



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

TEMA:

"ESTABILIZACIÓN DEL SUELO MEDIANTE ADICIONES DE CAUCHO RECICLADO"

AUTOR:

Patiño Ycaza, Juan José

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:
INGENIERO CIVIL**

TUTOR:

Ing. De la Pared Condo, Daniel, Msc.

Guayaquil, Ecuador

18 de Septiembre del 2017



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación, fue realizado en su totalidad por **Juan José Patiño Ycaza**, como requerimiento para la obtención del título de **Ingeniero Civil**.

TUTOR

f. _____

Ing. Daniel De la Pared Condo, Msc.

DIRECTORA DE LA CARRERA

f. _____

Ing. Stefany Alcívar Bastidas, Msc.

Guayaquil, a los 18 del mes de Septiembre del año 2017



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Juan José Patiño Ycaza**

DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación, **Estabilización del suelo mediante adiciones de caucho reciclado** previo a la obtención del título de **Ingeniero Civil**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 18 del mes de Septiembre del año 2017

EL AUTOR

f. _____

Patiño Ycaza, Juan José



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

AUTORIZACIÓN

Yo, **Juan José Patiño Ycaza**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, **Estabilización del suelo mediante adiciones de caucho reciclado**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

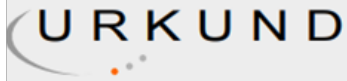
Guayaquil, a los 18 del mes de Septiembre del año 2017

EL AUTOR:

f. _____

Patiño Ycaza, Juan José

REPORTE URKUND



Urkund Analysis Result

Analysed Document: Trabajo de titulo Jose Patiño.pdf (D30286775)
Submitted: 2017-08-30 04:22:00
Submitted By: claglas@hotmail.com
Significance: 2 %

Sources included in the report:

PEDRO ROMULO CUENCA LEON..docx (D13087398)
PROYECTO DE IINVESTIGACIÓN CORRELACIÓN ENTRE C.B.R. Y D.C.P..docx (D16556598)

Instances where selected sources appear:

8

AGRADECIMIENTO

Le agradezco en primer lugar a Dios por guiarme en este camino para conseguir mi título y ejercerlo para servir a los demás.

Agradecer a mis padres por tanto apoyo y esfuerzo, ya que sin ellos esto no sería posible.

A Mario Patiño por ser mi guía en este largo camino universitario y darme los consejos adecuados para poder desenvolverme en ella.

Al Ing. Daniel De la Pared por dedicar su tiempo y experiencia para el desarrollo de este trabajo de titulación.

Finalmente a mis hermanos, amigos y enamorada que cada día me brindaron su cariño para lograr alcanzar este título.

DEDICATORIA

A toda mi familia que por todo su apoyo pude culminar esta etapa de mi vida.



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. _____

Ing. Lilia Valarezo, Msc

DECANA DE CARRERA

f. _____

Ing. José Barros, Msc

DOCENTE DE LA CARRERA

f. _____

Ing. Oswaldo Ripalda, Msc

OPONENTE

Índice

Capítulo I	2
1.1.- Antecedentes	2
1.2.- Razones que motivaron el estudio	2
1.3.- Objetivos	2
1.3.1.- Objetivo General	2
1.3.2.- Objetivos específicos	3
1.4.- Alcance	3
1.5.- Metodología	3
Capítulo II	21
2.- Materiales	21
2.1.- Suelo: Material de mejoramiento cantera "LA ROCA"- PROGECON S.A., km 18.5 Vía Daule, Guayas – Ecuador	21
2.2.- Caucho Reciclado	24
Capítulo III	26
3.- Método de Ensayo	26
3.1.- Ensayo muestra (Patrón)	26
3.2.- Ensayo estabilización (Suelo + Caucho)	26
3.3.- Resultados y análisis	28
Capítulo IV	31
4.- Método de Ensayo	31
4.1.- Ensayo estabilización (Suelo + Caucho)	31
4.2.- Resultados y análisis	32
Capítulo V	34
5.- Método de Ensayo	34
5.1.- Ensayo de estabilización (Suelo+ caucho) "Sin Inmersión + Absorción del caucho"	34
5.2.- Resultados y análisis	34
Capítulo VI	37
6.- Conclusiones	37
Capítulo VII	38
7.- Materiales - 2da fase de investigación	38
7.1.- Suelo: CANTERA FLOR DE BASTIÓN - HIDALGO E HIDALGO, Guayas – Ecuador	38

7.2.- Caucho Reciclado	40
Capítulo VIII	42
8.- Método de Ensayo	42
8.1.- Ensayo muestra (Patrón).....	42
8.2.- Ensayo estabilización (Suelo + Caucho).....	43
8.3.- Resultados y análisis.....	44
Capítulo IX	50
9.- Conclusiones y Recomendaciones	50
Bibliografía	52

Índice de Tablas

Tabla 1. Cantidad mínima de muestra	4
Tabla 2. Diámetro Tamices	10
Tabla 3. Relación Tamaño-Cantidad	11
Tabla 4. Granulometría del material	22
Tabla 5. Resultados de Límites Atterberg	23
Tabla 6. Clasificación según SUCS	23
Tabla 7. Proctor Modificado de Grava-Arcillosa	26
Tabla 8. Resultados de Proctor Modificado (suelo-caucho)	27
Tabla 9. Resultados y Incrementos de CBR de las pruebas	29
Tabla 10. Incremento de CBR sin inmersión	32
Tabla 11. Aumento de Humedad Óptima a razón del Caucho reciclado	34
Tabla 12. Porcentaje de Incremento del CBR de la Muestra Patrón y 2% de Caucho	35
Tabla 13. Relación de resultados de Proctor Modificado	35
Tabla 14. Granulometría del Material	39
Tabla 15. Resultados de Límites Atterberg	40
Tabla 16. Clasificación según SUCS	40
Tabla 17. Resultados CBR de arcilla	43
Tabla 18. Aumento de Humedad Óptima a razón de los Rubber Chips	44
Tabla 19. Densidad Patrón vs Porcentaje Optimo de Caucho Reciclado	44
Tabla 20. CBR Mezcla Arcilla-2% Caucho	45
Tabla 21. CBR Mezcla Arcilla-5% Caucho	45
Tabla 22. A) CBR Mezcla Arcilla-10% Caucho	46
Tabla 23. B) CBR Mezcla Arcilla-10% Caucho	47
Tabla 24. Promedio del CBR Mezcla Arcilla-10% Caucho (Óptimo)	47
Tabla 25. CBR Mezcla Arcilla-15% Caucho	48
Tabla 26. Incremento de Resistencia	48
Tabla 27. Permeabilidad de Probetas	48
Tabla 28. Incremento de Resistencia (Patron vs % Óptimo de Caucho)	49

Índice de Figuras

Figura 1. Equipo para Límite Líquido	6
Figura 2. Cuchara de Casagrande	7
Figura 3. Ensayo Límite Plástico	9
Figura 4. Muestras del Ensayo	10
Figura 5. Ensayo Proctor Modificado	15
Figura 6. Secuencia de procedimiento	18
Figura 7. Lecturas de Hinchamiento	19
Figura 8. Ensayo de Penetración	20
Figura 9. Fuente del Material. Cantera "La Roca"	21
Figura 10. Se determino una Grava-Arcillosa	23
Figura 11. Caucho granulado	25
Figura 12. Curva DMS vs % Caucho	28
Figura 13. Curva CBR vs %Caucho	29
Figura 14. Curva Densidad vs % Caucho	31
Figura 15. Curva CBR (sin inmersión) vs % Caucho	32
Figura 16. Curva CBR sin inmersión + absorción vs % Caucho	34
Figura 17. Curva Densidad vs % Caucho	35
Figura 18. Material de Flor de Bastión	38
Figura 19. Rubber Chips	41
Figura 20. Resultado Proctor Modificado de la Arcilla	42
Figura 21. Gráfico CBR Patrón	42
Figura 22. Gráfico de CBR (Suelo + 2% C.R.)	44
Figura 23. Gráfico de CBR (Suelo + 5% C.R.)	45
Figura 24. A) Gráfico de CBR (Suelo + 10% C.R.)	46
Figura 25. B) Gráfico de CBR (Suelo + 10% C.R.)	46
Figura 26. Gráfico de CBR (Suelo + 15% C.R.)	47
Figura 27. Curva CBR vs % Caucho Reciclado (Rubber Chips)	48

Resumen

En el presente trabajo de titulación se realiza proceso de estabilización de dos distintos tipos de suelo con caucho reciclado. Se efectúa las pruebas con el mismo tipo de caucho (Neumático), su única diferencia es la cantidad de procesos de reciclado por los que atraviesa los dos tipos de caucho que se manejarán en este trabajo de investigación. Además que se realizarán los procesos de clasificación de los dos tipos de suelo usados en los ensayos de probetas.

Se realiza ensayos de dos tipos de probetas, suelo y suelo-caucho para determinar su resistencia por medio del ensayo del CBR y su densidad por el ensayo de proctor modificado siguiendo la norma de la ASTM que serán las pruebas que regirán esta investigación principalmente.

A partir de los resultados obtenidos en el laboratorio se obtendrá la información necesaria para determinar la estabilización del suelo por la mezcla de suelo-caucho de los tipos de mezcla que se realizarán.

Palabras Claves: Resistencia, Densidad, Granulometría, Humedad, ASTM, SUCS, Límites de Atterberg, Compactación.

Abstract

The following undergraduate thesis project consists of studies of the process for the stabilization of two types of soil with recycled rubber. The tests were conducted with the same type of rubber from recycled tires, but with different samples from the various stages of the recycling process, from which the recycled tires were retrieved for the purpose of this investigation. Additionally, the two soils were classified before conducting the studies to evaluate the thesis project.

Both soil and soil-rubber specimens are tested to determine their resistance through CBR tests and their density following the ASTM standards; these will be the tests that will mainly govern this investigation.

The stabilization will be determined by the outcomes obtained in the laboratory for the soil-rubber combination and the different types of mixtures studied.

Key Words: Resistance, Density, Particle Size Distribution Analysis, Moisture, ASTM, SUCS, Atterberg Limits, Compaction

Capítulo I

1.- Introducción

1.1.- Antecedentes

La estabilización consiste en tratar los suelos de tal manera que aumente su resistencia y durabilidad para que se puedan implementar en construcción cuando sus características iniciales no lo permitían. Actualmente se investigan materiales alternativos para realizar estabilización del suelo.

Las llantas, cuyo principal componente es el caucho, se convierten en un desecho industrial, el cual puede ser utilizado como un agente estabilizador. Las llantas pasan por un proceso de reciclaje mediante trituración, al ser un desecho industrial su utilización reduce el volumen de desechos producido por la industria automotriz. Cerca de 4'000.000 de llantas ingresan al mercado ecuatoriano por año.

La implementación de caucho reciclado como agente estabilizador, representa un gran beneficio no solo de desempeño sino también ambiental.

1.2.- Razones que motivaron el estudio

La presente investigación busca sacar una ventaja sobre un material contaminante al medio ambiente que por su composición su estructura no se degrada, al contrario tiene una resistencia a la descomposición de aproximadamente 300 años. Esto quiero decir que su acumulación año tras año es cada vez mayor.

Con respecto al suelo, se pretende un resultado que estabilice el suelo aumentando la resistencia del material que se encuentre en el sector donde se requiera una obra civil y así evitar el desalojo del mismo y traer nuevo material de otro sector.

1.3.- Objetivos

1.3.1.- Objetivo General

Presentar un método de estabilización de suelos mediante adiciones de caucho reciclado.

1.3.2- Objetivos específicos

- Estudiar la influencia del caucho reciclado en las propiedades de CBR y densidad
- Obtener un beneficio de desempeño, a través de un desecho industrial.

1.4.- Alcance

- Investigar el posible beneficio del caucho para aumentar la resistencia de los suelos
- Reciclaje de un material no degradable que afecta el medio ambiente
- El porcentaje óptimo de caucho necesario si llega a ser positivo el aumento de resistencia.

1.5.- Metodología

La investigación se desarrollará mediante la elaboración de probetas "suelo-caucho" para luego realizar ensayos físicos-mecánicos que permitan analizar como varían las propiedades del suelo. Todos los ensayos se realizan siguiendo normas ASTM.

Los ensayos a realizar en esta investigación son los siguientes:

- **Humedad - ASTM D2216 (ASTM, 2014)**

Objeto

Esta norma establece el método para determinar en el laboratorio el contenido de agua de los suelos, mediante el secado al horno.

Disposiciones Generales

La determinación se efectuará por duplicado sobre diferentes porciones de la misma muestra.

La temperatura del laboratorio debe mantenerse a 23 ± 3 °C.

Equipo

Horno.- Termostáticamente controlado, capaz de mantener constante una temperatura de 105 ± 5 °C

Balanza.- Se debe utilizar una balanza sensible a 0.1 g para pesar las muestras.

Recipientes. Fabricados de un material resistente a la corrosión y que no alteren su masa ó se desintegren debido al fenómenos repetitivo de calentado y enfriado. Estos recipientes deben identificarse mediante numeración clara e indeleble.

Muestra de ensayo

La muestra de ensayo debe tener suficiente material para que sea representativa del suelo. La masa mínima de la muestra debe estar en concordancia con los valores recomendados para uso general de laboratorio de la Tabla 1.

Tabla 1. Cantidad mínima de muestra

Tamaño Máximo de Partículas	Masa Mínima de la Muestra (g)
425 µm (Nº 40)	25
2 mm (Nº 10)	50
4.75 mm (Nº 4)	200
9.5 mm (3/8")	300
19 mm (3/4")	500
37.5 mm (1 ½")	1000

Fuente: Construladesa S.A.

Procedimiento

1. Determinar y registrar la masa del recipiente (m1), cuidando que esté seco y limpio.
2. Colocar cuidadosamente en el recipiente la porción representativa del suelo a ensayarse, después de desmenuzarla, (Tabla 1), cuidando que exteriormente no existan partículas de suelo adheridas; determinar y registrar su masa (m2)
3. Colocar el recipiente con la muestra húmeda en el horno de secado, manteniendo una temperatura de $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$ hasta obtener masa constante.

4. Inmediatamente después de sacar del horno el recipiente con la muestra de suelo seca, determinar y registrar su masa (m3).

- **Límites de Atterberg - ASTM D4318 (ASTM, 2014)**

Determinación del Límite Líquido

Objeto

Esta norma establece el método para determinar el límite líquido de un suelo secado al horno a 60°C, secado al aire o en estado natural.

Alcance

Este ensayo debe hacerse únicamente con la fracción de suelo que pasa el tamiz de 425 μm (No. 40).

Disposiciones Generales

La temperatura del laboratorio debe mantenerse a 23 ± 3 °C.

Equipo

Dispositivo mecánico (Copa de Casagrande).- Consiste en una copa de bronce o de acero resistente a la corrosión, acoplada a un dispositivo construido de la forma y de acuerdo con las dimensiones que se indican en la Figura A.1 del Anexo A, cuya base debe ser de caucho vulcanizado o de madera dura.

Acanaladores.- Deben ser de bronce o acero resistente a la corrosión, calibrados de acuerdo a las dimensiones indicadas en las figuras del Anexo B.

Plato o fuente de mezclado.- Recipiente de tamaño adecuado, apto para el mezclado de la muestra de suelo.

Espátulas.- Deben ser de acero inoxidable, de tamaños adecuados, apropiados para el mezclado y el cortado de la muestra de suelo.

Botella de lavado.- Fabricada preferentemente de plástico, o un vaso de precipitación que contenga agua destilada.

Recipientes herméticos.- Deben ser de un material resistente a la corrosión y capaces de contener alrededor de 200 a 250 g de suelo húmedo.

Calibrador.- Puede ser metálico o de un material resistente a la corrosión.

Horno.- Termostáticamente controlado, capaz de mantener constante una temperatura de 105 ± 5 °C.

Balanza.- Se debe utilizar una balanza sensible a 0.1 g para pesar las muestras.



Figura 1. Equipo para Límite Líquido

Fuente: Autor

Preparación de la muestra

Se toma una muestra de alrededor de 250 g de la porción completamente mezclada del material que pase el tamiz de $425 \mu\text{m}$ (No. 40).

Procedimiento de ensayo

1. El material pasante del tamiz $425 \mu\text{m}$ (No. 40), colocarlo en el plato.

2. Agregar de 15 a 20 ml de agua destilada, revolviendo alternadamente y repetidamente, amasando y cortando con la espátula a fin de homogenizar la muestra. Se efectuará incremento de agua de 1 a 3 ml
3. Colocar una porción de la muestra en la copa del Casagrande, comprimirla hacia abajo.
4. Extenderla con una espátula del centro hacia los extremos, hasta que la altura de la muestra en el punto más bajo se de 10 mm.
5. Con una firme pasada del ranurador hacer una abertura en la parte central de la muestra contenida en la copa como se muestra en el Figura 2, para lo cual, se mantendrá el ranurador normal a la superficie interior de la copa.



Figura 2. Cuchara de Casagrande

Fuente: Autor

6. Accionar el equipo para alzar y dejar caer la copa dos golpes por segundo hasta lograr que las dos mitades se unan aproximadamente 13 mm. Se registra en número de golpes en el que se cerró las dos mitades.
7. Se toma una rodaja de la muestra cuyo ancho es igual al de la espátula extendiéndose de borde a borde.
8. Colocar esta rodaja en un recipiente (previamente pesado y numerado), y registre su peso. Secar la muestra.

9. Retire la muestra de la copa y colocarla en el plato de mezclado, limpiar la copa y secarla.
10. Repetir los pasos anteriores para por lo menos dos porciones más de suelo.

Determinación del Límite Plástico

Alcance

Este método, describe el procedimiento para determinar el Límite Plástico de los suelos. El Límite Plástico de un suelo es el contenido de agua que este contiene para que pase de un estado semisólido a sólido.

Equipo

Plato.- Un plato de porcelana, preferentemente sin esmaltar o similar para mezclado, de aproximadamente 115 mm de diámetro.

Espátula.- Una espátula o cuchillo que tenga una hoja aproximadamente de 75 mm a 100 mm de longitud y 20 mm de ancho, con punta redonda.

Superficie de rodadura.- Una placa de vidrio esmerilado.

Recipientes.- Hechos de material resistente a la corrosión y no sujetos al cambio de masa o desintegración con el repetido calentar y enfriar.

Balanza.- La balanza tendrá la capacidad suficiente para poder pesar los materiales.

Horno.- Termostáticamente controlado, capaz de mantener constantemente una temperatura de 110 ± 5 C, para el secado de las muestras húmedas.

Muestra de ensayo

Se requiere una cantidad de suelo con una masa aproximada de 100 g que pase el tamiz 0.425 mm (No. 40). Colocar al suelo en el plato de mezclado y agregar agua destilada hasta que la masa se vuelva plástica y pueda formarse fácilmente una esfera.

Procedimiento

1. Tomar una porción de 1.5 a 2.0 g de la masa de suelo y forme una masa elipsoidal.
2. Ruede la masa del suelo entre la palma de la mano y la placa de vidrio hasta obtener un hilo de diámetro uniforme a una velocidad de 80 a 90 ciclos por minuto. El hilo se irá formando hasta que su diámetro alcance 3 mm, esto no debe tomar más de 2 minutos.
3. Cuando el hilo de suelo obtiene un diámetro de 3 mm y no se ha desmoronado, romperlo en seis u ocho pedazos para formar una nueva masa elipsoidal y nuevamente enrolle como se muestra en la Figura 3, repetir el proceso cuantas veces sea necesario hasta que se desmorone aproximadamente con dicho diámetro.
4. Continuar este enrolado hasta obtener un nuevo hilo de 3 mm, prosiga como en el paso anterior hasta que el hilo se rompa en tres segmentos o se desmorone al momento de alcanzar dicho diámetro.



Figura 3. Ensayo Límite Plástico

Fuente: Autor

Índice de plasticidad (IP) = Límite Líquido - Límite Plástico



Figura 4. Muestras del Ensayo

Fuente: Autor

- **Granulometría - ASTM D422 (ASTM, 2014)**

Alcance

Esta norma describe el procedimiento para determinar cuantitativamente la distribución de las partículas de un suelo.

Equipo

Horno.- Termostáticamente controlado, capaz de mantener constantemente una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$

Los tamices normalmente requeridos se indican en la Tabla 2.

Tabla 2. Diámetro Tamices

Designación estándar mm	Designación alternativa
75	3 pulg.
50	2 pulg.
25	1 pulg.
9.25	3/8 pulg.
4.75	Nº 4
2.00	Nº 10
0.425	Nº 40
0.075	Nº 200

Fuente: Construladesa S.A.

Muestra de ensayo

Las muestras para análisis se obtendrán por medio de cuarteo. La cantidad de muestras mínimo dependerán del tamaño máximo de las partículas (Tabla 3).

Tabla 3. Relación Tamaño-Cantidad

Tamaño nominal de las partículas		Peso mínimo aproximado de la porción.
mm	Pulg.	Kg.
9.5	3/8	0.5
25	1	2
50	2	4
75	3	5

Fuente: Construladesa S.A.

Procedimiento

1. Análisis por medio de tamizado de la fracción retenida en el tamiz de 4.75 mm (Nº4) separe la porción de la muestra retenida en el tamiz Nº 4, en una serie de fracciones usando los tamices de: 75, 50, 25, 9.5 y 4.75 mm ó los que sean necesarios dependiendo del tipo de muestra ó de las especificaciones del material que se ensaye.
2. Seleccione un grupo de tamices de tamaño adecuados para cumplir con las especificaciones del material que se va a ensayar.
3. Efectúe la operación de tamizado a mano ó por medio de un tamizador mecánico durante un período adecuado. En la operación de tamizado manual se mueve el tamiz o tamices de un lado a otro y recorriendo circunferencias de forma que la muestra se mantenga en movimiento sobre la superficie del tamiz
4. Cuando se utilice una tamizadora mecánica, se pondrá a funcionar por 10 min aproximadamente. Se determina el peso de la muestra retenida en cada tamiz y se registra.
5. La suma de los pesos retenidos de todos los tamices y el peso inicial de la muestra no debe diferir en más del 1%.

6. Análisis granulométrico de la fracción fina se lo hará por tamizado y/o sedimentación según las características de la muestra y la información requerida.
 7. Los materiales arenosos que contengan muy poco limo y arcilla, cuyos terrones se desintegren con facilidad, se podrá realizar en seco.
 8. Análisis por lavado sobre el tamiz de 0.075 mm (N° 200) y mediante cuarteo tomar una muestra representativa.
 9. Colocar la muestra en un recipiente adecuado y dejar en remojo hasta que los terrones se ablanden. Se lava la muestra sobre el tamiz de 0.075 mm (N° 200).
- **Proctor – ASTM D1557 (ASTM, 2014)**

Compactación de suelos en el laboratorio utilizando una energía modificada (Proctor Modificado)

Objetivo

Este ensayo abarca los procedimientos de compactación usados en Laboratorio, para determinar la relación entre el Contenido de Agua y Peso Unitario Seco de los suelos (curva de compactación) compactados en un molde de 6 pulgadas (152,4 mm) de diámetro con un pisón de 10 lbf (44,5 N) que cae de una altura de 18 pulgadas (457 mm), produciendo una Energía de Compactación de 56 000 lb-pie/pie³ (2 700 kN-m/m³). Este ensayo se aplica sólo para suelos que tienen 30% ó menos en peso de sus partículas retenidas en el tamiz de 3/4” pulg (19,0 mm).

Equipo

Ensamblaje del Molde.- Los moldes deben de ser cilíndricos hechos de materiales rígidos. El collar de extensión debe de alinearse con el interior del molde, la parte inferior del plato base y del área central ahuecada que acepta el molde cilíndrico debe ser plana.

Molde de 6 pulgadas.- Un molde que tenga en promedio $6,000 \pm 0,026$ pulg ($152,4 \pm 0,7$ mm) de diámetro interior, una altura de: $4,584 \pm 0,018$ pulg ($116,4 \pm 0,5$ mm) y un volumen de $0,075 \pm 0,0009$ pie³ ($2\ 124 \pm 25$ cm³).

Pisón ó Martillo.- Un pisón operado manualmente ó mecánicamente. El pisón debe caer libremente a una distancia de $18 \pm 0,05$ pulg ($457,2 \pm 1,6$ mm) de la superficie de espécimen.

Método de Compactación

Molde.- 6 pulg. (152,4mm) de diámetro.

Materiales.- Se emplea el que pasa por el tamiz $\frac{3}{4}$ pulg (19,0 mm).

Capas.- 5

Golpes por Capa.- 56

Determinar y anotar la masa del molde ó molde y el plato de base. Ensamble y asegure el molde y el collar al plato base. El método de enlace ó unión al cimiento rígido debe permitir un desmolde fácil del molde ensamblado, el collar y el plato base después que se concluya la compactación.

Compactar el espécimen en cinco capas. Después de la compactación, cada capa deberá tener aproximadamente el mismo espesor. Antes de la compactación, colocar el suelo suelto dentro del molde y extenderlo en una capa de espesor uniforme. Suavemente apisonar el suelo antes de la compactación hasta que este no esté en estado suelto o esponjoso, usando el pisón manual de compactación o un cilindro de 2 pulg (5 mm) de diámetro. Posteriormente a la compactación de cada uno de las cuatro primeras capas, cualquier suelo adyacente a las paredes del molde que no han sido compactados o extendido cerca de la superficie compactada será recortado. El suelo recortado puede ser incluido con el suelo adicional para la próxima capa. Un cuchillo u otro aparato disponible pueden ser usados. La cantidad total de suelo usado será tal que la quinta capa compactada se extenderá ligeramente dentro del collar, pero no excederá 1/4pulg (6 mm) de la parte superior del molde. Si la quinta capa se extiende en más de 1/4pulg (6 mm) de la parte superior del molde, el espécimen será descartado. El espécimen será descartado cuando el último golpe del pisón para la quinta capa resulta por debajo de la parte superior del molde de compactación.

Compactar cada capa 56 golpes para el molde de 6 pulgadas (152,4 mm).

Al operar el pisón manual del pisón, se debe tener cuidado de evitar la elevación de la guía mientras el pisón sube. Mantener la guía firmemente y dentro de 5° de la vertical. Aplicar los golpes en una relación uniforme de aproximadamente 25 golpes/minuto y de tal manera que proporcione una cobertura completa y uniforme de la superficie del espécimen.

Después de la compactación de la última capa, remover el collar y plato base del molde. El cuchillo debe usarse para ajustar o arreglar el suelo adyacente al collar, soltando el

suelo del collar y removiendo sin permitir el desgarro del suelo bajo la parte superior del molde.

Cuidadosamente enrasar el espécimen compactado, por medio de una regla recta a través de la parte superior e inferior del molde para formar una superficie plana en la parte superior e inferior del molde. Rellenar cualquier hoyo de la superficie, con suelo no usado o despejado del espécimen, presionar con los dedos y vuelva a raspar con la regla recta a través de la parte superior e inferior del molde.

Determine y registre la masa del espécimen y molde con aproximación al gramo. Cuando se deja unido el plato base al molde, determine y anote la masa del espécimen, molde y plato de base con aproximación al gramo.

Remueva el material del molde. Obtener un espécimen para determinar el contenido de agua utilizando todo el espécimen (se refiere este método) o una porción representativa. Cuando se utiliza todo el espécimen, quíbrelo para facilitar el secado. De otra manera se puede obtener una porción cortando axialmente por el centro del espécimen compactado y removiendo 500gr del material de los lados cortados. Obtener el contenido de humedad.

Después de la compactación del último espécimen, comparar los Pesos Unitarios Húmedos para asegurar que el patrón deseado de obtención de datos en cada lado del óptimo contenido de humedad sea alcanzado en la curva de compactación para cada Peso Unitario Seco y el Peso Unitario Húmedo y Contenido de Agua de cada espécimen compactado puede ser una ayuda para realizar esta evaluación. Si el patrón deseado no es obtenido, serán necesarios compactar especímenes adicionales. Generalmente, un valor de contenido de agua mayor que el contenido de agua definido por el máximo Peso Unitario Húmedo es suficiente para asegurar los datos del lado más húmedo que el óptimo contenido de agua para el máximo Peso Unitario seco.



Figura 5. Ensayo Proctor Modificado

Fuente: Autor

- **C.B.R. – ASTM D1883 (ASTM, 2014)**

Alcance

Determinar la relación de soporte de California (CBR) de un suelo que está sometido a esfuerzos cortantes, además evaluar la calidad relativa del suelo para subrasante, sub-base y base.

Equipo

Molde.- Metálico cilíndrico, diámetro interior 6.0 ± 0.026 pulg, altura 7.0 ± 0.018 pulg, provistos de un collar de 2 pulg de altura y un plato base perforado.

Disco espaciador.- Circular metálico diámetro $15/16 \pm 1/32$ pulg, y una altura de 2.42 ± 0.01 pulg.

Pisón Metálico: Cara plana circular de 2 pulg de diámetro, masa de 5.5 ± 0.02 lb y altura de caída libre de 18 pulg.

Dispositivo para medir la expansión.- Placa de metal perforado de 149.2mm con perforaciones de 1.6mm, provista por un vástago en el centro con un sistema de tornillo que permita regular su altura.

Trípode con deformímetro.- Trípode cuyas patas se puedan apoyar en el molde, en el centro un dial (deformímetro), para medir la magnitud del hinchamiento durante la saturación.

Pesos de sobrecarga.- Peso de metal anular con un agujero en el centro de $2\frac{1}{8}$ pulg. de diámetro y una pesa metálica ranurada, diámetro $5\frac{7}{8}\pm 1/16$ pulg, y masa 5 ± 0.10 lb.

Pistón de penetración.- Cilíndrico metálico diámetro 1.954 ± 0.005 pulg, área 3 pulg², y una longitud no inferior a 4 pulg.

Dispositivo de Carga.- Aparato de compresión capaz de aplicar carga creciente uniforme a una razón de 0.05 pulg/min.

Tanque de remojo.- Capaz de mantener el nivel del agua a 25 mm (1 pulg) sobre la parte superior de los moldes.

Horno.- Termostáticamente controlado capaz de mantener una temperatura de $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ ó $(230 \pm 9)^{\circ}\text{F}$ para el secado de las muestras.

Recipientes para contenido de humedad.- Especificados para la determinación del contenido de humedad.

Procedimiento

1.- Cuando más del 75% pasa la muestra por el tamiz de 19.0 mm ($\frac{3}{4}$ pulg), se usa todo el material para preparar los especímenes en la compactación.

2.- Si el material que pasa el tamiz de 2 pulg., y es retenido en el tamiz de 19.0 mm, sea superior a un 25%, se separa y se reemplaza por una cantidad igual de material que pasa por el tamiz de 19.0 mm ($\frac{3}{4}$ pulg) y es retenido en el tamiz 4.75 mm (No. 4).

3.- De una muestra que tenga un peso de 35 kg (75 lb) o más, seleccione una porción representativa de una masa aproximada de 11kg (25 lb) para una prueba de humedad -

densidad y divida el resto de la muestra para obtener tres porciones representativas que tengan una masa de 6.8kg (15 lb) cada una.

4.- De una muestra que tiene una masa de 113 kg (250 lb) ó más, seleccione al menos cinco porciones representativas que tengan una masa aproximada de 6.8 kg (15 lb) cada una.

5.- Determine la humedad óptima y la densidad seca máxima del ensayo de compactación.

6.- Determine la humedad natural. Añada agua necesaria para llegar a la humedad óptima.

7.- Compactar tres especímenes, para que sus densidades compactadas vayan desde 95% ó más baja a 100% ó más alta de la densidad seca máxima determinada.

8.- Empalme el molde a la base del plato y pese con una aproximación de 5g (0.01 lb).

9.- Inserte el disco espaciador dentro del molde y coloque un papel filtro en la parte superior del disco.

10.- Mezcle cada una de las tres porciones de 6.8 kg (15 lb) ya preparadas con suficiente agua para obtener el contenido de humedad óptimo.

11.- Compacte la primera porción en el molde, en tres capas iguales con el pisón apropiado luego compacte en cinco capas iguales. Compactando cada capa con 56, 25 Y 10 (ASTM).

12.- Determinar el contenido de humedad del material compactado, al inicio y fin de la compactación (dos muestras).

13.- Cada muestra húmeda tendrá una masa de por lo menos 100 g para suelos finos y 500 g para suelos gruesos.

14.- Quitar el collar y usando un enrazador recorte el suelo compactado en la parte superior del molde. Las irregularidades de la superficie deben ser rellenadas con material más pequeño. (Figura 6)



Figura 6. Secuencia de procedimiento

Fuente: Autor

15.- Quitar el disco espaciador, colocar un papel filtro en el plato base perforado e invierta el molde. Sujete el plato base perforado al molde y coloque el collar.

16.- Determine la masa del molde y el espécimen con una aproximación de 5 gr ó 0.01 lb. Compacte las otras dos porciones de 6.8 kg ó 15 lb.

17.- Siguiendo el procedimiento descrito anteriormente, excepto por el número intermedio de golpes por capa que debe ser usado para compactar el segundo espécimen y el número más alto de golpes por capa que debe ser usado para compactar el tercer espécimen.

18.- Colocar sobre la superficie de la muestra en el molde la placa perforada con vástago y sobre ésta los pesos anulares suficientes para originar una sobrecarga equivalente a la originada por las capas de materiales que van sobre el material que se está probando.

19.- Colocar el trípode con el dial encima del molde y haga una lectura inicial. Luego sumerja al molde en agua. Durante el remojo, mantener el nivel de agua 1 pulg sobre la parte superior del espécimen. Registre lecturas cada 24 horas por un periodo de 96 horas (4 días), se toman y se registran lecturas en el dial.

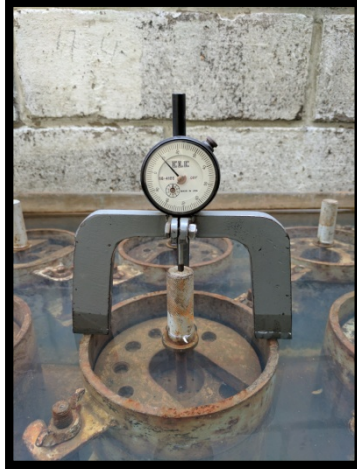


Figura 7. Lecturas de Hinchamiento

Fuente: Autor

20.- Al final de las 96 horas, haga una lectura del dial final en los especímenes empapados. Después de saturada la muestra durante los 4 días, quitar los moldes cuidadosamente del tanque de remojo, vierta el agua retenida en la parte superior del mismo y se deja escurrir el molde durante 15 minutos.

21.- Retire los pesos de la sobrecarga y plato luego registre el peso del molde más suelo después de la saturación (96 horas o 4 días).

Prueba de Penetración

1.- Aplicación de sobrecarga.- Aplicar una sobrecarga de pesas anular y cortada, igual a las usadas durante el remojo.

2.- Coloque el pistón de penetración, aplique una carga de 44N (10 lb).

3.- Poner ambos diales, el de penetración y el de carga en cero y aplique la carga sobre el pistón de penetración, con una velocidad de penetración uniforme de 0.05 pulg/min.



Figura 8. Ensayo de Penetración

A continuación de los resultados obtenidos de los ensayos se creará una tabla de comparación de las probetas donde se podrá interpretar los resultados sobre la mezcla óptima de suelo-caucho.

Capítulo II

2.- Materiales

2.1.- Suelo: Material de mejoramiento cantera "LA ROCA"- PROGECON S.A., km 18.5 Vía Daule, Guayas – Ecuador

El material utilizado para este proyecto se lo seleccionó de la cantera "La Roca" ubicado en la ciudad de Guayaquil. El material fue proporcionado por PROGECON S.A. Se escogió un material de mejoramiento lo cual fue seleccionado y extraído directamente de la cantera.



Figura 9. Fuente del Material. Cantera "La Roca"

Fuente: Autor

Se realiza ensayo según la norma ASTM para obtener la clasificación de material según SUCS.

Se debe realizar:

- Granulometría
- Humedad
- Límites de Atterberg

1) Granulometría

Se realiza el ensayo de Granulometría por la Norma ASTM D 422

Tabla 4. Granulometría del material

Ensayo de Clasificación (Granulometría)					
Tamiz INEN (ASTM)	Masa Retenida Parcial	Masa Retenida Acumulada	% Masa Retenida	% Masa Retenida Acumulada	% que pasa
SERIE GRUESA					
100 mm (4")					
75 mm (3")	1084,6	1084,7	11,0	11,0	89,0
50 mm (2")	0,0				100,0
37,5 mm (1 1/2")	309,4	1394,0	3,1	14,2	85,8
20,5 mm (1")	329,8	1723,8	3,4	17,5	82,5
19,0 mm (3/4")	265,2	1989,0	2,7	20,2	79,8
12,5 mm (1/2")	1.050,6	3039,6	10,7	30,9	69,1
9,5 mm (3/8")	809,2	3848,8	8,2	39,1	60,9
4,75 mm (N°4)	1625,2	5474,0	16,5	55,6	44,4
SERIE FINA					
2,36 mm (N° 8)	1132,2	6606,2	11,5	67,1	32,9
2 mm (N° 10)	170,0	6776,2	1,7	68,8	31,2
1,18 mm (N° 16)	425,0	7201,2	4,3	73,1	26,9
850 μ (N° 20)	234,6	7435,8	2,4	75,5	24,5
600 μ (N° 30)	210,8	7646,6	2,1	77,7	22,3
425 μ (N° 40)	139,4	7786,0	1,4	79,1	20,9
300 μ (N° 50)	119,0	7905,0	1,2	80,3	19,7
250 μ (N° 60)	88,4	7993,4	0,9	81,2	18,8
150 μ (N° 100)	224,4	8217,8	2,3	83,5	16,5
75 μ (N° 200)	272,0	8489,8	2,8	86,2	13,8
Fondo	1354,9	9844,7	13,8	100,0	
Σ	9844,7				

Masa Inicial	9.844 gr
Grava	55.6%
Arena fina	30.6%
Finos	13.8%

Fuente: Autor

2) Humedad

Para establecer la humedad del material nos regimos por la norma ASTM D2216.

3) Límites de Atterberg

Para finalmente terminar el material según SUCS realizamos los límites de Atterberg por la norma ASTM D 4318

Tabla 5. Resultados de Límites Atterberg

Límites de Atterberg	W	8%
	WL	31%
	WP	15%
	IP	16

Fuente: Autor

Finalmente con todos los ensayos realizados según la norma ASTM D 2487 se obtiene la clasificación SUCS:

Tabla 6. Clasificación según SUCS

Clasificación	
SUCS	GC



Figura 10. Se determinó una Grava-Arcillosa

Fuente: Autor

2.2.- Caucho Reciclado

Las llantas son un producto de comercio diario en el Ecuador. El incremento de carros en las vías es un impacto directamente proporcional a las ventas de llantas que se registran anualmente en el Ecuador. El problema de las ventas de las llantas es que al mismo tiempo que se compran una cantidad determinada de llantas el número exacto del producto queda desechado.

Este desecho tiene un impacto ambiental no solo visual además afecta la salud de las personas y contamina la naturaleza. Las llantas desechadas que se encuentran en terrenos vacíos y botadas en la calle crear el ambiente perfecto para los mosquitos y las enfermedades que estos mismos transmiten. La contaminación visual tal vez sea la forma que las personas verdaderamente puedan lograr determinar la dificultad que es deshacerse de los neumáticos, ya que debido a nuestro ecosistema y la falta de cultura de nuestra comunidad se arroja a la calle o terrenos desechos los cuales al ser orgánicos nuestro suelos los absorben pero los neumáticos son materiales no solo que no son degradables sino que resistentes a la misma.

El proceso de molienda del material es simple. Se pasa la llanta directamente por la trituradora y se corta hasta una medida base dependiendo de la trituradora, los pedazos que no llegan a la medida máxima permitida regresa a la trituradora. Luego pasa al proceso de granulación y molienda donde pasan por dos granuladores con cribas de perforación de distintas medidas. Se asegura que el polvo no contamine al medio ambiente pasándola a un silo donde es transportado y depositado en un tambor magnético para separar los pequeños alambres de acero que compone un neumático.

Lo esencial es poder reutilizar al 100% el material del caucho y así beneficiarnos de las propiedades que a nivel medio ambiental podrían ser un problema. El caucho utilizado es granulado y totalmente limpio de impurezas como los alambres de acero y los hilos como se muestra en la Figura 11. Es un caucho liviano de 1-4 mm de tamaño.



Figura 11. Caucho granulado

Fuente: Autor

Capítulo III

3.- Método de Ensayo

3.1.- Ensayo muestra (Patrón)

Compactación- Proctor Modificado

El ensayo de compactación modificado se realiza según la norma ASTM D 698 lo cual se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 7. Proctor Modificado de Grava-Arcillosa

Contenido de Humedad Inicial %
2.84
Contenido Optimo de Humedad %
7.50
Densidad Seca Máxima Kg/m ³
2.035

Fuente: Autor

CBR (California Bearing Ratio)

El ensayo de CBR se realiza a la muestra Patrón según la norma ASTM D 1883. Se realiza los ensayos con el contenido óptimo de humedad a la muestra patrón.

3.2.- Ensayo estabilización (Suelo + Caucho)

En este caso se vuelve a realizar los ensayos de Proctor modificado y del CBR para la misma muestra de suelo de mejoramiento (material patrón) más las adiciones de caucho reciclado.

- **Suelo + 5 % CR**
- **Suelo + 10% CR**
- **Suelo + 15 % CR**

Se establece que la adición del caucho será en un 5, 10 y 15 por ciento del peso del material que se está ensayando.

Compactación- Proctor Modificado

La metodología es la misma al ensayo de compactación previamente realizado. Se realiza bajo la norma ASTM D 698.

Tabla 8. Resultados de Proctor Modificado (suelo-caucho)

Suelo + 5% CR

Contenido de Humedad Inicial %
4.80
Contenido Optimo de Humedad %
10.60
Densidad Seca Máxima Kg/m ³
1.913

Suelo + 10% CR

Contenido de Humedad Inicial %
4.83
Contenido Optimo de Humedad %
10.40
Densidad Seca Máxima Kg/m ³
1.793

Suelo+ 15% CR

Contenido de Humedad Inicial %
4.19
Contenido Optimo de Humedad %
12.40
Densidad Seca Máxima Kg/m ³
1.708

Fuente: Autor

CBR (California Bearing Ratio)

El ensayo de CBR con la adición de CR se realizara de igual forma siguiendo la norma ASTM D 1883.

3.3.- Resultados y análisis

Se muestra los resultados de los ensayos del proctor modificado y CBR de las 2 condiciones ensayadas, muestra patrón y suelo mas caucho reciclado.

Densidad Máxima Seca (DMS)

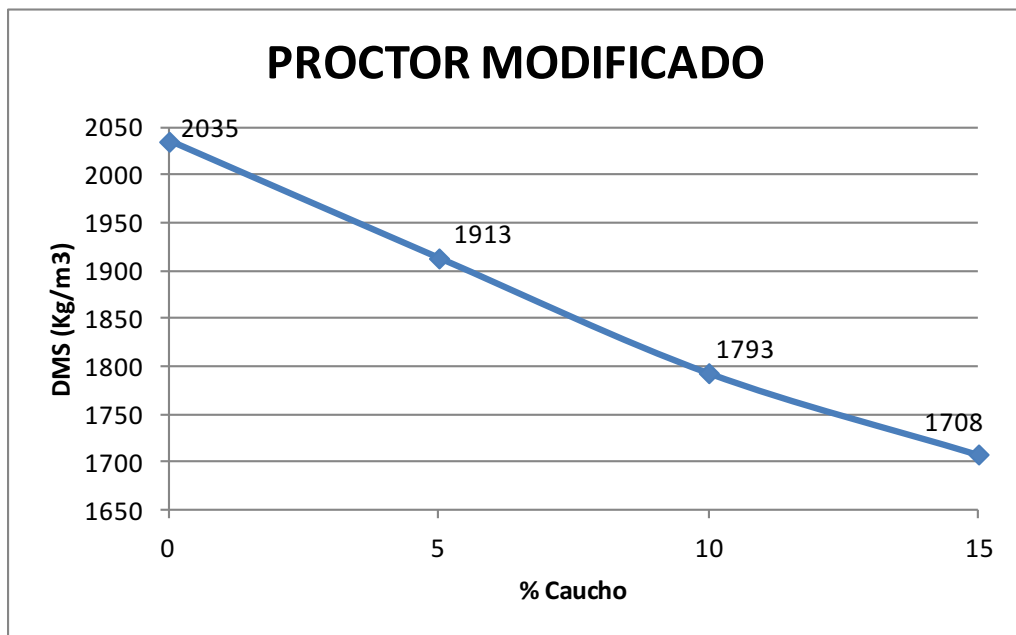


Figura 12. Curva DMS vs % Caucho

Fuente: Autor

La Figura 12 nos indica el cambio de densidad con respecto al aumento de caucho reciclado que se va adicionando a las distintas pruebas que se realizaron. Como se esperaba con la muestra patrón obtiene la densidad más alta y mientras se adiciona el caucho reciclado decrece. Con el 5% de adición de CR decrece casi un 6% de la densidad y un 11.80% con el 10% de adición de CR.

La densidad decrece por el mismo material que es el caucho usado en este proyecto que tiene una muy baja densidad.

CBR (California Bearing Ratio)

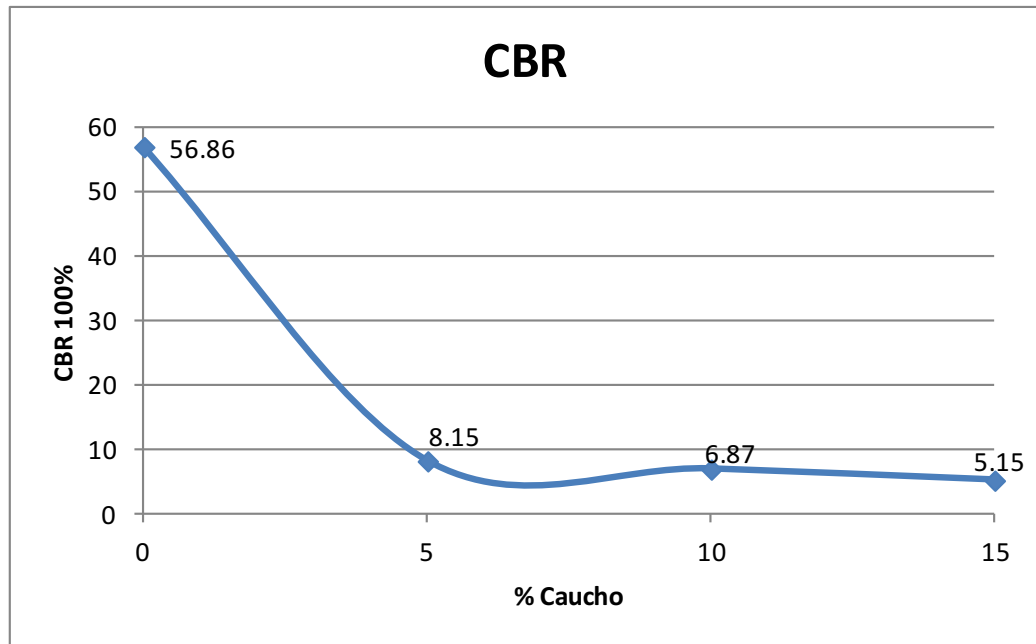


Figura 13. Curva CBR vs %Caucho

Fuente: Autor

Tabla 9. Resultados e Incrementos de CBR de las pruebas

% CR	Determinación de CBR			
	95%	% Incremento Resist.	100%	% Incremento Resist.
0%	31.11%		56.86%	
5%	6.44%	-79.30%	8.15%	-85.67%
10%	3.86%	-87.59%	5.87%	-89.68%
15%	3.22%	-89.65%	5.15%	-90.94%

% CR	CBR Peneatración	
	2.54 mm	% Incremento Resist.
0%	57.36%	
5%	8.19%	-85.72%
10%	5.91%	-89.70%
15%	5.22%	-90.90%

Fuente: Autor

Los resultados que se muestran en la Tabla 9 nos muestran el decrecimiento abrupto del CBR en razón al aumento del CR. El CBR disminuye del 31.11% a 6.44% y de 56.86% a 8.15% para los resultados de 2.54 cm y 5.08 cm respectivamente. En porcentaje el valor de decremento es de 79.30% y 85.67%. Las siguientes adiciones de caucho reciclado (10% y 15%) varían poco en su disminución tanto en las profundidades de penetración y en relación entre ellas sobre el porcentaje de decremento.

Se considera, según los resultados que el aumento del caucho en los porcentajes escogidos para probar fueron muy altos y el resultado fue en sentido inverso al objetivo que se desea lograr. El porcentaje del 5% disminuye la resistencia claramente y mientras se va adicionando mas caucho los resultados siguen bajando pero en esta casi paulatinamente.

El primer error que se presumió es la humedad óptima, ya que la humedad de la muestra se cambio por el cambio de densidad debido a la adición del caucho reciclado lo cual no tuvo que haber sido considerado. Por ese aumento de casi el 40% más de agua la muestra pierde bastante resistencia.

Capítulo IV

4.- Método de Ensayo

4.1.- Ensayo estabilización (Suelo + Caucho)

CBR (California Bearing Ratio) "Sin Inmersión"

Esta prueba a diferencia de las anteriores pruebas de CBR no se puede regir por la norma ASTM D 1883 por el cambio que le realizamos. Este ensayo apenas se termine la compactación se lo penetrará. Se tomo esta decisión porque el caucho tiene una densidad tan pequeña y no se adhiere al suelo que al momento de la inmersión el caucho tiende a flotar y esto hace que el cilindro este lleno de vacios y el agua ocupe esos espacios y hace que la muestra pierda resistencia.

Densidad (CBR)

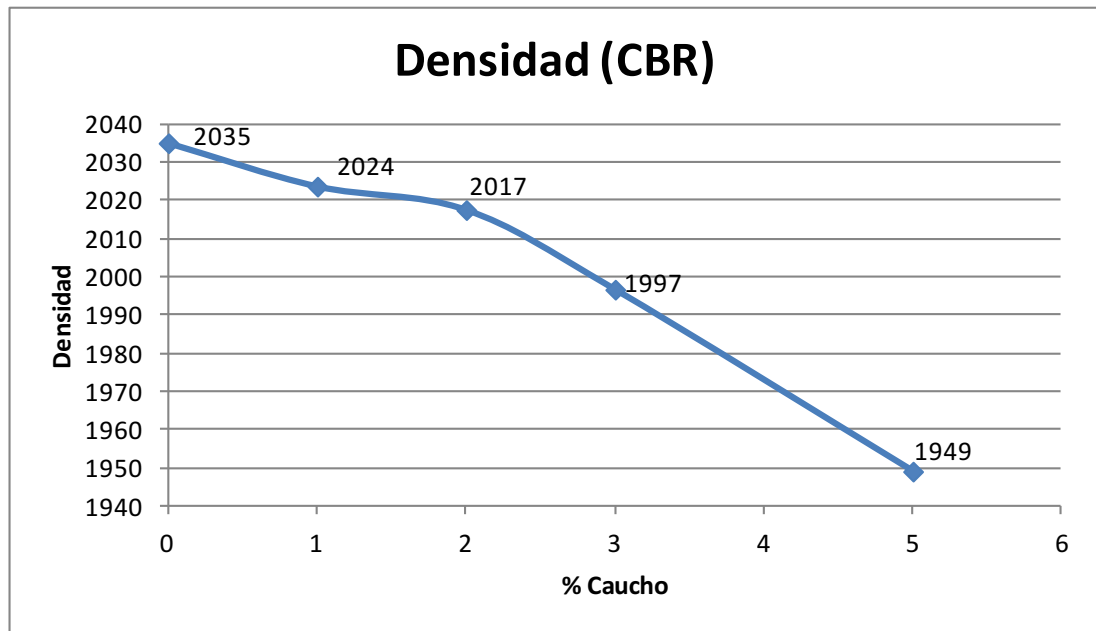


Figura 14. Curva Densidad vs % Caucho

Fuente: Autor

4.2- Resultados y análisis

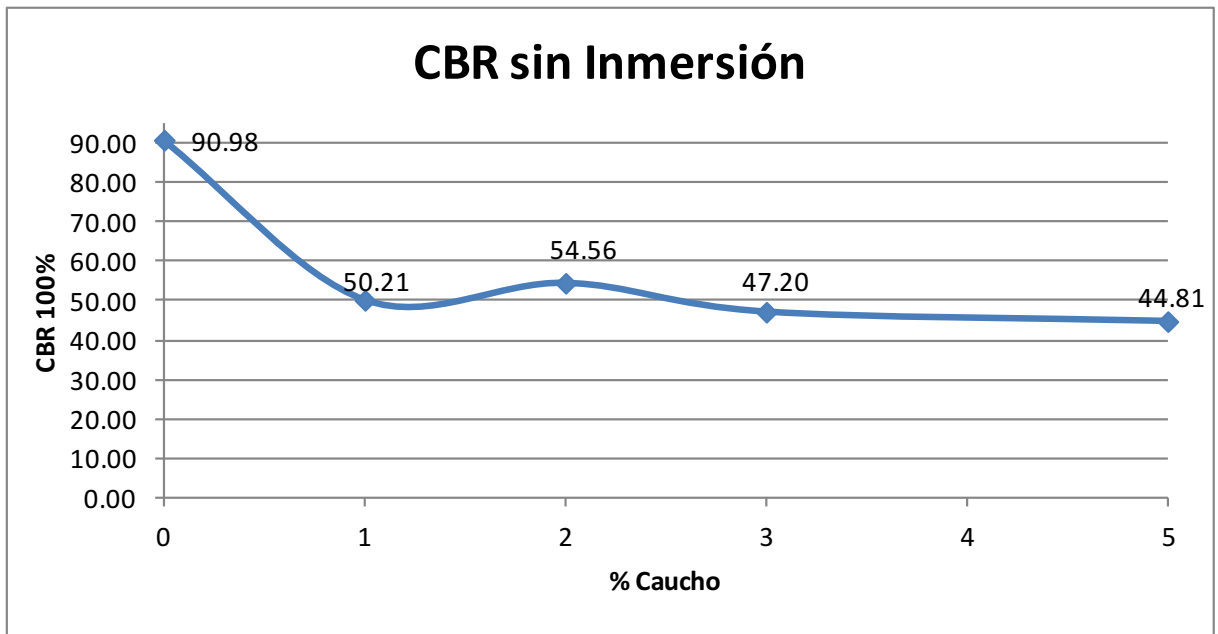


Figura 15. Curva CBR (sin inmersión) vs % Caucho

Fuente: Autor

Tabla 10. Incremento de CBR sin inmersión

% CR	CBR Peneatración	
	2.54 mm	% Incremento Resist.
0%	90.98%	
1%	50.21%	-44.81%
2%	54.56%	-40.03%
3%	47.20%	-48.12%
5%	44.81%	-50.75%

Fuente: Autor

Se observa en la Tabla 10 que el CBR sigue disminuyendo, además la muestra patrón al no ser inmerso igual que las otras probetas su CBR lógicamente aumenta. Se noto un pequeño cambio con el 2 % de adición de caucho que llego a tener el mejor resultado con respecto a las demás adiciones de caucho. La curva nos indica que cerca del 2% está

el porcentaje de caucho que trabajara de manera más eficiente, sin embargo el margen que aun existe entre la muestra patrón y la adición de caucho al 2% no será posible que estabilice el suelo.

En medio de los ensayos se pudo apreciar que al material "suelo+caucho" le faltaba humedad para que se pueda compactar mejor el material. Se presumió que el caucho era un material impermeable pero se realizo un ensayo de absorción para eliminar todas las variables posibles y resulto que el material absorbe 40% de agua con respecto a su peso.

Se replanteo el ensayo aumentando el 40% de agua a razón del peso agregado del caucho reciclado.

Capítulo V

5.- Método de Ensayo

5.1.- Ensayo de estabilización (Suelo+ caucho) "Sin Inmersión + Absorción del caucho"

CBR (California Bearing Ratio)

Se realiza el mismo ensayo sin ningún cambio al previamente mencionado. El único cambio que se realiza es la humedad óptima proporcionada a la muestra donde se realiza un cuadro para ver el aumento según el porcentaje de caucho. (Tabla 11)

Tabla 11. Aumento de Humedad Óptima a razón del Caucho reciclado

Absorción de Caucho		
% CR	Humedad Optima cc	Peso de la Muestra (gr)
0%	227	6430
1.2%	257.864	6430
2.0%	278.44	6430
3.5%	317.02	6430
5.0%	355.6	6430

Fuente: Autor

5.2.- Resultados y análisis

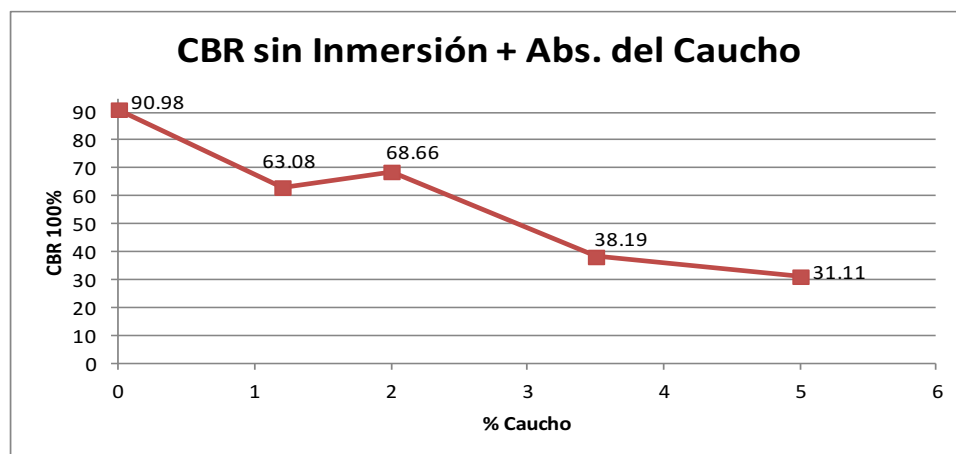


Figura 16. Curva CBR sin inmersión + absorción vs % Caucho

Fuente: Autor

Tabla 12. Porcentaje de Incremento del CBR de la Muestra Patrón y 2% de Caucho

Patrón vs % Óptimo		
% CR	CBR Peneatración	
	2.54 mm	% Incremento Resist.
0%	90.98%	
2%	69.23%	-23.91%

Fuente: Autor

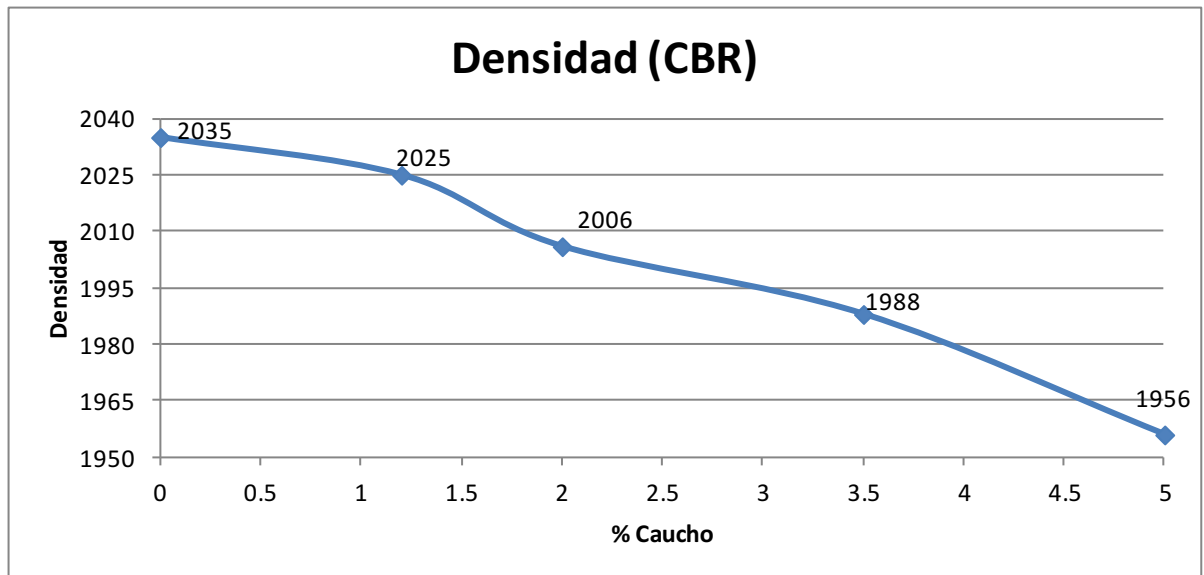


Figura 17. Curva Densidad vs % Caucho

Fuente: Autor

Tabla 13. Relación de resultados de Proctor Modificado

Patrón	2% C.R.
Contenido de Humedad Inicial %	Contenido de Humedad Inicial %
2.84	2.78
Contenido Optimo de Humedad %	Contenido Optimo de Humedad %
7.50	8.10
Densidad Seca Máxima Kg/m ³	Densidad Seca Máxima Kg/m ³
2.035	1.980

Fuente: Autor

Los resultados del CBR sin inmersión y aumentando la cantidad que agua que el caucho absorbe reflejo un aumento considerable en la resistencia del suelo con el 2 por ciento de adición de caucho reciclado que habíamos interpretado con los ensayos anteriores la adición que trabaja de manera más eficiente. Estos ensayos de " CBR sin inmersión + Abs. del caucho" con respecto a los "CBR sin inmersión con la humedad del ensayo patrón" tuvo una mejora del 27% esto nos indica la importancia de la humedad que absorbe el material que se adiciona y lo frágil que son los resultados cuando se hace un cambio a las probetas. El peso específico del material decreció lo cual nos habilita a tener un material más liviano por la adición del caucho.

Desafortunadamente el incremento que resulto al corregir la mezcla según la absorción del material no basto para estabilizar el suelo. Con todos los cambios realizados al material y a la prueba del CBR no se obtuvo ningún tipo de estabilización esperada. El CBR disminuyo en un 23.91% con respecto a la prueba patrón. Lo que se pudo lograr fue alivianar el material con la adición de caucho como se logra observar en Tabla 13.

Capítulo VI

6.- Conclusiones

Podemos concluir de acuerdo a este estudio experimental con 3 puntos:

- El suelo (GC) escogido para el estudio resulto ser un material bien resistente, lo cual pensar en estabilizarlo es un objetivo difícil de mejorar ya que sus propiedades por sí mismas cumplen casi todos los parámetros necesarios para considerar muy buena la calidad del suelo.
- El caucho usado tiene varios problemas, comenzando con la capacidad de absorción de agua que nos varía la resistencia de toda la probeta además al momento de los ensayos de CBR el caucho y el suelo no se compactaban ni trabajaban como un solo elemento al contrario su estructura se desmoronaba con facilidad.
- El peso específico del agua era mucho mayor al caucho usado, esto fue un problema que al momento de la inmersión el caucho trataba de salir a la superficie dejando espacios vacios la probeta y generaban un hinchamiento de manera inmediata y de gran magnitud.

La ventaja del material es que decrece su peso específico lo cual nos dice que el material va perdiendo peso a razón de la adición del caucho granulado. Podría utilizarse en climas secos con muy bajo nivel freático para no bajar más su resistencia por la cual se vio reflejado cuando se ponía en inmersión el material.

Como se tuvo problemas con el material usado hasta este momento se determino realizar los mismo ensayos pero cambiando los materiales. Tanto el suelo como el caucho ya que los dos nos dieron propiedades que no se esperaban.

Capítulo VII

7.- Materiales - 2da fase de investigación

7.1.- Suelo: CANTERA FLOR DE BASTIÓN - HIDALGO E HIDALGO, Guayas – Ecuador

El siguiente material fue adquirido en el sector de Flor de Bastión en una obra de H&H. Es un material de desalojo al cual se realizará los ensayos anteriores para lograr estabilizarlo.



Figura 18. Material de Flor de Bastión

Fuente: Autor

Se realiza ensayo según la norma ASTM para obtener la clasificación de material según SUCS.

Se debe realizar:

- Granulometría
- Humedad
- Límites de Atterberg

1) Granulometría

Se realiza el ensayo de Granulometría por la Norma ASTM D 422

Tabla 14. Granulometría del Material

Ensayo de Clasificación (Granulometría)					
Tamiz INEN (ASTM)	Masa Retenida Parcial	Masa Retenida Acumulada	% Masa Retenida	% Masa Retenida Acumulada	% que pasa
SERIE GRUESA					
100 mm (4")					
75 mm (3")					
50 mm (2")					
37,5 mm (1 1/2")					
20,5 mm (1")	507,0	507,0	5,1	5,1	94,9
19,0 mm (3/4")	66,6	573,6	0,7	5,7	94,3
12,5 mm (1/2")	55,2	628,8	0,6	6,3	93,7
9,5 mm (3/8")	67,2	696,0	0,7	7,0	93,0
4,75 mm (N°4)	231,0	927,0	2,3	9,3	90,7
SERIE FINA					
2,36 mm (N° 8)	274,8	1201,8	2,7	12,0	88,0
2 mm (N° 10)	37,2	1239,0	0,4	12,4	87,6
1,18 mm (N° 16)	118,8	1357,8	1,2	13,6	86,4
850 μ (N° 20)	74,4	1432,2	0,7	14,3	85,7
600 μ (N° 30)	85,8	1518,0	0,9	15,2	84,8
425 μ (N° 40)	60,0	1578,0	0,6	15,8	84,2
300 μ (N° 50)	76,2	1654,2	0,8	16,5	83,5
250 μ (N° 60)	64,2	1718,4	0,6	17,2	82,8
150 μ (N° 100)	187,2	1905,6	1,9	19,1	80,9
75 μ (N° 200)	269,4	2175,0	2,7	21,7	78,3
Fondo	7827,0	10002,0	78,3	100,0	
Σ	10002,0				

Masa Inicial	10.002 gr
Grava	9.3%
Arena fina	12,5%
Finos	78,3%

Fuente: Autor

2) Humedad

Para establecer la humedad del material nos regimos por la norma ASTM D2216.

3) Límites de Atterberg

Para finalmente terminar el material según SUCS realizamos los límites de Atterberg por la norma ASTM D 4318

Tabla 15. Resultados de Límites Atterberg

Límites de Atterberg	W	31,6%
	WL	57%
	WP	24%
	IP	33

Fuente: Autor

Finalmente con todos los ensayos realizados según la norma ASTM D 2487 se obtiene la clasificación SUCS:

Tabla 16. Clasificación según SUCS

Clasificación	
SUCS	CH

Fuente: Autor

7.2.- Caucho Reciclado

El caucho usado en esta segunda parte del proyecto es el mismo caucho de neumáticos sin pasar por todos procesos de moliendo. Simplemente es la llanta triturada con todos las "impurezas" como el alambre de acero. A diferencia del otro caucho es un material más pesado y más resistente debido a las impurezas. Este tipo de caucho se los conoce como "Rubber chips" y es esencial para cumplir la norma ASTM D1557 que los chips pasen por el tamiz $\frac{3}{4}$. La densidad presentada por los Rubber Chips es de 1100 Kg/m³.



Figura 19. Rubber Chips

Fuente: Autor

Capítulo VIII

8.- Método de Ensayo

8.1.- Ensayo muestra (Patrón)

Compactación- Proctor Modificado

El ensayo de compactación modificado se realiza según la norma ASTM D 698 lo cual se obtuvieron los siguientes resultados.

Contenido de Humedad Inicial %
3.79
Contenido Optimo de Humedad %
13.10
Densidad Seca Máxima Kg/m ³
1.752

Figura 20. Resultado Proctor Modificado de la Arcilla

Fuente: Autor

CBR (California Bearing Ratio)

El ensayo de CBR se realiza a la muestra Patrón según la norma ASTM D 1883.

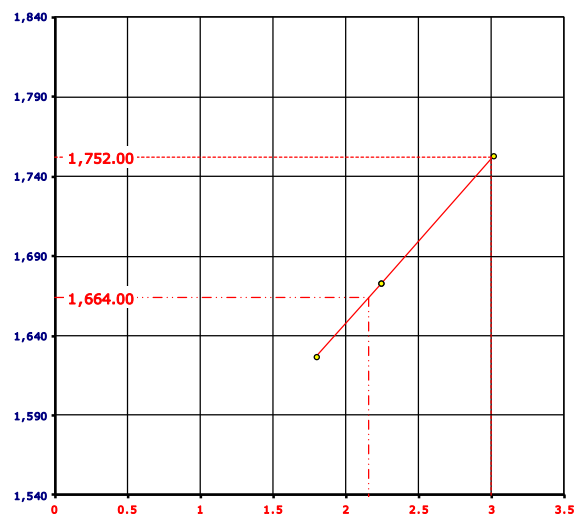


Figura 21. Gráfico CBR Patrón

Tabla 17. Resultados CBR de arcilla

C.B.R. 95 % =	2.15
C.B.R. 100 % =	3.00

Fuente: Autor

8.2.- Ensayo estabilización (Suelo + Caucho)

En este caso se vuelve a realizar los ensayos de CBR con la arcilla (material patrón) más las adiciones de caucho reciclado y las densidades de las nuevas probetas no se hará proctor modificado sino con el peso y volumen cilindros del CBR se sacara la densidad.

- **Suelo + 2% CR**
- **Suelo + 5% CR**
- **Suelo + 10% CR**
- **Suelo + 15 % CR**

Se establece que la adición del caucho será en un 2, 5, 10 y 15 por ciento del peso del material que se está ensayando.

CBR (California Bearing Ratio)

El ensayo de CBR con la adición de CR se realizara de igual forma siguiendo la norma ASTM D 1883.

Con los resultados antes obtenidos con las pruebas de CBR de los materiales pasados se decidió comprobar la capacidad de absorción del caucho para obtener la mejor eficiencia de la mezcla.

Tabla 18. Aumento de Humedad Óptima a razón de los Rubber Chips

Absorción de Caucho		
% CR	Humedad Optima cc	Peso de la Muestra (gr)
0%	462	5500
1.2%	463.98	5500
2.0%	465.3	5500
3.5%	467.775	5500
5.0%	470.25	5500

Fuente: Autor

8.3.- Resultados y análisis

Densidad

Tabla 19. Densidad Patrón vs Porcentaje Optimo de Caucho Reciclado

Patrón	10% C.R.
Densidad Seca Máxima Kg/m ³	Densidad Seca Máxima Kg/m ³
1.752	1.664

CBR (California Bearing Ratio)

- Suelo + 2% CR

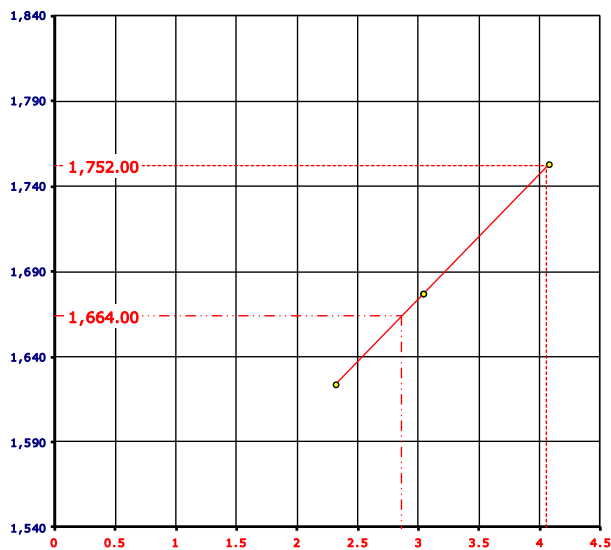


Figura 22. Gráfico de CBR (Suelo + 2% C.R.)

Tabla 20. CBR Mezcla Arcilla-2% Caucho

C.B.R. 95 % =	2.86
C.B.R. 100 % =	4.06

- **Suelo + 5% CR**

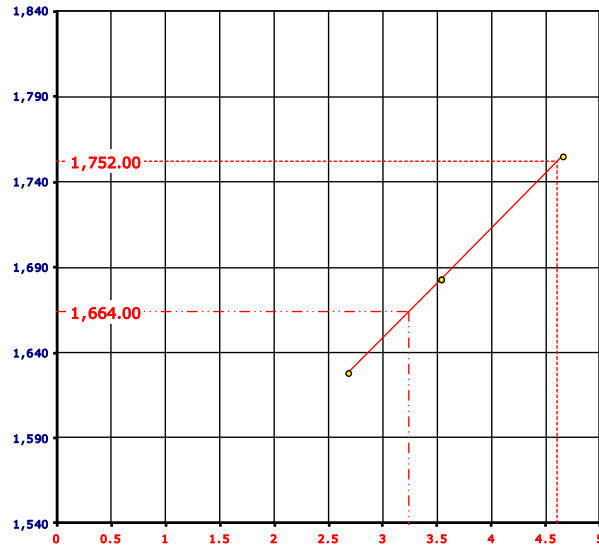


Figura 23. Gráfico de CBR (Suelo + 5% C.R.)

Tabla 21. CBR Mezcla Arcilla-5% Caucho

C.B.R. 95 % =	3.24
C.B.R. 100 % =	4.61

- Suelo + 10% CR (A y B)

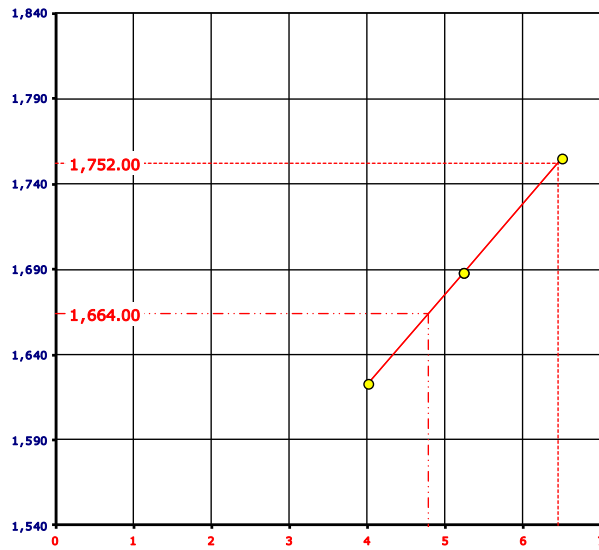


Figura 24. A) Gráfico de CBR (Suelo + 10% C.R.)

Tabla 22. A) CBR Mezcla Arcilla-10% Caucho

C.B.R. 95 % =	4.78
C.B.R. 100 % =	6.44

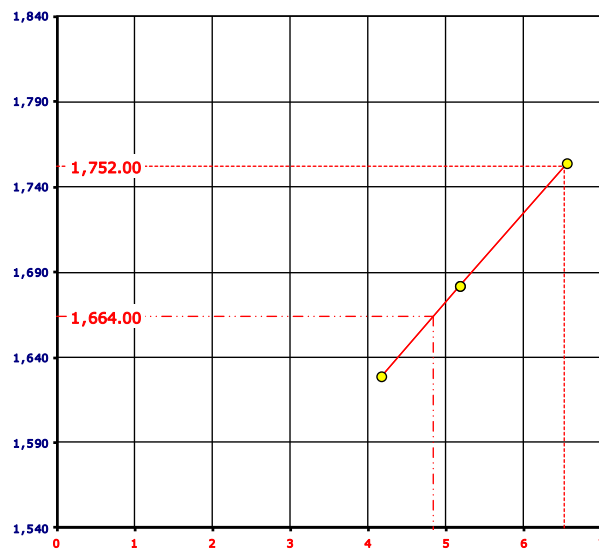


Figura 25. B) Gráfico de CBR (Suelo + 10% C.R.)

Tabla 23. B) CBR Mezcla Arcilla-10% Caucho

C.B.R. 95 % =	4.83
C.B.R. 100 % =	6.51

Tabla 24. Promedio del CBR Mezcla Arcilla-10% Caucho (Óptimo)

Promedio	
C.B.R. 95 % =	4.81
C.B.R. 100 % =	6.48

En el ensayo A de la probeta Suelo + 10% de CR resulto ser la mezcla de mayor eficiencia con respecto al CBR, para afirmar este resultado se comprobó en una nueva probeta (ensayo B) con exactamente el mismo porcentaje de caucho y los consecuencias resultaron ser casi idénticas al ensayo A. Se procedió a promediar los resultados de los ensayos y tener una idea más precisa de como trabajara la mezcla.

- **Suelo + 15 % CR**

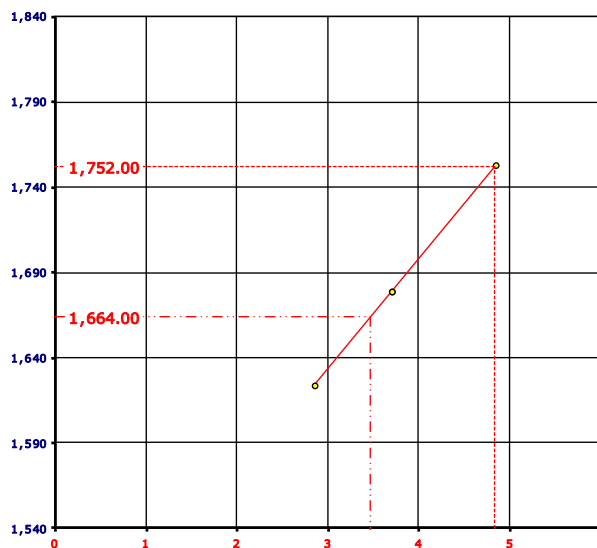


Figura 26. Gráfico de CBR (Suelo + 15% C.R.)

Tabla 25. CBR Mezcla Arcilla-15% Caucho

C.B.R. 95 % =	3.47
C.B.R. 100 % =	4.83

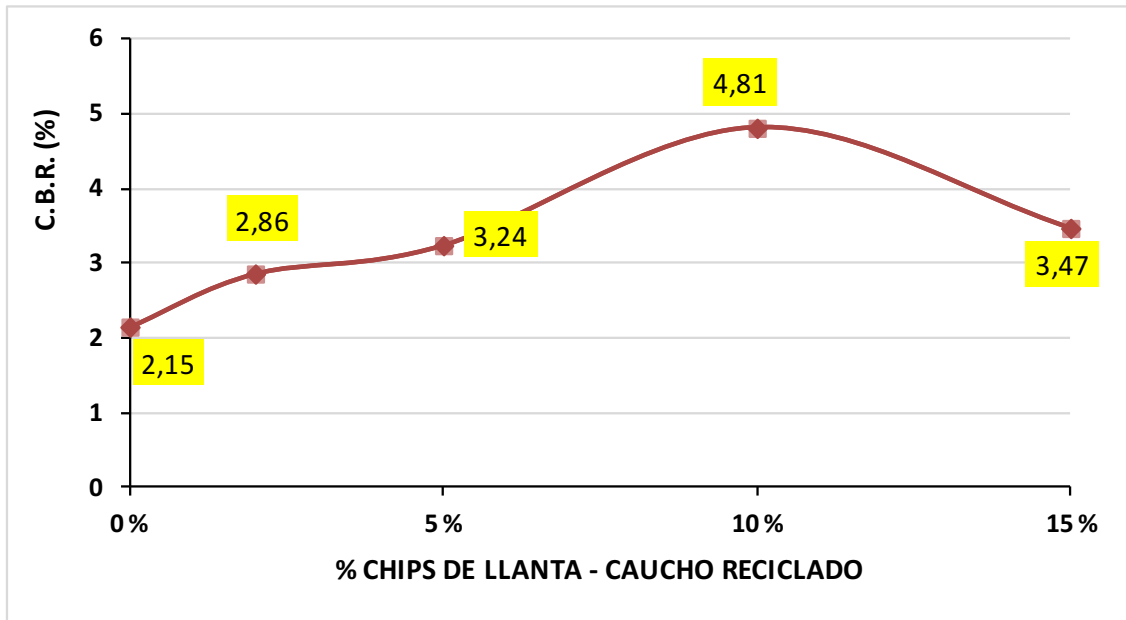


Figura 27. Curva CBR vs % Caucho Reciclado (Rubber Chips)

Tabla 26. Incremento de Resistencia

% CR	CBR Peneatración	
	2.54 mm	% Incremento Resist.
0%	2.15%	
2%	2.86%	33.02%
5%	3.24%	50.70%
10%	4.81%	123.72%
15%	3.47%	61.40%

Tabla 27. Permeabilidad de Probetas

Permeabilidad	
Arcilla	6.18 E-6
Arcilla + 10% C.R.	6.54 E-6

Como se puede observar en la Tabla 26 la arcilla tiene una resistencia totalmente opuesta a la Grava-arcillosa (GC) utilizada en la primera parte de esta investigación. Igualmente con respecto al caucho la capacidad de absorción de este material fue del 3% lo cual lo hace prácticamente imperceptible a la mezcla "suelo-caucho".

El porcentaje de incremento se logra de manera inmediata con el 2% de caucho reciclado de un 33.02%. Al igual que la primera parte del estudio se ensayaron distintas probetas con varios porcentajes de caucho reciclado, así mismo se realizaron varios ensayos y el incremento fue positivo en todos los ensayos.

El porcentaje óptimo de caucho reciclado resulto ser con el 10% del peso de la mezcla, este incremento logro aumentar en un 123% del CBR patrón. Esto quiero decir que se logro estabilizar la arcilla con un material de desecho industrial.

La mezcla del suelo con la adición del caucho no solo aumento la resistencia sino que también se logro alivianar el material como se puede ver en el cuadro de densidades.

Tabla 28. Incremento de Resistencia (Patrón vs % Óptimo de Caucho)

Patrón vs % Óptimo		
% CR	CBR Peneatración	
	2.54 mm	% Incremento Resist.
0%	2.15%	
10%	4.81%	123.72%

Capítulo IX

9.- Conclusiones y Recomendaciones

Después de conseguir los resultados se puede llegar a varias conclusiones:

- El material escogido para la segunda parte de este trabajo experimental posee una resistencia baja, lo cual dio la oportunidad de apreciar las ventajas de mezcla en un material que realmente necesita aumentar su resistencia.
- Los "rubber chips" (Caucho) usados en la mezcla tienen varias ventajas con respecto al caucho granulado. Iniciando con el proceso del material, el caucho granulado transita por varios procesos antes de llegar al producto terminado al contrario de los rubber chips que no solo pasa por menos procesos sino que las impurezas que consume tiempo en eliminarlas son exactamente la principal razón de la gran resistencia que contiene este material. También resultó beneficioso el 3% de absorción que este material proporciona, ya que es una capacidad baja que se no afecta de manera considerable a la probeta ni al ensayo.
- El peso específico del material igual fue decreciendo a razón del aumento del caucho en la mezcla. Esto quiere decir que se aliviano el peso del material.

Se puede considerar que la adición de los rubber chips a la arcilla (CH) tiene una ventaja superlativa. Con respecto a la resistencia la mejoró en un 123% de su resistencia original y sin dejar a lado el peso del material logro alivianarlo. Esto quiero decir que la mezcla no solo puede ser usada para mejorar un material que no rinda en su resistencia, también puede lograr alivianar el peso que este segmento de material este aplicado en alguna obra.

Se deja abierto proseguir con la investigación del trabajo experimental llevando la información obtenido en el laboratorio con un trabajo en campo. Se recomienda ensayos

de pista de prueba y ensayos de placa lo cual ayudara a probar o mejorar las respuestas obtenidas en el presente trabajo.

Bibliografía

- ASTM. (2014). Standard Test Method for California Bearing Ratio (CBR) of Laboratory-Compacted Soils. United States: ASTM Int'l.
- ASTM. (2014). Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils. United States: ASTM Int'l.
- ASTM. (2014). Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort (56,000 ft-lbf/ft³ (2,700 kN-m/m<sup>3

ASTM. (2014). Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass. Estados Unidos: ASTM International.

ASTM. (2014). Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils. United States: ASTM Int'l.

Jeyapriya, R. M. (2009). Study on Effect of Waste Tyres in Study on Effect of Waste Tyres in. INDIAN GEOTECHNICAL SOCIETY CHENNAI CHAPTER.

Meena, R. A. (2011). IMPROVEMENT OF SUBGRADE SOIL WITH SHREDDED WASTE TYRE CHIPS. Proceedings of Indian Geotechnical Conference.

Umar Jan, V. K. (Dec-2015). Soil Stabilization Using Shredded Rubber Tyre. International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET).

uno reciclaje. (s.f.). Obtenido de <http://www.unoreciclaje.com/proyectos-para-el-reciclaje/reciclaje-llantas-goma-neumaticos.php></sup>



DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Patiño Ycaza Juan José**, con C.C: # **0918684663** autor del trabajo de titulación: **Estabilización del suelo mediante adiciones de caucho reciclado** previo a la obtención del título de **Ingeniero Civil** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, **18 de Septiembre de 2017**

f. _____

Nombre: **Patiño Ycaza, Juan José**

C.C: **0918684663**



REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TEMA Y SUBTEMA:	Estabilización del suelo mediante adiciones de caucho reciclado		
AUTOR(ES)	Juan José Patiño Ycaza		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	Daniel Boanerges De la Pared Condo		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Ingeniería		
CARRERA:	Ingeniería Civil		
TÍTULO OBTENIDO:	Ingeniero Civil		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	18 de Agosto de 2017	No. DE PÁGINAS:	52
ÁREAS TEMÁTICAS:	Geotecnia, Resistencia de Materiales, Mecánica de suelos		
PALABRAS CLAVES/KEYWORDS:	Resistencia, Densidad, Granulometría, Humedad, ASTM, SUCS, Límites de Atterberg, Compactación.		
RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):			
<p>En el presente trabajo de titulación se realiza proceso de estabilización de dos distintos tipos de suelo con caucho reciclado. Se efectúa las pruebas con el mismo tipo de caucho (Neumático), su única diferencia es la cantidad de procesos de reciclado por los que atraviesa los tipos de caucho que se manejarán en este trabajo de investigación. Además que se realizarán los procesos de clasificación de los dos tipos de suelo usados en los ensayos de probetas.</p> <p>Se realiza en sayos de dos tipos de probetas, suelo y suelo-caucho para determinar su resistencia por medio del ensayo del CBR y su densidad por el ensayo de proctor modificado siguiendo la norma de la ASTM que serán las pruebas que registrarán esta investigación principalmente.</p> <p>A partir de los resultados obtenidos en el laboratorio se obtendrán la información necesaria para determinar la estabilización del suelo por la mezcla de suelo-caucho de las tipos de mezcla que se realizarán.</p>			
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593-4-2854297	E-mail: juanpatinoycaza@gmail.com	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE)::	Nombre: Clara Glas Cevallos		
	Teléfono: +593-4 -2206956		
	E-mail: clara.glas@cu.ucsg.edu.ec		
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA			
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):			
Nº. DE CLASIFICACIÓN:			
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):			