



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA: INGENIERÍA CIVIL

**TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

TEMA:

**“COMPARACIÓN ENTRE LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS
CON EMULSIÓN ASFÁLTICA, Y LA ESTABILIZACIÓN DE
SUELOS CON ASFALTO Y DIÉSEL PARA DETERMINAR CUÁL
ESTABILIZACIÓN PROPORCIONA MAYOR DENSIDAD
APARENTE Y RELACIÓN DE SOPORTE CBR”**

AUTOR:

Quiroz Vargas Washington Fernando

TUTOR:

Ing. Mg. Fricson Moreira

**Ambato, Ecuador
2017**

CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Graduación, Certifico que la presente Tesis realizada por el **Sr. Washington Fernando Quiroz Vargas**, Egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, de la Universidad Técnica de Ambato, previo a la Obtención del Título de Ingeniero Civil, se desarrolló bajo mi tutoría, es un trabajo personal e inédito, y ha sido bajo el tema: **“COMPARACIÓN ENTRE LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON EMULSIÓN ASFÁLTICA, Y LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON ASFALTO Y DIÉSEL PARA DETERMINAR CUÁL ESTABILIZACIÓN PROPORCIONA MAYOR DENSIDAD APARENTE Y RELACIÓN DE SOPORTE CBR.”**, el cual reúne todos los requisitos para ser sometido a evaluación, se ha concluido de manera satisfactoria.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad.

Ambato, Marzo del 2017

.....
Ing. Mg. Fricson Moreira

TUTOR

AUTORÍA

La presente investigación “COMPARACIÓN ENTRE LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON EMULSIÓN ASFÁLTICA, Y LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON ASFALTO Y DIÉSEL PARA DETERMINAR CUÁL ESTABILIZACIÓN PROPORCIONA MAYOR DENSIDAD APARENTE Y RELACIÓN DE SOPORTE CBR”, criterios, opiniones, ideas y demás concepciones vertidas y expuestas en este trabajo, son de absoluta y exclusiva responsabilidad del autor.

Ambato, Marzo del 2017

.....
Egdo. Washington Fernando Quiroz Vargas.
CI. 180371105-8

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Trabajo Experimental o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi Trabajo Experimental con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este Trabajo Experimental dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, Marzo del 2017

.....
Egdo. Washington Fernando Quiroz Vargas.
CI. 180371105-8

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los suscritos profesores Calificadores, ya revisado en su totalidad el proyecto experimental realizado por el señor Washington Fernando Quiroz Vargas de la carrera de Ingeniería Civil, aprueban el tema: “COMPARACIÓN ENTRE LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON EMULSIÓN ASFÁLTICA, Y LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON ASFALTO Y DIÉSEL PARA DETERMINAR CUÁL ESTABILIZACIÓN PROPORCIONA MAYOR DENSIDAD APARENTE Y RELACIÓN DE SOPORTE CBR”.

Ambato, Marzo, 2017

.....
Ing. Ph. D. Milton Aldás

.....
Ing. Lorena Pérez

DEDICATORIA

*Este presente trabajo está dedicado de manera especial a mis padres Washington y Calixta pues ellos fueron el principal cimiento para la construcción de mi vida profesional, por formarme con buenos sentimientos, hábitos y valores, que me han ayudado a salir adelante en los momentos más difíciles, de igual manera a mis hijas Dana y Dariana por darme esos deseos de superación y ser alguien en la vida.
A Dios por darme salud, fortaleza y sabiduría para poder culminar mi carrera.*

He aquí el fruto de sus enseñanzas y de sus principios.

Fernando Quiroz

AGRADECIMIENTO

*En primer lugar, agradezco a **Dios** por darme sabiduría y salud para culminar mi carrera, por rodearme de personas que me aprecian y que han sido una base fundamental para mi vida.*

*A mis padres **Washington y Calixta** por ser mi apoyo incondicional.*

*Al **Ing. Fricson Moreira** tutor de mi proyecto por ayudarme a culminar con el mismo, por su tiempo prestado y por las enseñanzas compartidas.*

*A la **Ing. Lorena Pérez**, por compartirme sus enseñanzas que han sido fundamentales para culminar mi proyecto.*

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO

Contenido	
CERTIFICACIÓN	ii
AUTORÍA.....	iii
DERECHOS DE AUTOR	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xii
RESUMEN EJECUTIVO.....	xiv
EXECUTIVE SUMMARY.....	xv
CAPÍTULO I.....	1
ANTECEDENTES.....	1
1.1 Tema del trabajo experimental:.....	1
1.2 Antecedentes	1
1.3 Justificación:.....	2
1.4 Objetivos:	3
1.4.1 General:.....	3
1.4.2 Específicos:.....	3
CAPÍTULO II.....	4
FUNDAMENTACIÓN.....	4
2.1 Fundamentación teórica:	4
2.1.1 Definición de suelo.	4
2.1.2 Composición de los suelos.....	4
2.1.3 Caracterización de los suelos.....	5
2.1.4 Parámetros de naturaleza.	5

2.1.4.1	Variación volumétrica.....	5
2.1.4.2	Permeabilidad.....	6
2.1.4.3	Granulometría.....	6
2.1.4.4	Límites de A. Atterberg.....	6
2.1.4.4.1	Límite líquido (LL).....	7
2.1.4.4.2	Límite plástico (LP).....	7
2.1.4.4.3	Límite de contracción (Lc).....	7
2.1.4.4.4	Índice de plasticidad (IP). -.....	8
2.1.5	Parámetros de estado.....	8
2.1.6	Resistencia mecánica.....	9
2.1.7	Procesos de compactación de los suelos y métodos del laboratorio.....	9
2.1.8	Fase de absorción y fase de saturación.....	12
2.1.9	Factores que afectan la compactación.....	13
2.1.9.1	Tipo de Suelos.....	14
2.1.9.2	El Método de Compactación.....	14
2.1.9.3	La energía de Compactación.....	15
2.1.9.4	Contenido de Humedad Inicial.....	15
2.1.9.5	La Recompactación.....	15
2.1.10	Métodos de compactación.....	16
2.1.11	Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).....	18
2.1.12	Determinación del Valor Relativo de Soporte de un Suelo (CBR).....	21
2.1.13	Norma ASTM D1559 (Método Marshall):.....	23
2.1.14	Norma ASTM D4531-86 (Densidad Real).....	25
2.1.15	Estabilización de suelos.....	25
2.1.16	Emulsión Asfáltica.....	26
2.1.17	Estabilización con mezcla suelo-asfalto.....	26
2.2	Hipótesis:.....	27
2.3	Señalamiento de variables:.....	27
2.3.1	Variable independiente.....	27
2.3.2	Variable Dependiente.....	27

CAPÍTULO III.....	28
METODOLOGÍA	28
3.1 Nivel o tipo de investigación.....	28
3.1.1 Nivel exploratorio.....	28
3.1.2 Nivel explicativo.....	28
3.1.3 Investigación de campo	28
3.1.4 Investigación bibliográfica	28
3.1.5 Investigación experimental o de laboratorio.....	29
3.2 Población y muestra	29
3.2.1 Población	29
3.2.2 Muestra	29
3.3 Operacionalización de variables.....	30
3.3.1 Variable Independiente	30
3.3.2 Variable Dependiente	31
3.4 Plan de recolección de información	32
3.5 Plan Procesamiento y análisis.	33
3.5.1 Procesamiento de la Información	33
CAPÍTULO IV	34
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	34
4.1 Recolección de datos	34
4.1.1 Muestra N° 1.....	35
4.1.2 Muestra N° 2.....	39
4.1.3 Muestra N° 3.....	42
4.1.4 Muestra N° 6.....	48
4.2 Análisis de los Resultados	53
4.3 Verificación de Hipótesis	70
4.3.1 Resultados con emulsión asfáltica	70
4.3.2 Resultados con asfalto y diésel	72
CAPÍTULO V	77

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	77
5.1 Conclusiones	77
5.2 Recomendaciones	79
C.- MATERIALES DE REFERENCIA	80
1 BIBLIOGRAFÍA	80
1.1 Artículos científicos	81
2 ANEXOS	81

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. AASHTO Estandar T- 99.....	187
Tabla 2. AASHTO Modificado T- 180.....	197
Tabla 3. SUCS simbología.....	18
Tabla 4. SUCS segunda letra	18
Tabla 5. Suelos granulares gruesos y de grano fino.....	19
Tabla 6. Tamices Estándar	20
Tabla 7. Clasificación de suelos según el CBR obtenido.....	22
Tabla 8. Operalización de variable independiente	350
Tabla 9. Operalización de variable dependiente	31
Tabla 10. Plan de recolección de información	32
Tabla 11. Ensayo Granulométrico N° 1	35
Tabla 12. Límite líquido muestra N° 1	37
Tabla 13. Límite plástico muestra N° 1	38
Tabla 14. Ensayo densidad real muestra N° 2	39
Tabla 15. Ensayos a realizarse con las muestras de suelos tomadas	41
Tabla 16. Proctor modificado muestra N° 3	42
Tabla 17. Ensayo CBR con 3% de Emulsión Asfáltica	43
Tabla 18. Ensayo CBR con 6% de Emulsión Asfáltica	44
Tabla 19. Ensayo CBR con 9% de Emulsión Asfáltica	45
Tabla 20. Ensayo CBR con 12% de Emulsión Asfáltica	46
Tabla 21. Próctor Modificado muestra N° 6.....	48
Tabla 22. Ensayo CBR con 2% de Diésel y 3% de Asfalto.....	49
Tabla 23. Ensayo CBR con 4% de Diésel y 3% de Asfalto.....	50
Tabla 24. Ensayo CBR con 6% de Diésel y 3% de Asfalto.....	51
Tabla 25. Ensayo CBR con 8% de Diésel y 3% de Asfalto.....	52
Tabla 26. Cuadro de resumen de resultados con emulsión asfáltica	70
Tabla 27. Cuadro de resumen de resultados con asfalto y diésel.....	72
Tabla 28. Precios unitarios con emulsión asfáltica	74
Tabla 29. Precios unitarios con asfalto y diesel	75
Tabla 30. Resumen de costos para la estabilización de suelos	76

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Composición del suelo.....	5
Figura 2. Representación Límites de Atterberg	8
Figura 3. Ensayo de compactación.....	111
Figura 4. Asfalto	23
Figura 5. Planimetría.....	36

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Curva de Penetración del Ensayo CBR con 3% de Emulsión Asfáltica.....	54
Gráfico 2. Ensayo CBR con 3% de Emulsión Asfáltica	55
Gráfico 3. Curva de Penetración del Ensayo CBR con 6% de Emulsión Asfáltica.....	56
Gráfico 4. Ensayo CBR con 6% de Emulsión Asfáltica	57
Gráfico 5. Curva de Penetración del Ensayo CBR con 9% de Emulsión Asfáltica.....	58
Gráfico 6. Ensayo CBR con 9% de Emulsión Asfáltica	59
Gráfico 7 Curva de Penetración del Ensayo CBR con 12% de Emulsión Asfáltica.....	60
Gráfico 8. Ensayo CBR con 12% de Emulsión Asfáltica	61
Gráfico 9. Curva de Penetración del Ensayo CBR con 3% de Asfalto y 2% de Diésel. 62	
Gráfico 10. Curva de Ensayo CBR con 3% de Asfalto y 2% de Diésel	63
Gráfico 11. Curva de Penetración del Ensayo CBR con 3% de Asfalto y 4% de Diésel 64	
Gráfico 12. Ensayo CBR con 3% de Asfalto y 4% de Diésel.....	65
Gráfico 13. Curva de Penetración del Ensayo CBR con 3% de Asfalto y 6% de Diésel 66	
Gráfico 14. Ensayo CBR con 3% de Asfalto y 6% de Diésel.....	67
Gráfico 15. Curva de Penetración del Ensayo CBR con 3% de Asfalto y 8% de Diésel.	68
Gráfico 16. Ensayo CBR con 3% de Asfalto y 8% de Diésel.....	69
Gráfico 17 Curva de Porcentaje Óptimo de Emulsión Asfáltica	71
Gráfico 18 Curva de Porcentaje Óptimo de Asfalto y Diésel	72

RESUMEN EJECUTIVO

TEMA: “Comparación entre la estabilización de suelos con emulsión asfáltica, y la estabilización de suelos con asfalto y diésel para determinar cuál estabilización proporciona mayor densidad aparente y relación de soporte CBR.”

AUTOR: Egdo. Washington Fernando Quiroz Vargas.

FECHA: Marzo, 2017.

El presente trabajo de investigación se realizó en el sector de Huachi la Magdalena de la Parroquia Huachi Chico y tiene como objetivo saber qué estabilización resulta más apropiada, el mismo que se llevó a cabo a partir de diferentes ensayos, el planteamiento de la hipótesis se puede corroborar mediante la realización de los ensayos tanto como CBR y Próctor, para lo cual fueron tomadas muestras de suelo en dicho sector.

Una vez realizados los ensayos respectivos se comprobó que la hipótesis planteada es correcta y se puede establecer la correlación entre cada ensayo, consecuentemente se procedió a la tabulación, análisis e interpretación de los datos alcanzados en el trabajo de campo, consiguiendo valores de CBR de cada muestra, los mismo que permitirán determinar las propiedades del suelo y los diferentes usos que se le puede dar en dicho sector.

EXECUTIVE SUMMARY

THEME: "Comparison between stabilization of soils with asphalt emulsion and stabilization of soils with asphalt and diesel to determine which stabilization provides higher bulk density and CBR support ratio."

AUTHOR: Egdo. Washington Fernando Quiroz Vargas.

DATE: March, 2017.

The present research work was carried out in the Huachi la Magdalena sector of the Huachi Chico Parish and aims to know which stabilization is most appropriate, the same that was carried out from different trials, the hypothesis approach can be Corroborated by carrying out the tests both as CBR and Proctor, for which soil samples were taken in that sector.

Once the respective tests were carried out, it was verified that the hypothesis was correct and the correlation between each test could be established. Consequently, the data were tabulated, analyzed and interpreted in the field work, obtaining CBR values of each Sample, the same that will allow to determine the properties of the soil and the different uses that can be given in that sector.

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES

1.1 Tema del trabajo experimental:

“Comparación entre la estabilización de suelos con emulsión asfáltica, y la estabilización de suelos con asfalto y diésel para determinar cuál estabilización proporciona mayor densidad aparente y relación de soporte CBR”

1.2 Antecedentes

La estabilización de suelos con emulsiones asfálticas tiene una incidencia en la construcción vial. Utilizando materiales de alta resistencia para bases, subbases, emulsiones asfálticas y otros incorporando polímeros, cal, etc.

El objetivo de la estabilización de suelos es obtener una técnica constructiva de bajo costo, con buenas condiciones de servicio para mejorar la red vial y con ello una mejora en la calidad de vida de los habitantes de la zona, sus aspectos sociales y económicos.

Parte del trabajo, costo de la técnica es utilizar el suelo del lugar. Además, el personal no es altamente especializado y se transforma en una fuente de trabajo para la zona de la obra.

Hay varios factores a favor del uso de las emulsiones asfálticas:

- Las emulsiones no son inflamables ni emanan vapores de hidrocarburo hacia la atmósfera.
- Lo principal es mejorar las propiedades mecánicas del suelo.
- El hecho de aplicar esta técnica implica cambiar la metodología de trabajo, pero no disminuir las exigencias de calidad de los materiales ni del proceso constructivo y del mantenimiento posterior.

1.3 Justificación:

El mejoramiento de las propiedades mecánicas del suelo es un problema que debe atenderse adecuadamente; es el cimiento para la estructura de una vía y dependerá de la capacidad portante que logre para el soporte de las capas que conformen la misma y tengan menor espesor, con ahorro económico por la reducción de materiales para garantizar una respuesta a las solicitaciones de cargas impuestas del tráfico, esto evitará que se formen ondulaciones, agrietamientos lineales o en malla.

Existen suelos cohesivos que no están estabilizados son imposibles de compactar, que se comportan como una esponja, por tal motivo se realizan mezclas para mejorar.

La estabilización de suelos es común en vías ya que ayuda a que los pavimentos no sufran deformación, en el Ecuador se ha realizado estabilizaciones a nivel provincial, con el fin de mejorar las propiedades físicas y mecánicas del suelo.

En Ambato se ha realizado estabilizaciones de suelos colocando base y subbase para mejorar las propiedades físicas y mecánicas de una vía, una estabilización poco común fue la estabilización de taludes del paso lateral, esta estabilización se realizó con hormigón lanzado o proyectado colocando una malla electro soldada empernada al talud, y forrada por una geomanta con lechada de cemento. [5]

En la Parroquia Huachi Chico la investigación de comparar la estabilización de suelos con emulsiones asfálticas, y la estabilización con asfalto y diésel, contribuirá para conocer que estabilización de suelo es más conveniente en el aspecto económico.

La investigación radica en saber cuál de estas estabilizaciones dá seguridad y ayuda a resistir cargas.

1.4 Objetivos:

1.4.1 General:

- Comparar la estabilización del esfuerzo del suelo con emulsión asfáltica, y la estabilización con asfalto y diésel para determinar que estabilización proporciona mayor densidad aparente y valor relativo de soporte CBR.

1.4.2 Específicos:

- Determinar el tipo de suelo a estabilizar.
- Analizar cuál estabilización resulta con mayor densidad aparente y CBR.
- Establecer alternativas de solución, ante la necesidad de una estabilización de suelo.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN

2.1 Fundamentación teórica:

2.1.1 Definición de suelo.

Desde el punto de vista de la ingeniería, suelo es el sustrato físico sobre el que se realizan las obras, del que importan las propiedades fisicoquímicas, especialmente las propiedades mecánicas. Además, se diferencia del término roca al considerarse específicamente bajo este término un sustrato formado por elementos que pueden ser separados sin un aporte significativamente alto de energía. [6]

Se considera el suelo como un sistema multifase formado por:

- Fase sólida, que constituyen el esqueleto de la estructura del suelo.
- Fase líquida (generalmente agua).
- Fase gaseosa (generalmente aire) que ocupan los intersticios entre los sólidos.

2.1.2 Composición de los suelos.

Un suelo está constituido por tres partes, una parte sólida, otra líquida y otra gaseosa. La parte sólida está formada en su mayoría por minerales del suelo, la parte líquida está compuesta por el agua, aunque en el suelo puedan existir otros líquidos de menor significación, la parte gaseosa la comprende principalmente el aire, pero también pueden estar presentes otros gases (vapores sulfuros, anhídrido carbónico, etc.).

La siguiente figura representa un esquema de una muestra de suelo, con sus partes principales:

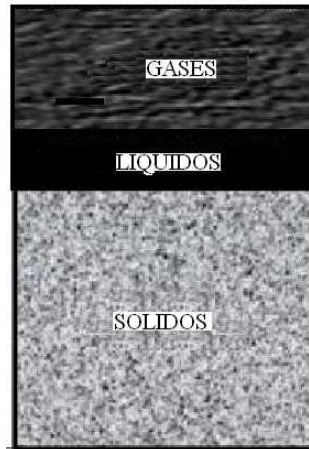


Figura 1. Composición del suelo

2.1.3 Caracterización de los suelos.

La caracterización de los suelos se lleva a cabo por medio de dos tipos de parámetros conocidos como parámetros de naturaleza y parámetros de estado. A continuación, se describe cada uno de ellos.

2.1.4 Parámetros de naturaleza.

Se caracterizan porque no varían ni con el tiempo ni a lo largo de las manipulaciones que puedan realizarse a los suelos durante los trabajos, los más importantes son:

2.1.4.1 Variación volumétrica.

Muchos suelos se expanden y se contraen debido a los cambios en su contenido de humedad. Las presiones de expansión se desarrollan debido a incrementos en la humedad, los cuales deben de ser controlados, ya que estas presiones pueden levantar pavimentos, inclinar postes, fracturar muros, romper tubos de drenaje, etc.; por lo cual, es de suma importancia detectar los suelos expansivos, su composición y el tratamiento más adecuado a seguir para evitar dichos problemas. [6]

2.1.4.2 Permeabilidad.

Se consideran importantes las presiones de poro y los relacionados con el flujo de agua a través del suelo; ya que estos dos fenómenos provocan su debilidad en su resistencia o su estabilidad.

2.1.4.3 Granulometría.

Son los tamaños de los granos que participan (como porcentaje de peso total) de la composición del suelo que representan. Las propiedades físicas y mecánicas de los suelos son función directa de su granulometría y su determinación es fundamental para establecer su comportamiento mecánico, principalmente cuando se someten a cargas directamente.

2.1.4.4 Límites de A. Atterberg.

Los límites de Atterberg o límites de consistencia se utilizan para caracterizar el comportamiento de los suelos finos. El nombre de éstos es debido al científico sueco Albert Maurita Atterberg. (1846-1916).

Los límites se basan en el concepto de que en un suelo de grano fino solo pueden existir 4 estados de consistencia según su humedad. Así, un suelo se encuentra en estado sólido, cuando está seco. Al agregársele agua poco a poco va pasando sucesivamente a los estados de semisólido, plástico, y finalmente líquido. Los contenidos de humedad en los puntos de transición de un estado al otro son los denominados límites de Atterberg. [6]

Las propiedades de un suelo formado por partículas finamente divididas, como una arcilla no estructurada, depende en gran parte de la humedad. El agua forma una película alrededor de los granos y su espesor puede ser determinante para el comportamiento del material.

Para interpretar mejor estos límites se tomará de ejemplo una masa de arcilla. Cuando esta tiene mucha cantidad de agua podríamos decir: se encuentra en estado líquido pues

la arcilla se escurre con la facilidad de una masa líquida, pero a medida que se evapora el agua que contiene, va haciéndose un tanto plástica. Existe un momento en que la masa de arcilla pasa de estado “líquido” al estado “plástico”. Este límite entre los estados “líquido” y “plástico” se halla representado por el contenido de humedad del suelo y se llama límite líquido.

Si continua la evaporación de agua, la arcilla perderá plasticidad y llegará a secarse hasta adquirir una consistencia semisólida. Este paso del estado plástico al semisólido se le llama límite plástico, su valor está dado por el contenido de humedad que tiene la arcilla en tal estado límite.

Para luego tener un último límite que se encuentra en la frontera del estado semisólido al estado sólido, conocido como límite de contracción.

2.1.4.4.1 Límite líquido (LL).

Es el contenido de agua, expresado en porcentaje respecto al peso del suelo seco, que delimita la transición entre el estado líquido y plástico de un suelo remoldeado o amasado.

2.1.4.4.2 Límite plástico (LP).

El límite plástico de un suelo es el más bajo contenido de agua en el que el suelo sigue presentando plasticidad. [7]

2.1.4.4.3 Límite de contracción (Lc).

Es el contenido de humedad por debajo del cual no se produce reducción adicional de volumen o contracción en el suelo.

En la siguiente figura se presentan los diferentes límites con los que puede contar un suelo, así como la transición de los estados en donde estos ocurren.

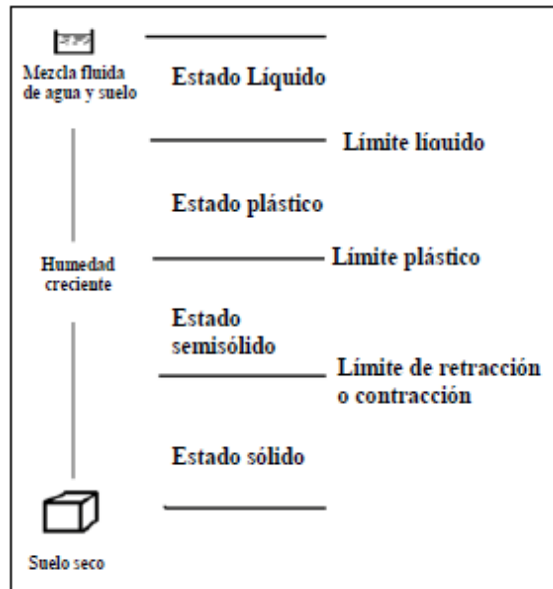


Figura 2. Representación Límites de Atterberg

2.1.4.4 Índice de plasticidad (IP). -

El Índice de Plasticidad (IP) es una medida de cuánta agua puede absorber un suelo antes de disolverse en una solución. Mientras más alto es este número, el material es más plástico y más débil. Generalmente la cal reacciona con suelos plástico que tengan un IP entre 10 a 50, reduciendo así significativamente el IP, creando de esta manera un nuevo material con resistencia estructural.

El IP se mide por dos pruebas simples en la mecánica de suelo: el límite líquido y el límite plástico; la diferencia entre los dos es el Índice de Plasticidad. [7]

2.1.5 Parámetros de estado.

Estos parámetros no son propios de las características del suelo sino de las condiciones ambientales en que se encuentran. Para los suelos sensibles al agua, el parámetro de estado que determina todas las condiciones de los rellenos, terraplenes y explanadas en las redes viales es el ESTADO HÍDRICO. Su determinación no puede hacerse exclusivamente con el cálculo del contenido en agua natural, sino que es necesario relacionarlo con el contenido de agua específico de suelo al que le corresponde un comportamiento particular. El método más corriente para indicar el estado hídrico de

un suelo es referirse a los valores de los ensayos PRÓCTOR y CBR, realizados sobre cada suelo o clase de suelo a estudiar.

2.1.6 Resistencia mecánica.

En los suelos la humedad es muy importante porque determinan la capacidad de éstos para resistir las cargas y mantener su estructura en condiciones estables de trabajo hasta ciertas humedades, los suelos pueden mantener resistencias aceptables, pero cuando hay excesos de agua se debilitan y pierden la resistencia, que se manifiestan en hundimientos, grietas, cuarteamientos, hinchamientos, etc.

En la época húmeda (invierno) los suelos se vuelven débiles, ya que el agua que absorben los hace perder resistencia hasta llegar a la saturación. En la época seca (verano) pierden humedad y se vuelven muy duros o muy resistentes, pero en la superficie donde los vehículos circulan, la acción abrasiva de las llantas hace que se genere la soltura de las partículas de suelo abundantemente para producir capas de polvo, con lo cual el deterioro superficial llega a ser severo.

2.1.7 Procesos de compactación de los suelos y métodos del laboratorio

El suelo, como cualquier elemento natural, posee una estabilización entre los diversos factores que lo influyen. Un cambio de este equilibrio puede provocar una alteración física, química o biológica. La compactación es la principal causa de alteración del suelo. [8]

Hay dos situaciones con elevado riesgo de compactación: áreas con fuerte tránsito de vehículos y personas, y áreas cercanas a lugares en construcción. Hay suelos con una tendencia más o menos acentuada a la compactación, en función de la composición, estructura y contenido de humedad. Las constructoras a menudo trabajan con maquinarias muy pesadas, sin delimitar la zona en la que se encuentran y se plantarán árboles. Se desconoce cuál es la superficie que abarca el aparato radical, así como, se ignoran los efectos derivados de la compactación y dificultad que se encuentran para intentar resolverlo.

La compactación de los suelos se produce por la reorientación de las partículas o por la distorsión de las partículas y sus capas absorbidas. En un suelo no cohesivo la compactación ocurre mayormente por la reorientación de los granos para formar una estructura más densa. La presión estática no es muy efectiva en este proceso porque los granos se acunñan unos contra otros y resisten el movimiento.

Si los granos se pueden liberar momentáneamente, las presiones, aún las ligeras, son efectivas para forzarlos a formar una distribución más compacta. El agua que fluye también reduce el rozamiento entre las partículas y hace más fácil la compactación, sin embargo, el agua en los poros también impide que las partículas tomen una distribución más compacta. Por esta razón la corriente de agua sólo se usa para ayudar a la compactación, cuando el suelo es de granos tan gruesos que el agua abandona los poros o huecos rápidamente.

Para lograr una compactación eficiente en los suelos no cohesivos se requiere una fuerza moderada aplicada en una amplia área, o choque y vibración. La compactación eficiente en los suelos cohesivos requiere presiones más altas para los suelos secos que para los húmedos, pero el tamaño del área cargada no es crítico. La eficiencia se mejora aumentando la presión durante la compactación a medida que el peso específico y la resistencia aumenta. [3]

Existen muchos métodos para reproducir en el laboratorio las condiciones dadas de compactación de campo. El primer método fue concebido al investigador Ing. Richard Próctor y se conoce como prueba Próctor Estándar, posteriormente por acoplar la energía de compactación a la eficiencia de las máquinas modernas, el ensayo original se modifica tomando precisamente el nombre de PRÓCTOR MODIFICADO.

La importancia de estudiar el fenómeno estriba en el incremento sustancial que se puede conseguir en:

- **RESISTENCIA Y CAPACIDAD DE CARGA**
- **INDEFORMABILIDAD E IMPERMEABILIDAD.**

El hombre ha tenido que buscar alternativas técnicas para desarrollar la compactación, y éstas han logrado que por incremento del PESO VOLUMÉTRICO se reduzca al máximo la relación de vacíos de aire, haciendo que el suelo se vuelva impermeable pese a tener cierto contenido de humedad.

De lo anteriormente expuesto se establecen dos parámetros fundamentales en la compactación de los suelos y son:

- **PESO VOLUMÉTRICO MÁXIMO O MÁXIMA DENSIDAD Y CONTENIDO ÓPTIMO DE HUMEDAD.**

En el gráfico siguiente se muestran la curva típica de un ensayo de compactación y determinación de los parámetros fundamentales $\gamma_{\text{máx}}$ y $W_{\text{op}}\%$.

ENSAYO DE COMPACTACIÓN

Determinación de la máxima densidad
Y contenido óptimo de humedad
MS I 047

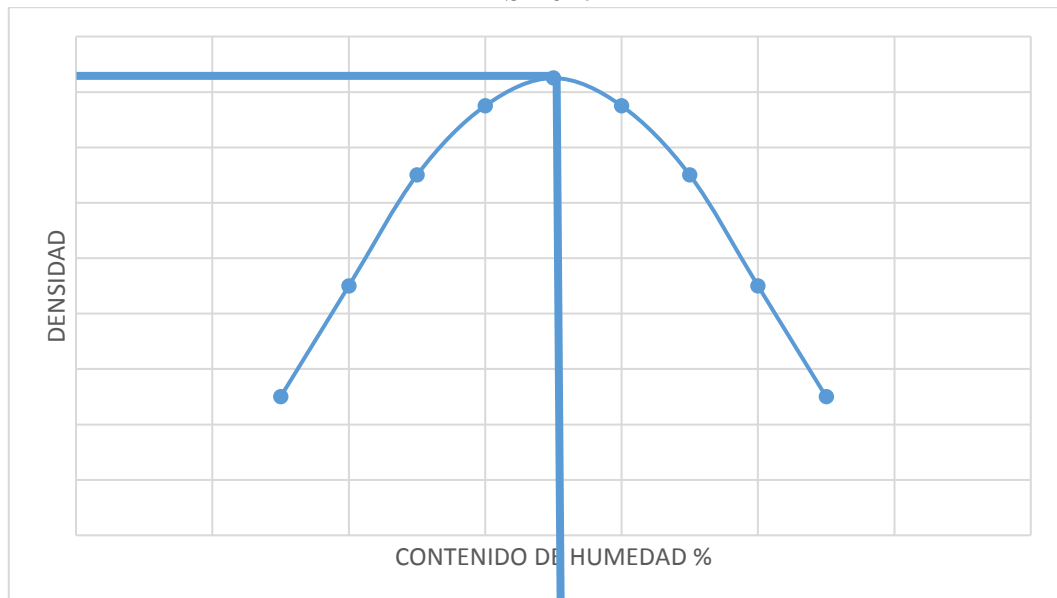


Figura 3. Ensayo de compactación

La masa del suelo generalmente tiene un comportamiento favorable para la Ingeniería civil, cuando de un estado seco empieza a absorber agua, pero dicha absorción no es infinita, sino que tiene un **LÍMITE** en donde las características del suelo son excelentes, al sobrepasar dicho límite el suelo empieza a ablandarse y las propiedades técnicas decrecen aceleradamente. A los rangos de absorción de agua y de exceso de agua se conocen como:

2.1.8 Fase de absorción y fase de saturación

La compactación de los suelos depende de la energía usada la misma que puede ser calculada como la relación existente entre el número de repeticiones de un efecto mecánico sobre un volumen, esto se ha logrado correlacionando entre efectos de las maquinarias en el campo con efectos similares de equipos de laboratorio.

Así el Dr. Richard Próctor estableció que, para un volumen de suelo predefinido, y con un procedimiento dinámico repetitivo se conseguía reproducir la misma compactación que las maquinarias habían conseguido en el campo y entonces le llamó a este ensayo **PRÓCTOR ESTÁNDAR** que posteriormente fue acogido por S.B.T (Standard Bureau Testing) o Departamento de Normalización de Ensayos de los Estados Unidos.

Con el transcurso del tiempo y con el aparecimiento de maquinaria más pesada y eficaz para compactar suelos en el campo, se debieron cambiar las especificaciones del ensayo y aparecen las normas correspondientes al **PRÓCTOR MODIFICADO** o **ENSAYO MODIFICADO DE COMPACTACIÓN DE LOS SUELOS**.

Energía de Compactación (fórmula)

$$EC = \frac{N * n * w * h}{V}$$

En donde:

Ec = Energía de Compactación.

N = número de golpes por capa

n = número de capas

w = peso del pisón

h = altura de caída

V = volumen del suelo compactado

Datos con los que se puede obtener tanto la energía de compactación tanto de los ensayos estándar como de los modificados.

2.1.9 Factores que afectan la compactación

Al reducir la compresibilidad de un suelo se disminuye el volumen de vacíos, sin embargo, se entenderá que es imposible eliminarlos íntegramente por lo que la condición del suelo será de **PARCIALMENTE SATURADO**.

De las propiedades anotadas anteriormente que son modificadas por los procesos de la compactación se establece que **ESPECIFICAR** el "grado de compactación" es más que un simple requerimiento de incrementar la densidad; ya que también se deben considerar los efectos colaterales que afectan la compactación de los suelos por lo que se hace indispensable un reconocimiento previo del suelo a fin de conocer si presentará cambios apreciables de volumen o podrá escurrir el agua en el momento en que el fenómeno ocurre y en fin las condiciones reales del suelo en la obra.

Los procedimientos normalizados para ensayos de Laboratorio deberán examinarse cuidadosamente para seleccionar un método que corresponda exactamente al trabajo de la maquinaria en el campo, y que además garantice que el **RENDIMIENTO Y EFICACIA** sean los resultados obtenidos.

La eficiencia del trabajo de laboratorio depende de los siguientes factores:

2.1.9.1 Tipo de Suelos

Se ha podido demostrar que tanto el equipo utilizado para compactar el suelo, así como los niveles de densidad que pueden alcanzarse varían según el tipo de suelo ensayado y en suelos friccionantes las densidades son menores, aunque en realidad están apoyadas por la gravedad específica de sus partículas, sin embargo, las oquedades o vacíos que quedan impiden alcanzar la máxima densidad y esto se mejora cuando la granulometría indica buena graduación y amplia distribución de todos los tamaños. [6]

Cuando los suelos son finos areno-limosos el trabajo de compactación es eficaz y de rendimiento inmediato. Cuando los suelos son de tipo plástico sean limosos o arcillosos el contenido de humedad incrementa la incertidumbre del comportamiento mecánico, puesto que a menores humedades el suelo puede mantener su volumen constante (es decir en el límite de contracción), en cambio con altos contenidos de humedad las variaciones volumétricas serán en realidad muy apreciables, y pueden aparecer fenómenos de esponjamiento o expansión, totalmente perjudiciales para cualquier estructura suprayacente.

2.1.9.2 El Método de Compactación

El que se utilice para compactar es determinante en los resultados que se obtenga siendo así que métodos estáticos o vibratorios han dado resultados excelentes en suelos granulares, mientras que el método de amasado que en el campo es 100 % eficiente en el laboratorio se hace algo difícil de conseguir.

El sistema de compactación de laboratorio debe asociarse con el de campo y solo así se podrá confiar en el dato de la **MÁXIMA DENSIDAD Y DE LA ÓPTIMA HUMEDAD**, a fin de que el grado de compactación refleje la realidad del trabajo de una maquinaria y no se desperdicie tiempo y dinero pretendiendo conseguir densidades imposibles.

2.1.9.3 La energía de Compactación

Si bien la energía de compactación ha quedado totalmente definida teóricamente para el trabajo de laboratorio, habiendo la relación entre los parámetros que causan el efecto con respecto a un volumen, en cambio en el campo si existe cierta disipación de la energía de compactación, lo que significa que las maquinarias requieren ejecutar mayor trabajo para alcanzar igual densidad que la máxima alcanzada en el laboratorio. [4]

2.1.9.4 Contenido de Humedad Inicial

Este es un problema serio porque si es bien en los suelos granulares el proceso de la compactación se logra de la rama de hidratación a la de saturación lo que es lógico, en cambio en los suelos finos que son ávidos de agua el proceso se invierte, es decir toca partir de la rama de la saturación y por secado llegar a la rama de hidratación, ¿entonces el valor de la máxima densidad alcanzado y el contenido de humedad es realmente el óptimo?

La respuesta es de dudosa confirmación ya que se hace imposible reducir el contenido de humedad a una masa de suelo para que el **CONTENIDO ÓPTIMO** sea menor que la humedad natural.

2.1.9.5 La Recompactación

Cuando se ensaya un suelo y no se tiene suficiente muestra es práctica común en los laboratorios la recompactación lo cual trae como consecuencia una alteración de los

resultados finales, y si se recompacta a un suelo fino no se debe olvidar que por efecto de la tixotropía la masa alcanzará igual resistencia al corte que en su estado natural lo que significa que la compactación entonces fue en vano.

2.1.10 Métodos de compactación

Los métodos de laboratorio consisten en compactar el suelo en tres o cinco capas dentro de un molde especificado por medio de golpes de un pisón que se deja caer desde una altura dada.

La AASHTO acogió la propuesta de Próctor y ha establecido distintos métodos para realizar los ensayos de compactación, denominados MÉTODOS ESTÁNDAR Y MÉTODOS MODIFICADOS y cada uno a su vez tiene especificaciones agrupadas en: A, B, C, y D.

Cuando se requiere menor trabajo o energía de compactación se usará el método estándar (AASHTO T-99).

Cuando se requiere mayor trabajo o energía de compactación se usará el método modificado (AASHTO T-180).

A continuación, se detallan los equipos y las especificaciones para cada uno de los métodos propuestos por la ASOCIACIÓN AMERICANA DE VÍAS ESTATALES Y TRANSPORTE OFICIAL (AASHTO).

AASHTO ESTÁNDAR T-99				
MARTILLO 5,5 LIBRAS		ALTURA DE CAÍDA 12"		
Material	PASA TAMIZ # 4		PASA TAMIZ # 3/4	
MÉTODOS	A	B	C	D
Molde usado	4"	6"	4"	6"
Número de capas	3	3	3	3
Número de golpes/capa	25	56	25	56
Volumen del molde sin collar (pies cúbicos)	1/30	1/13,33	1/30	1/13,33
Volumen del molde sin collar (c.c)	944	2123	944	2123
Energía de Compactación: lb pie / pie ³	12375	12317	12375	12375

Tabla 1. AASHTO ESTÁNDAR T-99

AASHTO MODIFICADO T-180				
MARTILLO 10 LIBRAS		ALTURA DE CAÍDA 18"		
Material	PASA TAMIZ # 4		PASA TAMIZ # ¾	
MÉTODOS	A	B	C	D
Molde usado	4"	6"	4"	6"
Número de capas	5	5	5	5
Número de golpes/capa	25	56	25	56
Volumen del molde sin collar (pies cúbicos)	1/30	1/13,33	1/30	1/13,33
Volumen del molde sin collar (centímetros cúbicos)	944	2123	944	2123
Energía de Compactación: lb pie / pie ³	12375	12317	12375	12375
Tomado de CARRETERAS, CALLES Y AEROPUERTOS Raúl Valle Rodas				

Tabla 2. AASHTO MODIFICADO T-180

2.1.11 Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)

Es un sistema de clasificación de suelos usado en ingeniería y geología para describir la textura y el tamaño de las partículas de un suelo. Este sistema de clasificación puede ser aplicado a la mayoría de los materiales sin consolidar y se representa mediante un símbolo con dos letras. Para clasificar el suelo hay que realizar previamente una granulometría del suelo mediante tamizado.

Primera y segunda letra	
Símbolo	Definición
G	grava
Símbolo	arena
M	limo
C	arcilla
O	orgánico

Tabla 3. SUCS Primera letra Simbología

Tabla 4. SUCS Segunda Letra

Segunda letra	
Letra	Definición
P	pobremente gradado (tamaño de partícula uniforme)
W	bien gradado (tamaños de partícula diversos)
H	alta plasticidad
L	baja plasticidad

Fuente: los suelos en la ingeniería

Si el suelo tiene entre un 5-12% de finos, pasantes del tamiz #200 se considera que ambas distribuciones de granos tienen un efecto significativo para las propiedades ingenieriles del material. Se estaría hablando por ejemplo de gravas bien graduadas, pero con limos. En esos casos se recomienda usar doble notación, por ejemplo: GW-GM correspondiente a "grava bien graduada" y "grava con limo"

Tabla 5. Suelos granulares gruesos y de grano fino

Divisiones mayores			Símbolo del grupo	Nombre del grupo
Suelos granulares gruesos más del 50% retenido en el tamiz #200 (0.075mm)	Grava > 50% de la fracción gruesa retenida en el tamiz #4 (4.75mm)	Grava limpia menos del 5% pasa el tamiz #200	GW	grava bien gradada, grava fina a gruesa
			GP	grava pobremente gradada
		Grava con masa de 12% de finos pasantes del tamiz # 200	GM	grava limosa
			GC	grava arcillosa
	Arena ≥ 50% de fracción gruesa que pasa el tamiz #4	Arena limpia	SW	Arena bien gradada, arena fina a gruesa
			SP	Arena pobremente gradada
		Arena con más de 12% de finos pasantes del tamiz #200	SM	Arena limosa
			SC	Arena arcillosa
Suelos de grano fino más del 50% pasa el tamiz #200	limos y arcillas límite líquido < 50	inorgánico	ML	limo
			CL	arcilla
		orgánico	OL	Limo orgánico, arcilla orgánica
	limo y arcilla límite líquido ≥50	inorgánico	MH	Limo de alta plasticidad, limo elástico
			CH	Arcilla de alta plasticidad
		orgánico	OH	Arcilla orgánica, Limo orgánico
Suelos altamente orgánicos			Pt	turba

Fuente: los suelos en la ingeniería

Análisis Granulométrico. - Es una prueba para determinar cuantitativamente la distribución de los diferentes tamaños de partículas del suelo, el análisis de las partículas se hace por dos formas:

Por vía seca: con el método de la Granulometría, usando una serie de tamices.

Por vía húmeda: mediante los métodos del Hidrómetro y Sifoneado.

Para el método de la granulometría por tamices, la cantidad de suelo requerida para este ensayo depende de la cantidad de finos que contenga. [8]

Suelos arcillosos y limosos	200 a 500 gr
Suelos arenosos	500 a 1000 gr
Suelos gravosos	5000 a 10000 gr

Tabla 6. Tamices estándar

TYLER STANDARD		US. BUREAU OF STANDARDS	
MALLA	ABERTURA	MALLA	ABERTURA
NÚMERO	mm	NÚMERO	mm
3"	76.200	4"	101.600
2"	50.800	2"	50.800
-	26.670	1"	25.400
-	18.850	3/4 "	19.100
-	13.320	1/2 "	12.700
-	9.423	3/8 "	9.520
Nº 3	6.680	1/4 "	6.350
Nº 4	4.699	Nº 4	4.760
Nº 6	3.327	Nº 6	3.360
Nº 8	2.362	Nº 8	2.380
Nº 10	1.655	Nº 10	2.000
Nº 20	0.833	Nº 30	0.500
Nº 35	0.417	Nº 40	0.420
Nº 60	0.246	Nº 50	0.298
Nº 100	0.147	Nº 100	0.149
Nº 200	0.074	Nº 200	0.074

Fuente: M.Sc. Ing. Francisco Mantilla Negrete, "Mecánica de Suelos II"

Los suelos granulares presentan un comportamiento favorable para la Ingeniería Civil, sin embargo, se destacará que son susceptibles de acomodarse o densificarse por procesos de compactación y su resistencia aumentará, si se han eliminado las partículas finas dejan pasar agua y se convierten en excelentes materiales de filtro.

Los suelos cohesivos en cambio presentan un comportamiento desfavorable, altos contenidos de humedad, cuya eliminación produce consolidación, asentamientos y deformaciones de considerable magnitud.

2.1.12 Determinación del Valor Relativo de Soporte de un Suelo (CBR).

El C.B.R. (California Bearing Ratio), es una medida relativa de la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo, bajo condiciones de humedad y densidad controladas.

El CBR se obtiene de la relación de la carga unitaria (lbs/pulg²) necesaria para lograr una cierta profundidad de penetración del pistón de penetración (19,4 cm²) dentro de la muestra compactada de suelo a un contenido de humedad y densidad dadas con respecto a la carga unitaria patrón (lb/pulg²) requerida para obtener la misma profundidad de penetración en una muestra estándar de material triturado.

$$CBR = (carga\ unitaria\ del\ ensayo / carga\ unitaria\ patrón) * 100 (\%)$$

Los ensayos de CBR se hacen usualmente sobre muestras compactadas al contenido de humedad óptimo para un suelo específico, determinado utilizando el ensayo de compactación estándar o modificada del experimento. [8]

Para determinar el CBR se toma como material de compactación la piedra triturada que sería el 100%, es decir CBR = 100%. La resistencia a la penetración que presenta a la hinca del pistón es la siguiente:

Si los CBR para 0.1” y 0.2” son semejantes, se recomienda usar en los cálculos, el CBR correspondiente a 0.2”.

Si el CBR correspondiente a 0.2” es muy superior al CBR correspondiente al 0.1”, deberá repetirse el ensayo.

Todos los suelos, tanto finos como gruesos o sus mezclas, se compactan a diferentes contenidos de humedad tanto arriba como bajo de su humedad óptima.

Las muestras elaboradas bajo estos procedimientos, se sumergen en agua durante un período mínimo de 96 horas, antes de proceder a su ensayo, con el objeto de simular las condiciones de saturación a las cuales van a estar sometidos los suelos como la subrasante de una carretera, y en esta forma, obtener los CBR´s de los suelos bajo las condiciones más críticas. En el ensayo y en inmersión, se colocan pesos sobre las muestras, con el objeto de simular las cargas tanto vehiculares, como de la estructura de pavimento, a las cuales van a estar sometidos los suelos de la subrasante.

El ensayo de CBR se utiliza para establecer una relación entre el comportamiento de los suelos principalmente utilizados como sub-rasantes, sub-bases y bases del pavimento de carreteras y aeropistas, la siguiente tabla da una clasificación típica:

Tabla 7. Clasificación de suelos según el CBR obtenido

CBR (%)	Clasificación General	Usos	Sistema de Clasificación	
			UNIFICADO	AASHTO
0 - 3	Muy pobre	Sub-rasante	OH, CH, MH, OL	A5, A6, A7
3 - 7	Pobre a regular	Sub-rasante	OH, CH, MH, OL	A4, A5, A6, A7
7 - 20	Regular	Sub-base	OL, CL, ML, SC, SM, SP, GP	A2, A4, A6, A7
20 - 50	Bueno	Base, Sub-base	GM, GC, W, SM, SP, GP	A1b, A2-5, A2-6
> 50	Excelente	Base	GW, GM	A1-a, A2-4, A3

Fuente: M.Sc. Ing. Francisco Mantilla Negrete, “Mecánica de Suelos II”

2.1.13 Norma ASTM D1559 (Método Marshall):

El propósito de este método es determinar el contenido óptimo de asfalto para una combinación específica de agregados. El método también provee información sobre propiedades de la mezcla asfáltica caliente (110°C), y establece densidades y contenidos óptimos de vacío que deben ser cumplidos durante la construcción del pavimento.



Figura 4. Asfalto

Aunque para cuando la escasez de combustibles fósiles suponga un serio problema la mayoría de la humanidad estaremos moviéndonos en coches eléctricos lo cierto es que la ausencia de petróleo plantea otro problema interesante: el asfalto. Ahora, un grupo de investigadores ha conseguido recrearlo utilizando microalgas.

¿Qué es lo que falta todavía? Comprobar qué tal envejece como material y cómo resiste el paso del tiempo. Si consigue superar la prueba, sólo hace falta encontrar una manera de producirlo cómodamente a nivel industrial con un buen costo, entonces será posible que las carreteras del futuro sean verdes, en el sentido literal y figurado de la palabra [11].

El propósito principal de la investigación fue modificar asfaltos colombianos con ceras naturales para fabricar mezclas asfálticas tibias y establecer su comportamiento mecánico y dinámico. Las mezclas estudiadas corresponden a las denominadas curvas granulometrías md-10 y md-12 del Instituto de Desarrollo Urbano (IDU). El estudio

inicio con la caracterización de los materiales a utilizar (granular, asfalto y ceras naturales), seguido de la determinación del porcentaje de adición de ceras y el contenido de asfalto óptimo para fabricar mezclas tibias. Posteriormente se fabricaron y compactaron las mezclas asfálticas a 110, 130 y 150°C para evaluar el efecto del asfalto modificado en su comportamiento mecánico y dinámico. Los ensayos utilizados para medir las propiedades de las mezclas asfálticas fueron la resistencia a la tracción indirecta, la resistencia conservada y los módulos resilientes. Del análisis de los resultados se estableció que las ceras naturales utilizadas reducen la viscosidad de los asfaltos y por ende las temperaturas de fabricación y compactación de las mezclas, reduciendo significativamente el consumo de energía y la generación de gases de efecto invernadero. De otra parte, se estableció que las propiedades mecánicas y dinámicas estudiadas a las mezclas asfálticas con asfalto modificado con ceras, son similares a las mezclas convencionales, estableciendo la viabilidad para su aplicación y uso. [12]

Los asfaltos modificados surgen ante la necesidad de disminuir costos en la producción de mezclas asfálticas, así como aumentar la resistencia a las deformaciones permanentes. La preparación de estos asfaltos modificados enfrenta varios retos, entre los más relevantes están la resistencia a las variaciones térmicas y al tráfico vehicular, como lo mencionaron los investigadores durante el 10° Congreso Colombiano de Ingeniería de Tránsito y Transporte.

Para demostrar la utilidad de las cenizas en las carpetas asfálticas, los estudiosos caracterizaron los materiales, los combinaron de acuerdo con la norma INV 450 del Instituto Nacional de Vías y realizaron pruebas con distintas proporciones de asfalto y de ceniza. Identificaron el comportamiento de la mezcla, tanto en las propiedades del asfalto (punto de ignición, punto de llama, penetración promedio y punto de ablandamiento), como en su estabilidad, flujo, densidad y vacíos, entre otros. [13]

El asfalto modificado con polímeros (plásticos) aumenta la calidad de la carpeta asfáltica; sin embargo, su aplicación es mínima, por lo que las investigaciones continúan con el propósito de fabricar un material de mayor resistencia y accesibilidad.

Especialistas de la Facultad de Química de la UNAM trabajan en un estudio sobre asfaltos modificados comerciales con la intención de cambiar la estructura química de sus polímeros, parcialmente compatibles con el asfalto, y así mejorar la resistencia de la carpeta asfáltica. [14]

2.1.14 Norma ASTM D4531-86 (Densidad Real)

El suelo por lo general se presenta como un cuerpo poroso, y, por tanto, tiene dos densidades: La densidad real, asumida de la densidad media de sus partículas sólidas, y la densidad aparente, tomando en cuenta el volumen de poros incluidos en el suelo. En razón de lo anterior, la densidad aparente sirve para determinar el contenido total de porosidad en un suelo y su interpretación ayuda a estimar la capacidad de compactación y la facilidad con que circulan tanto el agua como el aire por la estructura del terreno en estudio. La densidad aparente puede ser incluida dentro del grupo mínimo de parámetros a medir para evaluar la calidad de un suelo, como indicador de la estructura, la resistencia mecánica y la cohesión del mismo.

2.1.15 Estabilización de suelos.

Como su nombre lo indica, con este proceso se pretende hacer más estable a un suelo. La razón primordial que acompaña a todas las estabilizaciones, es el de mejorar y cambiar las propiedades de un suelo. Existen muchas formas de estabilizar un material, un método muy usado de estabilización es la de mezclar a un material de granulometría gruesa, otro que carece de esa característica. Finalmente, está el recurso de estabilizar un suelo mezclándole cemento, cal, asfalto entre otros. [10]

Los siguientes casos pueden justificar una estabilización:

- a) Un suelo de sub rasante desfavorable, o muy arenoso, o muy arcilloso.
- b) Materiales para base o sub base en el límite de especificaciones.
- c) Condiciones de humedad.
- d) Cuando se necesite una base de calidad superior, como en una autopista.

e) Para el aprovechamiento de los materiales existentes del lugar de construcción de la obra.

Los agentes estabilizadores más usados para mezclarlos con suelo y formar capas de pavimento son: el cemento, la cal y el asfalto.

2.1.16 Emulsión Asfáltica

Es una dispersión estable de pequeños glóbulos de asfalto de agua. Como el asfalto y el agua son inmiscibles, por medio de un agente emulsificante se logra la disolución y mezcla de los dos.

Las emulsiones asfálticas son los materiales asfálticos líquidos estables constituidos por dos fases no miscibles, en los que la fase continua de la emulsión está formada por pequeños glóbulos de cemento asfáltico.

El emulsificante es una molécula formada por una cabeza iónica polar químicamente compatible con el agua y una cadena hidrocarbonada químicamente compatible con el asfalto.

2.1.17 Estabilización con mezcla suelo-asfalto.

En algunos casos conviene estabilizar un material usando algún producto asfáltico para elaborar capas base o sub base. A estas bases asfálticas también se los conoce como base negra. El uso de algunos productos asfálticos (asfaltos rebajados, emulsiones asfálticas y cemento asfálticos) está limitado a suelos granulares o de partículas gruesas. Es muy difícil estabilizar un material arcilloso, por los grumos de esos suelos. La estabilización con asfalto puede tener dos fines:

- a) Reducir la absorción de agua del material, usando poca cantidad de asfalto.
- b) Incrementar la resistencia de un material usando mayor cantidad de asfalto, como en las bases asfálticas. [10]

2.2 Hipótesis:

Conocer qué estabilización de suelos resulta más económica y con mejores resultados en densidad aparente y relación de soporte CBR.

2.3 Señalamiento de variables:

2.3.1 Variable independiente

Conocer que estabilización de suelos resulta más económica.

2.3.2 Variable Dependiente

Mejores resultados en densidad aparente y relación de soporte CBR.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 Nivel o tipo de investigación

3.1.1 Nivel exploratorio

La presente investigación es de tipo exploratorio dado que los datos recopilados y obtenidos permiten ver de cerca al problema investigado para obtener resultados óptimos.

Se conoce como investigación exploratoria o en situ, ya que se debe tomar muestras en situ para poder conocer el tipo de suelo a estabilizar.

3.1.2 Nivel explicativo

Conocer las diferencias de dichas estabilizaciones, siendo en los materiales a utilizarse y los resultados obtenidos.

3.1.3 Investigación de campo

La investigación de campo consiste en el reconocimiento del lugar y recolección de datos para establecer las condiciones que se encuentra el tipo de suelo a estabilizar.

3.1.4 Investigación bibliográfica

El presente proyecto se fundamentará en libros, normas, manuales, información de estudios referentes al tema en estudio todo esto con la finalidad de deducir y conocer las diferentes posturas, enfoques y criterios para que de esta manera se logre tener un desarrollo correcto y coherente en la investigación.

3.1.5 Investigación experimental o de laboratorio

La Investigación experimental es un tipo de investigación que usa experimentos y los principios encontrados en el método científico.

En el laboratorio se analizarán las muestras de suelos tomadas en situ para determinar algunas propiedades como; granulometría, densidad aparente, Ensayos de Capacidad de Soporte (CBR).

3.2 Población y muestra

3.2.1 Población

De acuerdo a los datos estadísticos del Censo de Población y de Vivienda del 07 de mayo del 2010, publicados por el INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos), la Parroquia Huachi Chico cuenta con 4475 personas.

Este proyecto se llevará a cabo en el sector La Magdalena. La población directamente beneficiada corresponde a profesionales que tengan la necesidad de saber que estabilización resulta más económica y rápida. [1]

3.2.2 Muestra

Lo conforman los profesionales que serán beneficiados en el sector La Magdalena de la Parroquia Huachi Chico, por obtener muestras de suelo parecidas o del mismo sector. Se consideró Ingenieros, arquitectos y maestros de obra dando un resultado de 54 personas.

3.3 Operacionalización de variables

3.3.1 Variable Independiente

Conocer que estabilización de suelos resulta más económica.

Tabla 8. Operalización de variable independiente

Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Técnicas
la estabilización de suelos permite mejorar las propiedades mecánicas del mismo, dando mayor seguridad en obras viales.	Estabilización de suelo con emulsiones asfálticas	Ensayo Granulométrico	¿Cuál será la estabilización de suelos con emulsiones asfálticas?	Observaciones
				Normas
		Ensayo CBR		Fichas de campo
				laboratorio
	Estabilización de suelo con asfalto y diésel	Ensayo Granulométrico	¿Cuál será la estabilización de suelos con asfalto y diésel?	Observaciones
				Normas
		Ensayo CBR		Fichas de campo
				laboratorio

Fuente: Autor

3.3.2 Variable Dependiente

Mejores resultados en densidad aparente y relación de soporte CBR.

Tabla 9. Operalización de variable dependiente

Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Técnicas
Mejorar es dar mayor seguridad o perfeccionar algo, haciéndolo pasar de un estado a otro mejor	Densidad aparente	Ensayo de densidad	¿Cómo mejorar la densidad aparente?	Observaciones
				Normas
		Toma de muestras		Fichas de campo
				laboratorio
	Relación de soporte CBR	Ensayo CBR	¿Cómo mejorar la relación de soporte CBR?	Observaciones
				Normas
		Toma de muestras		Fichas de campo
				laboratorio

Fuente: Autor

3.4 Plan de recolección de información

Tabla 10. Plan de recolección de información

Preguntas Básicas	Explicación
¿Para qué se investiga?	Para que exista el ahorro en tiempo y dinero en una estabilización de suelos, dando resultados óptimos.
¿De qué personas u objetos?	Sector la Magdalena parroquia Huachi Chico
¿Sobre qué aspectos?	Características del suelo, propiedades del suelo, ensayos del suelo, estabilización del suelo, tiempo de ejecución, costo de ejecución
¿Quién investiga?	Washington Fernando Quiroz Vargas
¿Cuándo se investiga?	los meses de septiembre- diciembre 2016
¿En qué frecuencia aplicaran los Instrumentos?	Dos ocasiones
¿En qué lugar se aplicarán los instrumentos de investigación?	Parroquia Huachi Chico, Cantón Ambato, Sector La Magdalena
¿Qué técnicas de investigación aplicara?	Observación
¿Qué instrumentos de investigación aplicara?	Especificaciones y normas

Fuente: Autor

3.5 Plan Procesamiento y análisis.

3.5.1 Procesamiento de la Información

Se realizó una revisión de toda la información registrada en las encuestas y visitas previas, los resultados fueron procesados para su análisis e interpretación de los resultados.

De la misma forma la toma de muestras en situ serán tabulados y presentados en formatos de fácil comprensión, para los resultados de los ensayos de suelos se utilizarán los formatos establecidos por el laboratorio. Finalmente se redactarán conclusiones y se propondrá una solución al problema detectado.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS



4.1 Recolección de datos

Para la recolección de datos del proyecto se realizó un muestreo en el sector Huachi La Magdalena de la Parroquia Huachi Chico, Cantón Ambato, Provincia de Tungurahua; el mismo que fue de 8 muestras de suelo inalterado realizando una calicata de 100 por 100 cm y con una profundidad de 130 cm.

Las mismas que se llevó a realizar los ensayos y obtener los resultados tabulados como se muestran en las siguientes tablas.

4.1.1 Muestra N° 1

Tabla 11. Ensayo Granulométrico N° 1

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS GRANULOMETRÍA DE SUELOS 					
PROYECTO:	Comparación entre la estabilización de suelos con emulsión asfáltica, y la estabilización de suelos con asfalto y diésel para determinar cuál estabilización proporciona mayor densidad aparente y relación de soporte CBR				
ENSAYADO:	Washington Fernando Quiroz Vargas				
UBICACIÓN:	Parroquia Huachi Chico, Cantón Ambato, Provincia de Tungurahua				
ENSAYO PARA DETERMINAR LA GRANULOMETRÍA DE LOS SUELOS					
TAMIZ #	Mm	PESO RET/ACUM. (gr)	% RETENIDO	% QUE PASA	LIMITES ASTM % QUE PASA
3"	76.10	0	0.00	100.00	100.00
2"	50.80	0	0.00	100.00	-
1 1/2"	38.10	200	2.22	97.78	-
1"	25.40	700	7.78	92.22	-
3/4"	19.05	1480	16.44	83.56	-
3/8"	9.53	2780	30.89	69.11	-
#4	4.76	4280	47.56	52.44	30 - 70
PASA #4		4720	52.44		
#10	2.00	150	7.99	44.46	-
#40	0.43	350	18.64	33.81	-
#200	0.08	700	37.27	15.17	0 - 20
PASA #200		285	15.17		
TOTAL		9000			
Peso cuarteo (gr)		985.00			
CUMPLE con las especificaciones del MTOP para una SUB BASE CLASE III					

Después de realizar el ensayo granulométrico se determinó el tipo de suelo ubicado en el sitio.

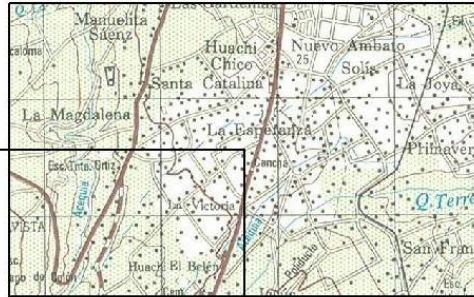
Llegando a la conclusión del suelo encontrado tiene las siguientes características:

- Arena limosa.



**PLANO PREDIAL
UBICACIÓN**

ESCALA 1:50.000
CARTA TOPOGRAFICA
AMBATO CT-NIV-A4
3890-II



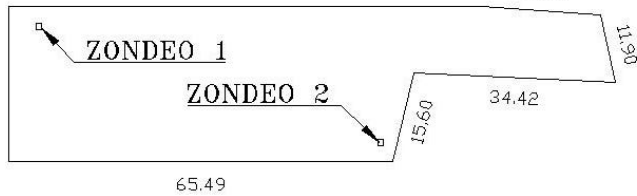
N 9858709

E 763467

CALLE JUAN JARAMILLO

PROPIEDAD DEL ING. CARLOS SANCHEZ

CALLE RAMON SALAZAR



PROPIEDAD DEL SR. OSWALDO LLERENA



Datos tomados con GPS
Proyección cartográfica UTM
Zona: 17 SUR
DATUM: PSAD 56

LEVANTAMIENTO PLANIMÉTRICO DONDE SE TOMO
LAS MUESTRAS PARA LOS ENSAYOS

ALTURA
2786



NOMBRE DEL PREDIO S/N	SECTOR HUACHI LA MAGDALENA	PARROQUIA HUACHI CHICO	CANTON AMBATO	PROVINCIA TUNGURAHUA
SUPERFICIE INDICADA	LEVANTO			
FECHA IX-III-2017	FERNANDO QUIROZ			
ESCALA 1:1000				

Tabla 12. Limite líquido muestra N° 1

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> <p>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</p> <p>LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS</p> </div>  </div>						
DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO						
PROYECTO:	Comparación entre la estabilización de suelos con emulsión asfáltica, y la estabilización de suelos con asfalto y diésel para determinar cuál estabilización proporciona mayor densidad aparente y relación de soporte CBR					
ENSAYADO:	Washington Fernando Quiroz Vargas					
UBICACIÓN:	Parroquia Huachi Chico, Cantón Ambato, Provincia de Tungurahua					
DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO						
Recipiente N°	1	2	3	4	5	6
Peso del recipiente W_r	7,4	7,5	7,5	7,4	7,4	7,5
Peso suelo húmedo + P. Recipiente (W_m+W_r)	16	20,9	20,7	20,1	26,5	18
Peso suelo seco + P. Recipiente (W_s+W_r)	15,2	19,8	19,2	19,6	25,8	17,2
Peso de Agua W_w	0,8	1,1	1,5	0,5	0,7	0,8
Peso muestra seca W_s	7,8	12,3	11,7	12,2	18,4	9,7
Contenido de humedad $w\%=100 W_w/W_s$	10,3	8,9	12,8	4,1	3,8	8,2
Promedio $W\%$	9,60		8,46		6,03	
N° de Golpes	12		24		31	
Límite Líquido LL%	8,03					
OBSERVACIONES:	NORMA: AASHTO T- 90-70, ASTM D - 424 - 71, INEN 691					

Fuente: Autor



Tabla 13. Límite plástico muestra N° 1

<p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</p> <p>LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS</p> <p>DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO</p> </div>  </div>		
PROYECTO:	Comparación entre la estabilización de suelos con emulsión asfáltica, y la estabilización de suelos con asfalto y diésel para determinar cuál estabilización proporciona mayor densidad aparente y relación de soporte CBR	
ENSAYADO:	Washington Fernando Quiroz Vargas	
UBICACIÓN:	Parroquia Huachi Chico, Cantón Ambato, Provincia de Tungurahua	
DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO		
Recipiente N°	1	2
Peso del recipiente (W _r)	31,90	31,90
Peso suelo húmedo + P. Recipiente (W _m +W _r)	174,80	164,40
Peso suelo seco + P. Recipiente (W _s +W _r)	165,50	156,30
Peso de Agua W _w	9,30	8,10
Peso muestra seca W _s	133,60	124,40
Contenido de humedad w%=100 W _w /W _s	6,96	6,51
Promedio W% (L.A)	6,74	
IP = LL - LP	1,29	
OBSERVACIONES:	NORMA: AASHTO T- 90-70, ASTM D - 424 - 59 -74, INEN 691	

Fuente: Autor

4.1.2 Muestra N° 2

Tabla 14. Ensayo densidad real muestra N° 2

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> <p>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</p> <p>LABORATORIOS</p> </div>  </div>			
DENSIDAD REAL Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO			
PROYECTO	Comparación entre la estabilización de suelos con emulsión asfáltica, y la estabilización de suelos con asfalto y diésel para determinar cuál estabilización proporciona mayor densidad aparente y relación de soporte CBR		
ENSAYADO	Washington Fernando Quiroz Vargas		
UBICACIÓN	Parroquia Huachi Chico, Cantón Ambato, Provincia de Tungurahua		
CALCULO DE LA DENSIDAD REAL			
DATOS	DESIGNACIÓN	UNIDAD	VALOR
M1	Masa del picnómetro	gr	150,50
M2	Masa del picnómetro + muestra SSS	gr	200,10
M3	Masa del picnómetro + muestra SSS + agua	gr	678,60
M4=M3-M2	Masa agua añadida	gr	478,50
M5	Masa picnómetro + 500cc de agua	gr	648,90
M6=M5-M1	Masa de 500cc de agua	gr	498,40
DA=M6/500cm3	Densidad del agua	gr/cm3	1,00
M7=M6-M4	Masa del agua desalojada por la muestra	gr	19,90
Msss=M2-M1	Masa del agregado	gr	49,60
Vsss=M7/DA	Volumen del agua desalojada	cm3	19,96
DRA=Msss/Vsss	Densidad real	gr/cm3	2,484
NORMA: NTE INEN 856			

Fuente: Autor

Para los ensayos de próctor modificado se realizó los siguientes pasos:

- Primero se pesa 5820 gr de suelo que pasa tamiz #4
- Luego se pesa 180 gr de emulsión asfáltica que equivale al 3%, para así llegar al peso deseado que es de 6000 gr.
- Se calienta en un recipiente el suelo hasta llegar a una temperatura de 110 °C.
- Se calienta en otro recipiente la emulsión asfáltica.
- En el recipiente del suelo se coloca la emulsión asfáltica calentada y se mezcla hasta unir por completo.
- Una vez hecha la mezcla se procede a colocar en los moldes, repartiendo en 5 capas similares y dando 56 golpes por cada capa con el martillo de 10 lb.
- Echo esto se enrasa el suelo con el molde.
- Finalmente, se le dá la vuelta al molde y está listo para ser ensayado en la máquina de CBR.
- Se repite este proceso para los 27 y 11 golpes faltantes.

Una vez culminado el ensayo se realiza los mismos pasos, pero con la cantidad de emulsión asfáltica en el porcentaje de 6, 9 y 12%, tomando en cuenta que el peso del suelo también cambia, para así llegar al peso total deseado de 6000 gr.

Tabla 15. Ensayos a realizarse con las muestras de suelos tomadas

ENSAYOS A REALIZARSE CON SUELO	
Emulsión Asfáltica %	Asfalto + diésel %
3	3 + 2
6	3 + 4
9	3 + 6
12	3 + 8

Fuente: Autor

Los ensayos que se van a realizar corresponden a las mezclas echas con el suelo, especificadas las cantidades de emulsión asfáltica, asfalto y diésel en la tabla N°12

4.1.3 Muestra N° 3



Tabla 16. Próctor modificado muestra N° 3

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS  ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO "B"							
PROYECTO:	Comparación entre la estabilización de suelos con emulsión asfáltica, y la estabilización de suelos con asfalto y diésel para determinar cuál estabilización proporciona mayor densidad aparente y relación de soporte CBR						
ENSAYADO:	Washington Fernando Quiroz Vargas						
UBICACIÓN:	Parroquia Huachi Chico, Cantón Ambato, Provincia de Tungurahua						
ESPECIFICACIONES							
Número de Golpes	56	Altura de Caída	18"	Peso del Molde	15988	gr	
Número de Capas	5	Peso del Martillo	10 lb	Volumen del Molde	2294,84	cm ³	
Energía de Compactación		Normas:	AASHTO	T-180			
Peso Inicial Deseado	6000		6000		6000		6000
1. PROCESO DE COMPACTACIÓN							
Ensayo Numero	1		2		3		4
Emulsión asfáltica añadida en %	3		6		9		12
P. Suelo Caliente (gr)	5820		5640		5460		5280
Peso Emulsión Asfáltica (gr)	180		360		540		720

Fuente: Autor

Para las muestras 4 y 5 se repite el mismo ensayo, en los cuales solo cambian los números de golpes a 27 y 11 respectivamente

Tabla 27. Ensayo CBR con 3% de Emulsión Asfáltica

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS ENSAYO C.B.R. 															
PROYECTO:		Comparación entre la estabilización de suelos con emulsión asfáltica, y la estabilización de suelos con asfalto y diésel para determinar cuál estabilización proporciona mayor densidad aparente y relación de soporte CBR													
UBICACIÓN:		Parroquia Huachi Chico, Cantón Ambato, Provincia de Tungurahua													
ENSAYADO:		Washington Fernando Quiroz Vargas													
ENSAYO DE CARGA - PENETRACIÓN															
Máquina de Compresión Simple (CONTROLS)					ÁREA DEL PISTÓN = 3 plg ²			NORMA: ASTM D-1883			VELOCIDAD DE CARGA = 1,27 mm/min (0,05 pulg/min)				
Moide Número				1				2				3			
TIEMPO		PENET.		Q Carga	Presiones		CBR	Q Carga	Presiones		CBR	Q Carga	Presiones		CBR
Min.	Seg.	mm	plg *10-3		Leida	Corregida			Leida	Corregida			Leida	Corregida	
		0	0	0	lb/pulg ²		%	0	lb/pulg ²		%	0	lb/pulg ²		%
0	30	0,64	25	186,30	62,1			156,30	52,1			149,40	49,80		
1	0	1,27	50	219,90	73,3			206,10	68,7			177,60	59,20		
1	30	1,91	75	245,40	81,8			228,00	76			207,90	69,30		
2	0	2,54	100	271,80	90,6	90,60	9,06	255,30	85,1	85,10	8,51	230,40	76,80	76,80	7,68
3	0	3,81	150	319,80	106,6			301,80	100,6			265,80	88,60		
4	0	5,08	200	340,80	113,6			330,90	110,3			301,80	100,60		
5	0	6,35	250	360,90	120,3			347,40	115,8			334,50	111,50		
6	0	7,62	300	378,30	126,1			362,10	120,7			347,70	115,90		
8	0	10,16	400	400,80	133,6			382,50	127,5			360,00	120,00		
10	0	12,70	500	458,40	152,8			409,20	136,4			377,40	125,80		
CBR Corregido							9,06				8,51				7,68



Fuente: Autor

Tabla 18. Ensayo CBR con 6% de Emulsión Asfáltica

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS ENSAYO C.B.R. </div>  </div>															
PROYECTO: Comparación entre la estabilización de suelos con emulsión asfáltica, y la estabilización de suelos con asfalto y diésel para determinar cuál estabilización proporciona mayor densidad aparente y relación de soporte CBR															
UBICACIÓN: Parroquia Huachi Chico, Cantón Ambato, Provincia de Tungurahua															
ENSAYADO: Washington Fernando Quiroz Vargas															
ENSAYO DE CARGA - PENETRACIÓN															
Máquina de Compresión Simple (CONTROLS)				ÁREA DEL PISTÓN = 3 plg2			NORMA: ASTM D-1883			VELOCIDAD DE CARGA = 1,27 mm/min (0,05 pulg/min)					
Molde Número				1				2				3			
TIEMPO		PENET.		Q Carga	Presiones		CBR	Q Carga	Presiones		CBR	Q Carga	Presiones		CBR
Min.	Seg.	mm	plg *10-3		lb	Leida			Corregida	lb/pulg2			%	lb	
		0	0	0	0			0	0			0	0		
0	30	0.64	25	351,9	117,3			202,5	67,5			110,4	36,8		
1	0	1.27	50	593,4	197,8			322,5	107,5			217,5	72,5		
1	30	1.91	75	769,5	256,5			404,4	134,8			310,2	103,4		
2	0	2.54	100	969,6	323,2	323,2	32.32	496,5	165,5	165,5	16.55	400,2	133,4	133,4	13.34
3	0	3.81	150	1270,5	423,5			677,7	225,9			532,5	177,5		
4	0	5.08	200	1534,5	511,5			813,0	271,0			644,1	214,7		
5	0	6.35	250	1768,5	589,5			923,4	307,8			735,6	245,2		
6	0	7.62	300	1943,4	647,8			1013,7	337,9			831,3	277,1		
8	0	10.16	400	2246,1	748,7			1194,6	398,2			967,5	322,5		
10	0	12.70	500	2408,1	802,7			1348,5	449,5			1102,5	367,5		
CBR Corregido							32.32				16.55				13.34

Fuente: Autor

Tabla 19. Ensayo CBR con 9% de Emulsión Asfáltica

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> <p>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS ENSAYO C.B.R.</p> </div>  </div>															
PROYECTO: Comparación entre la estabilización de suelos con emulsión asfáltica, y la estabilización de suelos con asfalto y diésel para determinar cuál estabilización proporciona mayor densidad aparente y relación de soporte CBR															
UBICACIÓN: Parroquia Huachi Chico, Cantón Ambato, Provincia de Tungurahua															
ENSAYADO: Washington Fernando Quiroz Vargas															
ENSAYO DE CARGA - PENETRACIÓN															
Máquina de Compresión Simple (CONTROLS)					ÁREA DEL PISTÓN = 3 plg ²		NORMA: ASTM D- 1883			VELOCIDAD DE CARGA = 1,27 mm/min (0,05 pulg/min)					
Molde Número					1			2			3				
TIEMPO		PENET.		Q Carga lb	Presiones		CBR	Q Carga lb	Presiones		CBR	Q Carga lb	Presiones		CBR
Min.	Seg.	mm	plg *10- 3		Leida	Corregid a			Leid a	Corregid a			Leida	Corregid a	
		mm	plg *10- 3	lb	lb/pulg ²		%	lb	lb/pulg ²		%	lb	lb/pulg ²		%
		0	0	0	0			0	0			0	0		
0	30	0,64	25	1281,9	427,3			261,9	87,3			156,9	52,3		
1	0	1,27	50	1608,9	536,3			543,9	181,3			273,0	91,0		
1	30	1,91	75	1914,3	638,1			816,3	272,1			381,9	127,3		
2	0	2,54	100	2136,6	712,2	712,2	71,22	1071,9	357,3	357,3	35,73	477,9	159,3	159,3	15,93
3	0	3,81	150	2544,9	848,3			1409,1	469,7			621,9	207,3		
4	0	5,08	200	2871,3	957,1			1662,9	554,3			738,3	246,1		
5	0	6,35	250	3129,6	1043,2			1830,6	610,2			837,9	279,3		
6	0	7,62	300	3306,6	1102,2			1968,9	656,3			915,3	305,1		
8	0	10,16	400	3337,5	1112,5			2228,1	742,7			1028,1	342,7		
10	0	12,70	500	3373,5	1124,5			2475,3	825,1			1167,6	389,2		
CBR Corregido							71,22				35,73				15,93

Fuente: Autor

Tabla 20. Ensayo CBR con 12% de Emulsión Asfáltica

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS ENSAYO C.B.R. </div>  </div>															
PROYECTO: Comparación entre la estabilización de suelos con emulsión asfáltica, y la estabilización de suelos con asfalto y diésel para determinar cuál estabilización proporciona mayor densidad aparente y relación de soporte CBR															
UBICACIÓN: Parroquia Huachi Chico, Cantón Ambato, Provincia de Tungurahua															
ENSAYADO: Washington Fernando Quiroz Vargas															
ENSAYO DE CARGA - PENETRACIÓN															
Máquina de Compresión Simple (CONTROLS)				ÁREA DEL PISTÓN = 3 plg ²			NORMA: ASTM D-1883			VELOCIDAD DE CARGA = 1,27 mm/min (0,05 pulg/min)					
Molde Número				1				2				3			
TIEMPO		PENET.		Q Carga	Presiones		CBR	Q Carga	Presiones		CBR	Q Carga	Presiones		CBR
Min.	Seg.	mm	plg *10-3		Leida	Corregida			Leida	Corregida			Leida	Corregida	
		mm	plg *10-3	lb	lb/pulg2		%	lb	lb/pulg2		%	lb	lb/pulg2		%
		0	0	0	0			0	0			0	0		
0	30	0,64	25	896,1	298,7			176,1	58,7			128,1	42,7		
1	0	1,27	50	1246,8	415,6			370,5	123,5			223,5	74,5		
1	30	1,91	75	1544,4	514,8			569,1	189,7			296,1	98,7		
2	0	2,54	100	1796,1	598,7	598,7	59,87	664,2	221,4	221,4	22,14	373,5	124,5	124,5	12,45
3	0	3,81	150	2096,1	698,7			943,5	314,5			563,7	187,9		
4	0	5,08	200	2279,4	759,8			1276,8	425,6			670,8	223,6		
5	0	6,35	250	2537,1	845,7			1564,2	521,4			796,2	265,4		
6	0	7,62	300	2737,5	912,5			1837,5	612,5			893,4	297,8		
8	0	10,16	400	2996,1	998,7			2096,1	698,7			944,1	314,7		
10	0	12,70	500	3097,8	1032,6			2254,2	751,4			961,5	320,5		
CBR Corregido							59,87				22,14				12,45

Fuente: Autor

Para los ensayos de próctor modificado se realizaron los siguientes pasos:



- Primero se pesa 5880 gr de suelo
- Luego se pesa 120 gr de Diésel que equivale al 2%, para así llegar al peso deseado q es de 6000 gr.
- Se pesa 180 gr de asfalto.
- Se calienta en un recipiente el suelo hasta llegar a una temperatura de 110 °C.
- Se calienta en otro recipiente el asfalto.
- En el recipiente del suelo se coloca el asfalto calentado y el diésel, se mezcla hasta que se unir por completo.
- Una vez hecha la mezcla se procede a colocar en los moldes, repartiendo en 5 capas similares y dando 56 golpes por cada capa con el martillo de 10 lb.
- Echo esto se enrasa el suelo con el molde.
- Finalmente, se le dá la vuelta al molde y está listo para ser ensayado en la máquina de CBR.
- Se repite este proceso para los 27 y 11 golpes faltantes.

Una vez culminado el ensayo se realiza los mismos pasos, pero con la cantidad de diésel en el porcentaje de 4, 6 y 8%, tomando en cuenta que el peso del suelo también cambia, para así llegar al peso total deseado de 6000 gr.

El asfalto siempre es constante al 3%.

4.1.4 Muestra N° 6

Tabla 21. Próctor Modificado muestra N° 6

 <div style="text-align: center;"> UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS </div> 						
ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO "B"						
PROYECTO:	Comparación entre la estabilización de suelos con emulsión asfáltica, y la estabilización de suelos con asfalto y diésel para determinar cuál estabilización proporciona mayor densidad aparente y relación de soporte CBR					
ENSAYADO:	Washington Fernando Quiroz Vargas					
UBICACIÓN:	Parroquia Huachi Chico, Cantón Ambato, Provincia de Tungurahua					
ESPECIFICACIONES						
Número de Golpes	56	Altura de Caída	18"	Peso del Molde	15988	gr
Número de Capas	5	Peso del Martillo	10 lb	Volumen del Molde	2294,84	cm ³
Energía de Compactación		Normas:	AASHTO	T-180		
Peso Inicial Deseado	6000	6000	6000	6000	6000	
1. PROCESO DE COMPACTACIÓN						
Ensayo Numero	1	2	3	4		
Emulsión asfáltica añadida en %	2	4	6	8		
P. Suelo Caliente (gr)	5880	5760	5640	5520		
Peso Diésel (gr)	120	240	360	480		
Peso Asfalto constante 3% (gr)	180	180	180	180		

Fuente: Autor



Para las muestras 7 y 8 se repite el mismo ensayo, en los cuales solo cambia el número de golpes a 27 y 11 respectivamente

Tabla 22. Ensayo CBR con 2% de Diésel y 3% de Asfalto

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS ENSAYO C.B.R. </div>  </div>															
PROYECTO: Comparación entre la estabilización de suelos con emulsión asfáltica, y la estabilización de suelos con asfalto y diésel para determinar cuál estabilización proporciona mayor densidad aparente y relación de soporte CBR															
UBICACIÓN: Parroquia Huachi Chico, Cantón Ambato, Provincia de Tungurahua															
ENSAYADO: Washington Fernando Quiroz Vargas															
ENSAYO DE CARGA - PENETRACIÓN															
Máquina de Compresión Simple (CONTROLS)				ÁREA DEL PISTÓN = 3 plg ²			NORMA: ASTM D-1883			VELOCIDAD DE CARGA = 1,27 mm/min (0,05 pulg/min)					
Molde Número				1			2			3					
TIEMPO		PENET.		Q Carga	Presiones		CBR	Q Carga	Presiones		CBR	Q Carga	Presiones		CBR
Min.	Seg.	mm	plg *10-3		Leida	Corregida			Leida	Corregida			Leida	Corregida	
		mm	plg *10-3	lb	lb/pulg2		%	lb	lb/pulg2		%	lb	lb/pulg2		%
		0	0	0	0			0	0			0	0		
0	30	0,64	25	144,9	48,3			142,5	47,5			73,5	24,5		
1	0	1,27	50	262,5	87,5			203,4	67,8			143,7	47,9		
1	30	1,91	75	403,5	134,5			269,1	89,7			194,1	64,7		
2	0	2,54	100	595,5	198,5	198,5	19,85	294,9	98,3	98,3	9,83	263,7	87,9	87,9	8,79
3	0	3,81	150	853,5	284,5			427,5	142,5			293,4	97,8		
4	0	5,08	200	1163,7	387,9			603,9	201,3			374,1	124,7		
5	0	6,35	250	1355,1	451,7			903,6	301,2			536,7	178,9		
6	0	7,62	300	1523,7	507,9			1094,1	364,7			649,5	216,5		
8	0	10,16	400	1837,2	612,4			1397,4	465,8			929,4	309,8		
10	0	12,70	500	2443,8	814,6			1762,2	587,4			1200,6	400,2		
CBR Corregido							19,85				9,83				8,79

Fuente: Autor

Tabla 23. Ensayo CBR con 4% de Diésel y 3% de Asfalto

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> <p>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS ENSAYO C.B.R.</p> </div>  </div>															
PROYECTO: Comparación entre la estabilización de suelos con emulsión asfáltica, y la estabilización de suelos con asfalto y diésel para determinar cuál estabilización proporciona mayor densidad aparente y relación de soporte CBR															
UBICACIÓN: Parroquia Huachi Chico, Cantón Ambato, Provincia de Tungurahua															
ENSAYADO: Washington Fernando Quiroz Vargas															
ENSAYO DE CARGA - PENETRACIÓN															
Máquina de Compresión Simple (CONTROLS)					ÁREA DEL PISTÓN = 3 plg ²			NORMA: ASTM D-1883			VELOCIDAD DE CARGA = 1,27 mm/min (0,05 pulg/min)				
Molde Número				1				2				3			
TIEMPO		PENET.		Q Carga	Presiones		CBR	Q Carga	Presiones		CBR	Q Carga	Presiones		CBR
					Leida	Corregida			Leida	Corregida			Leida	Corregida	
Min.	Seg.	mm	plg *10-3	lb	lb/pulg2		%	lb	lb/pulg2		%	lb	lb/pulg2		%
		0	0	0	0			0	0			0	0		
0	30	0,64	25	253,5	84,5			153,6	51,2			73,5	24,5		
1	0	1,27	50	386,7	128,9			235,5	78,5			143,7	47,9		
1	30	1,91	75	569,1	189,7			307,2	102,4			223,5	74,5		
2	0	2,54	100	773,4	257,8	257,8	25,78	403,5	134,5	134,5	13,45	307,2	102,4	102,4	10,24
3	0	3,81	150	973,5	324,5			536,7	178,9			373,5	124,5		
4	0	5,08	200	1184,1	394,7			736,8	245,6			524,4	174,8		
5	0	6,35	250	1403,4	467,8			943,5	314,5			643,5	214,5		
6	0	7,62	300	1579,2	526,4			1193,4	397,8			742,5	247,5		
8	0	10,16	400	2069,1	689,7			1504,2	501,4			944,1	314,7		
10	0	12,70	500	2776,2	925,4			1853,4	617,8			1200,6	400,2		
CBR Corregido							25,78				13,45				10,24


Fuente: Autor

Tabla 24. Ensayo CBR con 6% de Diésel y 3% de Asfalto

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS ENSAYO C.B.R. </div>  </div>																					
PROYECTO: Comparación entre la estabilización de suelos con emulsión asfáltica, y la estabilización de suelos con asfalto y diésel para determinar cuál estabilización proporciona mayor densidad aparente y relación de soporte CBR																					
UBICACIÓN: Parroquia Huachi Chico, Cantón Ambato, Provincia de Tungurahua																					
ENSAYADO: Washington Fernando Quiroz Vargas																					
ENSAYO DE CARGA - PENETRACIÓN																					
Máquina de Compresión Simple (CONTROLS)					ÁREA DEL PISTÓN = 3 plg ²			NORMA: ASTM D-1883			VELOCIDAD DE CARGA = 1,27 mm/min (0,05 pulg/min)										
Molde Número		1						2				3									
TIEMPO		PENET.		Q Carga		Presiones		CBR		Q Carga		Presiones		CBR		Q Carga		Presiones		CBR	
Min.	Seg.	mm	plg *10 ⁻³	lb	lb/pulg ²		%	lb	lb/pulg ²		%	lb	lb/pulg ²		%	lb	lb/pulg ²		%		
		0	0	0	0			0	0			0	0			0	0				
0	30	0,64	25	643,5	214,5			262,5	87,5			145,8	48,6								
1	0	1,27	50	1163,7	387,9			562,5	187,5			226,2	75,4								
1	30	1,91	75	1837,2	612,4			869,1	289,7			306,9	102,3								
2	0	2,54	100	2104,8	701,6	701,6	70,16	1162,8	387,6	387,6	38,76	494,4	164,8	164,8	16,48						
3	0	3,81	150	2359,5	786,5			1536,9	512,3			776,7	258,9								
4	0	5,08	200	2542,5	847,5			1893,6	631,2			1144,8	381,6								
5	0	6,35	250	2743,5	914,5			2149,5	716,5			1463,7	487,9								
6	0	7,62	300	3006,9	1002,3			2437,2	812,4			1769,1	589,7								
8	0	10,16	400	3373,5	1124,5			2739,6	913,2			2063,4	687,8								
10	0	12,70	500	3603,9	1201,3			2958,0	984,6			2386,8	795,6								
CBR Corregido							70,16				38,76								16,48		

Fuente: Autor

Tabla 25. Ensayo CBR con 8% de Diésel y 3% de Asfalto

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS ENSAYO C.B.R. </div>  </div>															
PROYECTO: Comparación entre la estabilización de suelos con emulsión asfáltica, y la estabilización de suelos con asfalto y diésel para determinar cuál estabilización proporciona mayor densidad aparente y relación de soporte CBR															
UBICACIÓN: Parroquia Huachi Chico, Cantón Ambato, Provincia de Tungurahua															
ENSAYADO: Washington Fernando Quiroz Vargas															
ENSAYO DE CARGA - PENETRACIÓN															
Máquina de Compresión Simple (CONTROLS)				ÁREA DEL PISTÓN = 3 plg ²			NORMA: ASTM D-1883			VELOCIDAD DE CARGA = 1,27 mm/min (0,05 pulg/min)					
Molde Número				1			2			3					
TIEMPO		PENET.		Q Carga lb	Presiones		CBR	Q Carga lb	Presiones		CBR	Q Carga lb	Presiones		CBR
Min.	Seg.	mm	plg *10-3		Leida	Corregida			Leida	Corregida			Leida	Corregida	
					lb/pulg ²		%		lb/pulg ²		%		lb/pulg ²		%
		0	0	0	0			0	0			0	0		
0	30	0,64	25	6696	2232		1543	318,6	106,2			168,6	56,2		
1	0	1,27	50	10836	3612			520,2	173,4			284,4	94,8		
1	30	1,91	75	15246	5082			658,5	219,5			410,4	136,8		
2	0	2,54	100	18336	6112	6112	61,12	843,9	281,3	281,3	28,13	582,9	194,3	194,3	19,43
3	0	3,81	150	23469	7823			1161,3	387,1			873,6	291,2		
4	0	5,08	200	26073	8691			1546,8	515,6			1254,9	418,3		
5	0	6,35	250	28275	9425			1896,9	632,3			1581,6	527,2		
6	0	7,62	300	29742	9914			2145,9	715,3			1845,6	615,2		
8	0	10,16	400	32589	10863			2562,3	854,1			2284,2	761,4		
10	0	12,70	500	35592	11864			2809,5	936,5			2590,2	863,4		
CBR Corregido							61,12				28,13				19,43

Fuente: Autor

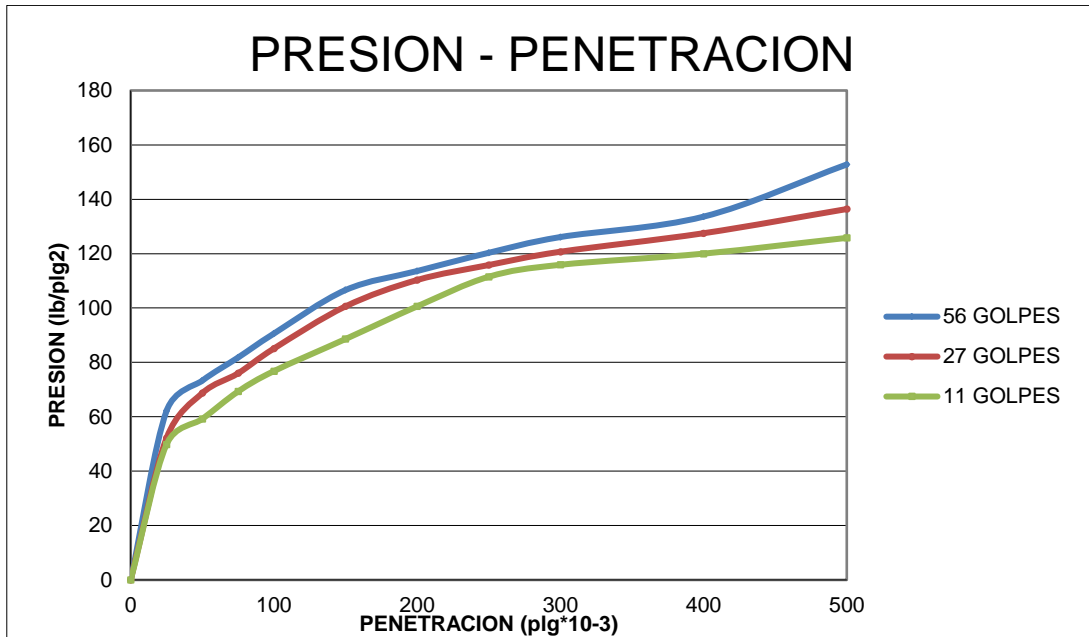
4.2 Análisis de los Resultados

Para el análisis se va a tomar las gráficas de cada muestra ensayada.

En estas gráficas de los ensayos de CBR se tomó una densidad real seca para todos los resultados ya que la mezcla de estos materiales y los ensayos próctor se hizo en caliente.

$$\text{Densidad real} = 2.484 \text{ gr/cm}^3$$

Gráfico 1. Curva de Penetración del Ensayo CBR con 3% de Emulsión Asfáltica



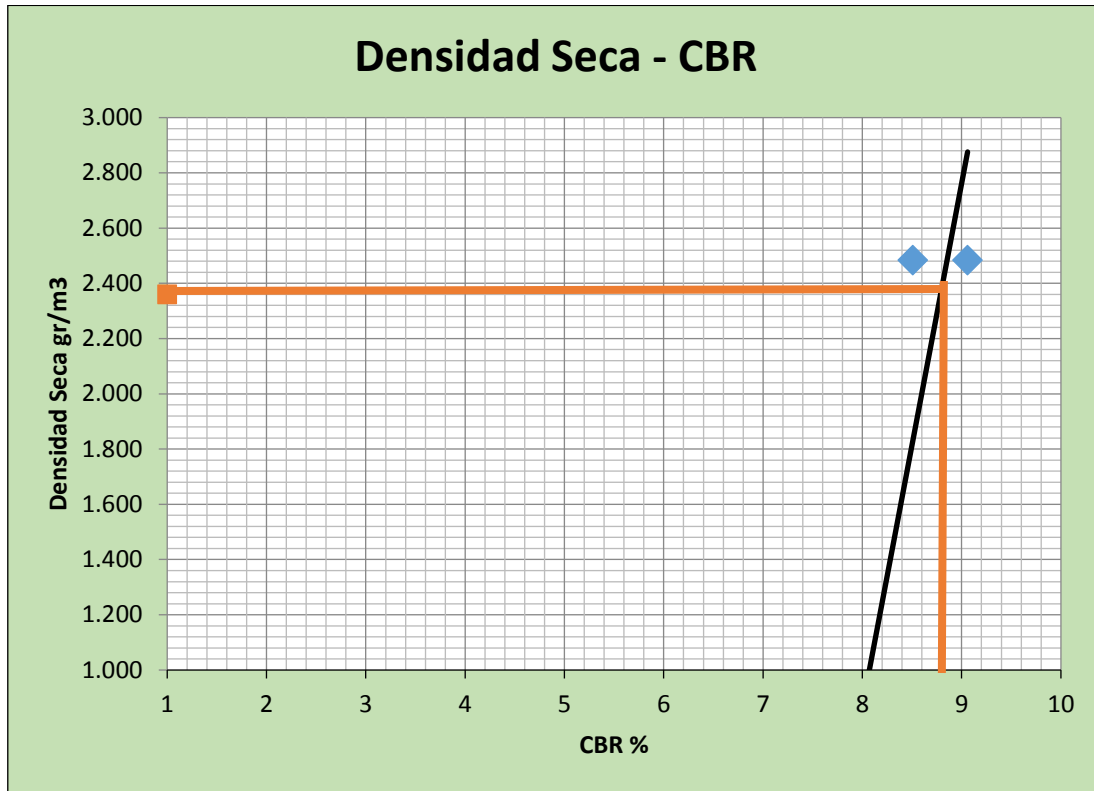
Fuente: Autor

Los valores que se obtuvieron de esta gráfica son los siguientes:

RESISTENCIAS	
61,12	%
28,13	%
19,43	%

El gráfico detallado anteriormente pertenece al ensayo CBR, cuyas curvas representan la carga actuante sobre los proctor de 56, 27 y 11 golpes respectivamente. Las resistencias obtenidas, es de igual manera la representación de los proctor.

Gráfico 2. Ensayo CBR con 3% de Emulsión Asfáltica

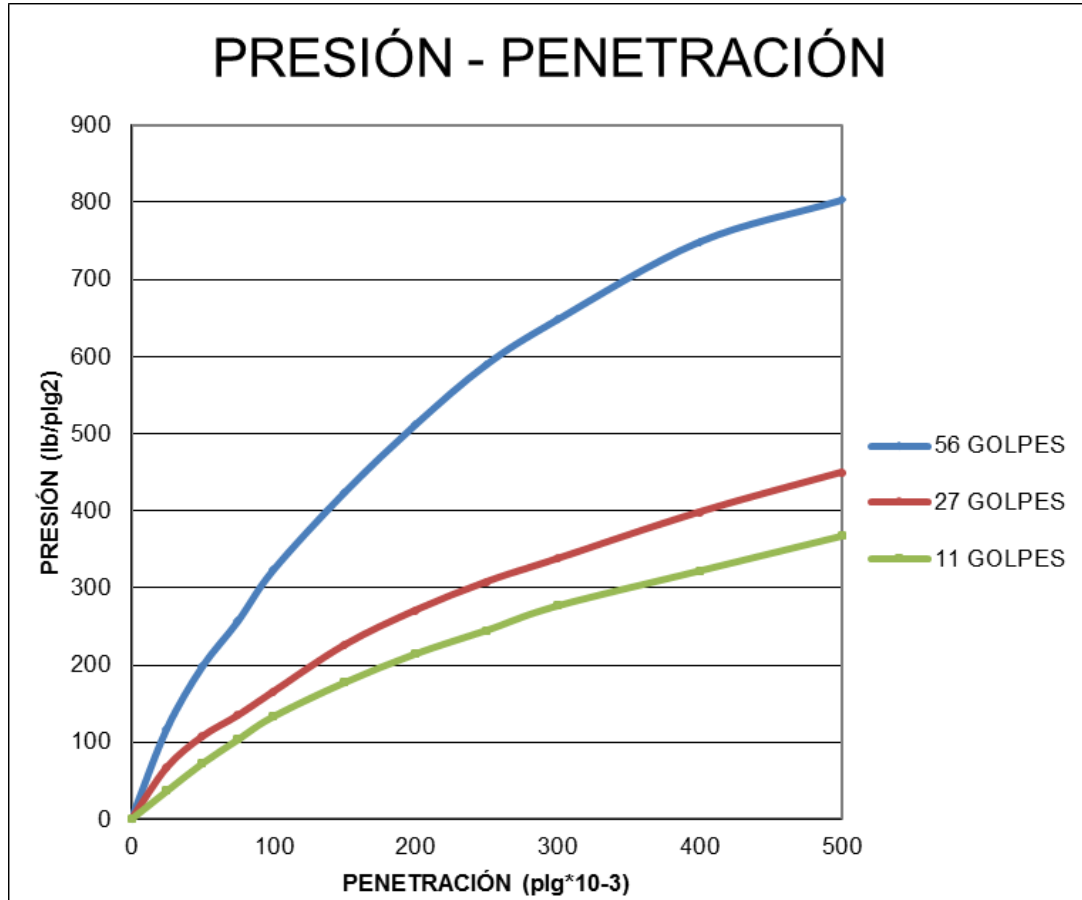


Fuente: Autor

Los valores que se obtuvo de esta gráfica son los siguientes:

DENSIDAD MAX	2,484	gr/cm ³
95% DE DM	2,36	gr/cm ³
CBR PUNTUAL	8,80	%

Gráfico 3. Curva de Penetración del Ensayo CBR con 6% de Emulsión Asfáltica



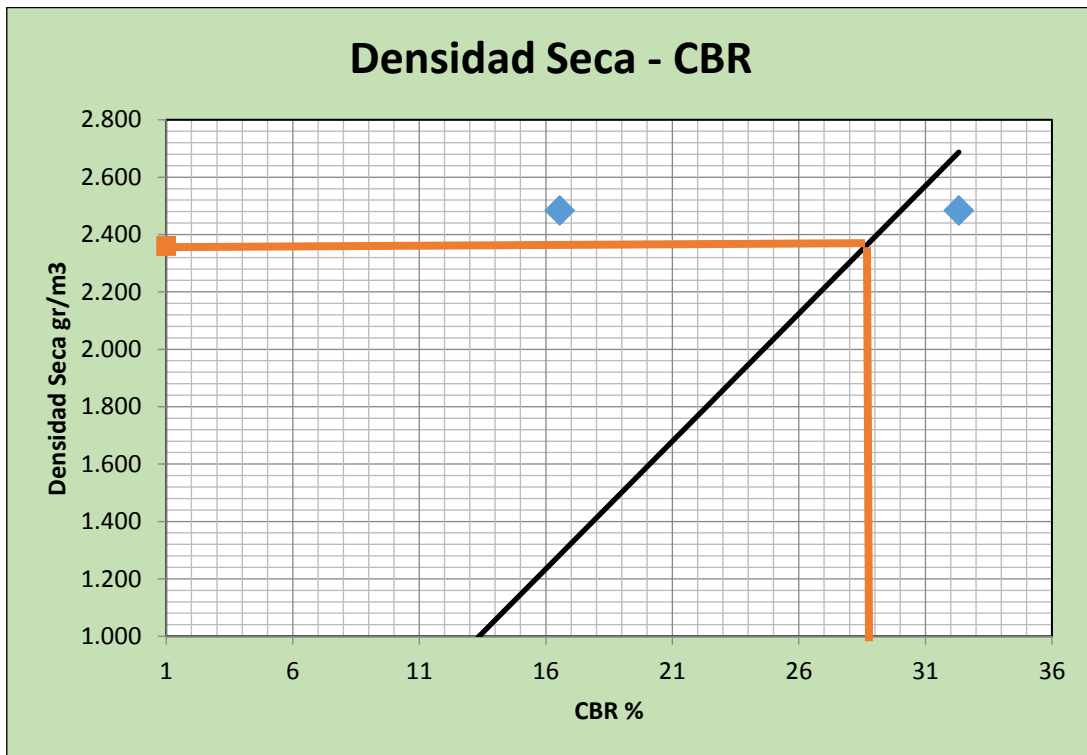
Fuente: Autor

Los valores que se obtuvieron de esta gráfica son los siguientes:

RESISTENCIAS	
32,32	%
16,55	%
13,34	%

El gráfico detallado anteriormente pertenece al ensayo CBR, cuyas curvas representan la carga actuante sobre los proctor de 56, 27 y 11 golpes respectivamente. Las resistencias obtenidas, es de igual manera la representación de los proctor.

Gráfico 4. Ensayo CBR con 6% de Emulsión Asfáltica

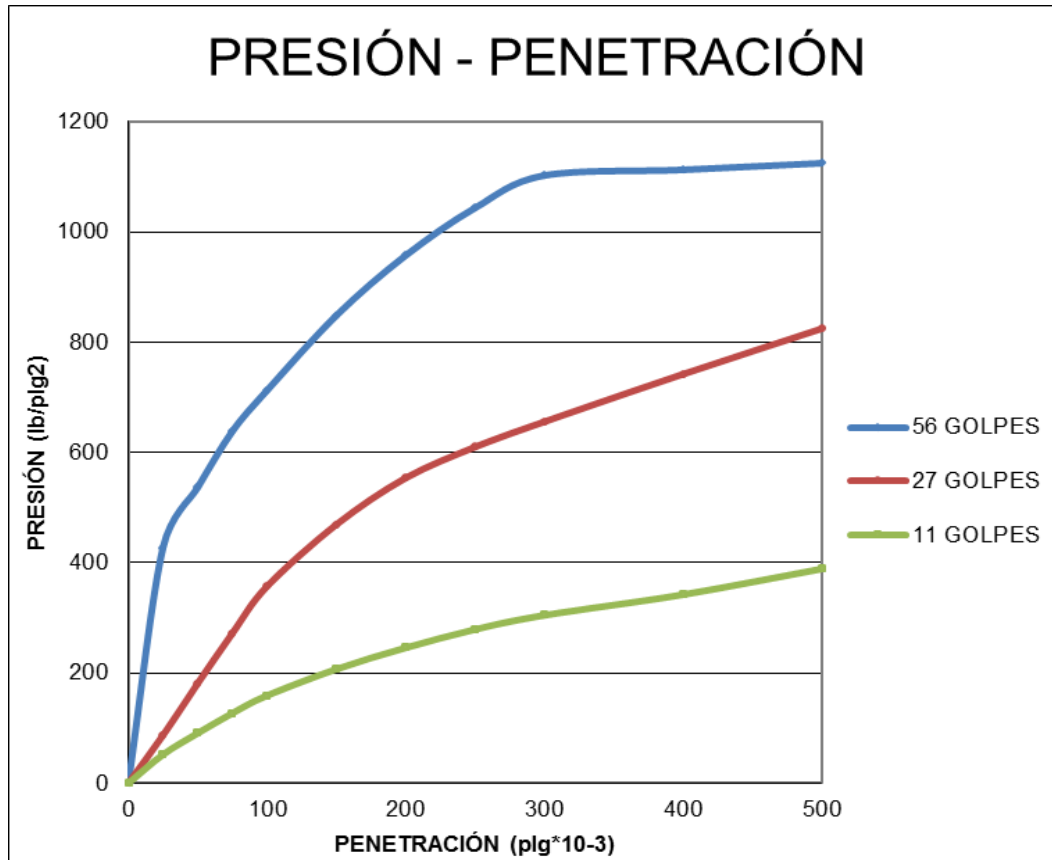


Fuente: Autor

Los valores que se obtuvieron de esta gráfica son los siguientes:

DENSIDAD MAX	2,484	gr/cm ³
95% DE DM	2,36	gr/cm ³
CBR PUNTUAL	28,00	%

Gráfico 5. Curva de Penetración del Ensayo CBR con 9% de Emulsión Asfáltica



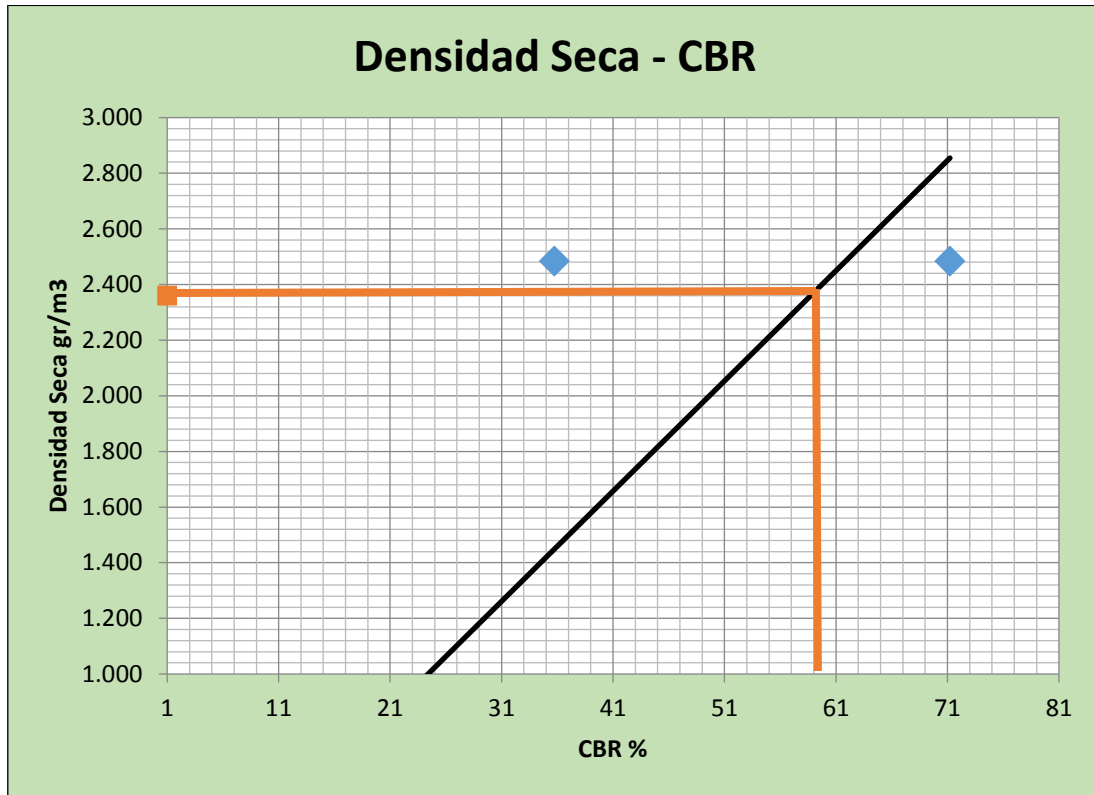
Fuente: Autor

Los valores que se obtuvieron de esta gráfica son los siguientes:

RESISTENCIAS	
71,22	%
35,73	%
15,93	%

El gráfico detallado anteriormente pertenece al ensayo CBR, cuyas curvas representan la carga actuante sobre los proctor de 56, 27 y 11 golpes respectivamente. Las resistencias obtenidas, es de igual manera la representación de los proctor.

Gráfico 6. Ensayo CBR con 9% de Emulsión Asfáltica

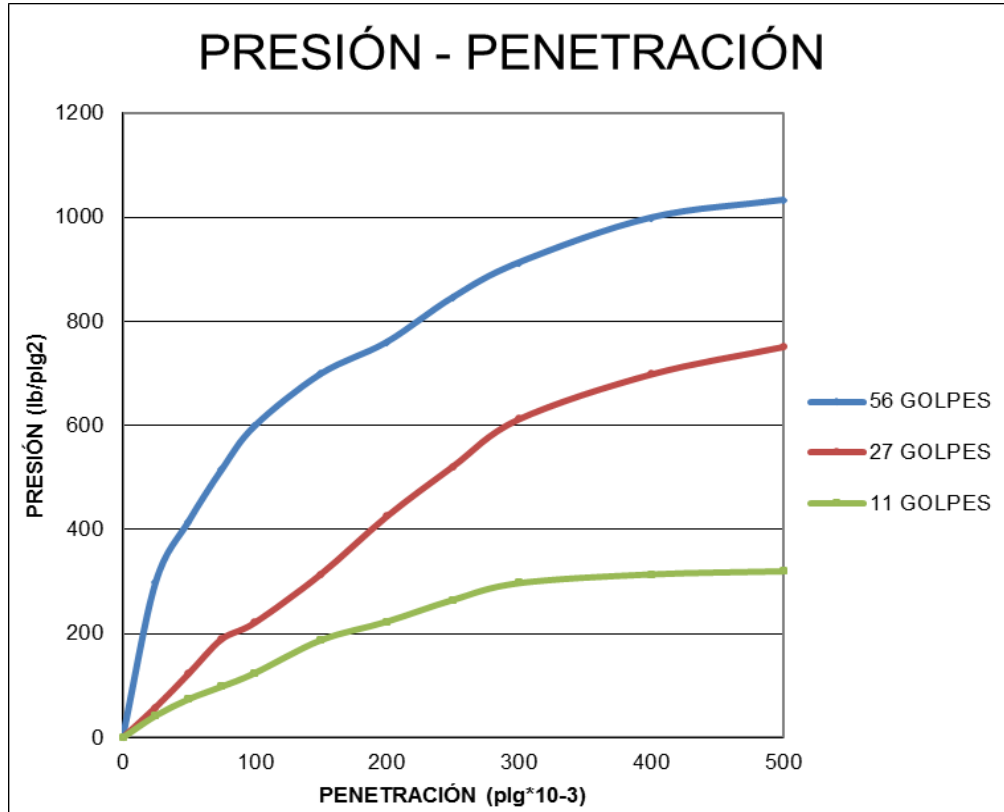


Fuente: Autor

Los valores que se obtuvo de esta grafica son los siguientes:

DENSIDAD MAX	2,484	gr/cm3
95% DE DM	2,36	gr/cm3
CBR PUNTUAL	60,00	%

Gráfico 7 Curva de Penetración del Ensayo CBR con 12% de Emulsión Asfáltica



Fuente: Autor

Los valores que se obtuvieron de esta gráfica son los siguientes:

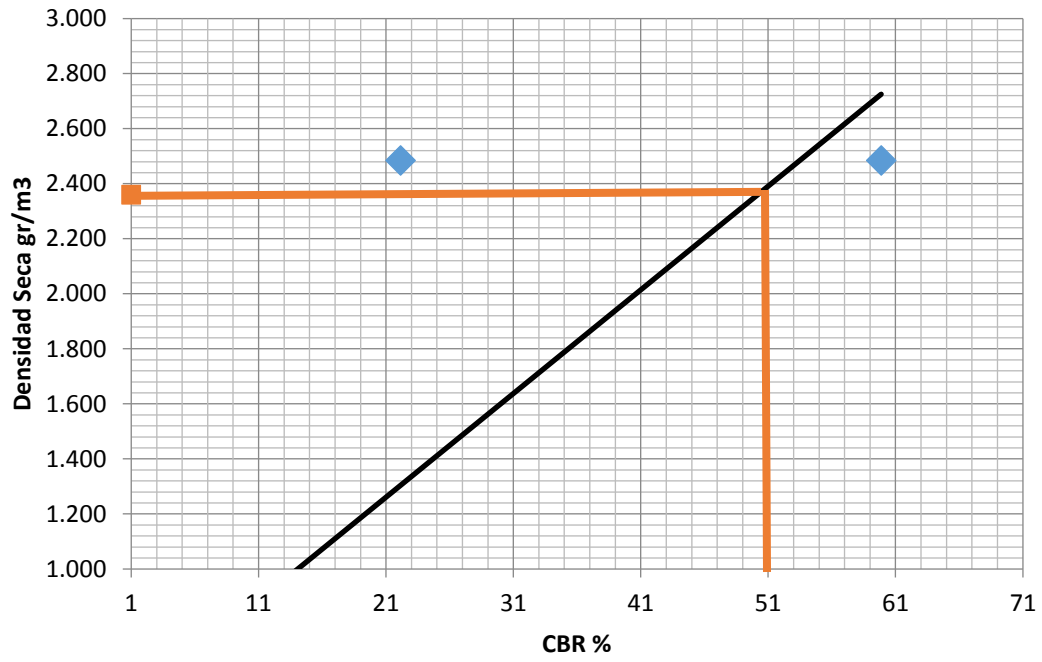
RESISTENCIAS	
55,82	%
25,20	%
13,45	%

El gráfico detallado anteriormente pertenece al ensayo CBR, cuyas curvas representan la carga actuante sobre los proctor de 56, 27 y 11 golpes respectivamente.

Las resistencias obtenidas, es de igual manera la representación de los proctor.

Gráfico 8. Ensayo CBR con 12% de Emulsión Asfáltica

Densidad Seca - CBR

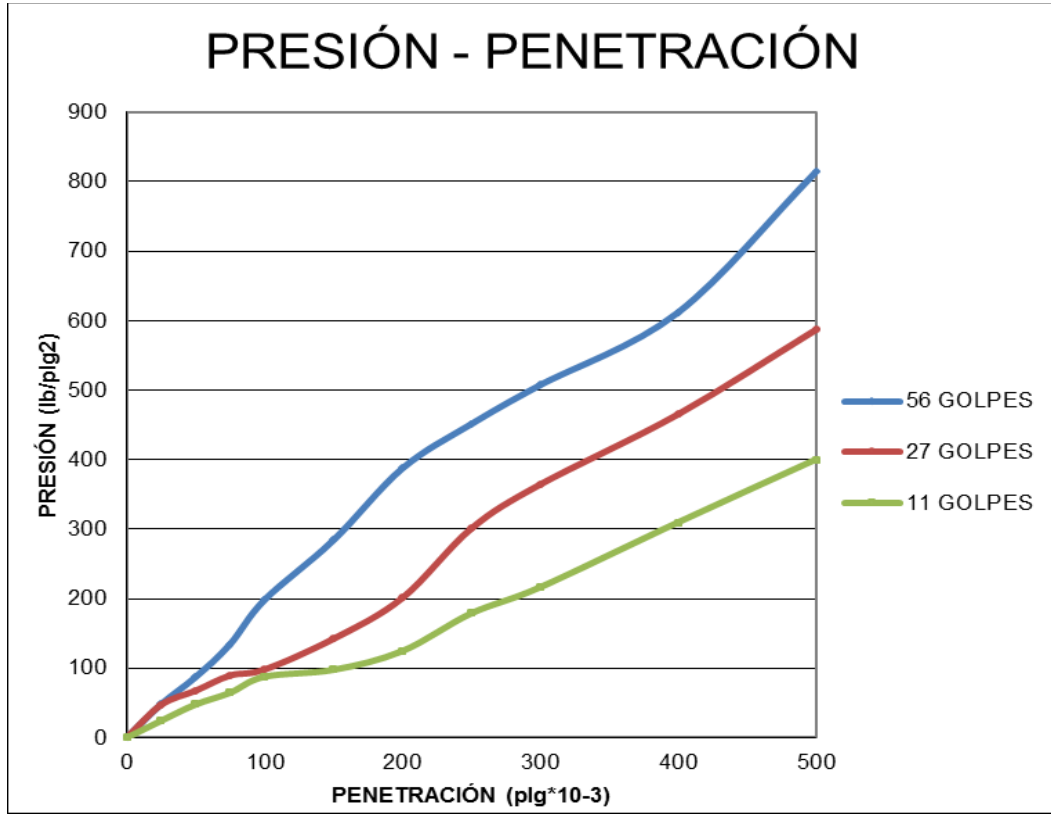


Fuente: Autor

Los valores que se obtuvieron de esta gráfica son los siguientes:

DENSIDAD MAX	2,484	gr/cm³
95% DE DM	2,36	gr/cm³
CBR PUNTUAL	51	%

Gráfico 9. Curva de Penetración del Ensayo CBR con 3% de Asfalto y 2% de Diésel.



Fuente: Autor

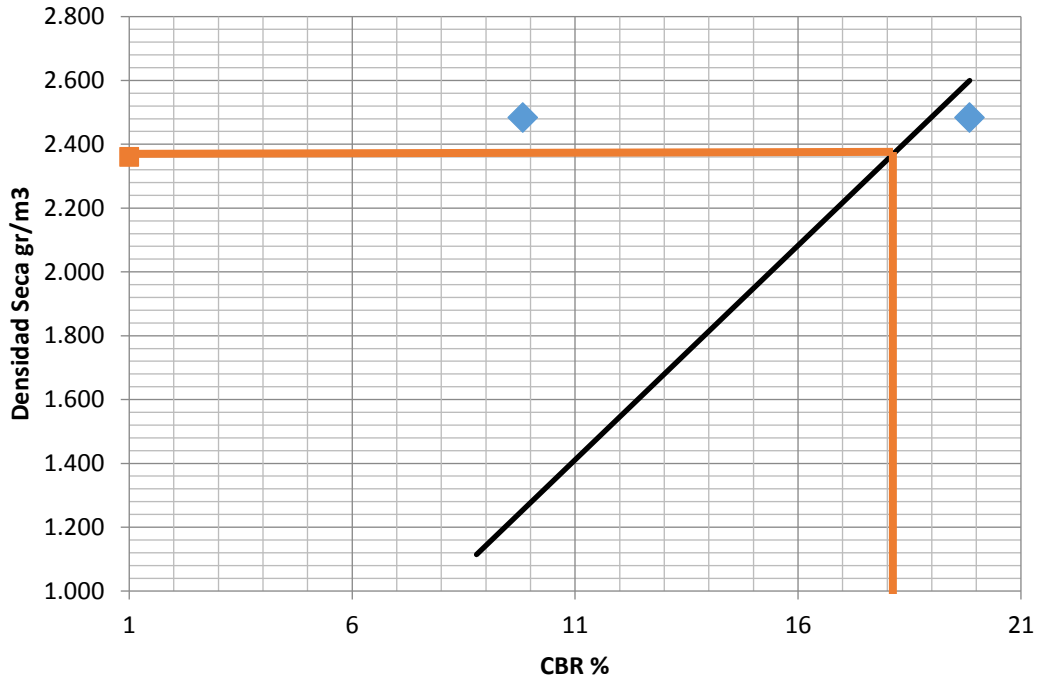
Los valores que se obtuvieron de esta gráfica son los siguientes:

RESISTENCIAS	
19,85	%
9,83	%
8,79	%

El gráfico detallado anteriormente pertenece al ensayo CBR, cuyas curvas representan la carga actuante sobre los proctor de 56, 27 y 11 golpes respectivamente. Las resistencias obtenidas, es de igual manera la representación de los proctor.

Gráfico 10. Curva de Ensayo CBR con 3% de Asfalto y 2% de Diésel

Densidad Seca - CBR

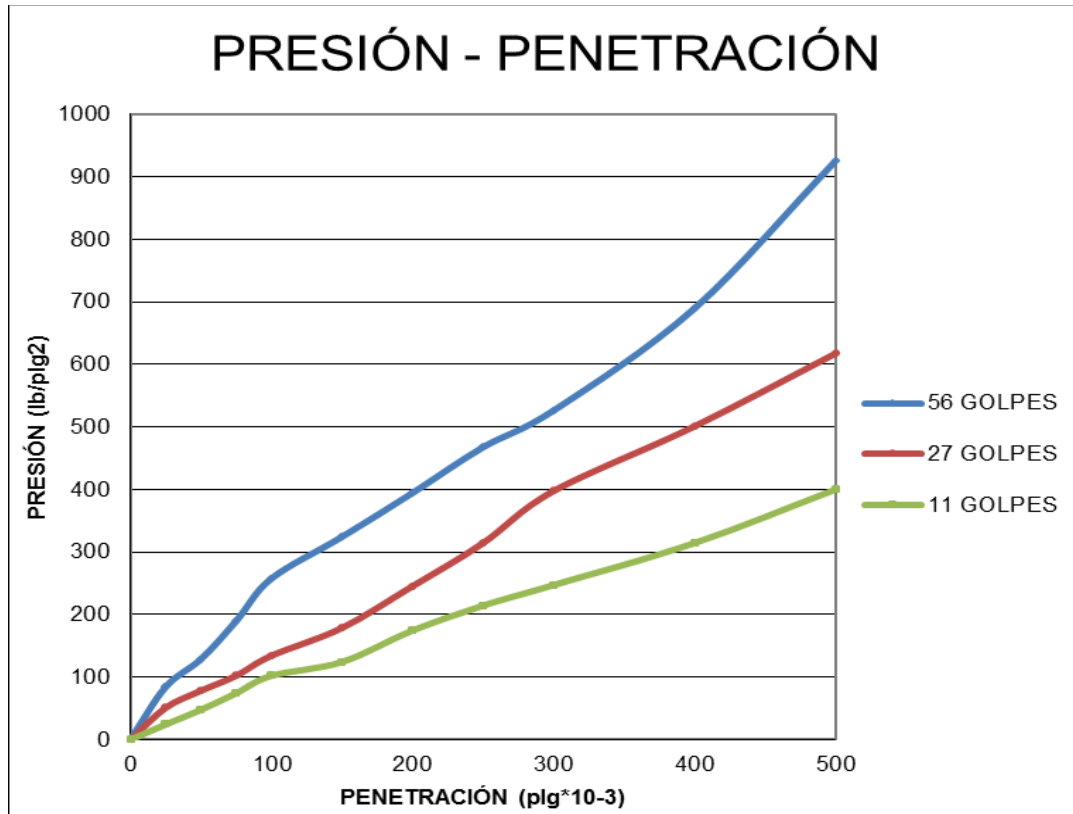


Fuente: Autor

Los valores que se obtuvieron de esta gráfica son los siguientes:

DENSIDAD MAX	2,484	gr/cm3
95% DE DM	2,36	gr/cm3
CBR PUNTUAL	18	%

Gráfico 11. Curva de Penetración del Ensayo CBR con 3% de Asfalto y 4% de Diésel



Fuente: Autor

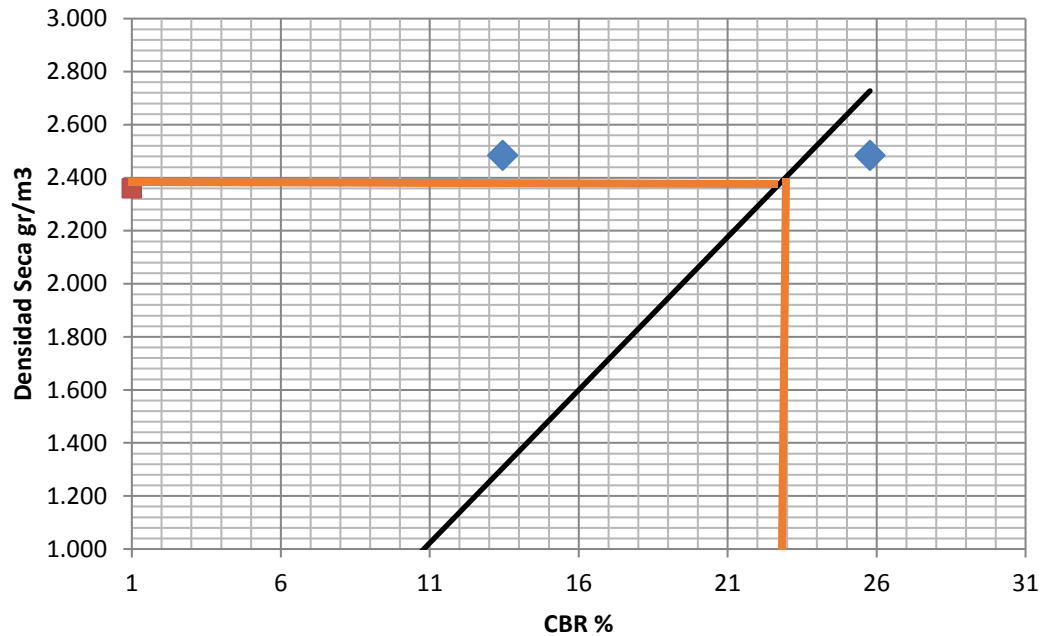
Los valores que se obtuvo de esta gráfica son los siguientes:

RESISTENCIAS	
25,78	%
13,45	%
10,24	%

El gráfico detallado anteriormente pertenece al ensayo CBR, cuyas curvas representan la carga actuante sobre los proctor de 56, 27 y 11 golpes respectivamente. Las resistencias obtenidas, es de igual manera la representación de los proctor.

Gráfico 12. Ensayo CBR con 3% de Asfalto y 4% de Diésel

Densidad Seca - CBR

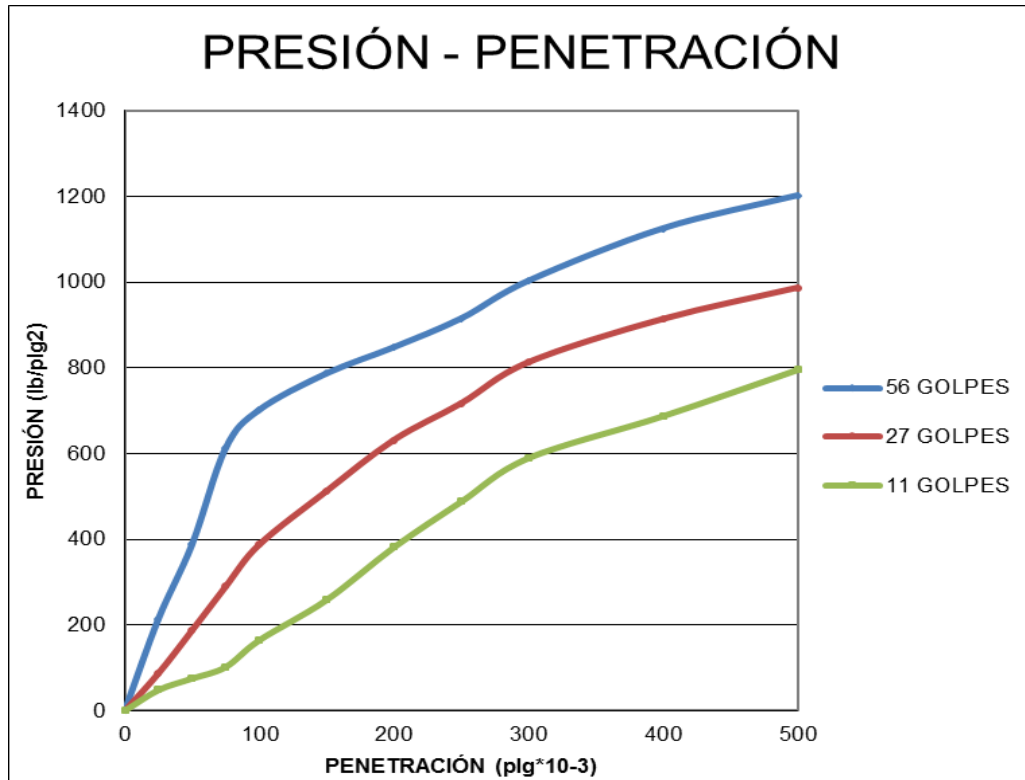


Fuente: Autor

Los valores que se obtuvo de esta grafica son los siguientes:

DENSIDAD MAX	2,484	gr/cm3
95% DE DM	2,36	gr/cm3
CBR PUNTUAL	22	%

Gráfico 13. Curva de Penetración del Ensayo CBR con 3% de Asfalto y 6% de Diésel



Fuente: Autor

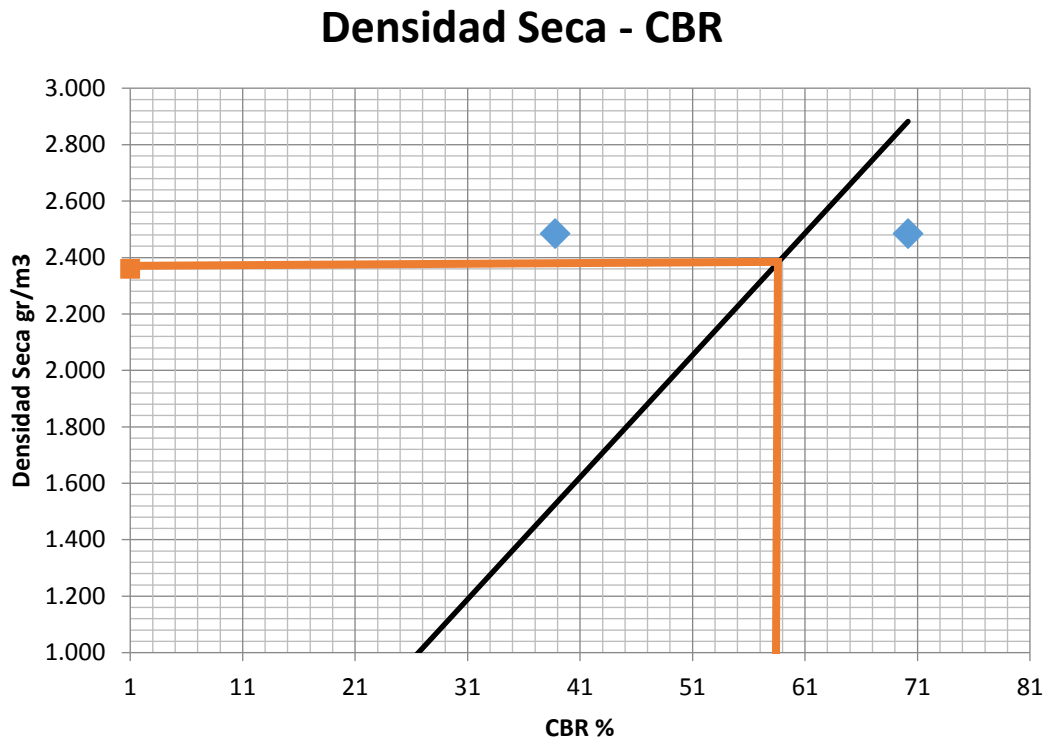
Los valores que se obtuvo de esta gráfica son los siguientes:

RESISTENCIAS	
70,16	%
38,76	%
16,48	%

El gráfico detallado anteriormente pertenece al ensayo CBR, cuyas curvas representan la carga actuante sobre los proctor de 56, 27 y 11 golpes respectivamente.

Las resistencias obtenidas, es de igual manera la representación de los proctor.

Gráfico 14. Ensayo CBR con 3% de Asfalto y 6% de Diésel

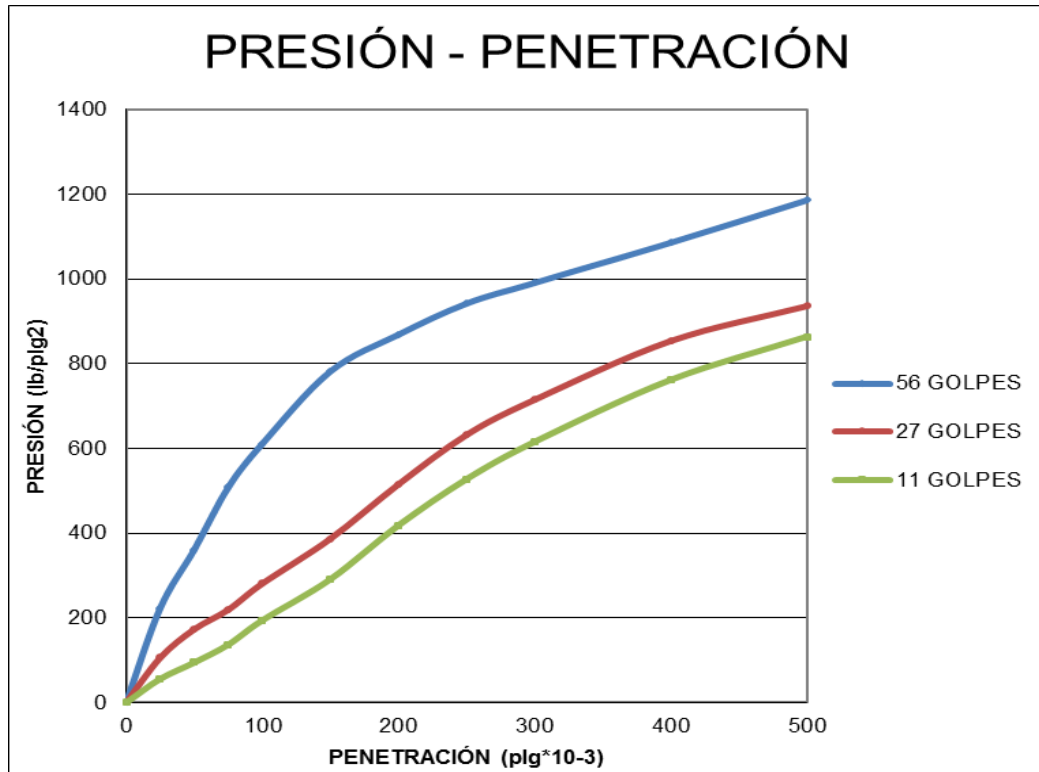


Fuente: Autor

Los valores que se obtuvo de esta grafica son los siguientes:

DENSIDAD MAX	2,484	gr/cm3
95% DE DM	2,36	gr/cm3
CBR PUNTUAL	59	%

Gráfico 15. Curva de Penetración del Ensayo CBR con 3% de Asfalto y 8% de Diésel.



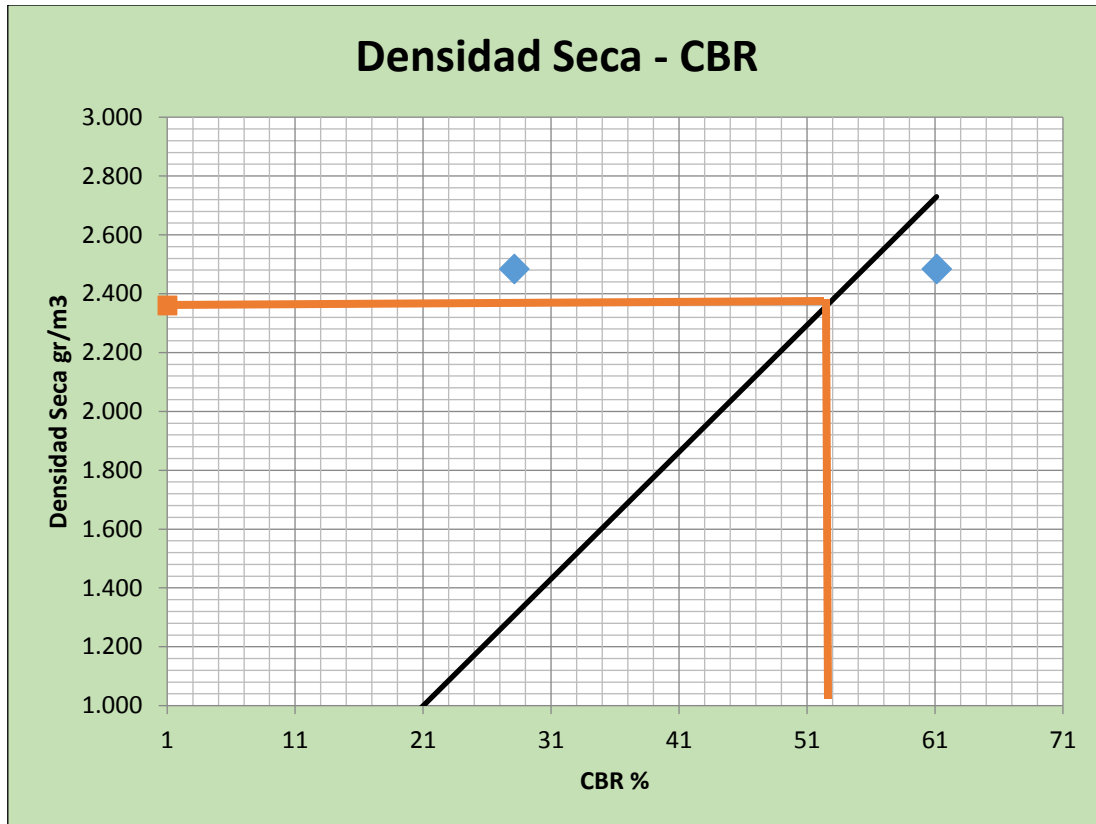
Fuente: Autor

Los valores que se obtuvieron de esta gráfica son los siguientes:

RESISTENCIAS	
61,12	%
28,13	%
19,43	%

El gráfico detallado anteriormente pertenece al ensayo CBR, cuyas curvas representan la carga actuante sobre los proctor de 56, 27 y 11 golpes respectivamente. Las resistencias obtenidas, es de igual manera la representación de los proctor.

Gráfico 16. Ensayo CBR con 3% de Asfalto y 8% de Diésel



Fuente: elaboración propia

Los valores que se obtuvieron de esta gráfica son los siguientes:

DENSIDAD MAX	2,484	gr/cm³
95% DE DM	2,36	gr/cm³
CBR PUNTUAL	51,50	%

4.3 Verificación de Hipótesis

4.3.1 Resultados con emulsión asfáltica

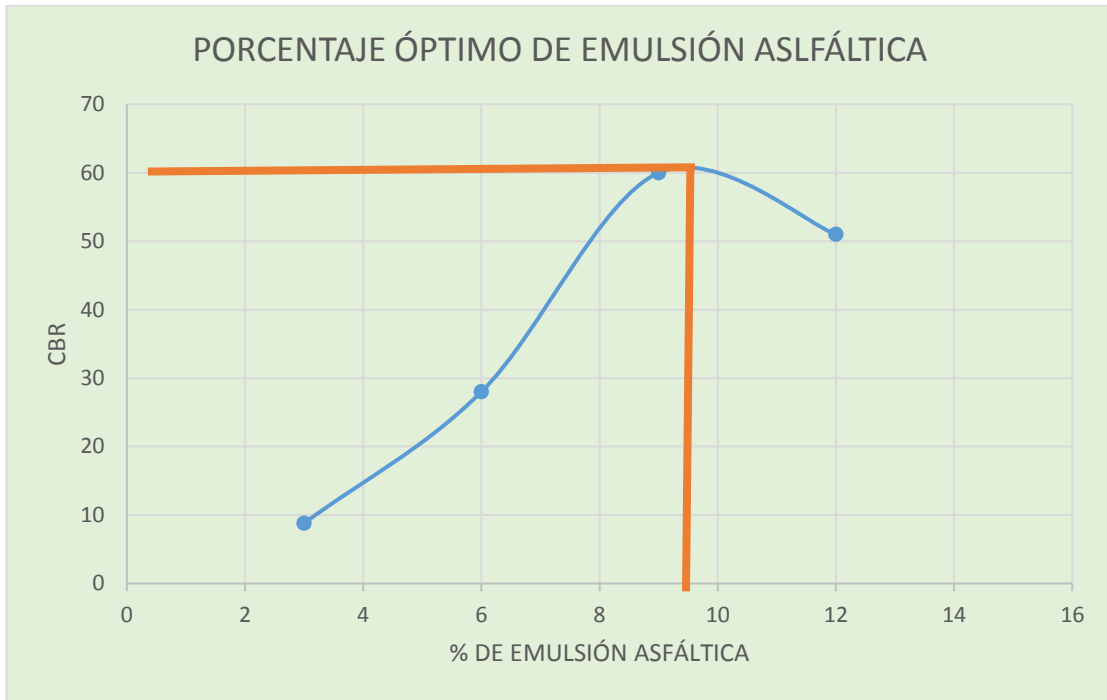
Luego de realizar el análisis de los resultados de los correspondientes estudios y ensayos se verifica la hipótesis en los siguientes gráficos para saber que estabilización resulta con mejores resultados.

Tabla 26. Cuadro de resumen de resultados con emulsión asfáltica

CUADRO DE RESUMEN DE RESULTADOS	
% DE EMULSIÓN ASFÁLTICA	CBR OBTENIDO
3	8,8
6	28
9	60
12	51

Fuente: Autor

Gráfico 17 Curva de Porcentaje Óptimo de Emulsión Asfáltica



Fuente: Autor

Los valores que se obtuvieron de esta gráfica son los siguientes:

% Óptimo de Emulsión Asfáltica	9%
CBR máximo	60

Se obtuvo el resultado con porcentaje óptimo de emulsión asfáltica de 9 % dando así un CBR máximo de 60 para un estudio vial.

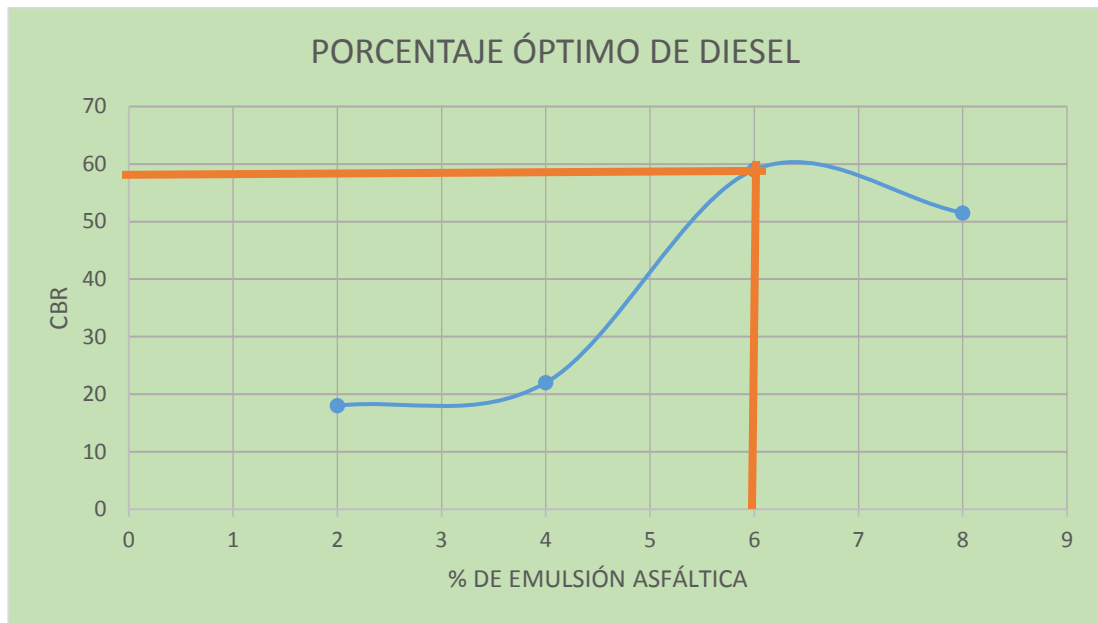
4.3.2 Resultados con asfalto y diésel

Tabla 27. Cuadro de resumen de resultados con asfalto y diésel

CUADRO DE RESUMEN DE RESULTADOS		
% DE DIÉSEL	% ASFALTO	CBR OBTENIDO
2	3	18
4	3	22
6	3	59
8	3	51,5

Fuente: Autor

Gráfico 18 Curva de Porcentaje Óptimo de Asfalto y Diésel





Fuente: Autor

Los valores que se obtuvo de esta gráfica son los siguientes:

% Óptimo de Diésel	6%
CBR máximo	59
% Constante de Asfalto	3%



Se obtuvo el resultado en porcentaje óptimo de diésel en un 6 %, con un porcentaje de asfalto constante de 3 % dando así un CBR máximo de 59 lo cual resulta de forma esperada sirviendo como base para cualquier estudio vial.

Tabla N° 28 Precios unitarios con Emulsión Asfáltica

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA					
PROYECTO: Comparación entre la estabilización de suelos con emulsión asfáltica, y la estabilización de suelos con asfalto y diésel para determinar cuál estabilización proporciona mayor densidad aparente y relación de soporte CBR					
ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
RUBRO:		Excavación y compactación		UNIDAD: m ³	
DETALLE:					
EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D = C*R
Herramienta menor	3.00	0.60	1.80	2.00	3.60
SUBTOTAL M					3.60
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D = C*R
Peón	1.00	2.56	2.56	4.00	10.24
SUBTOTAL N					10.24
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO	
		A	B	C = A*B	
Emulsión Asfáltica	Kg.	5.00	2.44	12.18	
SUBTOTAL				12.18	
TOTAL, COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					26.02
INDIRECTOS%					3.00%
COSTO TOTAL DEL RUBRO					0.78
VALOR OFERTADO					26.80

Fuente: Autor

Tabla N° 29 Precios unitarios con Asfalto y Diésel

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA			
PROYECTO: Comparación entre la estabilización de suelos con emulsión asfáltica, y la estabilización de suelos con asfalto y diésel para determinar cuál estabilización proporciona mayor densidad aparente y relación de soporte CBR					
ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
RUBRO: Excavación y compactación		UNIDAD: m3			
DETALLE:					
EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D = C*R
Herramienta menor	3.00	0.60	1.80	2.00	3.60
SUBTOTAL M					3.60
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D = C*R
Peón	1.00	2.56	2.56	4.00	10.24
SUBTOTAL N					10.24
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO	
		A	B	C = A*B	
Asfalto	Kg.	0.50	31.5	15.75	
SUBTOTAL				15.75	
TOTAL, COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					29.53
INDIRECTOS%					3.00%
COSTO TOTAL DEL RUBRO					0.88
VALOR OFERTADO					30.41

Fuente: Autor

Tabla N° 30 Resumen de costos para la estabilización de suelos

PRECIOS UNITARIOS CON LOS PORCENTAJES ÓPTIMOS PARA UNA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS			
EMULSIÓN ASFÁLTICA %	COSTO	ASFALTO + DIÉSEL %	COSTO
9 %	26.80	3% ASF. + 6% DIÉSEL	30.41

Fuente: Autor

Tomando en cuenta los ensayos y los precios unitarios realizados que con emulsión asfáltica resulta más económico una estabilización de suelos.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- El resultado de la investigación se concluye que para determinar el tipo de suelo a estabilizar se realizó el ensayo de Granulometría en el cual se obtuvo suelo de tipo Arena limosa.

- Se determinó que el suelo con el asfalto y emulsión asfáltica en caliente, dio como densidad aparente el valor de 2.484 gr/cm^3 , cuyo valor permite encontrar el CBR puntual, el mismo que da el esfuerzo portante del suelo. Numéricamente no se puede diferenciar una cantidad mayor, y se determina que son idénticos en capacidad portante. Detallando los ensayos realizados el primer CBR tiene un valor de 60 correspondiente a la estabilización de suelo con el 9 % de Emulsión Asfáltica, el segundo valor es de 59 correspondiente a la estabilización de suelo con el 3% de Asfalto y el 6% de Diésel, obteniendo el resultado base para cualquier estudio vial.

- En relación a costos resulta más conveniente realizar la estabilización de suelos con emulsión asfáltica, ya que para el porcentaje óptimo se gastó 26 dólares con ochenta centavos americanos

- Después de la estabilización se demostró que la arena limosa trabaja como grava limosa según se muestra en los datos de la tabla 7, sirviendo para un estudio vial.

- De los datos obtenidos de los ensayos de Emulsión Asfáltica nos dá resultados expresados en la siguiente tabla como el mayor valor CBR y el porcentaje óptimo de emulsión:

CUADRO DE RESUMEN DE RESULTADOS	
% DE EMULSIÓN ASFÁLTICA	CBR OBTENIDO
3	8,8
6	28
9	60
12	51

- De los datos obtenidos de los ensayos de Asfalto y Diésel nos dá resultados expresados en la siguiente tabla como el mayor valor CBR y el porcentaje óptimo de emulsión:

CUADRO DE RESUMEN DE RESULTADOS		
% DE DIÉSEL	% ASFALTO	CBR OBTENIDO
2	3	18
4	3	22
6	3	59
8	3	51,5

5.2 Recomendaciones

- Para realizar una estabilización con emulsión asfáltica y asfalto se debe calentar la mezcla a unos 110 °C par así poner unificar el suelo con el aditivo.
- Para realizar la estabilización con asfalto y diésel se debe mezclar primero el suelo con el diésel y después colocar el asfalto ya que el diésel le hace perder propiedades al asfalto si se mezcla directamente.
- Para obtener buenos ensayos de CBR se recomienda dejar enfriar la muestra por 24 horas.
- Para poder realizar estos ensayos se deben tomar las medidas de seguridad correspondientes como colocarse guantes para así no provocar quemaduras.

C.- MATERIALES DE REFERENCIA

1 BIBLIOGRAFÍA

[1] Instituto Nacional de estadísticas y censo (INEC)

[2] Pinot, R, H. (2000). Manual de Edafología. Ed. Computec. Chile.

[3] Lopez, S; veloz, Y. tesis de grado académico o Título de Ingeniero civil, “Análisis comparativo de mezclas asfálticas modificadas con polímeros sbr y sbs, con agregados provenientes de la cantera de Guayllabamba”

[4] Ing. Trajano., 2011. “Trabajo de Investigación Previa a la obtención del Grado Académico de Magister en Vías Terrestres”

[5] MTOP. 2014. “Estabilización de taludes en as abscisas 3+300 a la 10+300 y la 8+000 a la 10+300 del paso lateral de Ambato”

[6] “Mecánica de Suelos I”,1978; Juárez B, Rodríguez R

[7] M.Sc.Ing. Mantilla N., F. “Mecánica de Suelos I y II”.

[8] Guía de laboratorio de Geotecnia; 2008; P. Medina, E. Barra, L. Guzmán

[9]Mop, “Curso de Revestimientos Asfálticos y Estabilización de suelos”,1980, Tomo I, Quito

[10] “Estabilización de suelos con el uso de emulsiones asfálticas catiónicas de rotura lenta”,2011, Almeida F, Sánchez E

1.1 Artículos científicos

[11] Gizmodo. com (Univisión)

[12] Revista Científica Ingeniería y Desarrollo, Vol 31, No 1 (2013)

[13] Revista Universitaria Científica 23, diciembre 2012 (upb)

[14] Fundación Unam (asfalto modificado, alternativa para baches)

2 ANEXOS

- **2.1 Fotografías del Ensayo Líquido**



- **2.2 Fotografías del Ensayo Plástico**



- **2.3 Fotografías del Ensayo Granulométrico**



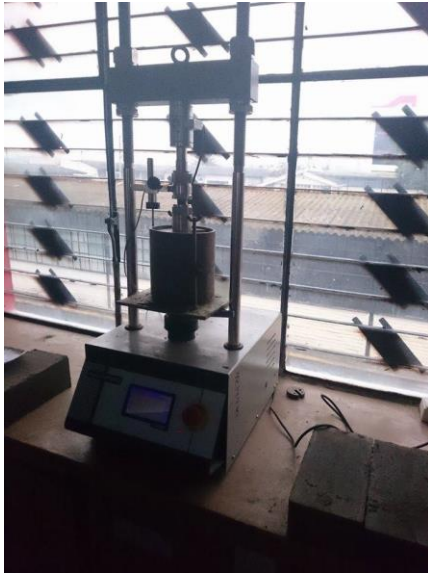
- **2.4 Fotografías del Calentado de la Emulsión Asfáltica**



- **2.5 Fotografías del peso de la Emulsión Asfáltica**



- **2.6 Fotografías del Ensayo CBR**



- **2.7 Fotografías después del Ensayo CBR**





**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y
MECÁNICA
LABORATORIO DE MECÁNICA DE
SUELOS**



ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO "B"

PROYECTO: Comparación entre la estabilización de suelos con emulsión asfáltica, y la estabilización de suelos con asfalto y diésel para determinar cuál estabilización proporciona mayor densidad aparente y relación de soporte CBR

ENSAYADO: Washington Fernando Quiroz Vargas

UBICACIÓN: Parroquia Huachi Chico, Cantón Ambato, Provincia de Tungurahua

ESPECIFICACIONES

Número de Golpes	27	Altura de Caída	18"	Peso del Molde	15988	gr
Número de Capas	5	Peso del Martillo	10 lb	Volumen del Molde	2294.84	cm ³
Energía de Compactación		Normas:	AASHTO	T-180		
Peso Inicial Deseado	6000	6000	6000	6000	6000	

1. PROCESO DE COMPACTACIÓN

Ensayo Numero	1	2	3	4
Emulsión asfáltica añadida en %	3	6	9	12
P. Suelo Caliente (gr)	5820	5640	5460	5280
Peso Emulsión Asfáltica (gr)	180	360	540	720



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y
MECÁNICA
LABORATORIO DE MECÁNICA DE
SUELOS**



ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO "B"

PROYECTO: Comparación entre la estabilización de suelos con emulsión asfáltica, y la estabilización de suelos con asfalto y diésel para determinar cuál estabilización proporciona mayor densidad aparente y relación de soporte CBR

ENSAYADO: Washington Fernando Quiroz Vargas

UBICACIÓN: Parroquia Huachi Chico, Cantón Ambato, Provincia de Tungurahua

ESPECIFICACIONES

Número de Golpes	1	Altura de Caída	18"	Peso del Molde	15988	gr
Número de Capas	5	Peso del Martillo	10 lb	Volumen del Molde	2294.8	cm ³
Energía de Compactación		Normas: AASHTO	T-180			
Peso Inicial Deseado	6000	6000	6000	6000	6000	

1. PROCESO DE COMPACTACIÓN

Ensayo Numero	1	2	3	4
Emulsión asfáltica añadida en %	3	6	9	12
P. Suelo Caliente (gr)	5820	5640	5460	5280
Peso Emulsión Asfáltica (gr)	180	360	540	720



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y
MECÁNICA
LABORATORIO DE MECÁNICA DE
SUELOS



ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO "B"

PROYECTO: Comparación entre la estabilización de suelos con emulsión asfáltica, y la estabilización de suelos con asfalto y diésel para determinar cuál estabilización proporciona mayor densidad aparente y relación de soporte CBR

ENSAYADO: Washington Fernando Quiroz Vargas

UBICACIÓN: Parroquia Huachi Chico, Cantón Ambato, Provincia de Tungurahua

ESPECIFICACIONES

Número de Golpes	27	Altura de Caída	18"	Peso del Molde	15988	gr
Número de Capas	5	Peso del Martillo	10 lb	Volumen del Molde	2294,8	cm3
Energía de Compactación		Normas:	AASHTO	T-180		
Peso Inicial Deseado	6000	6000	6000	6000	6000	

1. PROCESO DE COMPACTACIÓN

Ensayo Numero	1	2	3	4
Emulsión asfáltica añadida en %	2	4	6	8
P. Suelo Caliente (gr)	5880	5760	5640	5520
Peso Diésel (gr)	120	240	360	480
Peso Asfalto constante 3% (gr)	180	180	180	180



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y
MECÁNICA
LABORATORIO DE MECÁNICA DE
SUELOS**



ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO "B"

PROYECTO: Comparación entre la estabilización de suelos con emulsión asfáltica, y la estabilización de suelos con asfalto y diésel para determinar cuál estabilización proporciona mayor densidad aparente y relación de soporte CBR

ENSAYADO: Washington Fernando Quiroz Vargas

UBICACIÓN: Parroquia Huachi Chico, Cantón Ambato, Provincia de Tungurahua

ESPECIFICACIONES

Número de Golpes	11	Altura de Caída	18"	Peso del Molde	15988	gr
Número de Capas	5	Peso del Martillo	10 lb	Volumen del Molde	2294,84	cm ³
Energía de Compactación		Normas:	AASHTO	T-180		
Peso Inicial Deseado	6000	6000	6000	6000	6000	

1. PROCESO DE COMPACTACIÓN

Ensayo Numero	1	2	3	4
Emulsión asfáltica añadida en %	2	4	6	8
P. Suelo Caliente (gr)	5880	5760	5640	5520
Peso Diésel (gr)	120	240	360	480
Peso Asfalto constante 3% (gr)	180	180	180	180