA [cm²]	29.225
ALTURA PROBETA [cm]	2.32

CARGA ULTIMA [kg] 9.5
ESFUERZO CORTANTE [kg/cm²] 0.325

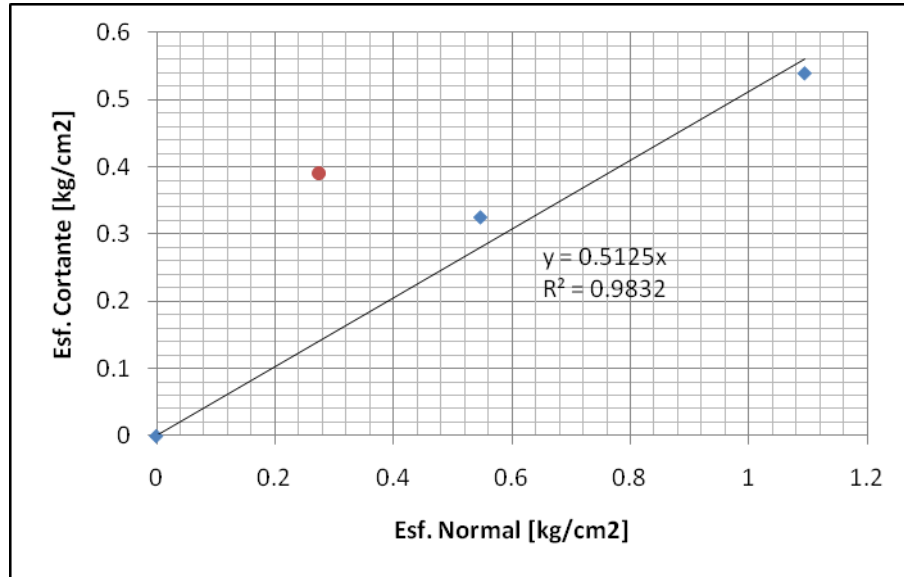
ESFUERZO NORMAL [kg/cm²]	0.547
PESO ANILLO [gr]	111.8
PESO MUESTRA + ANILLO [gr]	151.8
PESO MUESTRA [gr]	40
DENSIDAD SECA [gr/cm³]	0.59

CARGA NORMAL [gr]	32000
DIÁMETRO [cm]	6.1
ÁREA PROBETA [cm²]	29.225
ALTURA PROBETA [cm]	2.32

CARGA ULTIMA [kg] 15.75
ESFUERZO CORTANTE [kg/cm²] 0.539

ESFUERZO NORMAL [kg/cm²]	1.095
PESO ANILLO [gr]	111.8
PESO MUESTRA + ANILLO [gr]	151.8
PESO MUESTRA [gr]	40
DENSIDAD SECA [gr/cm³]	0.58996

	8 kg	16 kg	32 kg
ESFUERZO CORTANTE [kg/cm ²]	0.3901	0.3251	0.53893
ESFUERZO NORMAL [kg/cm ²]	0.2737	0.5475	1.09497



ϕ	27.135
C [kg/cm ²] =	0



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

FECHA	24 Marzo de 2010
PROYECTO	Características mecánicas de mezclas de suelo-neumático triturado
LOCALIZACIÓN	Calle 14 N° 15 - 75
MUESTRA	Pasa No.8 Retiene No.12

CARGA NORMAL [gr]	8000
DIÁMETRO [cm]	6.1
ÁREA PROBETA [cm²]	29.225
ALTURA PROBETA [cm]	2.32

ESFUERZO NORMAL [kg/cm²]	0.27374
PESO ANILLO [gr]	111.8
PESO MUESTRA + ANILLO [gr]	153.8
PESO MUESTRA [gr]	42
DENSIDAD SECA [gr/cm³]	0.619

CARGA ULTIMA [kg] 11.2
ESFUERZO CORTANTE [kg/cm²] 0.3832

CARGA NORMAL [gr]	16000
DIÁMETRO [cm]	6.1
ÁREA PROBETA [cm²]	29.225
ALTURA PROBETA [cm]	2.32

ESFUERZO NORMAL [kg/cm²]	0.54748
PESO ANILLO [gr]	111.8
PESO MUESTRA + ANILLO [gr]	153.8
PESO MUESTRA [gr]	42
DENSIDAD SECA [gr/cm³]	0.619

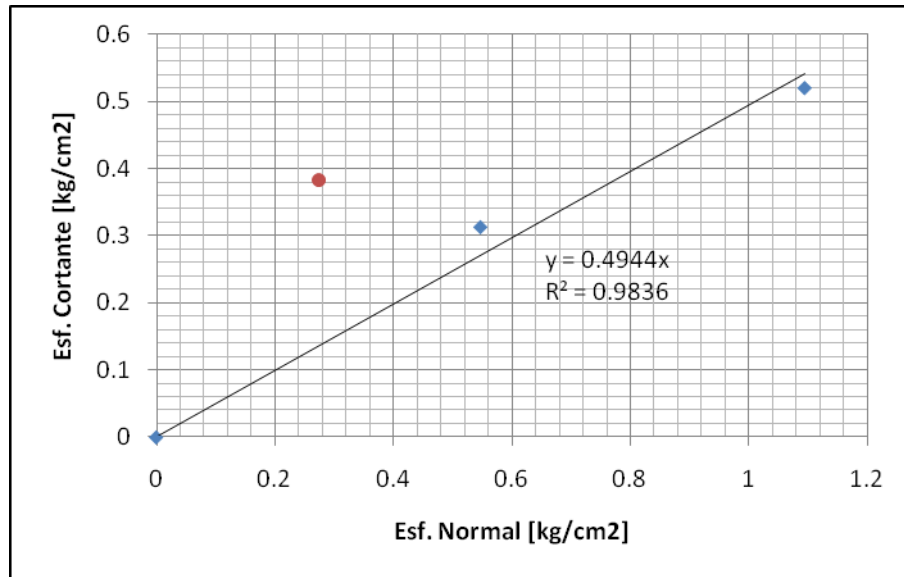
CARGA ULTIMA [kg] 9.15
ESFUERZO CORTANTE [kg/cm²] 0.3131

CARGA NORMAL [gr]	32000
DIÁMETRO [cm]	6.1
ÁREA PROBETA [cm²]	29.225
ALTURA PROBETA [cm]	2.32

ESFUERZO NORMAL [kg/cm²]	1.09497
PESO ANILLO [gr]	111.8
PESO MUESTRA + ANILLO [gr]	153.8
PESO MUESTRA [gr]	42
DENSIDAD SECA [gr/cm³]	0.619

CARGA ULTIMA [kg] 15.2
ESFUERZO CORTANTE [kg/cm²] 0.5201

	8 kg	16 kg	32 kg
ESFUERZO CORTANTE [kg/cm ²]	0.3832	0.3131	0.52011
ESFUERZO NORMAL [kg/cm ²]	0.2737	0.5475	1.09497



ϕ	26.308
C [kg/cm ²] =	0



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

FECHA	24 Marzo de 2010
PROYECTO	Características mecánicas de mezclas de suelo-neumático triturado
LOCALIZACIÓN	Calle 14 N° 15 - 75
MUESTRA	Pasa No.4 Retiene No.8

CARGA NORMAL [gr]	8000
DIÁMETRO [cm]	6.1
ÁREA PROBETA [cm²]	29.225
ALTURA PROBETA [cm]	2.32

ESFUERZO NORMAL [kg/cm²]	0.27374
PESO ANILLO [gr]	111.8
PESO MUESTRA + ANILLO [gr]	150.8
PESO MUESTRA [gr]	39
DENSIDAD SECA [gr/cm³]	0.575

CARGA ULTIMA [kg] 13.8
ESFUERZO CORTANTE [kg/cm²] 0.4722

CARGA NORMAL [gr]	16000
DIÁMETRO [cm]	6.1
ÁREA PROBETA [cm²]	29.225
ALTURA PROBETA [cm]	2.32

ESFUERZO NORMAL [kg/cm²]	0.54748
PESO ANILLO [gr]	111.8
PESO MUESTRA + ANILLO [gr]	150.8
PESO MUESTRA [gr]	39
DENSIDAD SECA [gr/cm³]	0.575

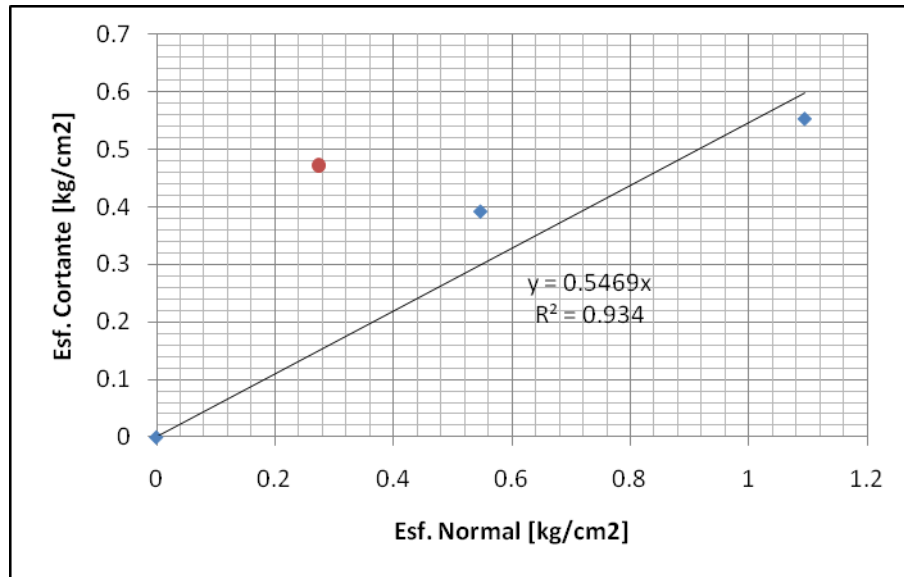
CARGA ULTIMA [kg] 11.45
ESFUERZO CORTANTE [kg/cm²] 0.3918

CARGA NORMAL [gr]	32000
DIÁMETRO [cm]	6.1
ÁREA PROBETA [cm²]	29.225
ALTURA PROBETA [cm]	2.32

ESFUERZO NORMAL [kg/cm²]	1.09497
PESO ANILLO [gr]	111.8
PESO MUESTRA + ANILLO [gr]	150.8
PESO MUESTRA [gr]	39
DENSIDAD SECA [gr/cm³]	0.575

CARGA ULTIMA [kg] 16.15
ESFUERZO CORTANTE [kg/cm²] 0.5526

	1	2	3
ESFUERZO CORTANTE [kg/cm ²]	0.4722	0.3918	0.55262
ESFUERZO NORMAL [kg/cm ²]	0.2737	0.5475	1.09497



ϕ	28.674
C [kg/cm ²] =	0



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

FECHA	6 Abril de 2010
PROYECTO	Características mecánicas de mezclas de suelo-neumático triturado
LOCALIZACIÓN	Calle 14 N° 15 - 75
MUESTRA	Neumático total

CARGA NORMAL [gr]	8000
DIÁMETRO [cm]	6.1
ÁREA PROBETA [cm²]	29.225
ALTURA PROBETA [cm]	2.32

CARGA ULTIMA [kg] 13.05
ESFUERZO CORTANTE [kg/cm²] 0.4465

ESFUERZO NORMAL [kg/cm²]	0.27374
PESO ANILLO [gr]	111.8
PESO MUESTRA + ANILLO [gr]	155.8
PESO MUESTRA [gr]	44
DENSIDAD SECA [gr/cm³]	0.649

CARGA NORMAL [gr]	16000
DIÁMETRO [cm]	6.1
ÁREA PROBETA [cm²]	29.225
ALTURA PROBETA [cm]	2.32

CARGA ULTIMA [kg] 10.35
ESFUERZO CORTANTE [kg/cm²] 0.3542

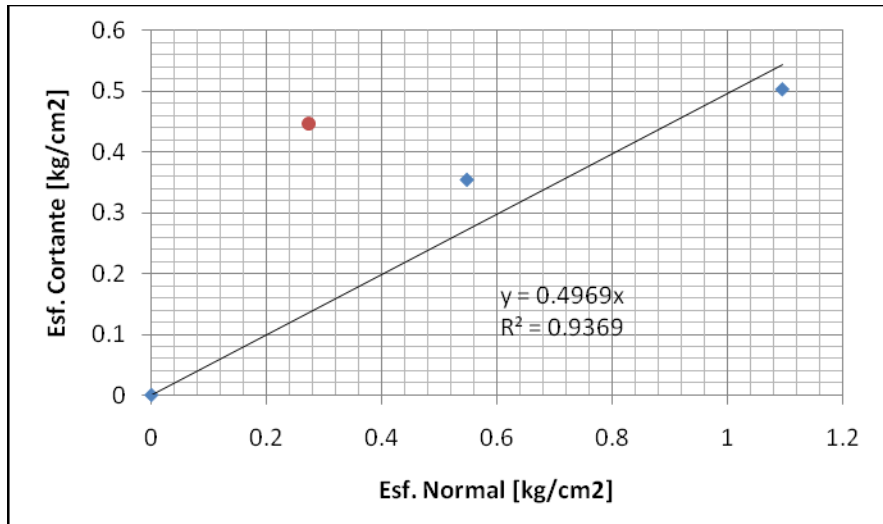
ESFUERZO NORMAL [kg/cm²]	0.54748
PESO ANILLO [gr]	111.8
PESO MUESTRA + ANILLO [gr]	155.8
PESO MUESTRA [gr]	44
DENSIDAD SECA [gr/cm³]	0.649

CARGA NORMAL [gr]	32000
DIÁMETRO [cm]	6.1
ÁREA PROBETA [cm²]	29.225
ALTURA PROBETA [cm]	2.32

CARGA ULTIMA [kg] 14.7
ESFUERZO CORTANTE [kg/cm²] 0.503

ESFUERZO NORMAL [kg/cm²]	1.09497
PESO ANILLO [gr]	111.8
PESO MUESTRA + ANILLO [gr]	155.8
PESO MUESTRA [gr]	44
DENSIDAD SECA [gr/cm³]	0.649

	1	2	3
ESFUERZO CORTANTE [kg/cm ²]	0.4465	0.3542	0.503
ESFUERZO NORMAL [kg/cm ²]	0.2737	0.5475	1.09497



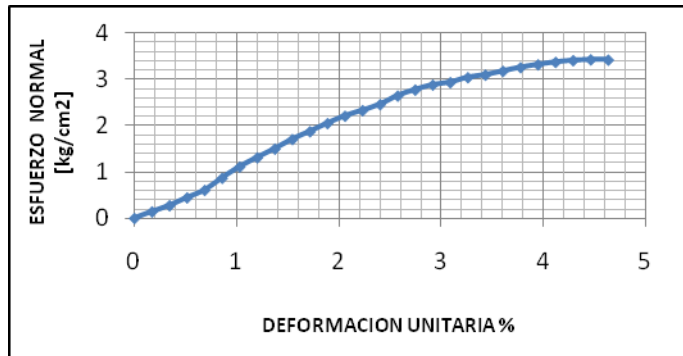
ϕ	26.423
C [kg/cm ²] =	0

**ANEXO 4. ENSAYOS DE RESISTENCIA AL CORTE DE LAS MEZCLAS SUELO –
NEUMÁTICO TRITURADO**

FECHA	12 Abril de 2010
PROYECTO	Características mecánicas de mezclas de suelo-neumático triturado
LOCALIZACIÓN	Cra 24 N° 31 Centro
MUESTRA	Suelo + 5% Neumático

DIMENSIONES CILINDRO

DIÁMETRO SUPERIOR [cm]	8.2
DIÁMETRO CENTRAL [cm]	8.2
DIÁMETRO INFERIOR [cm]	8.3
PROMEDIO DIÁMETRO [cm]	8.23
ALTURA [cm]	14.8
ÁREA [cm ²]	53.24
VOLUMEN [cm ³]	787.96



TIEMPO	CARGA (P)	DEFORMACIÓN	DEFORMACIÓN	1 - ε	Ac [cm ²]	ESFUERZO (σ)	DEFORMACIÓN
[seg]	[kg]	[mm]	UNITARIA (ε)			[kg/cm ²]	UNITARIA [%]
0	0	0	0	0	0	0	0
15	7.6	0.254	0.001716216	0.99828	53.33193	0.1425038	0.17162162
30	14.7	0.508	0.003432432	0.99657	53.42377	0.2751584	0.34324324
45	23.8	0.762	0.005148649	0.99485	53.51593	0.4447274	0.51486486
60	32.5	1.016	0.006864865	0.99314	53.60841	0.6062482	0.68648649
75	46.6	1.27	0.008581081	0.99142	53.70121	0.8677644	0.85810811
90	59.8	1.524	0.010297297	0.9897	53.79433	1.1116413	1.02972973
105	70.6	1.778	0.012013514	0.98799	53.88778	1.3101301	1.20135135
120	80.9	2.032	0.01372973	0.98627	53.98155	1.4986602	1.37297297
135	92.2	2.286	0.015445946	0.98455	54.07565	1.7050189	1.54459459
150	101.5	2.54	0.017162162	0.98284	54.17007	1.8737284	1.71621622
165	111.2	2.794	0.018878378	0.98112	54.26483	2.0492095	1.88783784
180	120.1	3.048	0.020594595	0.97941	54.35992	2.2093485	2.05945946
195	126.8	3.302	0.022310811	0.97769	54.45534	2.3285136	2.23108108
210	134.1	3.556	0.024027027	0.97597	54.5511	2.4582457	2.4027027
225	144.5	3.81	0.025743243	0.97426	54.64719	2.6442347	2.57432432
240	151.9	4.064	0.027459459	0.97254	54.74363	2.7747522	2.74594595
255	158	4.318	0.029175676	0.97082	54.8404	2.8810876	2.91756757

270	161.2	4.572	0.030891892	0.96911	54.93752	2.9342424	3.08918919
285	167.4	4.826	0.032608108	0.96739	55.03498	3.0417017	3.26081081
300	170.7	5.08	0.034324324	0.96568	55.13279	3.096161	3.43243243
315	175.5	5.334	0.036040541	0.96396	55.23095	3.1775662	3.60405405
330	180.2	5.588	0.037756757	0.96224	55.32946	3.2568547	3.77567568
345	184	5.842	0.039472973	0.96053	55.42832	3.3196029	3.9472973
360	187.3	6.096	0.041189189	0.95881	55.52753	3.3731016	4.11891892
375	189.6	6.35	0.042905405	0.95709	55.6271	3.4084107	4.29054054
390	191	6.604	0.044621622	0.95538	55.72703	3.4274213	4.46216216
405	191	6.858	0.046337838	0.95366	55.82731	3.4212644	4.63378378



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

FECHA 12 Abril de 2010

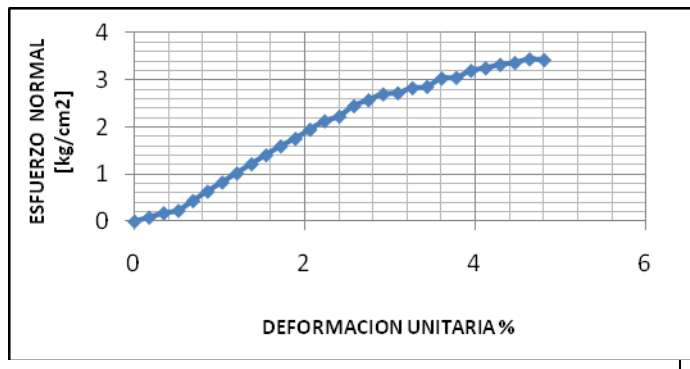
PROYECTO Características mecánicas de mezclas de suelo-neumático triturado

LOCALIZACIÓN Cra 24 N° 31 Centro

MUESTRA Suelo + 10% Neumático

DIMENSIONES CILINDRO

DIÁMETRO SUPERIOR [cm]	8.2
DIÁMETRO CENTRAL [cm]	8.2
DIÁMETRO INFERIOR [cm]	8.3
PROMEDIO DIÁMETRO [cm]	8.23
ALTURA [cm]	14.8
ÁREA [cm ²]	53.24
VOLUMEN [cm ³]	787.96



TIEMPO [seg]	CARGA (P) [kg]	DEFORMACIÓN [mm]	DEFORMACIÓN UNITARIA (ε)	1 - ε	A _c [cm ²]	ESFUERZO (σ) [kg/cm ²]	DEFORMACIÓN UNITARIA [%]
0	0	0	0	0	0	0	0
15	4.6	0.254	0.001716216	0.99828	53.33193	0.0862523	0.17162162
30	9.5	0.508	0.003432432	0.99657	53.42377	0.1778235	0.34324324
45	12.3	0.762	0.005148649	0.99485	53.51593	0.2298381	0.51486486
60	23.4	1.016	0.006864865	0.99314	53.60841	0.4364987	0.68648649
75	34.1	1.27	0.008581081	0.99142	53.70121	0.634995	0.85810811
90	44.5	1.524	0.010297297	0.9897	53.79433	0.8272247	1.02972973
105	54.9	1.778	0.012013514	0.98799	53.88778	1.0187839	1.20135135
120	65.6	2.032	0.01372973	0.98627	53.98155	1.2152301	1.37297297
135	75.9	2.286	0.015445946	0.98455	54.07565	1.4035893	1.54459459
150	86.3	2.54	0.017162162	0.98284	54.17007	1.5931306	1.71621622
165	95.1	2.794	0.018878378	0.98112	54.26483	1.7525164	1.88783784
180	105.7	3.048	0.020594595	0.97941	54.35992	1.9444474	2.05945946
195	115.7	3.302	0.022310811	0.97769	54.45534	2.1246769	2.23108108
210	121.2	3.556	0.024027027	0.97597	54.5511	2.2217702	2.4027027
225	133.5	3.81	0.025743243	0.97426	54.64719	2.4429434	2.57432432

240	140.6	4.064	0.027459459	0.97254	54.74363	2.5683355	2.74594595
255	147.7	4.318	0.029175676	0.97082	54.8404	2.6932698	2.91756757
270	149.2	4.572	0.030891892	0.96911	54.93752	2.7158124	3.08918919
285	155.4	4.826	0.032608108	0.96739	55.03498	2.8236586	3.26081081
300	157.2	5.08	0.034324324	0.96568	55.13279	2.8512976	3.43243243
315	167.2	5.334	0.036040541	0.96396	55.23095	3.0272882	3.60405405
330	168.3	5.588	0.037756757	0.96224	55.32946	3.0417794	3.77567568
345	176.8	5.842	0.039472973	0.96053	55.42832	3.1897054	3.9472973
360	180.1	6.096	0.041189189	0.95881	55.52753	3.2434362	4.11891892
375	184.6	6.35	0.042905405	0.95709	55.6271	3.3185264	4.29054054
390	187.1	6.604	0.044621622	0.95538	55.72703	3.3574373	4.46216216
405	191.7	6.858	0.046337838	0.95366	55.82731	3.4338031	4.63378378
420	191.1	7.112	0.048054054	0.95195	55.92796	3.4168955	4.80540541



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

FECHA 13 Abril de 2010

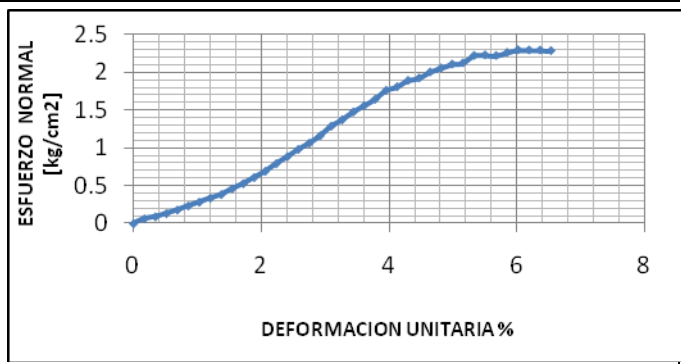
PROYECTO Características mecánicas de mezclas de suelo-neumático triturado

LOCALIZACIÓN Cra 24 N° 31 Centro

MUESTRA Suelo + 15% Neumático

DIMENSIONES CILINDRO

DIÁMETRO SUPERIOR [cm]	8.2
DIÁMETRO CENTRAL [cm]	8.2
DIÁMETRO INFERIOR [cm]	8.3
PROMEDIO DIÁMETRO [cm]	8.23
ALTURA [cm]	14.8
ÁREA [cm ²]	53.24
VOLUMEN [cm ³]	787.96



TIEMPO [seg]	CARGA (P) [kg]	DEFORMACIÓN [mm]	DEFORMACIÓN UNITARIA (ε)	1 - ε	A _c [cm ²]	ESFUERZO (σ) [kg/cm ²]	DEFORMACIÓN UNITARIA [%]
0	0	0	0	0	0	0	0
15	3.5	0.254	0.001716216	0.99828	53.33193	0.0656267	0.17162162
30	4.9	0.508	0.003432432	0.99657	53.42377	0.0917195	0.34324324
45	7.2	0.762	0.005148649	0.99485	53.51593	0.1345394	0.51486486
60	9.7	1.016	0.006864865	0.99314	53.60841	0.1809418	0.68648649
75	12.6	1.27	0.008581081	0.99142	53.70121	0.2346316	0.85810811
90	15.3	1.524	0.010297297	0.9897	53.79433	0.2844166	1.02972973
105	18.2	1.778	0.012013514	0.98799	53.88778	0.3377389	1.20135135
120	20.8	2.032	0.01372973	0.98627	53.98155	0.3853168	1.37297297
135	25	2.286	0.015445946	0.98455	54.07565	0.4623153	1.54459459
150	28.7	2.54	0.017162162	0.98284	54.17007	0.5298128	1.71621622
165	33.1	2.794	0.018878378	0.98112	54.26483	0.6099715	1.88783784
180	37.6	3.048	0.020594595	0.97941	54.35992	0.6916861	2.05945946
195	43.2	3.302	0.022310811	0.97769	54.45534	0.7933106	2.23108108
210	48.2	3.556	0.024027027	0.97597	54.5511	0.8835753	2.4027027
225	53.6	3.81	0.025743243	0.97426	54.64719	0.9808372	2.57432432
240	58.2	4.064	0.027459459	0.97254	54.74363	1.0631375	2.74594595

255	63.7	4.318	0.029175676	0.97082	54.8404	1.1615524	2.91756757
270	70.7	4.572	0.030891892	0.96911	54.93752	1.2869165	3.08918919
285	75.5	4.826	0.032608108	0.96739	55.03498	1.3718547	3.26081081
300	81.3	5.08	0.034324324	0.96568	55.13279	1.4746215	3.43243243
315	86	5.334	0.036040541	0.96396	55.23095	1.557098	3.60405405
330	90.9	5.588	0.037756757	0.96224	55.32946	1.6428862	3.77567568
345	97.6	5.842	0.039472973	0.96053	55.42832	1.7608328	3.9472973
360	100.4	6.096	0.041189189	0.95881	55.52753	1.8081121	4.11891892
375	105.2	6.35	0.042905405	0.95709	55.6271	1.8911646	4.29054054
390	107.2	6.604	0.044621622	0.95538	55.72703	1.9236627	4.46216216
405	111.8	6.858	0.046337838	0.95366	55.82731	2.002604	4.63378378
420	115	7.112	0.048054054	0.95195	55.92796	2.0562166	4.80540541
435	118	7.366	0.04977027	0.95023	56.02897	2.1060532	4.97702703
450	119.2	7.62	0.051486486	0.94851	56.13035	2.1236283	5.14864865
465	124.9	7.874	0.053202703	0.9468	56.2321	2.2211514	5.32027027
480	125.5	8.128	0.054918919	0.94508	56.33421	2.227776	5.49189189
495	125.3	8.382	0.056635135	0.94336	56.4367	2.2201867	5.66351351
510	127.8	8.636	0.058351351	0.94165	56.53956	2.2603644	5.83513514
525	130	8.89	0.060067568	0.93993	56.64279	2.2950847	6.00675676
540	130.1	9.144	0.061783784	0.93822	56.7464	2.2926563	6.17837838
555	130.3	9.398	0.0635	0.9365	56.8504	2.2919805	6.35
570	130.1	9.652	0.065216216	0.93478	56.95477	2.2842687	6.52162162



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

FECHA	13 de Abril de 2010
PROYECTO	Características mecánicas de mezclas de suelo-neumático triturado
LOCALIZACIÓN	Cra 24 N° 31 Centro
MUESTRA	Suelo + 5% Neumático

CARGA NORMAL [gr]	8000
DIÁMETRO [cm]	6.16
ÁREA PROBETA [cm²]	29.802
ALTURA PROBETA [cm]	2.32

ESFUERZO NORMAL [kg/cm²]	0.268
PESO ANILLO [gr]	111.8
PESO MUESTRA + ANILLO [gr]	258.5
PESO MUESTRA [gr]	146.7
DENSIDAD HUMEDAD [gr/cm³]	2.122
DENSIDAD SECA [gr/cm³]	1.864

CALCULO DE LA HUMEDAD

PESO TARA [gr]	7.7
P. TARA + SUELO HÚMEDO [gr]	43.9
P. TARA + SUELO SECO [gr]	39.5

PESO AGUA [gr]	4.4
PESO SECO [gr]	31.8
HUMEDAD %	13.83648

CARGA ULTIMA [kg] 39
ESFUERZO CORTANTE [kg/cm²] 1.3086

CARGA NORMAL [gr]	16000
DIÁMETRO [cm]	6.16
ÁREA PROBETA [cm²]	29.802
ALTURA PROBETA [cm]	2.32

ESFUERZO NORMAL [kg/cm²]	0.537
PESO ANILLO [gr]	111.8
PESO MUESTRA + ANILLO [gr]	257.8
PESO MUESTRA [gr]	146
DENSIDAD HUMEDAD [gr/cm³]	2.112
DENSIDAD SECA [gr/cm³]	1.855

CALCULO DE LA HUMEDAD

PESO TARA [gr]	6.9
P. TARA + SUELO HÚMEDO [gr]	39.8
P. TARA + SUELO SECO [gr]	35.8

PESO AGUA [gr]	4
PESO SECO [gr]	28.9
HUMEDAD %	13.84083

CARGA ULTIMA [kg] 58.5
ESFUERZO CORTANTE [kg/cm²] 1.9629

CARGA NORMAL [gr]	32000
DIÁMETRO [cm]	6.16
ÁREA PROBETA [cm ²]	29.802
ALTURA PROBETA [cm]	2.32

ESFUERZO NORMAL [kg/cm²]	1.074
PESO ANILLO [gr]	111.8
PESO MUESTRA + ANILLO [gr]	257.3
PESO MUESTRA [gr]	145.5
DENSIDAD HUMEDAD [gr/cm ³]	2.104
DENSIDAD SECA [gr/cm ³]	1.846

CALCULO DE LA HUMEDAD

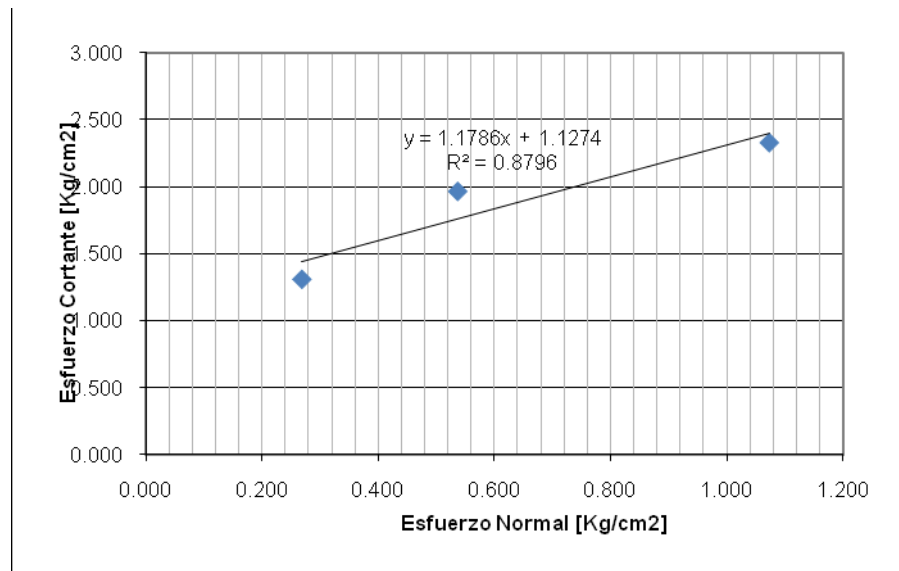
PESO TARA [gr]	8.2
P. TARA + SUELO HÚMEDO [gr]	45.7
P. TARA + SUELO SECO [gr]	41.1

PESO AGUA [gr]	4.6
PESO SECO [gr]	32.9
HUMEDAD %	13.98176

CARGA ULTIMA [kg] 69.3

ESFUERZO CORTANTE [kg/cm²] 2.3253

	8 kg	16 kg	32 kg
ESFUERZO CORTANTE [kg/cm ²]	1.309	1.963	2.325
ESFUERZO NORMAL [kg/cm ²]	0.268	0.537	1.074



ϕ	49.69
C [kg/cm ²]	1.1274



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

FECHA	13 de Abril de 2010
PROYECTO	Características mecánicas de mezclas de suelo-neumático triturado
LOCALIZACIÓN	Cra 24 N° 31 Centro
MUESTRA	Suelo + 10% Neumático

CARGA NORMAL [gr]	8000
DIÁMETRO [cm]	6.16
ÁREA PROBETA [cm²]	29.802
ALTURA PROBETA [cm]	2.32

ESFUERZO NORMAL [kg/cm²]	0.268
PESO ANILLO [gr]	111.8
PESO MUESTRA + ANILLO [gr]	254.7
PESO MUESTRA [gr]	142.9
DENSIDAD HUMEDAD [gr/cm³]	2.067
DENSIDAD SECA [gr/cm³]	1.815

CALCULO DE LA HUMEDAD

PESO TARA [gr]	6.9
P. TARA + SUELO HÚMEDO [gr]	41.4
P. TARA + SUELO SECO [gr]	37.2

PESO AGUA [gr]	4.2
PESO SECO [gr]	30.3
HUMEDAD %	13.86139

CARGA ULTIMA [kg]	42.95
ESFUERZO CORTANTE [kg/cm²]	1.4412

CARGA NORMAL [gr]	16000
DIÁMETRO [cm]	6.16
ÁREA PROBETA [cm²]	29.802
ALTURA PROBETA [cm]	2.32

ESFUERZO NORMAL [kg/cm²]	0.537
PESO ANILLO [gr]	111.8
PESO MUESTRA + ANILLO [gr]	253.6
PESO MUESTRA [gr]	141.8
DENSIDAD HUMEDAD [gr/cm³]	2.051
DENSIDAD SECA [gr/cm³]	1.798

CALCULO DE LA HUMEDAD

PESO TARA [gr]	8.2
P. TARA + SUELO HÚMEDO [gr]	51.2
P. TARA + SUELO SECO [gr]	45.9

PESO AGUA [gr]	5.3
PESO SECO [gr]	37.7
HUMEDAD %	14.05836

CARGA ULTIMA [kg]	62.5
ESFUERZO CORTANTE [kg/cm²]	2.0971

CARGA NORMAL [gr]	32000
DIÁMETRO [cm]	6.16
ÁREA PROBETA [cm ²]	29.802
ALTURA PROBETA [cm]	2.32

ESFUERZO NORMAL [kg/cm²]	1.0737389
PESO ANILLO [gr]	111.8
PESO MUESTRA + ANILLO [gr]	254.6
PESO MUESTRA [gr]	142.8
DENSIDAD HUMEDAD [gr/cm ³]	2.0653274
DENSIDAD SECA [gr/cm ³]	1.8123101

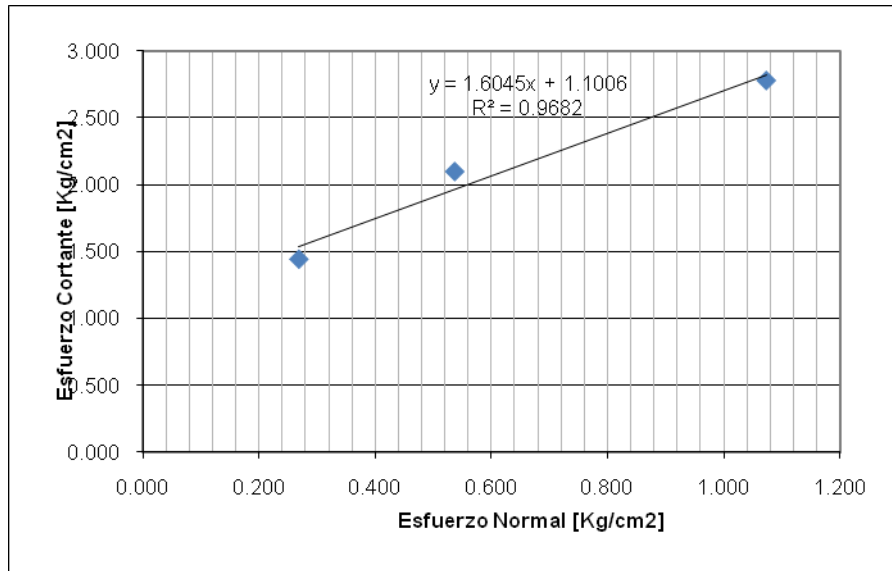
CALCULO DE LA HUMEDAD

PESO TARA [gr]	8.5
P. TARA + SUELO HÚMEDO [gr]	43.6
P. TARA + SUELO SECO [gr]	39.3

PESO AGUA [gr]	4.3
PESO SECO [gr]	30.8
HUMEDAD %	13.96104

CARGA ULTIMA [kg] 82.8
ESFUERZO CORTANTE [kg/cm²] 2.7783

	8 kg	16 kg	32 kg
ESFUERZO CORTANTE [kg/cm ²]	1.441	2.097	2.778
ESFUERZO NORMAL [kg/cm ²]	0.268	0.537	1.074



ϕ	58.067
C [kg/cm ²]	1.1006



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

FECHA	13 de Abril de 2010
PROYECTO	Características mecánicas de mezclas de suelo-neumático triturado
LOCALIZACIÓN	Cra 24 N° 31 Centro
MUESTRA	Suelo + 15% Neumático

CARGA NORMAL [gr]	8000
DIÁMETRO [cm]	6.16
ÁREA PROBETA [cm²]	29.802
ALTURA PROBETA [cm]	2.32

ESFUERZO NORMAL [kg/cm²]	0.268
PESO ANILLO [gr]	111.8
PESO MUESTRA + ANILLO [gr]	246.7
PESO MUESTRA [gr]	134.9
DENSIDAD HUMEDAD [gr/cm³]	1.951
DENSIDAD SECA [gr/cm³]	1.714

CALCULO DE LA HUMEDAD

PESO TARA [gr]	6.9
P. TARA + SUELO HÚMEDO [gr]	39
P. TARA + SUELO SECO [gr]	35.1

PESO AGUA [gr]	3.9
PESO SECO [gr]	28.2
HUMEDAD %	13.83

CARGA ULTIMA [kg]	38.1
ESFUERZO CORTANTE [kg/cm²]	1.2784

CARGA NORMAL [gr]	16000
DIÁMETRO [cm]	6.16
ÁREA PROBETA [cm²]	29.802
ALTURA PROBETA [cm]	2.32

ESFUERZO NORMAL [kg/cm²]	0.537
PESO ANILLO [gr]	111.8
PESO MUESTRA + ANILLO [gr]	246.6
PESO MUESTRA [gr]	134.8
DENSIDAD HUMEDAD [gr/cm³]	1.950
DENSIDAD SECA [gr/cm³]	1.711

CALCULO DE LA HUMEDAD

PESO TARA [gr]	15.1
P. TARA + SUELO HÚMEDO [gr]	52.7
P. TARA + SUELO SECO [gr]	48.1

PESO AGUA [gr]	4.6
PESO SECO [gr]	33
HUMEDAD %	13.94

CARGA ULTIMA [kg]	52.4
ESFUERZO CORTANTE [kg/cm²]	1.7582

CARGA NORMAL [gr]	32000
DIÁMETRO [cm]	6.16
ÁREA PROBETA [cm ²]	29.802
ALTURA PROBETA [cm]	2.32

ESFUERZO NORMAL [kg/cm²]	1.074
PESO ANILLO [gr]	111.8
PESO MUESTRA + ANILLO [gr]	245.8
PESO MUESTRA [gr]	134
DENSIDAD HUMEDAD [gr/cm ³]	1.938
DENSIDAD SECA [gr/cm ³]	1.700

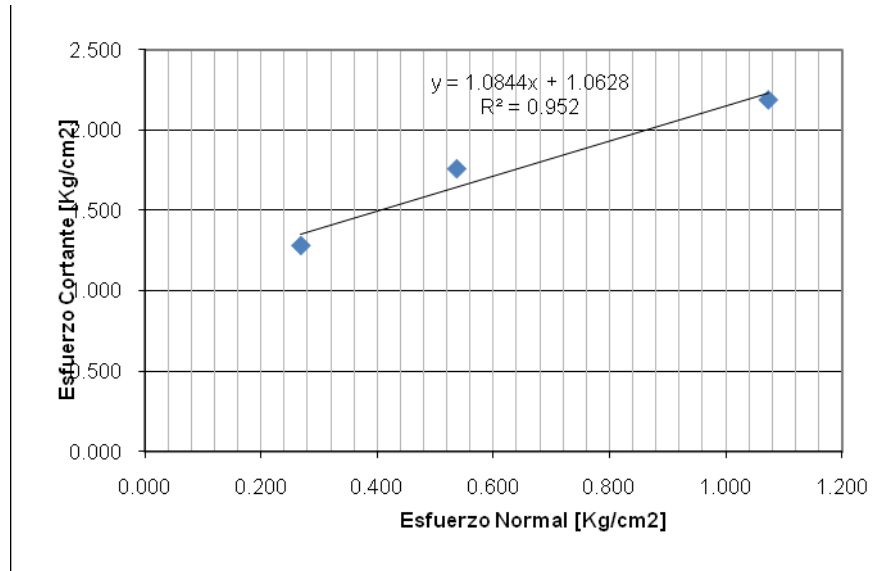
CALCULO DE LA HUMEDAD

PESO TARA [gr]	8.6
P. TARA + SUELO HÚMEDO [gr]	46.8
P. TARA + SUELO SECO [gr]	42.1

PESO AGUA [gr]	4.7
PESO SECO [gr]	33.5
HUMEDAD %	14.03

CARGA ULTIMA [kg] 65.25
ESFUERZO CORTANTE [kg/cm²] 2.1894

	8 kg	16 kg	32 kg
ESFUERZO CORTANTE [kg/cm ²]	1.278	1.758	2.189
ESFUERZO NORMAL [kg/cm ²]	0.268	0.537	1.074



ϕ	47.32
C [kg/cm ²]	1.0628



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

FECHA	13 de Abril de 2010
PROYECTO	Características mecánicas de mezclas de suelo-neumático triturado
LOCALIZACIÓN	Cra 24 N° 31 Centro
MUESTRA	Suelo + 20% Neumático

CARGA NORMAL [gr]	8000
DIÁMETRO [cm]	6.16
ÁREA PROBETA [cm²]	29.802
ALTURA PROBETA [cm]	2.32

ESFUERZO NORMAL [kg/cm²]	0.2684347
PESO ANILLO [gr]	111.8
PESO MUESTRA + ANILLO [gr]	232.4
PESO MUESTRA [gr]	120.6
DENSIDAD HUMEDAD [gr/cm³]	1.7442471
DENSIDAD SECA [gr/cm³]	1.5289761

CALCULO DE LA HUMEDAD

PESO TARA [gr]	6.9
P. TARA + SUELO HÚMEDO [gr]	38.5
P. TARA + SUELO SECO [gr]	34.6
CARGA ULTIMA [kg]	37.05

PESO AGUA [gr]	3.9
PESO SECO [gr]	27.7
HUMEDAD %	14.07942

ESFUERZO CORTANTE [kg/cm²] 1.2432

CARGA NORMAL [gr]	16000
DIÁMETRO [cm]	6.16
ÁREA PROBETA [cm²]	29.802
ALTURA PROBETA [cm]	2.32

ESFUERZO NORMAL [kg/cm²]	0.5368694
PESO ANILLO [gr]	111.8
PESO MUESTRA + ANILLO [gr]	231.3
PESO MUESTRA [gr]	119.5
DENSIDAD HUMEDAD [gr/cm³]	1.7283377
DENSIDAD SECA [gr/cm³]	1.5181835

CALCULO DE LA HUMEDAD

PESO TARA [gr]	8.2
P. TARA + SUELO HÚMEDO [gr]	55.9
P. TARA + SUELO SECO [gr]	50.1

PESO AGUA [gr]	5.8
PESO SECO [gr]	41.9
HUMEDAD %	13.84248

CARGA ULTIMA [kg] 49.15
ESFUERZO CORTANTE [kg/cm²] 1.6492

CARGA NORMAL [gr]	32000
DIÁMETRO [cm]	6.16
ÁREA PROBETA [cm ²]	29.802
ALTURA PROBETA [cm]	2.32

ESFUERZO NORMAL [kg/cm²]	1.0737389
PESO ANILLO [gr]	111.8
PESO MUESTRA + ANILLO [gr]	233.5
PESO MUESTRA [gr]	121.7
DENSIDAD HUMEDAD [gr/cm ³]	1.7601565
DENSIDAD SECA [gr/cm ³]	1.5437438

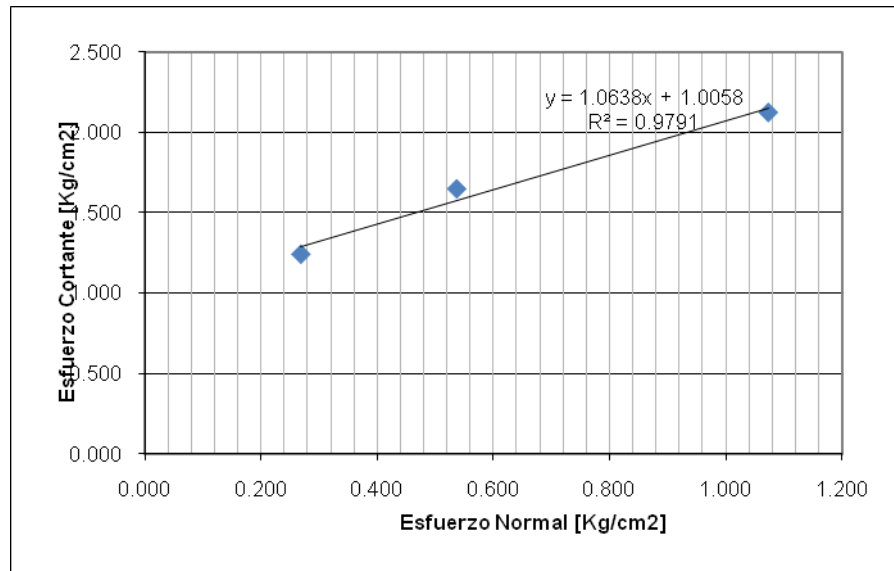
CALCULO DE LA HUMEDAD

PESO TARA [gr]	8.6
P. TARA + SUELO HÚMEDO [gr]	45.2
P. TARA + SUELO SECO [gr]	40.7

PESO AGUA [gr]	4.5
PESO SECO [gr]	32.1
HUMEDAD %	14.01869

CARGA ULTIMA [kg] 63.3
ESFUERZO CORTANTE [kg/cm²] 2.124

	8 kg	16 kg	32 kg
ESFUERZO CORTANTE [kg/cm ²]	1.243	1.649	2.124
ESFUERZO NORMAL [kg/cm ²]	0.268	0.537	1.074



ϕ	46.77
C [kg/cm ²]	1.0058

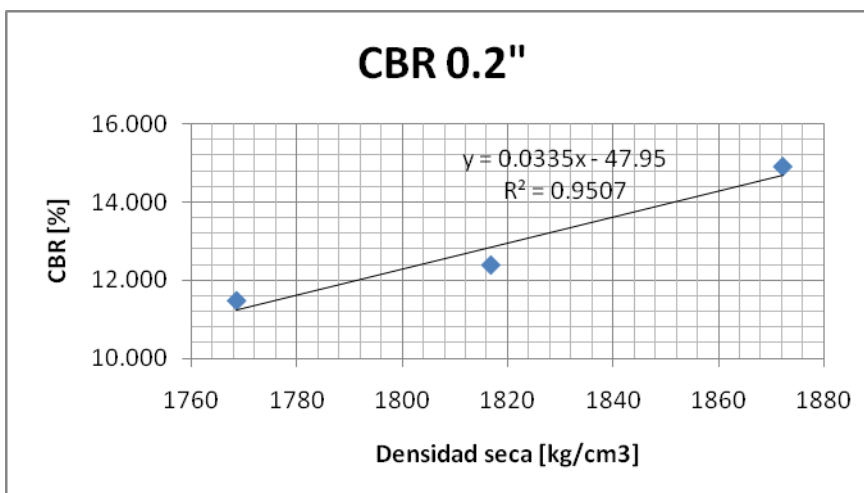
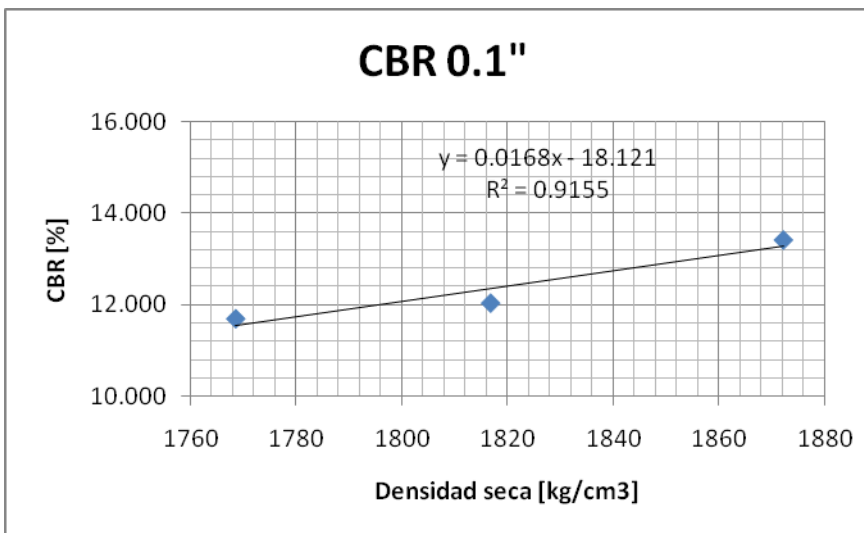
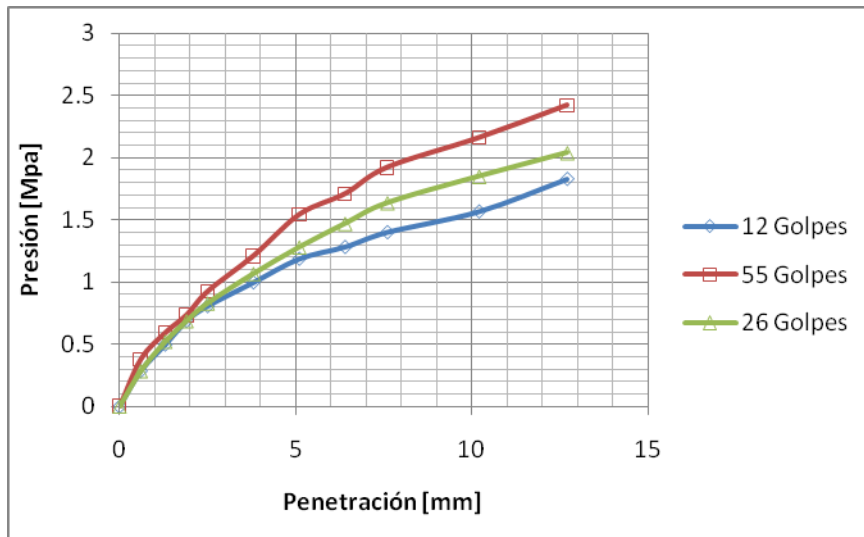


UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS
ENSAYO DE CBR

FECHA	16 de Abril de 2010
PROYECTO	Características mecánicas de mezclas de suelo-neumático triturado
LOCALIZACIÓN	Cra 24 N° 31 Centro
MUESTRA	Suelo N°3 + 10% Neumático triturado

MOLDE	1			2			3		
N° GOLPES	12			26			55		
PENETRACIÓN	LEC	CARGA	PRESIÓN	LEC	CARGA	PRESIÓN	LEC	CARGA	PRESIÓN
[mm]		[KN]	[Mpa]		[KN]	[Mpa]		[KN]	[Mpa]
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.6	12	0.5511	0.28482	12	0.551	0.284756	16	0.7347	0.3796744
1.3	21	0.9645	0.49843	22	1.01017	0.522052	25	1.1479	0.5932413
1.9	29	1.3319	0.68831	29	1.33159	0.68816	31	1.4234	0.7356192
2.5	34	1.5615	0.80699	35	1.60709	0.830538	39	1.7908	0.9254564
3.8	42	1.9289	0.99687	45	2.06626	1.067834	51	2.3418	1.2102122
5.1	50	2.2964	1.18674	54	2.47951	1.281401	65	2.9846	1.5424273
6.4	54	2.4801	1.28168	62	2.84685	1.471238	72	3.306	1.7085349
7.6	59	2.7097	1.40036	69	3.16826	1.637346	81	3.7193	1.9221017
10.2	66	3.0312	1.5665	78	3.58152	1.850913	91	4.1784	2.1593983
12.7	77	3.5364	1.82759	86	3.94885	2.04075	102	4.6835	2.4204244
CBR A 0.1"	11.695			12.037			13.412		
CBR A 0.2"	11.466			12.381			14.903		

% Densidad máx.	Densidad [Kg/cm3]	CBR 0.1"[%]	CBR 0.2"[%]
95	1729	10.93	9.97
98	1784	11.84	11.80
100	1820	12.46	13.02



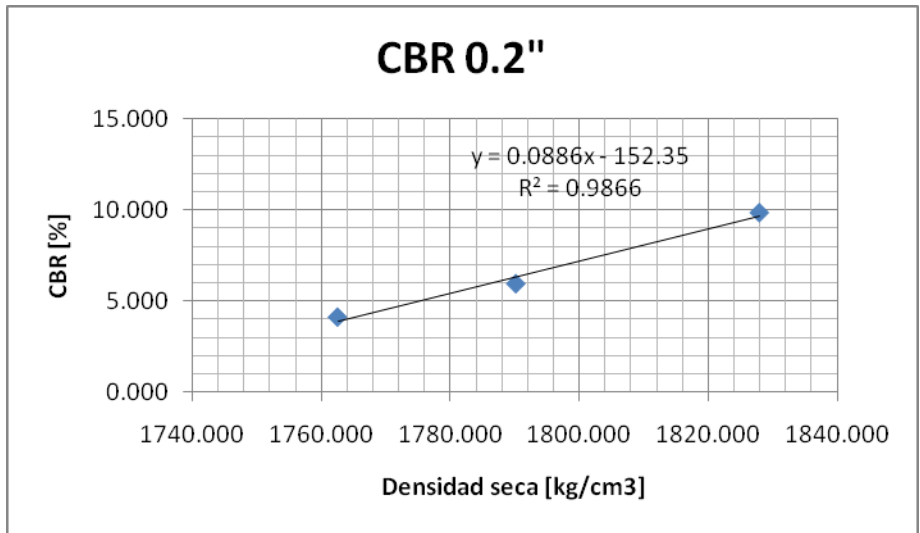
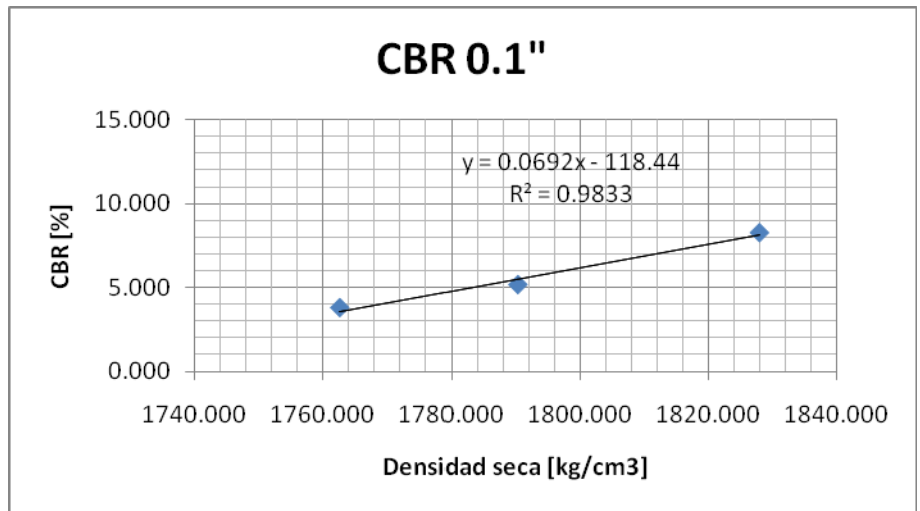
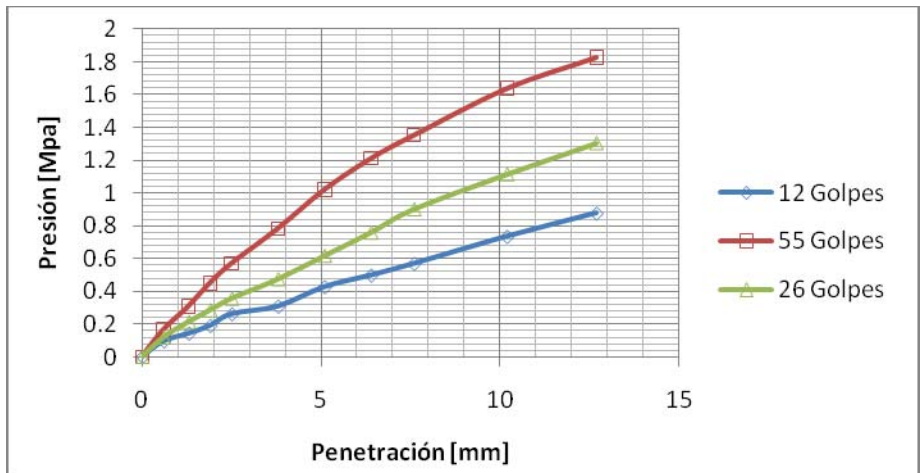


UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS
ENSAYO DE CBR SUMERGIDO

FECHA	20 de Abril de 2010
PROYECTO	Características mecánicas de mezclas de suelo-neumático triturado
LOCALIZACIÓN	Cra 24 N° 31 Centro
MUESTRA	Suelo N°3 + 10% Neumático triturado

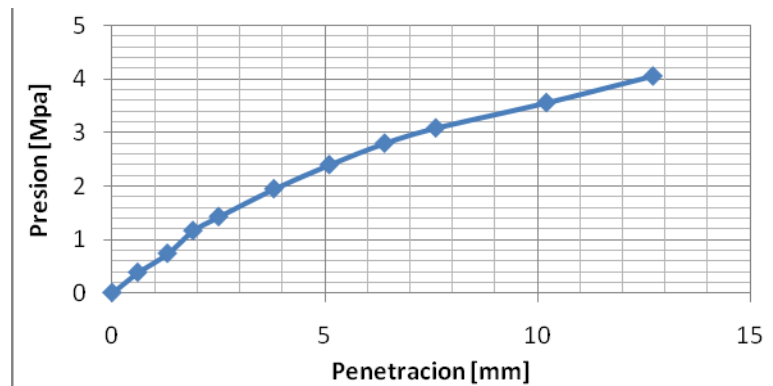
MOLDE	1			2			3		
N° GOLPES	12			26			55		
PENETRACIÓN	LEC	CARGA	PRESIÓN	LEC	CARGA	PRESIÓN	LEC	CARGA	PRESIÓN
[mm]		[KN]	[Mpa]		[KN]	[Mpa]		[KN]	[Mpa]
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.6	4	0.1837	0.09492	5	0.22958	0.118648	7	0.3214	0.1661076
1.3	6	0.2755	0.14238	9	0.41325	0.213567	13	0.5969	0.3084855
1.9	8	0.3673	0.18984	12	0.551	0.284756	19	0.8724	0.4508634
2.5	11	0.5051	0.26103	15	0.68875	0.355945	25	1.102	0.5695116
3.8	13	0.5969	0.30849	20	0.91834	0.474593	33	1.5153	0.7830785
5.1	18	0.8265	0.42713	26	1.19384	0.616971	43	1.9744	1.020375
6.4	21	0.9643	0.49832	32	1.46934	0.759349	51	2.3418	1.2102122
7.6	24	1.102	0.56951	38	1.74484	0.901727	57	2.6173	1.3525901
10.2	31	1.4234	0.73562	47	2.15809	1.115294	69	3.1683	1.6373459
12.7	37	1.6989	0.878	55	2.52543	1.305131	77	3.5356	1.8271831
CBR A 0.1"	3.783			5.159			8.254		
CBR A 0.2"	4.127			5.961			9.859		
EXPANSIÓN [mm]	2.9718						1.6002		
EXPANSIÓN [%]	2.34						1.26		

% Densidad máx.	Densidad [Kg/cm3]	CBR 0.1"[%]	CBR 0.2"[%]
95	1729	1.206	0.839
98	1784	4.985	5.677
100	1820	7.504	8.902

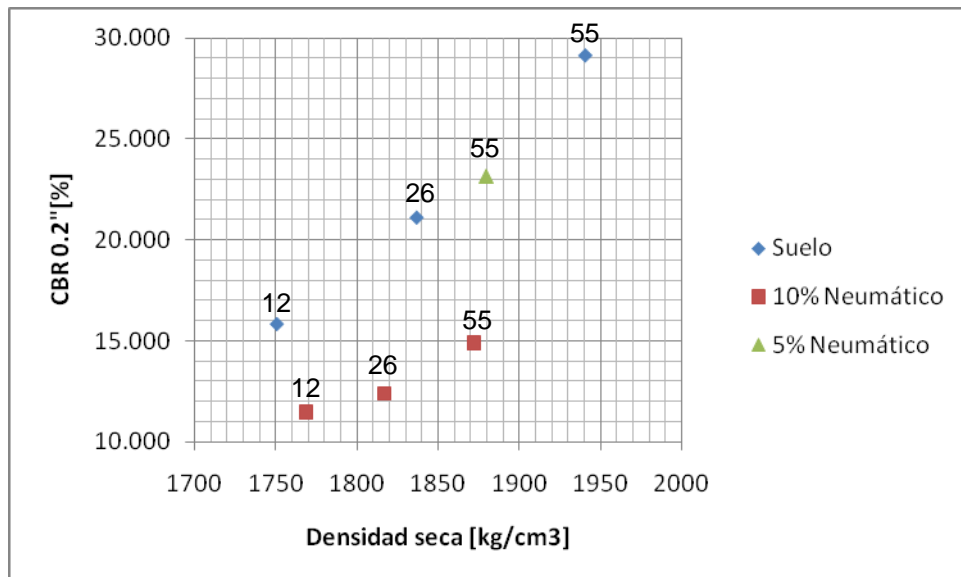
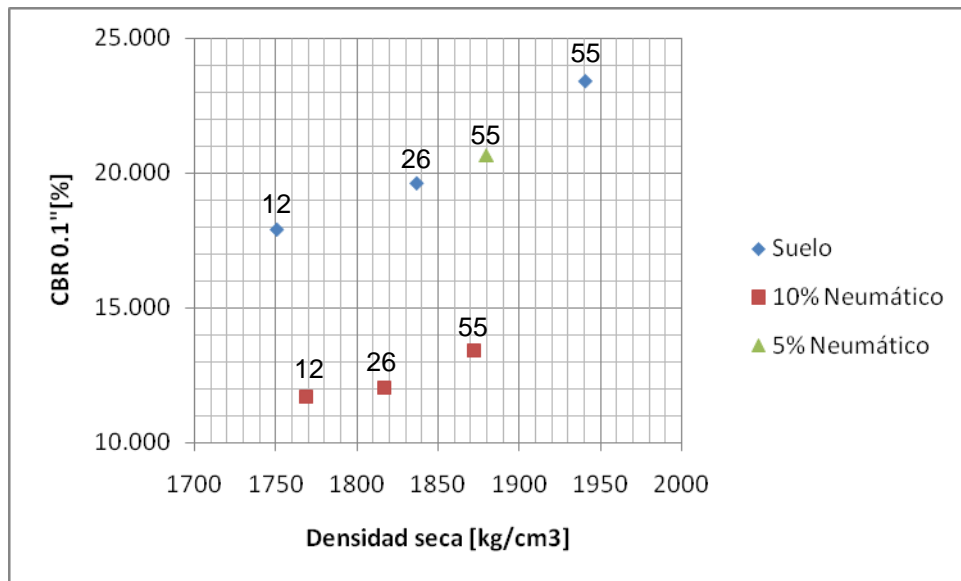


FECHA	26 de Abril de 2010
PROYECTO	Características mecánicas de mezclas de suelo-neumático triturado
LOCALIZACION	Cra 24 N° 31 (Centro)
MUESTRA	Suelo N°3 + 5% Neumático triturado

MOLDE	1		
N° GOLPES	55		
PENETRACION	LEC	CARGA	PRESION
[mm]		[KN]	[Mpa]
0	0	0	0
0.6	16	0.7348	0.37976
1.3	31	1.4237	0.73578
1.9	49	2.2504	1.16301
2.5	60	2.7556	1.42409
3.8	82	3.766	1.94626
5.1	101	4.6386	2.39722
6.4	118	5.4194	2.80072
7.6	130	5.9705	3.08553
10.2	150	6.8891	3.56023
12.7	171	7.8535	4.05867
CBR A 0.1"	20.639		
CBR A 0.2"	23.162		



Graficas CBR 12, 26 y 55 golpes para porcentajes de neumático de 0, 5 y 10%



Graficas CBR sumergido 12, 26 y 55 golpes para porcentajes de neumático de 0 y 10%

