



**UNIVERSIDAD ESTATAL
PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA INGENIERÍA CIVIL**

“ESTABILIZACIÓN O MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD PORTANTE DE LOS SUELOS DE LA SUBRASANTE DE CARRETERA UTILIZANDO DIFERENTES PROPORCIONES DE ARENAS ASFÁLTICAS DE YACIMIENTOS NATURALES DE LA PENÍNSULA DE SANTA ELENA”

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO CIVIL

AUTORES:

**BORBOR GABINO KLEBER ANTONIO
COLLANTES PIGUAVE LILIANA VANESSA**

TUTOR:

ING. ÁLVAREZ SANCHEZ NELSON EDY, MSc.

La Libertad – Ecuador

2019

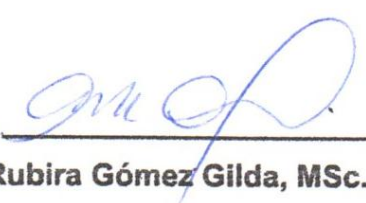
CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación fue realizado en su totalidad por BORBOR GABINO KLEBER ANTONIO y COLLANTES FIGUAVE LILIANA VANESSA como requerimiento para la obtención del título de INGENIERO CIVIL.

TUTOR

f. 
Álvarez Sánchez Nelson, Msc

DIRECTOR DE LA CARRERA


f. 
Rubira Gómez Gilda, MSc.

La Libertad, a los 02 del mes de agosto del año 2019

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Titulación, modalidad Proyecto de Investigación "ESTABILIZACIÓN O MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD PORTANTE DE LOS SUELOS DE LA SUBRASANTE DE CARRETERA UTILIZANDO DIFERENTES PROPORCIONES DE ARENAS ASFÁLTICAS DE YACIMIENTOS NATURALES DE LA PENÍNSULA DE SANTA ELENA", elaborado por el Sr. BORBOR GABINO KLEBER ANTONIO y la Srta. COLLANTES PIGUAVE LILIANA VANESSA, egresados de la Carrera de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, previo a la obtención del título de Ingenieros Civiles, me permito declarar que luego de haberla dirigido, estudiado y revisado, la apruebo en su totalidad.

TUTOR

f. 

Álvarez Sánchez Nelson, MSc.

La Libertad, a los 02 del mes de agosto del año 2019

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, **Borbor Gabino Kleber Antonio y Collantes Piguave Liliana Vanessa.**

DECLARAMOS QUE:

El Trabajo de Titulación, “**ESTABILIZACIÓN O MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD PORTANTE DE LOS SUELOS DE LA SUBRASANTE DE CARRETERA UTILIZANDO DIFERENTES PROPORCIONES DE ARENAS ASFÁLTICAS DE YACIMIENTOS NATURALES DE LA PENÍNSULA DE SANTA ELENA**” previo a la obtención del título de **INGENIERO CIVIL**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliográficas. Consecuentemente este trabajo es de nuestra total autoría.

En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

La Libertad, a los 02 del mes de agosto del año 2019

f. Kleber Borbor G
Borbor Gabino Kleber Antonio

f. Liliana Collantes
Collantes Piguave Liliana Vanessa

CERTIFICADO DE AUTORIZACIÓN DE PLACIO

Nosotros, **Borbor Gabino Kleber Antonio y Collantes Piguave Liliana Vanessa**

Autorizamos a la Universidad Península de Santa Elena a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, **“ESTABILIZACIÓN O MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD PORTANTE DE LOS SUELOS DE LA SUBRASANTE DE CARRETERA UTILIZANDO DIFERENTES PROPORCIONES DE ARENAS ASFÁLTICAS DE YACIMIENTOS NATURALES DE LA PENÍNSULA DE SANTA ELENA”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y total autoría.

La Libertad, a los 02 del mes de agosto del año 2019

f. Kleber Borbor G.

Borbor Gabino Kleber Antonio

f. Liliana Collantes

Collantes Piguave Liliana Vanessa

CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO

001-NEAS-2019

En calidad de tutor del trabajo de titulación denominado **“ESTABILIZACIÓN O MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD PORTANTE DE LOS SUELOS DE LA SUBRASANTE DE CARRETERA UTILIZANDO DIFERENTES PROPORCIONES DE ARENAS ASFÁLTICAS DE YACIMIENTOS NATURALES DE LA PENÍNSULA DE SANTA ELENA”**, elaborado por los estudiantes **BORBOR GABINO KLEBER ANTONIO Y COLLANTES PIGUAVE LILIANA VANESSA**, egresados de la **CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**, de la Facultad de **CIENCIAS DE LA INGENIERÍA** de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, previo a la obtención del título de **INGENIERO CIVIL**, me permito declarar que una vez analizado en el sistema antiplagio URKUND, luego de haber cumplido los requerimientos exigidos de valoración, el presente proyecto ejecutado, se encuentra con **7%** de la valoración permitida, por consiguiente se procede a emitir el presente informe.

Adjunto reporte de similitud.

Atentamente,



ING. NELSON EDY ÁLVAREZ SÁNCHEZ MSc.
C.I.:170366120-5
DOCENTE TUTOR

AGRADECIMIENTO

Al ser supremo Dios, por brindarnos salud, fortaleza, sabiduría y por guiarnos en cada paso de nuestra vida.

A nuestras familias, por ser el pilar fundamental siempre.

A nuestro tutor de tesis, Ing. Nelson Edy Álvarez Sánchez, por la guía profesional y orientación brindada para llevar a cabo la realización del proyecto de investigación.

A la Ing. Lucrecia Moreno que estuvo presta a colaborar con los equipos de su laboratorio de suelos, hormigones y asfalto INGEOTOP, y por su asesoría al momento de realizar los ensayos.

A nuestros estimados docentes de la Carrera de Ingeniería Civil que durante los 5 años nos impartieron sus experiencias y conocimientos.

Finalmente, a nuestra querida Universidad Estatal Península de Santa Elena, por ser el centro de aprendizaje que nos permitió formar como Ingenieros Civiles.

Kleber Antonio Borbor Gabino
Liliana Vanessa Collantes Piguave

DEDICATORIA

Quiero dedica principalmente a mis padres: Ángela Piguave y José Collantes, por ser mi fuente inspiradora y la base fundamental a lo largo de mi vida, por darme su apoyo incondicional tanto moral como económico.

A mi hermana mayor Psic. Erika Collantes, por los consejos y la guía impartida para lograr mis objetivos.

A mis hermanos menores: Darling, Marvin y María Verónica por convertirme en su ejemplo a seguir.

A mi querido tío Eduardo Collantes que siempre estuvo predispuesto a colaborar en todo el trayecto de mi formación profesional.

A todos mis familiares (abuelos, tíos, primos) que me han brindado su ayuda a lo largo de toda mi carrera universitaria.

Liliana Vanessa Collantes Piguave

DEDICATORIA

A mi padre, Kleber Borbor Salazar y hermanas: Flor y Graciela, por su apoyo incondicional.

A los lectores interesados en el tema.

Kleber Antonio Borbor Gabino

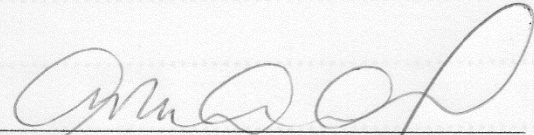
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f.



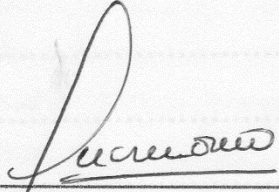
ING. GARCÉS VARGAS JUAN, MSc.
DECANO DE LA FACULTAD

f.



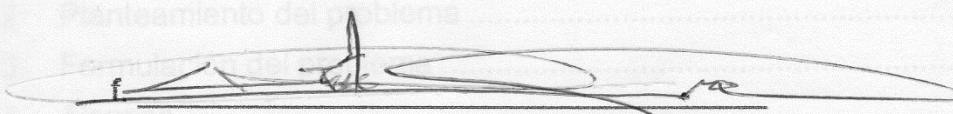
ARQ. RUBIRA GÓMEZ GILDA, MSc.
DIRECTOR DE CARRERA

f.



ING. MORENO ALCÍVAR LUCRECIA, MG.
COORDINADOR O DOCENTE DEL ÁREA

f.



AB. VICTOR CORONEL ORTIZ, MSc
SECRETARIO GENERAL

ÍNDICE GENERAL

CERTIFICACIÓN	ii
APROBACIÓN DEL TUTOR	iii
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD	iv
AUTORIZACIÓN	iv
CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
DEDICATORIA.....	viii
DEDICATORIA.....	ix
ÍNDICE GENERAL	xi
ÍNDICE DE TABLAS	xvi
ÍNDICE DE FIGURAS	xviii
RESUMEN	xix
ABSTRACT	xxi
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	2
MARCO CONTEXTUAL DE LA INVESTIGACIÓN	2
1.1 Antecedentes.....	2
1.2 Planteamiento del problema	3
1.3 Formulación del problema	4
1.4 Alcance	5
1.5 Justificación	5
1.6 Objetivos.....	6
1.6.1 Objetivo general	6
1.6.2 Objetivos específicos.....	7
1.7 Hipótesis y variables	7
1.7.1 Formulación de la hipótesis	7
1.7.2 Variables.....	7
1.7.2.1 Variable independiente	7

1.7.2.2	Variable dependiente.....	8
MARCO TEÓRICO Y REVISIÓN DEL ESTADO DE ARTE.....		9
2.1	Fundamentación teórica	9
2.1	Definiciones	9
2.1.1	Pavimento.....	9
2.1.2	Pavimento Flexible.....	10
2.1.3	Método AASHTO-93 para pavimentos flexibles.....	11
2.1.3.1	Variables de Diseño.....	11
2.1.3.2	Período de diseño.....	11
2.1.3.3	Tránsito.....	12
2.1.3.4	Módulo Resiliente.....	13
2.1.3.5	Confiabilidad	13
2.1.3.6	Coeficientes de la Capa ai.....	15
2.1.3.7	Coeficiente de drenaje mi.....	17
2.1.4	Pavimento rígido.....	18
2.1.4.1	Drenaje en pavimentos rígidos	19
2.1.5	Consideraciones de drenaje para el diseño de pavimentos.....	19
2.1.6	Carpeta Asfáltica	21
2.1.6.1	Materiales de la superficie de rodadura	21
2.1.6.2	Materiales de Superficies de Agregados no tratados	23
2.1.7	Base	28
2.1.7.1	Características de los materiales de la capa base	29
2.1.7.2	Tipos de base	29
2.1.8	Subbase.....	31
2.1.8.1	Tipos de sub-base	31
2.1.9	Suelo de subrasante	33
2.1.10	Estabilización de Suelos	35
2.1.10.1	Estabilización mecánica.....	36
2.1.10.2	Estabilización física.....	39
2.1.10.3	Estabilización química	47
2.1.11	Arenas asfálticas	55
2.1.12	Normativas y ensayos	57
2.1.13	Clasificación de los suelos.....	58

2.1.14	Ensayos de laboratorio.....	64
2.1.14.1	Granulometría.....	64
2.1.14.2	Contenido de humedad.....	64
2.1.14.3	Límites de Atterberg.....	65
2.1.14.4	Compactación Proctor.....	66
2.1.14.5	Capacidad de soporte del suelo (CBR).....	67
2.1.14.6	Módulo de resiliencia.....	67
2.1.14.7	Correlaciones para obtener valores típicos del MR.....	68
2.1.14.8	Estabilidad Marshall.....	69
2.1.14.9	Gravedad específica bulk.....	69
2.1.14.10	Equivalente de arena de suelos y agregados finos ASTM D-2419.....	70
CAPÍTULO III		71
DESCRIPCIÓN DEL SITIO DE ESTUDIO.....		71
3.1	Localización.....	71
3.2	Características topográficas.....	71
3.3	Riesgos de la comunidad.....	72
3.3.1	Inundaciones.....	72
3.3.2	Sismicidad.....	73
3.4	Detalles del material a utilizar como estabilizante.....	74
3.4.1	Localización de las arenas asfálticas.....	74
3.5	Condiciones viales del sector.....	76
CAPÍTULO IV.....		78
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....		78
4.1	Recolección de datos.....	78
4.1.1	Origen de la Muestra.....	78
4.1.1.1	Suelo de Subrasante.....	78
4.1.1.2	Arenas Asfálticas.....	80
4.2	Proporciones De Muestras Para Ensayos.....	82
4.3	Composición de arenas asfálticas.....	82
4.4	Extracción de bitumen.....	83
4.5	Clasificación de las arenas asfálticas.....	87
4.6	Ensayo de granulometría.....	89

4.7	Límites de Atterberg	91
4.7.1	Limite Líquido.....	91
4.7.2	Limite Plástico.....	94
4.7.3	Índice de plasticidad	96
4.8	Contenido De Humedad	97
4.10	Contenido de humedad óptima y densidad máxima	101
4.11	Capacidad de soporte (CBR).....	104
4.12	Densidad teórica máxima (MÉTODO RICE).....	109
4.13	Estabilidad Marshall de arenas asfálticas	111
4.14	Gravedad específica bulk	113
4.15	Equivalente de Arena de Suelos y Agregados Finos	115
CAPÍTULO V		120
ANÁLISIS DE RESULTADOS		120
5.1	Análisis arenas asfálticas.....	120
5.2	Análisis de suelo de subrasante, Calicata 1	122
5.3	Análisis de las proporciones adicionadas	123
5.3.1	Análisis de limite líquido.....	123
5.3.2	Análisis del índice de plasticidad	124
5.3.3	Análisis de la humedad óptima y densidad seca máxima	124
5.3.4	Análisis de la capacidad portante CBR.....	126
5.3.5	Análisis de módulo de resiliencia.....	127
CAPÍTULO VI		130
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		130
6.1	CONCLUSIONES	130
6.2	RECOMENDACIONES.....	132
6.3	REFERENCIAS	134

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Historia general de la estabilización de suelos.	2
Tabla 2. Variables	8
Tabla 3: Período de diseño de acuerdo con el tipo de vías	12
Tabla 4: Niveles de confiabilidad	13
Tabla 5: Valores de coeficientes de drenaje	17
Tabla 6: Coeficientes de drenaje para pavimentos rígidos	19
Tabla 7: Tiempos de drenaje para capas granulares	20
Tabla 8: Granulometría para superficies de grava-arcilla	22
Tabla 9: Granulometría para superficie de agregados no tratados	24
Tabla 10. Criterios de aceptabilidad para el betún	27
Tabla 11. Parámetros de aceptabilidad para agregados	27
Tabla 12. Espesores de carpeta asfáltica.	28
Tabla 13: Límites granulométricos para base Clase 1	29
Tabla 14: Límites granulométricos para base Clase 2	30
Tabla 15: Límites granulométricos para base Clase 3	30
Tabla 16: Límites granulométricos para base Clase 3	31
Tabla 17: Límites de granulometría para Subbase	32
Tabla 18. Categorías de la subrasante según el CBR	33
Tabla 19: Especificaciones técnicas del geotextil tejido para refuerzo	44
Tabla 20: Características y especificaciones técnicas del geotextil tejido utilizado para separación en suelos con bajo contenido de humedad	45
Tabla 21: Características y especificaciones de la geomalla biaxial	46
Tabla 22: Requerimientos de cemento para varios tipos de suelo	52
Tabla 23: Símbolos de identificación de los diferentes tipos de suelos ...	60
Tabla 24. Clasificación de suelos sistema AASHTO	62
Tabla 25: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)	63
Tabla 26. Valores de Módulo de Resiliencia y otras Características de materiales para pavimentación.	68

Tabla 27. Valores del módulo de resiliencia y otras Características de suelos cohesivos para pavimentación	69
Tabla 28: Valores del factor z en función de la zona sísmica adoptada ..	74
Tabla 29. Reservas estimadas de arenas asfálticas en la península de Santa Elena	75
Tabla 30. Inventario vial del Cantón La Libertad, 2017	76
Tabla 31: Proporciones de muestras de suelo para ensayo – mezclas. ..	82
Tabla 32: Composición de arenas asfálticas Achayán.....	83
Tabla 33: Tamaños de la muestra	83
Tabla 34: Análisis granulométrico de las Arenas Asfálticas.....	88
Tabla 35. Granulometría de suelos.....	89
Tabla 36. Límites de Atterberg para suelos naturales y mezclas.....	96
Tabla 37. Densidad seca máxima y humedad óptima	102
Tabla 38: Características para ensayo proctor modificado-método B....	103
Tabla 39. Capacidad portante de suelos naturales y mezclas.....	108
Tabla 40. Gravedad específica máxima teórica	110
Tabla 41. Equivalente de arena	118
Tabla 42. Estabilidad Marshall - Capa de rodadura	121
Tabla 43. Análisis de la capacidad portante	126
Tabla 44. Análisis del módulo de resiliencia	128

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Estructura típica del pavimento flexible.....	10
Figura 2: Coeficiente estructural a1 de la carpeta asfáltica	15
Figura 3: Nomograma para determinar el coeficiente estructural a1	16
Figura 4: Nomograma para determinar el coeficiente estructural a2	16
Figura 5: Nomograma para determinar el coeficiente estructural a3	17
Figura 6: Esquematización de los números estructurales.....	18
Figura 7: Pavimento rígido	19
Figura 8. Rodillo Liso	37
Figura 9. Rodillo neumático de llantas de hule	37
Figura 10. Rodillos pata de cabra	38
Figura 11. Aplicación del Geotextil.....	43
Figura 12. Composición típica de arenas asfálticas.....	55
Figura 13. Composición típica del bitumen	56
Figura 14: Carta de Plasticidad de Casagrande según ASTM D-2487-9361	
Figura 15. Definición de los límites de Atterberg.....	65
Figura 16. Ubicación del sitio de estudio	71
Figura 17. Planta topográfica de terreno natural.....	72
Figura 18. Zona con probabilidad de inundación	72
Figura 19. Precipitación promedio (1981-2010) en La Libertad	73
Figura 20. Localización de arenas asfálticas	75
Figura 21. Condiciones viales del sector	77
Figura 22: Suelo de subrasante Calicata 1 (profundidad 1m).....	78
Figura 23: Calicata 1	78
Figura 24: Arenas asfálticas- minas de Achayán.....	80
Figura 25: Arenas asfálticas a 4 metros de profundidad.....	80
Figura 26: Ensayo de extracción de bitumen de arenas asfálticas	84
Figura 27. Granulometría de extracción, arenas asfálticas.....	87
Figura 28. Granulometría de arenas asfálticas	87
Figura 29: Determinación del límite líquido.....	92
Figura 30: Determinación del contenido de humedad.....	97

Figura 31: Gravedad Especifica.....	99
Figura 32: Ensayo de proctor modificado	101
Figura 33: Equipo para ensayo CBR	104
Figura 34: Especímenes de CBR en piscina de inmersión	107
Figura 35: Medición de carga de penetración	107
Figura 36: Densidad teórica máxima-RICE.....	109
Figura 37: Briquetas para estabilidad Marshall	111
Figura 38: Preparación de muestra para estabilidad Marshall	112
Figura 39: Aplicación de la carga a la probeta Marshall	114
Figura 40: Adición de la solución mediante el sifón	115
Figura 41: Proceso de Irrigación.....	117
Figura 42: Medida de altura de arcilla en probetas con tubo irrigador ...	117
Figura 43. Composición arenas asfálticas, Achayan	120
Figura 44. Granulometría Calicata 1	122
Figura 45. Análisis de limite liquido.....	123
Figura 46. Análisis de índice de plasticidad	124
Figura 47. Análisis de la densidad seca máxima	125
Figura 48. Análisis humedad optima.....	126
Figura 49. Análisis CBR.....	127
Figura 50. Resultados del módulo resiliente	128



“ESTABILIZACIÓN O MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD PORTANTE DE LOS SUELOS DE LA SUBRASANTE DE CARRETERA UTILIZANDO DIFERENTES PROPORCIONES DE ARENAS ASFÁLTICAS DE YACIMIENTOS NATURALES DE LA PENÍNSULA DE SANTA ELENA”

Autores: Borbor Gabino Kleber Antonio
Collantes Piguave Liliana Vanessa

Tutor: Ing. Álvarez Sánchez Nelson Edy, Msc.

RESUMEN

En el presente proyecto de investigación se requiere analizar la variación de las propiedades físico-mecánicas, y el comportamiento del suelo de subrasante correspondiente al sector Velasco Ibarra del cantón La Libertad, provincia de Santa Elena, mezclado con diferentes proporciones de arenas asfálticas, dicho material es proveniente de yacimientos naturales cercanos a la zona, por lo que se puede aprovechar este recurso y obtener resultados satisfactorios que mejoren las propiedades del suelo de la subrasante. Las estabilizaciones de suelos son muy comunes en la actualidad, puesto que, es relevante tener una base ideal para las estructuras que logren el funcionamiento a largo plazo en cualquier obra de ingeniería, de esto, depende netamente la calidad de suelos subyacentes. En base a experiencias y a exploraciones realizadas en la península, es común encontrar estratos de arcillas expansivas por lo que es probable encontrar problemas de inestabilidad volumétrica debido a la pérdida y ganancia de humedad. Es importante estudiar nuevas opciones de estabilización proponiendo diferentes materiales y métodos que garanticen el soporte estructural del pavimento diseñado. Por tal motivo, se propone el método de estabilización de subrasante mediante la adición en proporciones de arenas asfálticas, materia prima existente en la provincia de Santa Elena; si el resultado de la investigación al haber ejecutado ensayos de laboratorio resulta satisfactorio, se podría obtener valores de soporte (CBR) adecuados para el suelo de subrasante.

Palabras claves: Suelos, pavimentos, bitumen, subrasante, estabilización de suelos.



**"STABILIZATION OR IMPROVEMENT OF THE CAPACITY BEARING
THE SOILS OF THE ROAD SUBRASANT USING DIFFERENT
PROPORTIONS OF ASPHALTIC SANDS OF NATURAL RESERVOIRS
OF THE SANTA ELENA PENÍNSULA"**

Authors: Borbor Gabino Kleber Antonio

Collantes Piguave Liliana Vanessa

Tutor: Ing. Álvarez Sanchez Nelson Edy, Msc.

ABSTRACT

In the present research project it is required to analyze the variation of the physico-mechanical properties, and the behavior of the subgrade soil corresponding Velasco Ibarra sector of La Libertad Canton, province of Santa Elena, mixed with different proportions of asphalt sands, said material is coming from natural deposits close to the area, so that this resource can be used and obtain satisfactory results that improve the soil properties of the subgrade. Soil stabilizations are very common nowadays, since it is important to have an ideal base for the structures since the long term operation of any engineering work depends clearly on the quality of underlying soils, and throughout the whole peninsula expansive clays are found so it is likely to encounter problems of volumetric instability due to the loss and gain of moisture. It is important to study new stabilization options by proposing different materials and methods that guarantee the structural support of the designed pavement. For this reason, the method of subgrade stabilization is proposed by the addition in proportions of asphalt sands, raw material existing in the province of Santa Elena and if the result of the investigation through the relevant laboratory tests is satisfactory, support values could be obtained. (CBR) suitable for subgrade soil.

Keywords: Soils , pavements, bitumen, subgrade, soil stabilization.

INTRODUCCIÓN

Con el paso del tiempo el hombre ha empleado diferentes técnicas para estabilizar suelos mediante el uso de diversos materiales tales como: cal, puzolana, cenizas volcánicas, entre otros, actualmente se están utilizando nuevos materiales: geosintéticos, agentes químicos, emulsiones asfálticas, que permiten mejorar las propiedades y aumentar la resistencia a los suelos que van a servir como soporte de un proyecto de Ingeniería Civil.

Los suelos son la base fundamental para cualquier tipo de construcción, por tal motivo, las características que se presenta deben cumplir con los requerimientos que garanticen la integridad y el tiempo de vida útil de la obra a ejecutar. En la construcción de caminos y carreteras el suelo de subrasante debe ser capaz de resistir las cargas producto del tráfico y el propio peso de la estructura del pavimento. Generalmente, el suelo que se encuentra en el terreno natural no cumple con lo establecido en las normas vigentes, por lo que, es necesario realizar una estabilización. En la región Costa Ecuatoriana predominan los suelos expansivos, mismos que se caracterizan por experimentar variación en su volumen debido a la presencia de humedad, siendo estos no aptos para la construcción, por ello, es de vital importancia buscar nuevas alternativas de estabilización como la que se describe a continuación.

En el presente trabajo de investigación se plantea el estudio de la estabilización de los suelos de la subrasante para carreteras, los cuales fueron extraídos del barrio Nueva Jerusalén correspondiente al sector Velasco Ibarra del cantón La Libertad, para lograr la estabilización y mejoramiento de la capacidad portante; se mezclará el suelo a mejorar con diferentes porcentajes de arenas asfálticas provenientes de yacimientos naturales ubicados en las minas de Achayán cerca del pozo SPA 0039 de la empresa Pacifpetrol de la Provincia de Santa Elena.

CAPÍTULO I

MARCO CONTEXTUAL DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Antecedentes

En civilizaciones antiguas como son la Inca y la Azteca existían caminos estabilizados que ayudaron al desarrollo del comercio. En la Tabla 1. Se muestra la historia general de la estabilización de suelos.

Tiempo	Descripción
500 AC	Vías de comunicación del Imperio Romano y caminos blancos de los mayas.
312 AC	Estabilización con cal en la antigua Roma-vía Apia.
1910-1920	Inglaterra, aplicación metódica y científica de suelos mejorados con cementantes.
1917-1930	Estados Unidos, uso de cementos para realizar gran cantidad de tramos experimentales de carreteras.
1945	España y Latinoamérica, tienen más de 50 años de experiencia en estabilización de suelos con cemento.
1950	Alemania, Francia y Australia tienen crecimiento en el uso de suelos mejorados con cemento en vías.
1956	En Estados Unidos, en el condado de Franklin se estabilizaron 18 millas de vías con cloruro de sodio.
1958	Aparecen los geo textiles, estructura de muelle en la Florida.
1980	Se adopta en Ecuador la estabilización de suelo con cemento.

Tabla 1. Historia general de la estabilización de suelos.

Fuente: Elaborada por los autores

Actualmente a la subrasante se le adiciona un ligante (cal, cemento, asfalto, productos químicos, etc.), con la finalidad de mejorar sus características mecánicas, para que sea capaz de soportar los esfuerzos impuestos por

las cargas del tránsito. Los diferentes procedimientos utilizados para estabilizar los suelos de subrasante son usados frecuentemente para disminuir los espesores de las capas de la estructura del pavimento.

1.2 Planteamiento del problema

La construcción de carreteras es una de las actividades de mayor incidencia e impacto en el desarrollo de los pueblos y países, ciertamente, este tipo de constricciones contribuye de manera eficaz y eficiente en el mejoramiento de las condiciones de vida de la sociedad.

Las carreteras al igual que todo tipo de obras de ingeniería necesitan tener excelente calidad y capacidad en toda la estructura del pavimento, logrando resistencia para cargas y descargas del tráfico vehicular, esto depende, mucho del tipo de suelo que será el soporte de la estructura vial, puesto que, cuando no se posea las propiedades adecuadas, es necesario, mejorar la respuesta mecánica de dicho suelo, mediante métodos alternativos para corregir sus características.

Normalmente, el suelo del terreno natural de subrasante en su mayoría no tiene la capacidad portante que se requiere, por lo que, se debe ejecutar un proceso de mejoramiento o reemplazo para reducir los índices de plasticidad y mejorar su capacidad; si no se realiza el nivel de servicio de la capa de rodadura, se verá reflejado en deterioros prematuros, y en consecuencia el pavimento requerirá de mayor mantenimiento, reduciendo la vida útil de la carretera y aumentando los factores económicos de costo, por lo que, las propiedades mecánicas que debe tener el suelo de subrasante deberán cumplir con los requerimientos establecidos en la norma norteamericana AASHTO-93 para el diseño de pavimentos.

Actualmente en la provincia de Santa Elena, no existen canteras que produzcan agregados para bases, sub-base y material de mejoramiento y mucho menos para hormigones en general, por lo que, el presupuesto de las obras torna a aumentar, ya que los materiales deben ser transportados desde sitios lejanos. Como una alternativa para los procesos constructivos está el mejoramiento de los suelos, tales como: estabilizaciones con cal, suelo cemento, material pétreo y con geo sintéticos.

De acuerdo con la geología que presenta la provincia de Santa Elena los depósitos de plataforma continental están constituidos por arcillas, limos y arenas de grano fino distribuidos a lo largo de toda la península, además se caracteriza por presentar suelos expansivos, los mismos que no son considerados como aptos para la construcción de proyectos viales, por lo que se requiere tomar medidas alternativas para corregir este problema con soluciones de estabilización.

En la provincia de Santa Elena se encuentra ubicada la empresa Pacifpetrol, que es la encargada de operar hidrocarburos, en la que se tienen yacimientos naturales de arenas asfálticas cerca de los pozos petroleros, mismas que en teoría pueden ser utilizadas para el mejoramiento de la capacidad portante y estabilización de suelos de subrasante, por lo que, la investigación propuesta tiene el objeto de realizar estudios de laboratorio para determinar si es factible o no el mejoramiento de suelos de subrasante con este material, el estudio se realizará en el Barrio Nueva Jerusalén del sector Velasco Ibarra del cantón La Libertad.

1.3 Formulación del problema

Al estabilizar y mejorar los suelos de la subrasante con arenas asfálticas provenientes de yacimientos naturales, se mejorará de manera significativa la infraestructura vial del sector Velasco Ibarra del cantón La Libertad, por

ende esto contribuye en mejorar la calidad de vida de los pobladores del sector en estudio, puesto que, se garantiza la eficacia del sistema vial del sitio, dado que la estructura del pavimento estará soportada por una subrasante que cumple con la normativa estipulada en el (Manual de Carreteras: Suelos, 2013).

1.4 Alcance

El presente tema de investigación evaluará la variación de las propiedades del suelo de subrasante del barrio Nueva Jerusalén correspondiente al sector Velasco Ibarra del cantón La Libertad, con la adición de diferentes proporciones de arenas bituminosas provenientes de yacimientos naturales de la provincia de Santa Elena, para determinar la influencia en su mejoramiento o estabilización.

Se realizarán ensayos de límite de consistencia, granulometría, ensayo Proctor, ensayo CBR y Estabilidad Marshall en el laboratorio de mecánica de suelos de la Universidad Estatal Península de Santa Elena y otras instituciones que estén dispuestas a colaborar en la investigación.

Se ejecutarán procedimientos contemplados en las normas ASTM D 4318-84 referente a los límites de consistencia, ASTM D-1557 para ensayo Proctor modificado, AASHTO T-193 para el ensayo CBR y la obtención del Módulo Resiliente por medio de fórmulas empíricas.

1.5 Justificación

El estudio de la estabilización o mejoramiento de la capacidad portante del suelo de subrasante es de gran importancia y debe de realizarse de manera adecuada, puesto, que será el cimiento para la estructura de una vía, además, dependerá exclusivamente de la capacidad portante del suelo

para que las capas que conformen el pavimento tengan menor espesor, por tanto, se logrará que el presupuesto del proyecto disminuya en la optimización de los materiales, componentes y estructura, así mismo, garantiza una respuesta satisfactoria a las solicitudes de cargas impuestas por el tráfico, logrando que los proyectos viales cumplan con la vida útil estimada.

Actualmente, las arenas bituminosas existentes en los yacimientos de las minas Achayan cerca del pozo SPA 0039 de la empresa Pacifpetrol, ubicado en el cantón La Libertad, no son utilizadas para ningún fin, por tal motivo, la investigación se basará en comprobar que éste material proporcione resultados satisfactorios de estabilización para suelos de subrasante y a su vez dar un valor agregado al usarlo como materia prima.

El estudio se realizará de manera investigativa y mediante ensayos de laboratorio, y una vez que se concluya, se tiene la finalidad de constatar si verdaderamente existe la posibilidad de mejorar las propiedades de los suelos de subrasante, utilizando recursos existentes en la provincia y nuevas metodologías de estabilización como el uso de las arenas asfálticas como base principal de este estudio.

1.6 Objetivos

1.6.1 Objetivo general

Analizar y evaluar el comportamiento del suelo de subrasante del barrio Nueva Jerusalén, sector Velasco Ibarra del cantón La Libertad, mejorando y estabilizado mediante la adición de arenas bituminosas en diferentes porcentajes para determinar la variación de sus propiedades físicas y mecánicas.

1.6.2 Objetivos específicos

- Identificar las propiedades Físico-Mecánicas del suelo natural como: Contenido de Humedad, Límites de Atterberg, Granulometría, Densidad, CBR, Módulo de Resiliencia.
- Identificar las propiedades Físico-Mecánicas de las arenas bituminosas.
- Determinar el porcentaje óptimo de arena bituminosa para la estabilización y mejoramiento del suelo de subrasante.
- Estudiar la variación de la capacidad portante del suelo de la subrasante, con el incremento del contenido de arena bituminosa mediante el ensayo CBR.
- Desarrollar un artículo científico de resumen de la investigación y presentarlo para una publicación en la UPSE o en revista indexada.

1.7 Hipótesis y variables

1.7.1 Formulación de la hipótesis

El suelo de la subrasante del Barrio Nueva Jerusalén, sector Velasco Ibarra del Cantón La Libertad, estabilizado con una adición porcentual de arenas bituminosas mejora considerablemente sus propiedades, principalmente su capacidad portante, en comparación al suelo en condiciones naturales.

La compactación del suelo de subrasante estabilizado con una adición porcentual de arenas bituminosas determina una reducción en el espesor de las capas superiores que conforman el pavimento.

1.7.2 Variables

1.7.2.1 Variable independiente

Caracterización físico-mecánica del suelo de subrasante del barrio Nueva Jerusalén, sector Velasco Ibarra del cantón La Libertad mejorado con arena bituminosa y en estado natural.

1.7.2.2 Variable dependiente

Valoración de resultados en los ensayos aplicados, para identificar la diferencia de las propiedades del suelo de subrasante mejorado y en estado natural.

Categoría	Variables Dependientes	Variables Independientes
Características del suelo de la subrasante	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Humedad óptima ➤ Densidad máxima - Proctor ➤ Resistencia al corte – CBR ➤ Módulo resiliente (Mr) 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Granulometría ➤ Límites de Atterberg ➤ Humedad natural
Mejoramiento de suelos de la subrasante	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Resistencia al corte de suelo estabilizado – CBR ➤ Densidad alcanzada ➤ Módulo resiliente (Mr) 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Contenido de arena bituminosa

Tabla 2. Variables

Fuente: Elaborada por los autores

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO Y REVISIÓN DEL ESTADO DE ARTE

2.1 Fundamentación teórica

En el presente capítulo se detalla los conceptos básicos y normativas a la que está ligada la realización del presente estudio tales como: normas ASTM, clasificación de suelos por AASHTO y MTOP. Para permitir una mejor comprensión del trabajo a realizar es necesario, conocer algunos conceptos básicos que están enfocados a la construcción y estabilización de suelos de subrasante de caminos y carreteras los cuales se describen a continuación.

2.1 Definiciones

2.1.1 Pavimento

Se define como pavimento al número de capas superpuestas sobre la subrasante, diseñadas y construidas técnicamente con materiales seleccionados, cuya finalidad, radica en recibir y transmitir de manera proporcional las cargas del tránsito y tráfico de forma disipada, hacia las capas inferiores. Los pavimentos representan una parte importante de los activos viales.

Deben ser capaces de soportar solicitaciones de tránsito, ambientales y proveer una estructura durable que permita la circulación de los vehículos con comodidad y seguridad. En el diseño de pavimentos tradicionalmente se han usado tecnologías de diseño basadas en pavimentos rígidos y flexibles, generalizados en todo el mundo a partir del ensayo AASHO realizado en 1956 en Estados Unidos. (AASHTO Guide for Design of Paviment Structures, 1993). Los pavimentos se clasifican en: rígidos,

flexibles y articulados, al recibir las cargas se comportan de diferente manera de acuerdo con el tipo de material del que están constituidos.

2.1.2 Pavimento Flexible

Los pavimentos flexibles son aquellos cuya capa de rodadura es de mezcla asfáltica (materiales granulares + cemento asfáltico), estructuralmente está conformada por la capa de rodadura de mezcla asfáltica o bituminosa, el cual se apoya sobre otras capas de menor rigidez como: base granular, sub-base granular y mejoramiento, cuyos espesores dependerán del diseño estructural de la vía. Toda la estructura se ubica sobre el suelo de subrasante o terreno natural previamente acondicionado y compactado.

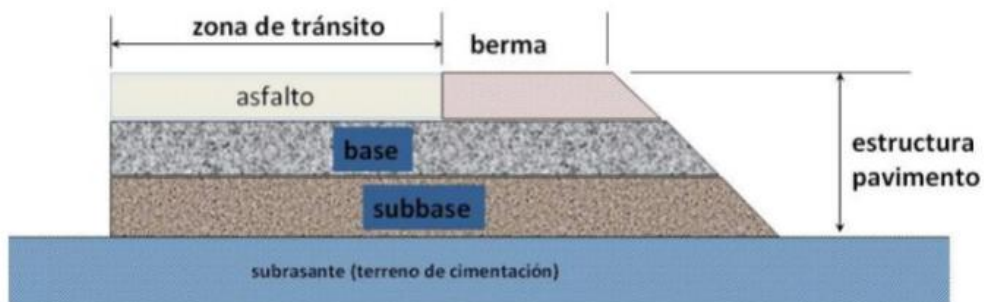


Figura 1: Estructura típica del pavimento flexible

Fuente: (Salas, 2012, pág. 6)

La funcionalidad de la estructura del pavimento se encuentra altamente relacionada con el comportamiento de cada una de sus componentes. La sub-base debe permitir el drenaje, controlar los cambios de volumen del terreno de fundación y controlar la ascensión capilar proveniente del agua subterránea, evitando de este modo, deformaciones no admisibles. Generalmente, se acepta que el material de sub-base corresponde a tipos de suelo A-1 o A-2, según clasificación D-3282 de la ASTM.

El diseño de pavimento flexible exige suficiente compactación de la subrasante (suelo de fundación) para prevenir asentamientos diferenciales no admisibles bajo cargas de tránsito y con adecuado drenaje de la estructura. Por otro lado, se debe establecer un espesor adecuado de pavimento sobre la subrasante y sobre cada capa componente de la estructura, junto con una selección cuidadosa de los materiales utilizados. (M. Aiassa & A. Arría, 2007).

2.1.2.1 Método AASHTO-93 para pavimentos flexibles

a) Variables de Diseño

Para establecer las medidas de los espesores, las capas deben conformar el pavimento flexible al Método AASHTO, considerando las siguientes variables:

- Período de diseño
- Tránsito
- Módulo resiliente
- Coeficientes estructurales de las capas que conforman el pavimento (a_i)
- Determinación de parámetros de drenaje (m_i)
- Determinación de parámetros estadísticos (confiabilidad, desviación normal estándar, desviación estándar, pérdida de servicialidad).
- Determinación del número estructural del pavimento

b) Período de diseño

Es el tiempo del servicio que debe prestar la estructura diseñada, la AASHTO recomienda que se debe diseñar para períodos mayores a 20

años, para realizar una evaluación del diseño de manera correcta en lo que respecta el análisis Costo-tiempo.

TIPO DE VÍAS	PERIODO EN AÑOS
	ANÁLISIS
Urbana de alto volumen	30-50
Interurbana de alto volumen	20-50
Asfaltada de bajo volumen	15-25
Rodamiento de bajo volumen	10-20

Tabla 3: Período de diseño de acuerdo con el tipo de vías

Fuente: (AASHTO Guide for Design of Paviment Structures, 1993, págs. II-7)

c) Tránsito

Es un parámetro fundamental en el diseño de pavimentos, para determinar este dato, es indispensable calcular el número de repeticiones correspondiente a cada tipo de eje durante el período para el que se ha diseñado. Para determinar el número de ejes equivalentes se debe seguir el siguiente proceso:

- Distribución de los ejes, en cada rango de carga
- Determinar el tránsito promedio diario anual de todos los vehículos (TPDA)
- Determinar las tasas de crecimiento anual para cada tipo de vehículo
- Sentido del tráfico
- Número de carriles por cada sentido de tráfico
- Porcentaje de tránsito sobre el carril más solicitado
- Determinar el índice de servicialidad
- Determinar los factores de equivalencia de carga

d) Módulo Resiliente

Este parámetro se lo obtiene por cada capa que conforma el pavimento según el período para el que está diseñado. La norma AASHTO 93, indica que se puede obtener el módulo resiliente si se conoce el CBR de cada capa, las fórmulas propuestas en esta guía se indican a continuación:

Para $CBR \leq 7,2\%$

$$Mr = 1500 * CBR(psi)$$

Para $7,2\% > CBR \leq 20\%$

$$Mr = 3000 * CBR^{0,65}(psi)$$

Para $CBR > 20\%$

$$Mr = 4326 * \log CBR + 241 (psi)$$

e) Confiabilidad

La confiabilidad se define como el parámetro que establece el desempeño del pavimento, es la probabilidad de que, si se presenta alguna falla, esta se encuentre por debajo de los valores permisibles.

Niveles de confiabilidad R, en función del tipo de vía		
Clasificación Funcional	Niveles Recomendados	
	Zona Urbana	Zona Rural
Carreteras interestatales y autopistas	85-99.9	80-99.9
Arterias Principales	80-99	75-95
Vías Colectoras	80-95	75-95
Vías Locales	50-80	50-80

Tabla 4: Niveles de confiabilidad

Fuente: (AASHTO Guide for Design of Paviment Structures, 1993)

La Metodología AASHTO-93, describe el procedimiento para el diseño de pavimentos flexibles mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Log}(W_{18}) = Z_R * S_o + 9.36 * \text{Log}(\text{SN} + 1) - 0.20 + \left[\frac{\text{Log} \left[\frac{\Delta\text{PSI}}{4.2 - 1.5} \right]}{0.40 + \frac{1094}{(\text{SN} + 1)^{5.19}}} \right] + 2.32$$

$$* \text{Log}M_R - 8.07$$

Dónde:

W18 = Número de ejes simples equivalentes de 18 kips (8,2 t) acumulados durante el periodo de diseño.

Zr = Desviación estándar normal

So = Desviación estándar de todas las variables.

ΔPSI = Diferencia entre el índice inicial de servicio (po) y el índice final (pt) del pavimento.

Mr = Módulo de resiliente de la subrasante y de las capas base y sub-base

SN = Número estructural del pavimento requerido.

Posteriormente, se calcula el número estructural, este tipo de parámetro permite determinar los espesores de la capa de pavimento flexible y expresa la resistencia que requiere un pavimento construido sobre un terreno natural con un Módulo de Resiliencia, la ecuación de diseño es la siguiente:

$$\text{SN} = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3$$

Dónde:

a_i= Coeficiente correspondiente a la capa i

D_i= Espesor correspondiente a la capa i

m_i= Coeficiente de drenaje correspondiente a la capa i

Los subíndices 1, 2 y 3 corresponden a las capas que formen la estructura del pavimento, como: Base, Subbase, o mejoramiento si el diseño lo requiere.

f) Coeficientes de la Capa a_i

La contribución estructural de un material de préstamo para la resistencia de un pavimento está representada por el adecuado coeficiente de capa, el cual mide el esfuerzo relativo del material en construcción.

De acuerdo, con la ecuación del número estructural, el diseñador necesita seleccionar valores idóneos de los coeficientes de capas a_1 , a_2 y a_3 para asfalto, base y Subbase respectivamente, en la sección de pavimento a diseñarse. (Palma, 2012, pág. 3). El coeficiente a_1 , se puede obtener a partir de la correlación con el módulo elástico del concreto asfáltico.

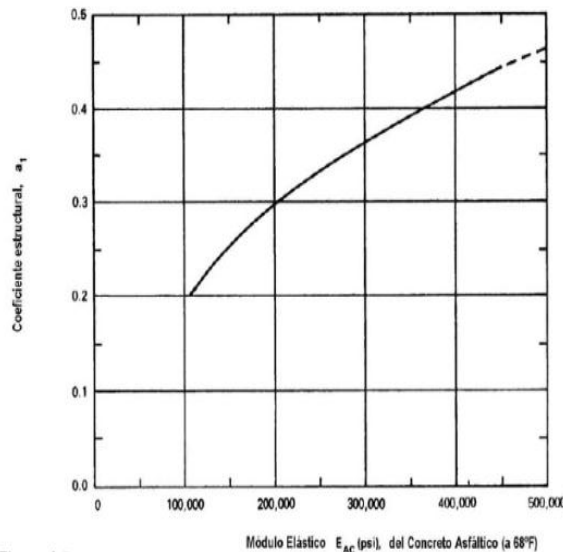


Figura 2: Coeficiente estructural a_1 de la carpeta asfáltica

Fuente: (AASHTO Guide for Design of Paviment Structures, 1993)

Es posible obtener a_1 mediante nomogramas si se conoce el módulo de resiliencia del material asfáltico, como se muestra en la siguiente figura:

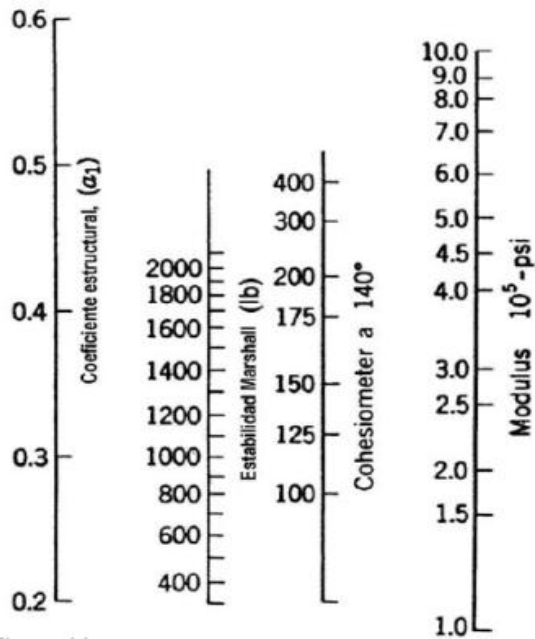


Figura 3: Nomograma para determinar el coeficiente estructural a1

Fuente: (AASHTO Guide for Desing of Paviment Structures, 1993)

Para obtener el coeficiente estructural a2 para base, se usa el siguiente gráfico:

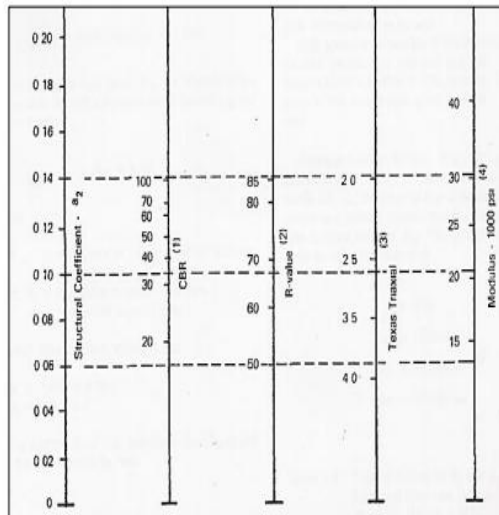


Figura 4: Nomograma para determinar el coeficiente estructural a2

Fuente: (AASHTO Guide for Desing of Paviment Structures, 1993)

Para obtener el coeficiente estructural a3 para sub-base se usa el siguiente gráfico:

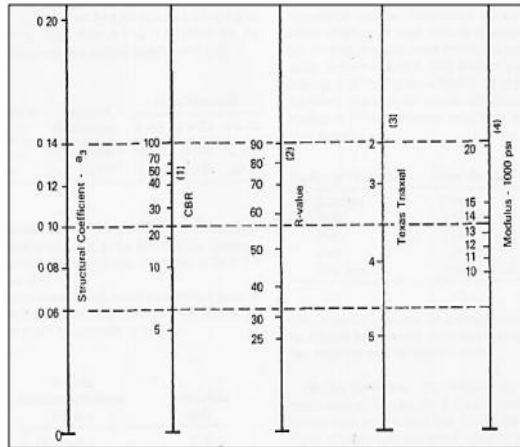


Figura 5: Nomograma para determinar el coeficiente estructural a_3

Fuente: (AASHTO Guide for Design of Paviment Structures, 1993)

g) Coeficiente de drenaje m_i

El método AASHTO asume que la resistencia del terreno natural y la base se mantendrán en forma constante sobre el diseño de la vida útil del pavimento. Para que esta suposición sea correcta, la estructura del pavimento debe tener un sistema de drenaje adecuado. El nivel de drenaje para un pavimento flexible es cuantificado por medio del uso de los coeficientes modificados de cada capa que conforma la estructura del pavimento. (Palma, 2012, pág. 3).

AASHTO recomienda la siguiente tabla para obtener los parámetros de drenaje.

CARACTERÍSTICAS DEL DRENAJE	AGUA EVACUADA EN	PORCENTAJE DE TIEMPO EN EL AÑO, QUE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO ESTA EXPUESTA A UN NIVEL DE HUMEDAD			
		<1%	1% - 5%	5% - 25%	>25%
EXCELENTE	2 HORAS	1,40 - 1,35	1,35 - 1,30	1,30 - 1,20	1,2
BUENO	1 DIA	1,35 - 1,25	1,25 - 1,15	1,15 - 1,00	1,0
REGULAR	1 SEMANA	1,25 - 1,15	1,15 - 1,05	1,00 - 0,80	0,8
POBRE	1 MES	1,15 - 1,05	1,05 - 0,80	0,80 - 0,60	0,6
MUY MALO	NO DRENA	1,05 - 0,95	0,95 - 0,75	0,75 - 0,40	0,4

Tabla 5: Valores de coeficientes de drenaje

Fuente: (AASHTO Guide for Design of Paviment Structures, 1993)

Finalmente, cuando se determinan los parámetros anteriores, se usan los siguientes criterios para estimar los espesores:

$$D_1^* \geq \frac{SN_1}{a_1}$$

$$SN_1^* = a_1 D_1^* \geq SN_1$$

$$D_2^* \geq \frac{SN_2 - SN_1^*}{a_2 m_2}$$

$$SN_1^* + SN_2^* \geq SN_2^*$$

$$(D_3^* a_3 m_3) + SN_1^* + SN_2^* \geq SN_3^*$$

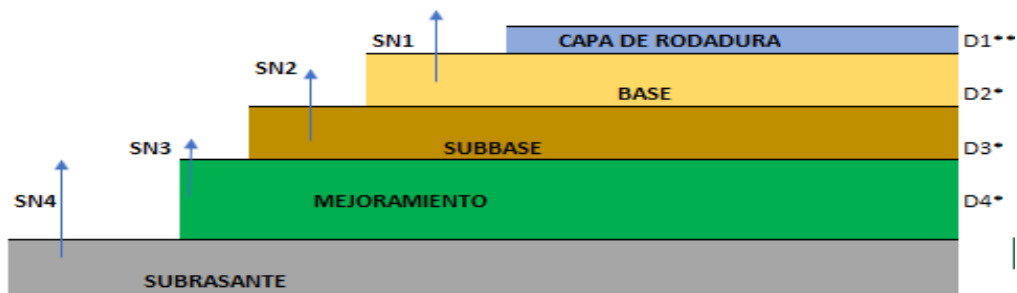


Figura 6: Esquematización de los números estructurales

Fuente: Elaboración por los autores

2.1.3 Pavimento rígido

Este tipo de estructura está compuesta generalmente por una capa o losa de concreto hidráulico de 18 a 30 cm de espesor, soportada sobre una capa granular no tratada o estabilizada con cementantes hidráulicos.

Debido al valor del módulo elástico elevado del concreto, los esfuerzos inducidos por el tráfico son esencialmente atenuados en flexión por la losa de concreto, y los esfuerzos de compresión se distribuyen en un área amplia y se transmiten al suelo en magnitudes muy pequeñas. (Rondon Quintana & Reyes Lizcano, 2015)

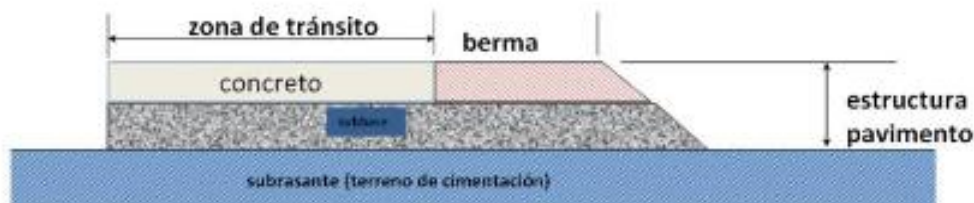


Figura 7: Pavimento rígido

Fuente: (Salas, 2012)

2.1.3.1 Drenaje en pavimentos rígidos

Al momento de diseñar la estructura de un pavimento, es de gran importancia tomar en cuenta el parámetro de drenaje, puesto que, si no se controla el exceso de agua sumado a las cargas emitidas por el tránsito, estas ocasionan daños a la estructura, por tal motivo, que cada diseño debe estar acompañado de sistemas de drenaje que regulen los problemas causados por el agua.

Coefficientes de Drenaje para pavimentos rígidos

Los coeficientes usados en el diseño de pavimentos Rígidos se describen en la siguiente tabla:

Calidad del drenaje	P = % del tiempo en que el pavimento está expuesto a niveles de humedad cercanos a la saturación			
	< 1%	1% - 5%	5% - 25%	> 25%
Excelente	1.25-1.20	1.20-1.15	1.15-1.10	1.10
Bueno	1.20-1.15	1.15-1.10	1.10-1.00	1.00
Regular	1.15-1.10	1.10-1.00	1.00-0.90	0.90
Pobre	1.10-1.00	1.00-0.90	0.90-0.80	0.80
Muy pobre	1.00-0.90	0.90-0.80	0.80-0.70	0.70

Tabla 6: Coeficientes de drenaje para pavimentos rígidos

Fuente: (AASHTO Guide for Desing of Paviment Structures, 1993)

2.1.4 Consideraciones de drenaje para el diseño de pavimentos

La humedad es un parámetro fundamental que se debe considerar al

momento de diseñar la estructura de un pavimento, por ello, la subrasante base y Sub-base deben estar protegidas de la entrada de agua, si se desea tener el adecuado control de los inconvenientes causados por la misma, se debe crear sistemas de estructuras de drenaje tales como: drenajes superficiales y subdrenajes que ayuden a contrarrestar esta problemática.

El sistema de drenaje es muy efectivo, ya que contribuye en el desalojo del agua libre, el cual causa fuerzas capilares tanto en los suelos como en los agregados finos que no logran ser drenados, además previenen la penetración del agua en el pavimento y a su vez contrarresta la degradación de la calidad del material de la estructura de pavimento.

Un buen drenaje mantiene la capacidad de soporte de la subrasante (mantiene el módulo de resiliencia cuando la humedad es estable) lo que hace un camino de mejor calidad, así como permitir en determinado momento el uso de capas de soporte de menor espesor.

En la siguiente tabla se establecen los tiempos de drenaje que recomienda AASHTO, recomendaciones basadas en el tiempo necesario para que la capa base elimine la humedad cuando está presente un grado de saturación del 50%, el criterio del 85% de saturación es el tiempo real usado para seleccionar una buena calidad de drenaje. (Cordo, 2006)

Calidad del Drenaje	50% de Saturación	85% de Saturación
Excelente	2 horas	2 horas
Bueno	1 día	2 a 5 horas
Regular	1 semana	5 a 10 horas
Pobre	1 mes	de 10 a 15 horas
Muy Pobre	el agua no drena	mayor a 15 horas

Tabla 7: *Tiempos de drenaje para capas granulares*

Fuente: (AASHTO Guide for Design of Paviment Structures, 1993)

Para el cálculo del tiempo en que el pavimento está expuesto a niveles cercanos a la saturación, la AASHTO propone la siguiente ecuación:

$$P = \frac{S + R}{365} \times 100$$

Donde:

P= porcentaje de tiempo en que el pavimento está próximo a la saturación

S= días de deshielo de primavera

R= días de lluvia si el pavimento puede drenar hasta 85% del grado de saturación en 24 horas o menos.

A partir del cálculo de **P** se estima el porcentaje del tiempo en que el pavimento está expuesto a niveles de humedades cercanos a la saturación y con este porcentaje se escoge el coeficiente de drenaje en las tablas 5 y 6, para pavimentos flexibles y rígidos respectivamente.

2.1.5 Superficies de rodadura

Las especificaciones técnicas estipuladas en el libro del ministerio de transportes y obras públicas, clasifica a las superficies de rodadura como:

- Superficie de grava-arcilla
- Superficie de agregados no tratados
- Suelo estabilizado con material bituminoso
- Adoquinado
- Empedrado

A continuación, se resume las superficies de rodadura de mayor relevancia.

2.1.5.1 Materiales de la superficie de rodadura

2.1.5.1.1 Superficies de Grava – Arcilla

Para este trabajo pueden utilizarse materiales existentes en la subrasante

construida, sea directamente de la excavación; o con material proveniente de préstamos; o materiales escogidos de fuentes existentes fuera de los límites del proyecto. Deberán utilizarse mezclas homogéneas de grava y arcilla o arena y arcilla, exentas de materiales vegetales, que formen una capa de espesor compactado uniforme como lo indiquen los planos del contrato.

La mezcla de materiales debe tener un límite líquido máximo de 35 y un índice de plasticidad no mayor de 9, y la granulometría deberá cumplir los requisitos indicados en la tabla 9 (MOP, Superficies de Rodadura, 2002, págs. IV-1).

TAMIZ	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada				
	A	B	C	D	E
2" (50.8 mm)	100				
1 1/2" (38.10 mm)	80 - 100				
1" (25.4 mm.)	60 - 80	100	100	100	100
3/8" (9.5 mm.)	--	50 - 85	60 - 100	--	--
Nº 4 (4.75 mm.)	45 - 65	35 - 70	45 - 85	--	--
Nº 10 (2.00 mm.)	--	25 - 50	30 - 65	40 - 100	55 - 100
Nº 40 (0.425 mm.)	--	12 - 30	15 - 40	20 - 50	30 - 70
Nº 200 (0.075 mm.)	5 - 15	4 - 12	5 - 15	6 - 20	8 - 25

Tabla 8: Granulometría para superficies de grava-arcilla

Fuente: Tabla 401-1.1 (MOP, Superficie de Rodadura, 2000, págs. IV-1)

2.1.5.1.2 Ensayos y Tolerancias

La granulometría de la mezcla deberá ser comprobada mediante los ensayos INEN 696, (AASHTO T-11 y T-27), los mismos que serán realizados inmediatamente después de completado el mezclado. El índice de plasticidad y los límites de consistencia serán determinados mediante los ensayos INEN 691 y 692, (AASHTO T-89 y T-90). Para controlar la

calidad de la construcción se deberá efectuar los ensayos correspondientes de Densidad Máxima y Humedad Óptima, de acuerdo con las exigencias de AASHTO T-180, método D. La densidad de campo deberá ser comprobada por medio de equipo nuclear debidamente calibrado o del ensayo AASHTO 205-64, y no deberá ser menor del 95% de la Densidad Máxima obtenida en laboratorio.

El espesor de la capa determinada deberá comprobarse a intervalos de 100 m de longitud, tomando medidas a los lados y eje de la vía alternadamente; el espesor medido no será inferior en más de dos centímetros al establecido en los planos, y en todo caso, el promedio de las mediciones será igual o mayor que el espesor indicado en los planos. Las alineaciones y pendientes transversales son muy importantes para permitir un escurrimiento apropiado y acelerado y evitar empozamientos de agua lluvia.

Por lo tanto, las cotas de la superficie terminada y la conformación de la sección transversal serán comprobadas con nivel, y no se permitirá desviaciones mayores a dos centímetros en ningún punto. (MOP, Superficies de Rodadura, 2002, pág. IV.2).

2.1.5.1.3 Superficie de Agregados no Tratados

Los agregados no tratados están constituidos por gravas, fragmentos de roca y aglomerados, que a su vez se encuentran combinados en cantidades suficientes con agregados finos como: arenas, limos y arcillas, los cuales permiten ligar las partículas gruesas.

2.1.5.2 Materiales de Superficies de Agregados no tratados

En todo caso, se deberá cumplir los límites de una de las granulometrías especificadas en la Tabla 10. (MOP, Superficie de Rodadura, 2002, págs. IV-4) .

TAMIZ	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada			
	A	B	C	D
3" (76.2 mm.)	100	--	--	--
2" (50.8 mm.)	80 - 100	100	--	--
1" (25.4 mm.)	55 - 85	75 - 95	100	100
3/8" (9.50 mm.)	--	--	50 - 85	60 - 100
Nº 4 (4.750 mm.)	30 - 55	30 - 60	35 - 65	50 - 85
Nº 200 (0.075 mm.)	5 - 15	5 - 15	5 - 15	5 - 20

Tabla 9: Granulometría para superficie de agregados no tratados

Fuente: Tabla 401-2.1. (MOP, Superficie de Rodadura, 2002, págs. IV-4)

Los agregados gruesos consistirán en partículas resistentes y durables que tengan un porcentaje de desgaste a la abrasión de 50% como máximo. Las partículas finas consistirán en una mezcla de arena y arcilla o limo, y no deberán contener material vegetal; el índice de plasticidad de la fracción que pasa el tamiz Nº 40 será como máximo de 9 y su límite líquido no será mayor de 35; la fracción que pasa el tamiz Nº 200 no deberá ser mayor que las dos terceras partes de la fracción que pasa el tamiz Nº 40.

2.1.5.2.1 Ensayos y Tolerancias

La granulometría del material colocado en la vía será comprobada mediante los ensayos INEN 696 (AASHTO T-11 y T-27). El porcentaje máximo de desgaste de los agregados gruesos no será mayor del 50% a 500 revoluciones, determinado mediante los ensayos INEN 860 y 861. (AASHTO T-96). El índice de plasticidad y los límites de la fracción que pasa el tamiz Nº 40 serán comprobados mediante los ensayos INEN 691 y 692. (AASHTO T-89 y T-90) La densidad máxima y humedad óptima serán establecidas a partir del ensayo AASHTO T-180, Método D y la densidad en la obra se comprobará mediante método nuclear o el ensayo AASHTO

T-147 y su valor no deberá ser menor que el 95% de la densidad obtenida en laboratorio.

El espesor de la capa deberá ser comprobado mediante nivelación o efectuando perforaciones a intervalos de 100 m, en forma alternada en el eje y a los costados del camino; el promedio de los espesores no deberá ser inferior al establecido en los planos. Las alineaciones y pendientes transversales deberán ser revisadas minuciosamente para impedir empozamientos de agua.

Las cotas y la conformación de la superficie terminada serán comprobadas mediante nivelación, y no se permitirán desviaciones mayores a 2 cm en ningún punto. En caso, de que la comprobación de los espesores se haya efectuado mediante perforaciones, el contratista deberá rellenarlas, a su costo, con el mismo material que el empleado para la superficie de agregados debidamente no tratados. (MOP, Superficie de Rodadura, 2002, págs. IV-5).

2.1.6 Capas de rodadura

Las especificaciones técnicas indicadas en el libro del ministerio de transportes y obras públicas, clasifica a las capas de rodadura como:

- Riego de imprimación
- Riego bituminoso de adherencia
- Tratamientos bituminosos superficiales
- Hormigón asfáltico mezclado en planta
- Hormigón asfáltico mezclado en sitio
- Hormigón asfáltico mezclado en planta y en frío
- Capa bituminosa de sellado
- Capa de sellado con lechada asfáltica
- Capa de sellado con mezclas densas en frío

- Pavimentos de hormigón de cemento portland
- Pavimentos de hormigón compactado con rodillo (HCR) y de hormigón compactado con pavimentadora (HCP)

Se describe las características de las capas de rodadura más utilizadas en el medio.

2.1.6.1 Hormigón asfáltico mezclado en planta

Es la capa de rodadura del pavimento flexible, está compuesta por asfalto y agregados pétreos capaces de resistir los efectos de la intemperie y tráfico.

Es la capa que está en contacto con los neumáticos de los vehículos, por lo tanto, recibe las cargas y descargas de forma directa, para luego partir de esos esfuerzos, transmitir a la capa inferior en forma disipada.

Las características que deben cumplir los materiales pétreos de la mezcla asfáltica son las siguientes:

- Un tamaño máximo nominal de dos pulgadas y tener una granulometría adecuada, según las graduaciones propuestas para mezclas cerradas de la ASTM D3515.
- Deberá tener cierta dureza para lo cual se le efectuarán los ensayos de abrasión de los ángeles, intemperismo acelerado, densidad y durabilidad.
- La forma de la partícula deberá ser lo más cúbica posible, se recomienda no usar material en forma de laja o aguja pues se rompen con facilidad alterando la granulometría y pudiendo provocar fallas en la carpeta, se efectuarán pruebas de equivalente de arena ya que los materiales finos en determinados porcentajes no resultan adecuados. (Construaprende, 2015).

A continuación, se detallan los parámetros de aceptabilidad para el betún y agregados de las mezclas asfálticas:

Parámetros de Aceptabilidad para el Betún		
Propiedades	Unidades	Especificaciones MTOP 810.2.1
Sobre nuestra original		
Viscosidad absoluta (60° C)	(Pa.s)	2000+-40
Viscosidad cinemática (135° C)	(cSt=mm ² /seg)	Min 300
Punto de inflamación	°C	Min 232
Índice de penetración		-1,5 a 1
Penetración (25°c) 100gr/5s	(dmm)	60
Punto de ablandamiento	°C	48 a 57
Ductilidad	Cm	Min 100 cm
Sobre el residuo en horno rotatorio}		
Pérdida de masa	(%)	Min 1%
Ductilidad	(cm)	Min 50 cm

Tabla 10. Criterios de aceptabilidad para el betún

Fuente: Tabla 810-2.1. (MOP, 2002)

Parámetros de Aceptabilidad para Agregados	
Durabilidad (Desgaste a los Sulfatos)	Norma
	Sulfato de Magnesio
1. Agregado Fino	≤18
2. Agregado Grueso	≤18
3. Peladura	Norma
% de Peladura	≥95%
4. Equivalente de Arena	Norma
Ensayo Equivalente de Arena	Capa de Rodadura
Tráfico Pesado	≥50%
5. Terrones de Arcilla y Partículas	Norma
Deletéreos	≤1%
6. Partículas planas y alargadas (Relación 5:1)	Norma
% de Partículas Planas y Alargadas	≤10%
7. Abrasión de los Angeles	Norma
Desgaste Máximo	≤40%

Tabla 11. Parámetros de aceptabilidad para agregados

Fuente: (MOP, 2002)

El espesor de la carpeta asfáltica depende del número de ejes equivalentes para el que se está diseñando la vía, se toma en cuenta la siguiente tabla:

ESAL`s	Carpeta. Asfáltica (in)
MENOS DE 50000	1
50000- 150000	2
150001- 500000	2,5
500001- 2000000	3
2000001- 7000000	3,5
MAS DE 7000000	4

Tabla 12. *Espesores de carpeta asfáltica.*

Fuente: (AASHTO Guide for Desing of Paviment Structures, 1993)

2.1.7 Estructura de pavimento

La estructura del pavimento está conformada por: la capa de rodadura (descrita en la sección 2.1.6.1), material de préstamo que cumpla con los parámetros establecidos en el MTOP (Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes), bases, sub-bases y mejoramiento.

2.1.7.1 Base

Es la capa que se encuentra debajo de la superficie de rodadura, y encima de la sub-base, o en algunos casos sobre la subrasante cuando es de buena calidad o está previamente preparada mediante procesos de estabilización o mejoramiento, recibe una buena parte de esfuerzos que producen los vehículos y está compuesta por agregados total o parcialmente triturados estabilizados con agregados finos. La función principal de esta capa en pavimentos flexibles es transmitir las cargas impuestas por el tránsito con intensidades adecuadas a las capas subyacentes. Adicionalmente, contribuye al drenaje y facilita los procesos

constructivos. En pavimentos rígidos cumple como función principal evitar el fenómeno de bombeo. En pavimento de tipo flexible, el espesor compacto de esta capa oscila entre 10 y 30 cm, y en uno rígido entre 10 y 25 cm. (Rendón Quintana & Reyes Iizcano, 2015).

a) Características de los materiales de la capa base

De acuerdo a las especificaciones descritas en el MOP-001-F 2002, indica que la clase y tipo de base que debe utilizarse en obra debe cumplir con lo siguiente: el límite líquido del material que pase por el tamiz#40 debe ser menor de 25 y el índice de plasticidad menor de 6, además el desgaste por abrasión de los Ángeles del material pétreo debe ser menor del 40% y el valor de soporte CBR deberá ser igual o mayor al 80%.

b) Tipos de base

Base Clase 1: Son bases constituidas por agregados gruesos y finos, triturados en un 100% de acuerdo con lo establecido en la subsección 814-2 del MOP-001-F 2002. Ministerio de Transporte y Obras Públicas y graduados uniformemente dentro de los límites granulométricos indicados para los Tipos A y B en la tabla 13. (MOP, 2002, pág. IV.48)

TAMIZ	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada	
	Tipo A	Tipo B
2" (50.8 mm.)	100	--
1 1/2" (38.1 mm.)	70 - 100	100
1" (25.4 mm.)	55 - 85	70 - 100
3/4" (19.0 mm.)	50 - 80	60 - 90
3/8" (9.5 mm.)	35 - 60	45 - 75
Nº 4 (4.76 mm.)	25 - 50	30 - 60
Nº 10 (2.00 mm.)	20 - 40	20 - 50
Nº 40 (0.425 mm.)	10 - 25	10 - 25
Nº 200 (0.075 mm.)	2 - 12	2 - 12

Tabla 13: Límites granulométricos para base Clase 1

Fuente: Tabla 404-1.1 (MOP, Base de Agregados, 2002, págs. IV-48)

Base Clase 2: Son bases constituidas por fragmentos de roca o grava trituradas, cuya fracción de agregado grueso será triturada al menos el 50% en peso, y que cumplirán los requisitos establecidos en la subsección 814-4, del MOP-001-F 2002. Estas bases deberán hallarse graduadas uniformemente dentro de los límites granulométricos indicados en la Tabla 14. (MOP, Base de Agregados, 2002, págs. IV-48)

TAMIZ	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada
1" (25.4 mm.)	100
3/4" (19.0 mm.)	70 - 100
3/8" (9.5 mm.)	50 - 80
Nº 4 (4.76 mm.)	35 - 65
Nº 10 (2.00 mm.)	25 - 50
Nº 40 (0.425 mm.)	15 - 30
Nº 200 (0.075 mm.)	3 - 15

Tabla 14: Límites granulométricos para base Clase 2

Fuente: Tabla 404-1.2 (MOP, Base de Agregados, 2002, págs. IV-48)

Base Clase 3: Son bases constituidas por fragmentos de roca o grava trituradas, cuya fracción de agregado grueso será triturada al menos el 25% en peso, y que cumplirán los requisitos establecidos en el MOP-001-F 2002. Estas bases deberán cumplir con lo siguiente:

TAMIZ	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada
3/4" (19.0 mm.)	100
Nº 4 (4.76 mm.)	45 - 80
Nº 10 (2.00 mm.)	30 - 60
Nº 40 (0.425 mm.)	20 - 35
Nº 200 (0.075 mm.)	3 - 15

Tabla 15: Límites granulométricos para base Clase 3

Fuente: Tabla 404-1.3 (MOP, Base de Agregados, 2002, págs. IV-49)

Base Clase 4: Son bases constituidas por agregados obtenidos por trituración o cribado de piedras fragmentadas naturalmente o de gravas, de conformidad con lo establecido en la subsección 814-3 del MOP-001-F 2002 y graduadas uniformemente dentro de los límites granulométricos indicados en la Tabla 14. (MOP, Base de Agregados, 2002, págs. IV-49)

TAMIZ	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada
2" (50.8 mm.)	100
1" (25.4 mm.)	60 - 90
Nº 4 (4.76 mm.)	20 - 50
Nº 200 (0.075 mm.)	0 - 15

Tabla 16: Límites granulométricos para base Clase 3

Fuente: Tabla 404-1.4 (MOP, Base de Agregados, 2002, págs. IV-49)

2.1.7.2 Subbase

Es la capa que se coloca sobre la subrasante o sobre el mejoramiento en caso de ser necesario, está constituida de agregados que deben cumplir con los requerimientos establecidos en el MTOP y se obtienen de la trituración o cribado, provenientes de depósitos naturales.

a) Tipos de sub-base

Clase 1: Son sub-bases construidas con agregados obtenidos por trituración de roca o gravas, de acuerdo con los requerimientos establecidos en la Sección 816, y graduados uniformemente dentro de los límites indicados para la granulometría Clase 1, en la Tabla 15. Por lo menos el 30 % del agregado preparado deberá obtenerse por proceso de trituración (MOP, Disposiciones Generales, 2002, págs. IV-38).

Clase 2: Son sub-bases construidas con agregados obtenidos mediante trituración o cribado en yacimientos de piedras fragmentadas naturalmente o de gravas, de acuerdo con los requerimientos establecidos en la Sección 816, y graduados uniformemente dentro de los límites indicados para la granulometría Clase 2, en la Tabla 15. (MOP, Disposiciones Generales, 2002, págs. IV-38).

Clase 3: Son sub-bases construidas con agregados naturales y procesados que cumplan los requisitos establecidos en la Sección 816, y que se hallen graduados uniformemente dentro de los límites indicados para la granulometría Clase 3, en la Tabla 15. (MOP, Disposiciones Generales, 2002, págs. IV-38)

TAMIZ	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada		
	CLASE 1	CLASE 2	CLASE 3
3" (76.2 mm.)	--	--	100
2" (50.4 mm.)	--	100	--
1 1/2 (38,1 mm.)	100	70 - 100	--
Nº 4 (4.75 mm.)	30 - 70	30 - 70	30 - 70
Nº 40 (0.425 mm.)	10 - 35	15 - 40	--
Nº 200 (0.075 mm.)	0 - 15	0 - 20	0 - 20

Tabla 17: Límites de granulometría para Subbase

Fuente: Tabla 403-1.1 (MOP, Superficies de Rodadura, 2002, págs. IV-38)

2.1.7.3 Material de mejoramiento

Deberá ser suelo granular, material rocoso o combinaciones de ambos, libre de material orgánico y escombros, y salvo que se especifique de otra manera, tendrá una granulometría tal que todas las partículas pasarán por un tamiz de cuatro pulgadas (100 mm.) con abertura cuadrada y no más de 20 por ciento pasará el tamiz Nº 200 (0,075 mm), de acuerdo al ensayo AASHTO-T.11.

La parte del material que pase el tamiz N° 40 (0.425 mm.) deberá tener un índice de plasticidad no mayor de nueve (9) y límite líquido hasta 35% siempre que el valor del CBR sea mayor al 20%, tal como se determina en el ensayo AASHO-T-91. Material de tamaño mayor al máximo especificado, si se presenta, deberá ser retirado antes de que se incorpore al material en la obra. (MOP, 2002)

2.1.7.4 Suelo de subrasante

La subrasante es la capa que sirve de apoyo a la estructura del pavimento, debe tener una capacidad de respuesta para recibir y resistir las cargas disipadas del tránsito y el peso de la estructura del pavimento, funciones necesarias para garantizar su vida útil.

Categoría de la subrasante	CBR
S0: Subrasante inadecuada	<3%
S1: Subrasante pobre	De CBR ≥3% a CBR <6%
S2: Subrasante regular	De CBR ≥6% a CBR <10%
S3: Subrasante buena	De CBR ≥ 10% a CBR <20%
S4: Subrasante muy buena	De CBR ≥ 20% a CBR <30%
S5: Subrasante excelente	CBR ≥ 30%

Tabla 18. Categorías de la subrasante según el CBR

Fuente: Cuadro 4.10 (Manual De Carreteras: Suelos, Geología; Geotecnia y Pavimentos, 2013, pág. 40)

El espesor del pavimento dependerá en gran parte de la calidad de la subrasante, por lo que, debe cumplir con los requisitos de resistencia, incompresibilidad e inmunidad a la expansión y contracción por efectos de la humedad. (Bayas, 2015).

En un principio, cuando se empezaron a construir los primeros diseños de pavimentos, se tomaban en cuenta características y propiedades de la subrasante como: susceptibilidad a las variaciones de temperatura, granulometría, plasticidad, clasificación de los suelos, drenaje, resistencia al esfuerzo cortante, parámetros que siguen siendo fundamentales en el diseño de pavimentos, pero en la actualidad.

Se toma en cuenta otros parámetros en la realización de ensayos, los cuales permiten estudiar y analizar otras propiedades del suelo de subrasante, tal como lo es el CBR, que permite determinar la capacidad portante del suelo y los ensayos dinámicos y de repetición de carga como el módulo de resiliencia, que son pruebas que demuestran en mejor forma el comportamiento y lo que sucede debajo de los pavimentos en lo que respecta a tensiones y deformaciones. (Pavimentos, 2002, pág. 1).

a) Propiedades Físico-Mecánicas

La subrasante es definida como el suelo preparado y compactado, para separar la estructura de un sistema de pavimento, estas propiedades de los suelos que constituyen la subrasante son las variables más importantes que se deben considerar al momento de diseñar una estructura de pavimento, las propiedades físicas se mantienen invariables, aunque se sometan a tratamientos tales como: homogenización, compactación, etc.

Sin embargo, ambas propiedades cambiarían cuando se realicen en ellos procedimientos de estabilización, a través de procesos de mezclas con otros materiales (cemento, cal, puzolana, etc.) O mezclas con químicos. (Pavimentos, 2002).

Cuando se requiere conocer las características de algún tipo de suelo, es fundamental realizar calicatas en el sitio del proyecto para posteriormente efectuar pruebas de laboratorio y determinar propiedades como: Densidad

(mediante el ensayo Proctor), valor de soporte (mediante el ensayo CBR), humedad, granulometría y límites de Atterberg (líquido, plástico).

b) Ensayos para determinar la resistencia de subrasantes

En la actualidad existen diferentes tipos de ensayos para determinar la resistencia que posee el suelo de subrasante entre los más usuales están:

- Valor del soporte de California (CBR)
- Módulo Resiliente
- Penetración Dinámica con cono
- Ensayo de placa de Carga (valor K)
-

c) Capacidad de soporte

La capacidad de soporte de los suelos es una de las propiedades más importantes en el estudio de suelos, puesto que, es la máxima deformación que puede resistir un suelo.

La subrasante debe diseñarse para que las cargas de tráfico transmitidas al suelo no superen la capacidad de soporte (CBR) o el suelo cedería. La resistencia al esfuerzo cortante y la humedad son factores que intervienen a la capacidad de soporte del suelo. (ILER, 2016).

2.1.8 Estabilización de Suelos

La estabilización de suelos es una técnica que busca mejorar las propiedades físicas y mecánicas de los suelos que no reúnen las condiciones necesarias para su utilización. (Pico Núñez, 2016, pág. 14). Tratamiento que se aplica a los suelos o a las capas del firme mediante la adición de un ligante (cal, cemento, asfalto, productos químicos, etc.).

Para mejorar sus características mecánicas y conseguir un suelo o capa firme, ésta debe de ser capaz de soportar los esfuerzos impuestos por las cargas del tránsito y resistir la acción de los agentes atmosféricos, conservando materialmente uniforme su volumen.

Este procedimiento se usa frecuentemente para mejorar la subrasante y con ello, disminuir el espesor de las capas de Subbase y/o Base, o para construir una capa de base capaz de soportar una capa de rodadura asfáltica. (MOP, Disposiciones Generales, 2002, págs. I-13).

Existen diferentes tipos de estabilización:

- Estabilización mecánica
- Estabilización física
- Estabilización química

2.1.8.1 Estabilización mecánica

Proceso que busca reducir el índice de vacíos en el suelo, mediante la expulsión del fluido intersticial producto de las cargas aplicadas, la densificación del suelo es lograda por técnicas de compactación. La compactación ordinaria en campo se realiza por medio de compactadores de rodillos, los más comunes son:

- Rodillos lisos (o de tambor liso)
- Rodillos neumáticos de llantas de hule
- Rodillos pata de cabra
- Rodillos vibratorios

a) Rodillos lisos (o de tambor liso)

Genera vibración vertical durante la compactación, son adecuados para

pruebas de rodado en subrasantes, estos proporcionan una cobertura del 100% bajo las ruedas y la presión de contacto llega a ser tan alta como 45-60 lb/pulg². (DAS, 2001, pág. 727)



Figura 8. Rodillo Liso

Fuente: Caterpillar 2018, catálogo de compactadores

b) Rodillos neumáticos de llantas de hule

Estos compactadores pesan 450 kilos, consisten en un vagón fuertemente cargado con varias hileras de llantas, separadas entre sí a una corta distancia y se tienen de cuatro a seis en un eje.

La presión de contactos bajo las ruedas llega a ser hasta 85-100 lb/pulg² y una cobertura de 70%-80%. Los rodillos neumáticos, empleados para compactación de suelos arenosos y arcillosos, producen una combinación de presión y acción de amasamiento. (DAS, 2001).



Figura 9. Rodillo neumático de llantas de hule

Fuente: Caterpillar 2018, catálogo de compactadores

c) Rodillos pata de cabra

Estos rodillos alcanzan su mayor efectividad de compactación en suelos cohesivos, las presiones de contacto bajo las protuberancias varían entre 215-1100 lb/pulg². (DAS, 2001).



Figura 10. Rodillos pata de cabra

Fuente: Caterpillar 2018, catálogo de compactadores

Consisten básicamente en tambores con un gran número de protuberancias, el área de cada protuberancia puede ser de 25-90 cm².

d) Rodillos vibratorios

Son eficientes en la compactación de suelos granulares, los vibradores se unen a ruedas lisas, ruedas neumáticas de hule o rodillos con pata de cabra para vibrar el suelo en proceso de compactación. (DAS, 2001).

e) Vibroflotación

Corresponde a una técnica de estabilización para suelos granulares que busca reordenar a las partículas del suelo por medio de la suspensión y apisonamiento producido por el vibrador, es conocido también como vibro compactación.

El sistema busca primordialmente realizar mejoras de las cualidades mecánicas del suelo en base a la compactación por medio de vibraciones

consiguiendo una mayor capacidad de carga, una disminución de los asentamientos y palear los riesgos de licuefacción en algunos casos. También tiene utilidad en la modificación de la permeabilidad, estabilización de taludes, densificación de suelos para generar zonas de anclaje, etc. (Castillo, Franz, & Quezada, 2015).

2.1.8.2 Estabilización física

Se utiliza para mejorar el suelo produciendo cambios físicos en el mismo, mediante el aporte de materiales granulares y/o cohesivos con la finalidad de mejorar la capacidad de soporte del suelo de subrasante. Algunos de los métodos de este tipo de estabilización son: mezcla de suelos, geosintéticos y la vibroflotación.

a) Mezcla de suelos

La mezcla de suelos es una técnica que consiste en combinar dos o más suelos de diferentes propiedades físicas-mecánicas y químicas, este tipo de mejoramiento tiene la finalidad de poder obtener un suelo de mejores capacidades geotécnicas que las que tiene cada tipo de suelo mezclado al inicio.

La mezcla de suelos para mejorar sus características ingenieriles data desde las primeras civilizaciones, por lo que, es una de las técnicas más utilizadas, debido a su economía, en comparación con otros tipos de estabilización. Sin embargo, no surge mayor efecto por sí sola, por lo que siempre debe ir acompañada de otro procedimiento como la compactación.

Por ejemplo, los suelos como las gravas-arenas tienen una alta fricción interna lo que lo hacen soportar grandes esfuerzos, pero esta cualidad no hace que sea estable en una carretera ya que al no tener cohesión sus

partículas se mueven libremente y con el paso de los vehículos, estos se pueden separar e incluso salirse del camino. (Rangel, 2015).

La estabilización por combinación o mezcla de suelos tiene como parámetro fundamental combinar el suelo de subrasante existente con un material de préstamo importado, es decir, un suelo que presente mejores características mecánicas y que al mezclarse con la subrasante o terreno natural, este mejore su capacidad portante.

El ámbito de aplicación en los que se usa el mejoramiento con mezclas de suelos es en: terraplenes, bases, Subbase, explanadas, suelo de fundación, entre otros. El estudio en mención tiene la finalidad de combinar el suelo de subrasante existente en el sector Velazco Ibarra, con distintas proporciones de arenas asfálticas de yacimientos naturales existentes en la provincia.

Mediante los métodos de dosificación se pretende determinar la proporción óptima para que los porcentajes de CBR se encuentren en el rango permisible de suelo de subrasante y de esta manera, se cumpla con el objetivo principal de esta investigación que es mejorar la capacidad portante de suelo de subrasante del sitio en estudio.

La mezcla de suelos busca principalmente las correcciones de 3 parámetros descritos a continuación:

1. Que se produzca variación en la plasticidad de los suelos
2. Variación de la composición mineral de los materiales de suelo
3. Variación de los porcentajes de capacidad portante (CBR) de los suelos

Materia prima para la estabilización con mezcla de suelos

La materia prima que se utiliza para la realización de mezclado es simplemente los suelos seleccionados y las proporciones de agua previamente establecidas para una correcta compactación.

Maquinaria

El mezclado homogéneo de los suelos se puede realizar de dos maneras: mezclando in situ o se puede realizar también en una central de mezclado.

Mezclado in situ

Se realiza con máquinas mezcladoras de elevada potencia, que poseen bombas y caudalímetros de dosificación del agua, que permiten suministrar la humedad óptima para la compactación de la mezcla de suelos y además, que sea capaz de garantizar la uniformidad en todo el espesor de las proporciones de la mezcla.

La puesta en obra también requiere el uso de maquinarias como: motoniveladoras, escarificadoras y equipos de compactación.

Proceso de estabilización por mezcla de suelos

El proceso para estabilizar el suelo de subrasante mediante la mezcla de suelos se describe a continuación:

- El suelo existente se disgregará o escarificará, en una profundidad de quince centímetros (15 cm). (Tránsito, 2008, pág. 113)
- Posteriormente se colocará el material de préstamo o de aporte. (Tránsito, 2008, pág. 113)
- Los materiales disgregados y los de aporte se humedecerán o airearán hasta alcanzar la humedad apropiada de compactación y previa eliminación de partículas mayores de setenta y cinco

milímetros (75 mm), sí las hubiere. Finalmente, se procederá a un mezclado de ambos suelos, se conformará y compactará cumpliendo las exigencias de densidad y espesores hasta el nivel de subrasante fijado en el proyecto. (Tránsito, 2008, pág. 113).

Es de gran importancia realizar el control de calidad y verificar el estudio y comportamiento de la mezcla tomando en cuenta los siguientes parámetros:

- Análisis granulométrico
- Características de plasticidad
- Resistencia al esfuerzo cortante (CBR)
- Densidad óptima del suelo (Proctor)

La investigación tiene el objeto de mejorar las propiedades geotécnicas del suelo de subrasante añadiendo diferentes proporciones de arenas asfálticas, las mismas que serán tomadas de yacimientos naturales de la empresa Pacifpetrol de la Provincia de Santa Elena.

Para el estudio en mención se realizarán los ensayos para determinar los parámetros mencionados anteriormente del suelo de subrasante y arenas asfálticas, en laboratorios que se encuentre calificados, para determinar las características físico-mecánicas y químicas que poseen cada muestra por separado y seguidamente los mismos ensayos para diferentes proporciones de mezclado, con el objetivo de obtener la proporción adecuada y que los resultados de la investigación sean satisfactorios.

b) Estabilización de Subrasante con Geotextiles

Los Geotextiles, son materiales de origen sintético, formado por fibras poliméricas, en carreteras, se utilizan para estabilizar capas de la estructura

del pavimento creando así, una base que brinda estabilidad y durabilidad, asegurando además la capacidad de carga de la vía.

Los geotextiles, en sus diferentes variantes, cumplen las siguientes funciones: mantener confinados los finos del subsuelo, resistir tensiones estáticas y dinámicas, evitar la filtración del agua, prevenir y reducir las grietas. También se usan para mantener la separación y la estabilidad entre el subsuelo y los materiales de construcción añadidos a la carretera.

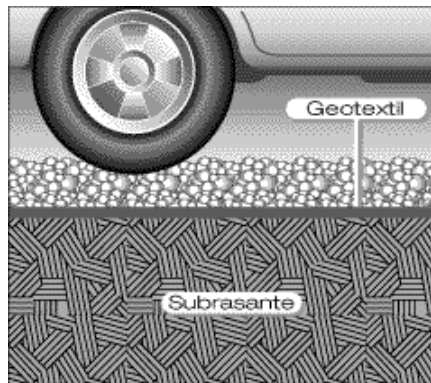


Figura 11. Aplicación del Geotextil

Fuente: PAVCO, aplicación de geosintéticos en obras civiles

Los geotextiles deben ser tejidos por procedimientos mecánicos y deben ser fabricados con materiales inertes que no se descompongan por la acción de las bacterias u hongos. No les debe afectar los ácidos, los álcalis y los aceites, deben ser resistentes al desgaste rasgaduras y perforaciones. (MTO, 2002, págs. IV-25). La calidad de los geotextiles debe ser comprobado por los ensayos indicados en la tabla 17.

Para este tipo de estabilización, se coloca un geotextil de fibras sintéticas sobre la subrasante de la vía, con la finalidad de mejorar la capacidad portante, además este proceso se completa, con la colocación de un material granular con características adecuadas, que den protección al geotextil y que permita la circulación vehicular sobre la misma.

PROPIEDADES	NORMA	UNIDAD	VALOR
MECANICAS			
Método Grab	ASTM D-		
Resistencia a la Tensión	4632	N(lb)	1490(335)
Elongación		%	18
Método Tira Ancha	ASTM D-		
Sentido Longitudinal	4595	kN/m	35
Elongación		%	21
Sentido Transversal	ASTM D-	kN/m	40
Elongación	4595	%	15
Resistencia al Punzamiento	ASTM D-	N (lb)	810 (182)
	4833		
Resistencia al Rasgado Trapezoidal	ASTM D -	N(lb)	480 (108)
	4533		
Método Mullen Burst	ASTM D-		
Resistencia al Estallido	3786	kPa(psi)	4820(700)
HIDRÁULICAS			
Tamaño de Abertura	ASTM D-	mm(No. Tamiz)	0.30 (50)
Aparente	4751		
Permeabilidad	ASTM D-	cm/s	1.2x 10 ⁻²
	4491		
Permitividad	ASTM D-	s ⁻¹	0.70
	4491		
PRESENTACIÓN			
Espesor	ASTM D-	mm	0.80
	5199		
Tipo de Polímero	Fabricante		Polipropileno
Ancho del Rollo	Medido	m	3.85
Largo del Rollo	Medido	m	100
Área del Rollo	Calculado	m ²	385

Tabla 19: Especificaciones técnicas del geotextil tejido para refuerzo

Fuente: Tabla 402.6.1 (MTO, 2002, págs. IV-26)

Características del Material Geotextil

El geotextil sirve de separador entre el suelo de la subrasante y el material granular, podrá ser tejido o no tejido, dependiendo de la influencia del contenido de humedad del suelo. Se usará el geotextil tejido para suelo de bajo contenido de humedad y geotextil de tipo no tejido, para suelos con alto contenido de humedad. (MTO, 2002, págs. IV-27).

En ningún caso el espesor del material granular será inferior a 30 cm. El material será esparcido uniformemente y su clase y valor de compactación estarán especificados en el diseño. (MTO, 2002, págs. IV-30). La calidad de los materiales geosintéticos como: geomalla biaxial y geotextil

separador, deben cumplir con las especificaciones técnicas de las tablas 18 y 19.

PROPIEDAD	NORMA	UNIDAD	VALOR
MECÁNICAS			
Método Grab Resistencia a la Tensión Elongación	ASTM D-4632	N (lb) %	920 (207) 16
Método Tira Ancha Sentido Longitudinal Elongación	ASTM D-4595	kN/m %	24 17
Sentido Transversal Elongación	ASTM D-4595	kN/m %	24 12
Resistencia al Punzonamiento	ASTM D-4833	N (lb)	530 (119)
Resistencia al Rasgado Trapezoidal	ASTM D-4533	N(lb)	235 (53)
Método Mullen Burst Resistencia al Estallido	ASTM D-3786	kPa(psi)	3034(440)
HIDRÁULICAS			
Tamaño de Abertura Aparente	ASTM D-4751	mm(No.Ta miz)	0.21 (70)
Permeabilidad	ASTM D-4491	cm/s	1.2×10^{-2}
Permitividad	ASTM D-4491	s ⁻¹	0.20
PRESENTACIÓN			
Espesor	ASTM D-5199	mm	0.60
Tipo de Polimero	Fabricante		Polipropileno
Ancho del Rollo	Medido	m	3.85
Largo del Rollo	Medido	m	160
Área del Rollo	Calculado	m ²	616

Tabla 20: Características y especificaciones técnicas del geotextil tejido utilizado para separación en suelos con bajo contenido de humedad

Fuente: Tabla 402.7.2 Geotextil tejido (MTOP, 2002, págs. IV-29)

c) Estabilización de Subrasante con geomalla biaxial

Las geomallas son elementos elaborados con resinas selectas de polipropileno, las cuales son química y biológicamente inertes y muy resistentes a procesos degenerativos de los suelos, deben ser resistentes al desgaste, rasgaduras y punzonamiento, a fin de resistir cargas dinámicas aplicadas en cualquier dirección en el plano de la geomalla. (MOP, 2002)

Este tipo de estabilización consiste en la colocación de una Geomalla Biaxial de fibra sintética sobre la subrasante de una vía, a fin de mejorar la capacidad portante y estructural del suelo. No los debe afectar los ácidos,

los álcalis y los aceites. Deben ser resistentes al desgaste, rasgadura y perforaciones.

PROPIEDAD	METODO DE ENSAYO	UNIDAD	VALOR	
			TIPO 1	TIPO 2
TAMAÑO DE ABERTURA: MD (Sentido Máquina) XD (Sentido Contrario Máquina)	ASTM D 4751	Pulg. Pulg.	1.0 nom. 1.3 nom.	1.0 nom. 1.3 nom.
ESPESOR: COSTILLA JUNTA	ASTM D 1777-(64) ASTM D 1777-(64)	Pulg. Pulg.	0.03 nom. 0.11 nom.	0.05 nom. 0.16 nom.
MODULO INICIAL REAL EN USO: MD XD	GR1-GG1-87 GR1-GG1-87	kN/m(lb/ft)	226.4(15,170) 360.1(24,685)	481.2(32,980) 652.5(44,725)
CAPACIDAD A LA TENSION AL 2% DE ELONGACION MD XD	GR1-GG1-87 GR1-GG1-87	kN/m(lb/ft)	4.09(280) 6.57(450)	5.98(410) 9.78(670)
CAPACIDAD A LA TENSION AL 5% DE ELONGACION MD XD	GR1-GG1-87 GR1-GG1-87	kN/m(lb/ft)	8.46(580) 13.42(920)	11.82(810) 19.55(1,340)
CAPACIDAD DE LAS JUNTAS MD XD	GR1-GG1-87 GR1-GG1-87	kN/m(lb/ft)	11.2(765) 17.1(1,170)	17.2(1,180) 25.9(1,778)
RIGIDEZ FLEXURAL	ASTM D 1388-96 OPCION A	Mg/cm	250,000	750,000
RIGIDEZ TORSIONAL	US COE PRELIMINAR	kg-cm/deg	3.2	6.5
RESISTENCIA A LA DEGRADACION A LARGO PLAZO	EPA 900 INMERSION	%	100	100

Tabla 21: Características y especificaciones de la geomalla biaxial

Fuente: Tabla 402.7.1 Geotextil tejido (MTO, 2002, págs. IV-27)

Procedimiento de trabajo

La colocación se llevará a cabo manualmente sobre el suelo natural o sobre una subrasante que está terminada, primero se colocará el geotextil separador y sobre el mismo la geomalla biaxial. Las uniones longitudinales y transversales de la geomalla y geotextil deberán tener un traslapo entre 40 cm. y 100 cm., de acuerdo con la capacidad portante del suelo de la subrasante y a las recomendaciones del fabricante, etc.

Una vez extendido el geotextil separador y la geomalla biaxial en forma uniforme y regular, se procederá de inmediato a distribuir sobre la geomalla

el material granular para protección o relleno, de acuerdo con los requerimientos del diseño, sin dejar expuestos los materiales sintéticos a la acción directa del sol, para evitar su deterioro.

2.1.8.3 Estabilización química

Consiste en alterar las propiedades del suelo utilizando aditivos, el cual, al ser mezclado con el suelo, ocasiona una variación en las propiedades moleculares del suelo y en algunas ocasiones, aglomera las partículas entre sí produciendo un aumento en su resistencia.

La estabilización química de suelos es una tecnología que se basa en la aplicación de un producto químico, genéricamente denominado estabilizador químico, el cual se debe mezclar íntima y homogéneamente con el suelo a tratar y curar de acuerdo con especificaciones técnicas propias del producto. La aplicación de un estabilizador químico tiene como objetivo principal transferir al suelo tratado, en un espesor definido, ciertas propiedades tendientes a mejorar sus propiedades de comportamiento ya sea en la etapa de construcción y/o de servicio. (MTC, DGC, & F-PERÚ, 2004)

Los métodos más utilizados de estabilización química son:

- Cal
- Cemento Portland
- Cloruro de sodio
- Productos asfálticos
- Escorias de fundición

a) Estabilización con cal

La estabilización con cal es una técnica utilizada para mejorar el

comportamiento o esfuerzo-deformación del suelo. Produciendo mayor resistencia y estabilidad a largo plazo, este tratamiento transforma químicamente el suelo de subrasante inestable, proporcionándole nuevas y mejores características mecánicas.

La estabilización con cal se la puede realizar de tres maneras, con: cal viva (óxido de calcio), cal hidratada (hidróxido de calcio) o una lechada de cal. La cal viva se produce de la transformación química del carbonato de calcio (piedra caliza – CaCO_3) en óxido de calcio. La cal hidratada se obtiene cuando la cal viva reacciona químicamente con el agua.

La cal hidratada (hidróxido de calcio) es la que reacciona con las partículas arcillosas y las transforma permanentemente en un fuerte matriz cementante. (Lime Association, 2004).

Requisitos de la cal Hidratada

La cal hidratada debe cumplir con los requisitos que establece la norma AASHTO M.216. Las cantidades de cal pueden variar entre 2% y 6% en peso, del material a estabilizar. Como los materiales a estabilizar con cal pueden ser de cualquier clase de suelo, lo recomendable es hacer pruebas de laboratorio, para determinar la cantidad adecuada en porcentaje con respecto al peso que es necesario aplicar, efectuando pruebas de compresión no confinadas y observando el comportamiento de las muestras al dejarlas secar al aire. (Pavimentos, 2002, pág. 10).

Proceso constructivo de estabilización con cal

Este proceso consistirá en la incorporación de una proporción determinada de cal hidratada al suelo de la subrasante previamente escarificado y pulverizado a fin de mejorar su capacidad de soporte y disminuir la

plasticidad y sensibilidad a la presencia de agua. (MOP, Disposiciones Generales, 2002).

El proceso de estabilización se realiza sobre la subrasante que se encuentre libre de materia orgánica y cal hidratada que cumpla con los requerimientos establecidos en las Normas INEN 247 y 248. Consta de las siguientes operaciones:

Escarificar o pulverizar el suelo

Cuando esté conformada la subrasante se procede a escarificar usando la motoniveladora, con la profundidad y ancho que esté especificado en el proyecto, posteriormente, se realiza la pulverización, hasta obtener un suelo uniformemente suelto y libre de materiales impropios como: piedras, raíces y terrones mayores a 5 centímetros de diámetro.

Distribuir y esparcir la cal en proporciones adecuadas

Método Seco

Se colocan sacos de cal a distancias previamente calculadas para cumplir con los porcentajes adecuados, la cal se riega manualmente en cúmulos transversales y debe ser regulada usando rastrillos rectos.

Método Húmedo

La cal es distribuida mediante tanqueros en forma de lechada, es mezclada con agua en proporciones que están alrededor de 1.000 Kg de cal en 2.000 litros de agua.

Mezclado

Este proceso se realiza con el uso la pulverizadora-mezcladora de paletas rotatorias, con la finalidad de poder distribuir la cal de manera uniforme, el proceso se extiende hasta lograr que el 100% del material pase por el tamiz de 1" (2.54 cm) y no menos del 60% pase el tamiz N°4. Durante el mezclado y pulverización se regará el agua necesaria hasta obtener la humedad óptima de la mezcla. Una vez conseguida una mezcla homogénea, con el contenido de cal especificado y la humedad óptima, el material deberá ser conformado con motoniveladoras a las pendientes, alineaciones y secciones transversales especificadas antes de proceder a su compactación. (MOP, Disposiciones Generales, 2002).

Compactación

La compactación se debe realizar 24 horas después del mezclado, el espesor de la capa compactada debe ser menor o igual a 15 centímetros para que el curado sea eficiente. La compactación se iniciará a los costados de la vía e irá progresando hacia el centro hasta lograr un 95% de la densidad máxima obtenida en el laboratorio para la mezcla. (MOP, Disposiciones Generales, 2002).

Curado

Las capas se deben curar en un período de 3 a 7 días, antes de colocar las siguientes capas de mejoramiento previamente mezcladas y compactadas.

Para suelos que vayan a ser estabilizados con cal el MTOP establece:

- Los suelos que se utilicen para esta estabilización con cal no deberán contener partículas de tamaño superior a 80 mm.
- La cal debe encontrarse adecuadamente seca en el instante que se vaya a incorporar al suelo, para que fluya libremente.

- El agua que se utilice para el mezclado y curado debe cumplir con los requisitos de las especificaciones generales establecidas en la sección 804 correspondiente a materiales, del Ministerio de Obras Públicas y de Comunicaciones (MTOC).

b) Estabilización con cemento

En términos de construcción, el material más utilizado por el hombre en toda la historia, es el cemento ya que sus aplicaciones son diversas y posee alto desempeño, en éste capítulo se hará énfasis en el uso del mismo, bajo la tecnología del Suelo-Cemento, para estabilización de suelo de subrasante, esta técnica aprovecha tanto las propiedades ligantes, cohesivas y adherentes que posee el cemento, como las propiedades mecánicas del suelo de terreno natural, para así obtener un mejoramiento del suelo con buenas características estructurales y mejores soportes de pavimentos.

El material llamado suelo-cemento se obtiene por la mezcla íntima de un suelo suficientemente disgregado con cemento, agua y otras eventuales adiciones, seguida de una compactación y un curado adecuados. De esta forma, el material suelto se convierte en otro endurecido, mucho más resistente. A diferencia del concreto, sin embargo, los granos de los suelos no están envueltos en pasta de cemento endurecido, sino que están puntualmente unidos entre sí. Por ello, el suelo-cemento tiene una resistencia inferior y un módulo de elasticidad más bajo que el concreto.

Los suelos más adecuados para estabilizar con cemento son los granulares tipos A-1, A-2 y A-3, con finos de plasticidad baja o media ($LL < 40$, $IP < 18$). La resistencia del suelo-cemento aumenta con el contenido de cemento y la edad de la mezcla, al añadir cemento a un suelo y antes de iniciarse el fraguado, su IP disminuye, su LL varía ligeramente y su

densidad máxima y humedad-óptima aumenta o disminuyen ligeramente, según el tipo de suelo. (Manual de Carreteras: Suelos, 2013, pág. 118).

Clasificación AASHTO	Clasificación SUCS	Rango usual de cemento requerido		Contenido estimado de cemento en ensayo de humedad-densidad Porcentaje por peso (%)	Contenido de cemento para ensayo de humecido-secado, y congelamiento y descongelamiento Porcentaje por peso (%)
		Porcentaje por volumen (%)	Porcentaje por peso (%)		
A-1-a	GW, GP, GM, SW, SP, SM	5 a 7	3 a 5	5	3, 5, 7
A-1-b	GM, GP, SM, SP	7 a 9	5 a 8	6	4, 6, 8
A-2	GM, GC, SM, SC	7 a 10	5 a 9	7	5, 7, 9
A-3	SP	8 a 12	7 a 11	9	7, 9, 11
A-4	CL, ML	8 a 12	7 a 12	10	8, 10, 12
A-5	ML, MH, CH	8 a 12	8 a 13	10	8, 10, 12
A-6	CL, CH	10 a 14	9 a 15	12	10, 12, 14
A-7	OH, MH, CH	10 a 14	10 a 16	13	11, 13, 15

Tabla 22: Requerimientos de cemento para varios tipos de suelo.

Fuente: (Transportation, 1992)

En la Tabla 20, se presentan los requerimientos de cemento para varios tipos de materiales clasificados de acuerdo con la AASHTO y el sistema unificado de suelos SUCS. Además, el contenido de cemento al que se debe realizar los ensayos de laboratorio para suelos estabilizados.

Para la estabilización suelo-cemento no todos los suelos son aptos, sobre todo los que presentan una capa vegetal, para este tipo de suelo no se recomienda este método de estabilización ya que no se obtendrá una mezcla con la calidad que se requiere. (Corral, 2008).

Materiales adecuados para la estabilización con cemento

Existen varios tipos de suelo que podrían estabilizarse con cemento, sin embargo, resulta más económico estabilizar materiales granulares como las gravas y arenas, puesto que se necesita menos cantidad de cemento y

se facilita el proceso de pulverización, mezclado y aplicación en este tipo de suelos.

Materiales granulares finos, de baja a media plasticidad pueden ser estabilizados también, pero no de la forma tan efectiva como los materiales de grano grueso. Si el índice plástico excede alrededor de 30%, es difícil el mezclado del cemento con el agregado o suelo. Generalmente, en este caso se agrega cal para reducir el Índice Plástico y mejorar la trabajabilidad antes de adicionar el cemento. (Leiva, Arce, & Castro , 2005).

Proceso constructivo de estabilización Suelo-Cemento:

- Escarificar y pulverizar el suelo en caso de ser necesario
- Distribución del cemento sobre el suelo anteriormente conformado
- Mezcla del suelo-cemento en seco
- Incorporación de agua hasta alcanzar la humedad óptima
- Mezclado húmedo hasta lograr la homogeneidad de la mezcla
- Compactación
- Perfilado superficial y terminado
- Curado

c) Estabilización con cloruro de sodio

La sal es un estabilizante natural, compuesto aproximadamente por 98% de NaCl y un 2% de arcillas y limos, cuya propiedad fundamental, al ser higroscópico, es absorber la humedad del aire y de los materiales que le rodean, reduciendo el punto de evaporación y mejorando la cohesión del suelo. (Tránsito, 2008).

El cloruro de sodio tiene la capacidad de reducir la humedad óptima e incrementar la densidad seca máxima del suelo, esto permite, obtener

porcentajes de CBR favorables, el suelo a estabilizar debe cumplir lo siguiente:

- Tener menos de 3% de su peso de materia orgánica
- Índice de plasticidad mayor a 8
- Pasante mínimo en la malla N 200, 12%
- El espesor de la capa estabilizar será de 15 a 20cm

Algunos de los efectos del cloruro de sodio en las propiedades de los suelos son: la resistencia a la compresión se incrementa hasta un 3%, el límite líquido e índice de plasticidad presentan una disminución al aumentar el cloruro de sodio.

d) Estabilización con productos asfálticos

El cemento asfáltico y las emulsiones asfálticas se emplean para mejorar el suelo, el primero suele ser más costoso (AC-20), necesita calentarse a 140 a 160° C para ser mezclado y no puede utilizarse con pétreos que se encuentren húmedos, el segundo estabilizador es más usado ya que puede usarse con pétreos húmedos y no necesita temperaturas elevadas para hacerlo maniobrable.

Una emulsión asfáltica es la suspensión de glóbulos de asfalto de entre 3 y 9 micras en agua, la cual es asistida por un agente emulsificante. Existen emulsiones de fraguado lento, medio y rápido, de acuerdo con el porcentaje de cemento asfáltico, puede utilizarse en casi todo tipo de material, sin embargo, se recomienda el uso en suelos granulares que no tengan un índice de plasticidad elevado y que presenten rugosidad para que exista anclaje de la película asfáltica.

Consideraciones para la estabilización de suelos con emulsiones asfálticas:

- La capa para mejorar debe estar terminada.
- Se puede comenzar la estabilización a temperaturas mayores a 5° C y sin presencia de lluvia.
- La dosificación está en función de la granulometría del suelo, así, suelos más finos demandan mayor cantidad de bitumen.

2.1.9 Arenas asfálticas

Conocidas también como arenas bituminosas, arenas petrolíferas y en Venezuela como petróleo crudo extrapesado, son una mezcla de un 85% de arena, arcilla y cieno, y un 10% de betún de petróleo, que es una sustancia parecida al alquitrán, que puede ser convertida en petróleo. (Woynillowicz, 2007). El 5% de residuos que poseen las arenas asfálticas son una mezcla de agua, arcilla, arena y pequeñas cantidades de betún.

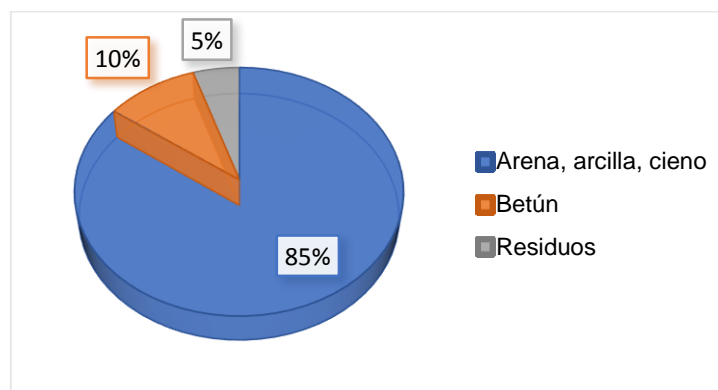


Figura 12. Composición típica de arenas asfálticas

Fuente: Woynillowicz, 2007

A partir de las arenas asfálticas se puede extraer un bitumen similar al petróleo mediante explotación de minería superficial o se realizan técnicas de disminución de viscosidad al bitumen por medio de solventes y vapores. La composición del bitumen extraído de las arenas asfálticas se muestra en la Figura 13.

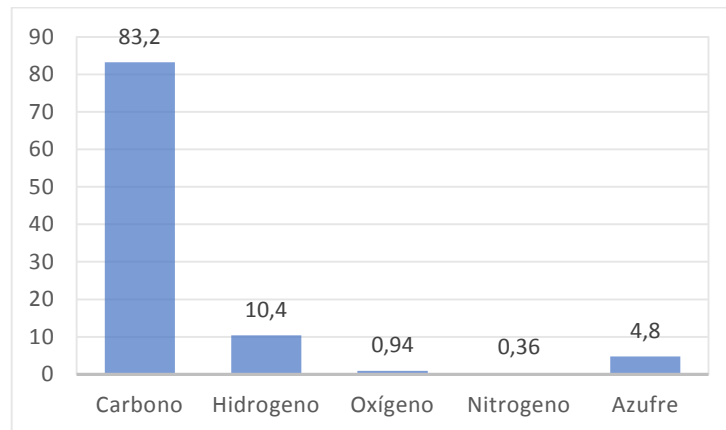


Figura 13. Composición típica del bitumen

Fuente: Woynillowicz, 2007

Es de vital importancia recalcar que para el proceso de extracción de las arenas bituminosas pueden existir problemas a nivel técnico y ambiental, puesto que, al contrario que con el petróleo, la extracción de las arenas asfálticas, en Países como Canadá donde se aprovecha este recurso, suele realizarse a cielo abierto, lo mismo que, implica que se realicen excavaciones en la superficie, ya que el 80% de estas arenas se encuentran a demasiada profundidad para poder extraerlas.

Mediante la realización de la investigación se deduce que las arenas asfálticas presentan en su composición: arena, arcilla, betún y residuos (mezcla de agua, arcilla, arena y pequeñas cantidades de betún), como se muestra en la figura 12, sin embargo en esta investigación se tiene el objetivo de caracterizar los porcentajes que componen las arenas asfálticas que provienen de yacimientos naturales ubicados en la Península de Santa Elena, actualmente en países como Canadá y Estados Unidos se las extrae con la finalidad de obtener una nueva fuente de petróleo.

Sin embargo, Ecuador, específicamente en la provincia de Santa Elena al parecer estas arenas no tienen un valor agregado como materia prima, motivo por el cual se da el caso en estudio para comprobar si al mezclarlas

en diferentes proporciones con un tipo de suelo de subrasante o terreno natural, las propiedades ligantes que posee debido a su contenido de bitumen, sea capaz de mejorar la capacidad portante del suelo de subrasante del sitio en estudio.

Las arenas asfálticas al localizarse bajo otros estratos de suelos y al estar mezcladas con bitumen, se encuentran consolidadas es decir, presentan reducción de volumen, haciendo que con el paso del tiempo estén en una situación de equilibrio en la que no se mueven y formen un estrato denso e hipotéticamente por la inspección visual se infiere que este material podría alcanzar valores de soporte elevados, debido a estas perspectivas se propone el estudio y análisis de las arenas asfálticas como materia prima para el mejoramiento del suelo de subrasante.

2.1.10 Normativas y ensayos

2.1.10.1 Normas ASTM

Desde su fundación en 1898, ASTM International (American Society for Testing and Materials) es una de las organizaciones internacionales de desarrollo de normas más grandes del mundo. En ASTM se reúnen productores, usuarios y consumidores, entre otros, de todo el mundo, para crear normas de consenso voluntarias. (AEC, 2018).

En las normas ASTM internacionales se establecen ensayos y procedimientos que se usan frecuentemente en los laboratorios, además las normas que se aplican en el campo ingenieril se usan en investigaciones y proyectos de desarrollo, comprobación de calidad y describen los requerimientos que deben cumplir las empresas y personas dedicadas profesionalmente a prestar servicios de ensayos e inspección de materiales geotécnicos.

2.1.11 Clasificación de los suelos

Normalmente la corteza terrestre se encuentra constituida por diferentes tipos de suelos, motivo por el cual, la ingeniería ha desarrollado diversos tipos de clasificación, que permiten determinar las características generales de los mismos.

En la actualidad, los tipos de clasificación comúnmente usados son: sistema de clasificación AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials), aplicado en la construcción de carreteras y el sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS) que generalmente es usado por ingenieros geotécnicos. En el presente trabajo de investigación se usará el sistema de clasificación SUCS y AASHTO los cuales se detallan a continuación.

2.1.11.1 Sistema de clasificación AASHTO

El sistema de clasificación AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) (Designación ASTM D-3282; método AASHTO M145) es uno de los primeros sistemas de clasificación de suelos, desarrollado por Terzaghi y Hogentogler en 1928. (Civil, 2018).

Este tipo de clasificación es utilizada en proyectos de ingeniería vial, enfocado principalmente en el campo de construcción de terraplenes, Subbase y bases de carreteras, su objetivo es calificar si el suelo cumple con las condiciones óptimas para ser utilizado como fundación para la estructura del pavimento y las cargas y descargas del flujo del tránsito vehicular. Por ende debe estar basado en los resultados de laboratorio de ensayos como: granulometría, límites líquido e índice de plasticidad, los mismos que permiten determinar el índice de grupo, que es un valor

expresado como número entero, con un valor comprendido entre 0 y 20, dado en función del porcentaje de suelo que pasa por el tamiz N° 200, y se calcula mediante la siguiente fórmula empírica actualizada por la norma ASTM D 3282-73 y en el año 2004, aprobada por la norma ASTM D 3282-93:

$$IG = (P200 - 35) * [0.2 + 0.005 * (LL - 40)] + 0.01 * (P200 - 15) * (IP - 10)$$

Para los subgrupos A-2-6 y A-2-7 el índice de grupo se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$IG = 0,01*(F200-15) *(IP-10)$$

Dónde:

P200= Porcentaje de suelo que pasa por la malla No. 200

LL= Límite Líquido

IP= Índice de Plasticidad

El valor del IG debe ser redondeado al valor del entero más cercano o, en caso de ser negativo se iguala a cero. El sistema de clasificación AASHTO divide al suelo en siete grupos que se los designa del A-1 al A-7. Los suelos correspondientes a los grupos A-1, A-2 y A-3, están constituidos de materiales granulares, donde el 35% o menos de las partículas pasan por la malla No. 200. Los suelos de los que más del 35% pasan por la malla No. 200 son clasificados en los grupos A-4, A-5, A-6 y en el grupo A-7. La mayor parte de suelos están formados por limos y arcillas. El sistema de clasificación se basa en los criterios mostrados en la tabla 22, clasificación de suelos sistema AASHTO.

2.1.11.2 Sistema Unificado de clasificación de suelos (SUCS)

La forma original del sistema fue propuesta por Casagrande en 1942 para usarse en la construcción de aeropuertos emprendida por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército durante la Segunda Guerra Mundial. En

cooperación con la Oficina de Restauración de Estados Unidos, el sistema fue revisado en 1952. (DAS, Principio de ingeniería de cimentaciones, Clasificación de suelos, 2001). Este sistema de clasificación usa los siguientes símbolos de identificación:

Símbolo	Descripción
G	Grava
S	Arena
M	Limo
C	Arcilla
O	Limos Orgánicos y Arcilla
Pt	Turba y suelos altamente orgánicos
H	Alta Plasticidad
L	Baja Plasticidad
W	Bien Graduados
P	Mal Graduados

Tabla 23: Símbolos de identificación de los diferentes tipos de suelos

Fuente: (DAS, Principio de ingeniería de cimentaciones, Clasificación de suelos, 2001)

El Sistema Unificado de Clasificación de suelo SUCS clasifica los suelos en dos categorías:

1. Los Suelos de grano grueso que son las gravas y arenas con menos del 50% pasante de la malla No. 200.
2. Los suelos de grano fino que son limos y arcillas con 50% o más pasantes de la malla No. 200.

La carta de plasticidad mostrada a continuación se usa para determinar los símbolos de cada grupo para los distintos tipos de suelos.

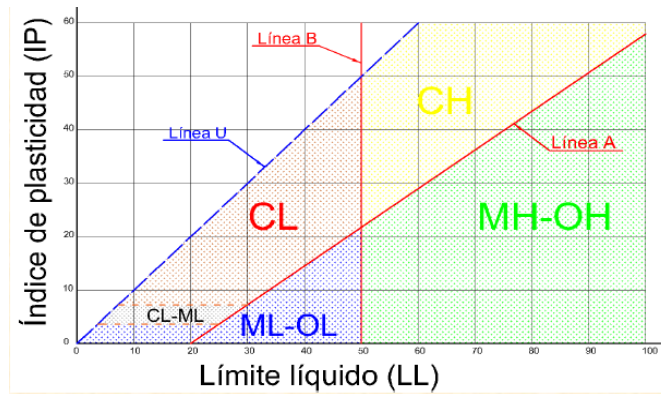


Figura 14: Carta de Plasticidad de Casagrande según ASTM D-2487-93

Fuente: (American Society for Testing and Materials)

Para clasificar un suelo por el Sistema SUCS se debe asignar el nombre del grupo que describe el suelo con el símbolo correspondiente, la tabla 23 muestra los criterios para establecer los nombres de grupos para cada tipo de suelos y están basadas en la designación de la ASTM D-2487.

Tabla 24. Clasificación de suelos sistema AASHTO

Clasificación	Materiales granulares (35% o menos pasa por el tamiz N° 200)							Materiales limoso arcilloso (más del 35% pasa el tamiz N° 200)				
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7	
Grupo:	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5 / A-7-6	
Subgrupo												
Porcentaje que pasa:												
N° 10 (2mm)	50 máx											
N° 40 (0,425mm)	30 máx	50 máx	51 mín									
N° 200 (0,075mm)	15 máx	25 máx	10 máx	35 máx	35 máx	35 máx	35 máx	36 min	36 min	36 min	36 min	
Fracción que pasa por el tamiz N° 40												
Límite líquido				40 máx	41 mín	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín (2)	
Índice de plasticidad	6 máx		NP (1)	10 máx	10 máx	11 mín	11 mín	10 máx	10 máx	11 mín	11 mín	
Constituyentes principales	Fragmentos de roca, grava y arena		Arena fina	Grava y arena arcillosa o limosa				Suelos limosos		Suelos arcillosos		
Características como subgrado	Excelente a bueno							Pobre a malo				
(1): No plástico Subgrupos (A-2): $IG = 0,01*(F_{200}-15)*(IP-10)$						(2): El índice de plasticidad del subgrupo A-7-5 es igual o menor al LL menos 30 El índice de plasticidad del subgrupo A-7-6 es mayor que LL menos 30						

Tabla 25: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)

DIVISIONES MAYORES			SIMBOLO DE GRUPO	NOMBRES TIPICOS	CRITERIOS DE CLASIFICACION PARA SUELOS GRANULARES	
Suelos de grano grueso (más del 50 % del material es mayor en tamaño que el tamiz No 200)	Gravas (más de la mitad de la fracción gruesa es mayor que el tamiz No 4)	Gravas Limpias (poco o ningún fino)	GW	Gravas bien gradadas, mezclas gravosas, poco o ningún fino	Cu > 4 1 < Cc < 3	
			GP	Gravas pobremente gradadas, mezclas grava-arena, pocos o ningún fino	No cumple todos los requisitos de gradación para GW	
		Gravas con finos (cantidad apreciable de finos)	GM	Gravas limosas, mezcla grava-arena-limo	Límites de Atteberg por debajo de la línea A o Ip < 4	A los materiales sobre la línea A con 4 < Ip < 7 se considera de frontera y se les asigna doble símbolo
			GC	Gravas arcillosas, mezcla gravo-arena-arcillosas	Límites de Atteberg por encima de la línea A o Ip > 7	
	Arenas (más de la mitad de la fracción gruesa es menor que el tamiz No 4)	Arenas Limpias (poco o ningún fino)	SW	Arenas bien gradadas, arenas gravosas, pocos o ningún fino	Cu > 6 1 < Cc < 3	
			SP	Arenas pobremente gradadas, arenas gravosas, pocos o ningún fino	No cumple todos los requisitos de gradación para SW	
		Arenas con finos (cantidad apreciable de finos)	SM	Arenas limosas mezcla de arena-limo	Límites de Atteberg por debajo de la línea A o Ip < 4	Si el material 4 < Ip < 7 se considera de frontera y se les asigna doble símbolo
			SC	Arenas arcillosas, mezclas arena-arcilla	Límites de Atteberg por encima de la línea A o Ip > 7	
Suelos de grano fino (más del 50 % del material pasa el tamiz No 200)	limos y arcillas (Límite líquido wl<50)		ML	Limos inorgánicos y arena muy finas, arenas finas limosas o arcillosas, o limos arcillosos con poca plasticidad	1, Determinar el porcentaje de arenas y gravas de la curva granulométrica. 2, Dependiendo del porcentaje de fino (fracción menor que el tamiz No 200 los suelos gruesos se clasifican como sigue: Menos del 5% - GW, GP, SW, SP Mas del 12 % - GM, GC, SM, SC De 5 a 12 % - casos frontera que requieren doble símbolo	
			CL	Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas gravosas, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas magras.		
			OL	Limos orgánicos, arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad		
	limos y arcillas (Límite líquido wl>50)		MH	Limos inorgánicos, suelos limosos o arenosos finos micáceos o diatomáceos, suelos elásticos.		
			CH	Arcillas orgánicas de alta plasticidad, arcillas grasas.		
			OH	Arcillas orgánicas de plasticidad media a alta, limos orgánicos		
	Suelos Altamente orgánicos		Pt	Turba u otros suelos altamente orgánicos		

2.1.12 Ensayos de laboratorio

2.1.12.1 Granulometría

Es un procedimiento mecánico o manual que consiste en separar las partículas que constituyen el agregado según su tamaño, se determina por el ensayo de tamices de malla de alambre con aberturas cuadradas según la norma ASTM C-136, los siete tamices estándar (ASTM C-33) con diámetros diferentes se colocan en forma de columna, ubicando el de mayor abertura en la parte superior.

Como resultado del ensayo de tamices se obtiene la curva granulométrica, la cual se realiza tomando en cuenta el peso total y el peso retenido en cada tamiz, la gráfica del análisis granulométrico representa el porcentaje de cada intervalo de tamaños de suelo que pasa por los diferentes tamices.

Procedimiento de Cálculos

Se debe calcular los porcentajes pasantes, los porcentajes retenidos totales o porcentajes en fracciones de varios tamaños con una aproximación de 0,1% sobre la base de la masa total de la muestra seca inicial. Si la misma muestra fue ensayada previamente por el método de la NTE INEN 697, incluye en el cálculo del análisis por tamizado, la masa del material más fino que el tamiz No. 200 determinada por lavado, utilizando la masa seca total de la muestra antes del lavado como base para el cálculo de todos los porcentajes (INEN N. , 2011).

2.1.12.2 Contenido de humedad

Este ensayo consiste en determinar la humedad de una muestra de suelo, el contenido de humedad representa el porcentaje de la relación entre la

masa libre de una muestra y la masa de las partículas sólidas. Para el cálculo del contenido de humedad se siguen los procedimientos establecidos en las Normas ASTM D-2216 o AASHTO 265.

Los métodos utilizados para determinar el contenido de humedad son:

- Métodos Directos
- Métodos de Laboratorio
- Métodos Geofísicos
- Métodos de Percepción Remota

2.1.12.3 Límites de Atterberg

Son utilizados para determinar el comportamiento de los suelos finos. Los límites establecen el concepto de que en un suelo fino existen cuatro estados de consistencia dependientes de la humedad presente, así, el suelo permanece en estado sólido cuando está seco, sin embargo, al aumentar progresivamente la cantidad de agua pasará a los estados semisólido, plástico y posteriormente líquido.

Los puntos donde el suelo se encuentra en transición de un estado a otro debido al cambio de su contenido de humedad son denominados límites de Atterberg.

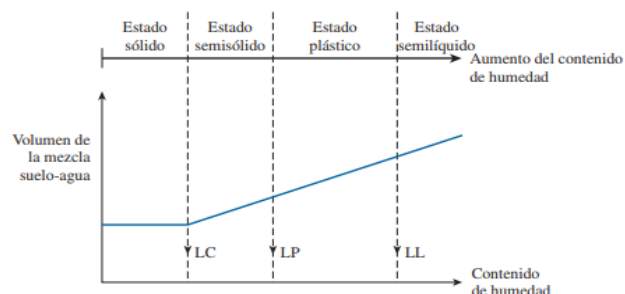


Figura 15. Definición de los límites de Atterberg

Fuente: Fundamentos de ingeniería de Cimentaciones, Braja M. Das

Según (DAS, 2001), El límite líquido de un suelo se determina utilizando la copa de Casagrande (designación de prueba D-4318 de la ASTM) y se define como el contenido de humedad en el que se cierra una ranura de 12.7 mm mediante 25 golpes. El límite plástico se define como el contenido de humedad en el que el suelo se agrieta al formar un rollito de 3.18 mm de diámetro (designación de prueba D-4318 de la ASTM).

El límite de contracción se define como el contenido de humedad en el que el suelo no experimenta ningún cambio adicional en su volumen con la pérdida de humedad (designación de prueba D-427 de la ASTM). La diferencia entre el límite líquido y el límite plástico se define como el índice de plasticidad (IP).

2.1.12.4 Compactación Proctor

El ensayo de compactación Proctor tiene gran relevancia en la construcción ingenieril de vías, su importancia radica en el control de la compactación de los suelos, con este ensayo se puede determinar la densidad seca máxima y la humedad óptima del suelo, mediante la aplicación de una energía de compactación determinada.

Existen 2 tipos de ensayos de compactación Proctor:

- Ensayo de Proctor Estándar
- Ensayo de Proctor Modificado
-

La diferencia básica entre el ensayo Proctor Estándar y el Modificado es la energía de compactación que se aplica. En el Estándar se deja caer un peso de 2.5 kg a una altura libre de 12 pulgadas, compactando la muestra de suelo en 3 capas con 25 golpes, mientras que, en el Proctor Modificado,

se deja caer un peso de 4.54 kg a una altura libre de 18 pulgadas, compactando la muestra en 5 capas con 50 golpes.

Las normativas que se deben seguir, para realizar estos ensayos son: ASTM D-698 para el ensayo Proctor estándar y la ASTM D-1557 para el ensayo Proctor modificado.

2.1.12.5 Capacidad de soporte del suelo (CBR)

El CBR es un ensayo que se realiza para determinar la calidad de una muestra de suelo en función de su resistencia, y se la mide a través de una prueba de placa a escala. El Ensayo CBR (California Bearing Ratio: Ensayo de Relación de Soporte de California) mide la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo y se utiliza para poder evaluar la calidad del terreno de subrasante, sub base y base de pavimentos, se efectúa bajo condiciones controladas de humedad y densidad. (ASTM, 2007).

Según la norma ASTM D 1883-07, el CBR es un ensayo de carga que usa un pistón metálico, de 0.5 pulgadas cuadradas de área, para penetrar desde la superficie de un suelo compactado en un molde metálico a una velocidad constante de penetración. Se define al CBR, como la relación entre la carga unitaria en el pistón requerida para penetrar 0.1" (2.54 mm) y 0.2" (5.08 mm) en el suelo ensayado, y la carga unitaria requerida para penetrar la misma cantidad en una piedra picada bien gradada estándar; esta relación se expresa en porcentaje.

2.1.12.6 Módulo de resiliencia

El módulo resiliente es el parámetro utilizado con el fin de representar las propiedades de los suelos de la subrasante en el diseño de pavimentos flexibles. Para determinarlo, la guía recomienda realizar el ensayo AASHTO

T-274, sobre una muestra representativa, la cual estará sometida a una carga de duración definida bajo determinadas condiciones de esfuerzo y humedad.

Normalmente, resulta complicado realizar el ensayo de módulo resiliente puesto que se requiere de un equipo de laboratorio especial, el cual está constituido por una cámara triaxial para ensayos cíclicos, un marco de carga con un actuador dinámico servo controlado que sirve para producir una onda sinusoidal media en un período y frecuencia determinados; un panel de control y de mediciones de presiones de cámara, de poros y efectiva, y una unidad de adquisición de datos con software de procesamiento. En este sentido, la “Guía de diseño AASTHO 93” ha propuesto correlaciones que determinan el Módulo de Resiliencia (MR) a partir de ensayos de CBR. (Herrera Montealegre, 2014).

2.1.12.7 Correlaciones para obtener valores típicos del MR

Además, de las fórmulas empíricas mostradas en el apartado 2.2.3.4 de este trabajo de investigación que correlacionan al Mr con el valor de CBR, la tabla mostrada a continuación proporciona valores típicos de módulo de resiliencia y diferentes características, para otros tipos de suelos granulares que se utilizan en la construcción de pavimentos.

Tipo de suelo AASHTO	Descripción	SUCS	γ_d (kN/m ³)	VRS %	Valor K (MPa/m)	Módulo resiliente (MPa)
Suelos de grano grueso						
A-1-a, bien graduado	Grava	GW, GP	19.6-22	60 - 80	81.44-122.16	70.37-140.74
A-1-a, mal graduado			18.9-20.4	35 - 60	81.44-108.58	70.37-140.74
A-1-b	Arena gruesa	SW	17.3-20.4	20 - 40	54.29-108.58	42.23-105.55
A-3	Arena fina	SP	16.5-18.9	15 - 25	40.72-81.44	35.18-14.07
Suelos A-2 (materiales granulares con alto porcentaje de finos)						
A-2-4 gravosa	Grava limosa	GM	20.422.8	40 - 80	81.44-135.73	70.37-211.11
A-2-5, gravosa	Grava arenosa limosa					
A-2-4, arenosa	Arena limosa	SM	18.9-21.2	20 - 40	81.44-108.58	70.37-140.74
A-2-5, arenosa	Arena limosa con grava					
A-2-6 gravosa	Grava arcillosa	GC	18.9-22.0	20 - 40	54.29-122.16	56.29-140.74
A-2-7 gravosa	Grava arcillosa con arena					
A-2-6 arenosa	Arena arcillosa	SC	16.5-20.4	10 - 20	40.72-95.00	35.18-105.55
A-2-7 arenosa	Arena arcillosa con grava					

Tabla 26. Valores de Módulo de Resiliencia y otras Características de materiales para pavimentación.

Fuente: Tabla 3-4, pág 98 (Gómez , Sesma, & Garnica, 2002)

En la Tabla 25, se proporcionan valores típicos del módulo de resiliencia para diversos tipos de suelos cohesivos susceptibles que son comúnmente utilizados en la construcción de pavimentos.

Tipo de suelo AASHTO	Descripción	SUCS	γ_d (kN/m ³)	VRS %	Valor K (MPa/m)	Módulo resiliente (MPa)
Suelos de grano fino *						
A-4	Limo	ML, OL	14.1-16.5	4 – 8	6.79-44.79	14.07-42.22
	Grava-arena-limo		15.7-19.6	5 – 15	10.86-59.72	28.14-56.29
A-5	Limo alta compresibilidad	MH	12.6-15.7	4-8	6.79-51.58	14.07-42.22
A-6	Arcilla plástica	CL	15.7-19.6	5-15	6.79-69.22	14.07-70.37
A-7-5	Arcilla baja compresibilidad	CL, OL	14.1-19.6	4-15	6.79-58.36	14.07-70.37
A-7-6	Arcilla alta compresibilidad	CH, OH	12.6-17.3	3-5	10.86-59.73	28.14-70.37

Tabla 27. Valores del módulo de resiliencia y otras Características de suelos cohesivos para pavimentación

Fuente: Tabla 2-8, pág 71 (Gómez , Sesma, & Garnica, 2002)

2.1.12.8 Estabilidad Marshall

El procedimiento consiste en la fabricación de probetas cilíndricas de 101.6 mm (4") de diámetro y 63.5 mm (2½") de altura, rompiéndolas posteriormente en la prensa Marshall y determinando su estabilidad y deformación. El procedimiento se inicia con la preparación de probetas de ensayo, para el cual los materiales propuestos deben cumplir con las especificaciones de granulometría y demás, fijadas para el proyecto. Además, se deberá determinar previamente la gravedad específica Bulk de los agregados, así como la gravedad específica del asfalto, y se deberá efectuar un análisis de Densidad Vacíos de las probetas compactadas. (INVIAS, 2012).

2.1.12.9 Gravedad específica bulk

Se define como la relación entre la masa (peso en el aire) de un volumen dado de material a una temperatura de 25°C para mezclas asfálticas, y la

masa de un volumen igual con agua destilada, que sea libre de gas, y ensayadas a la misma temperatura. Su importancia radica en que permite calcular el porcentaje de vacíos del aire y la masa unitaria de mezclas asfálticas densas compactadas, valores que se pueden usar para determinar el grado relativo de compactación.

$$\textit{Gravedad Específica Bulk} = \frac{A}{B - C}$$

A = Masa del espécimen seco en el aire

B = Masa en el aire del espécimen saturado y superficie seca

C = Masa del espécimen en agua

B – C = masa del volumen de agua correspondiente al volumen del espécimen a 25°C.

2.1.12.10 Equivalente de arena de suelos y agregados finos ASTM D-2419.

Este ensayo tiene por objeto determinar la proporción relativa del contenido de polvo fino nocivo, o material arcilloso, en los suelos o agregados finos. Es un procedimiento que se puede utilizar para lograr una correlación rápida en campo. (INVIAS, Equivalente de Arena De Suelos y Agregados Finos, 2012). A un volumen determinado de suelo o agregado fino se le adiciona una pequeña cantidad de solución floculante, mezclándolos en un cilindro de plástico graduado y agitándolos para que las partículas de arena pierdan la cobertura arcillosa. La muestra es entonces "irrigada", usando una cantidad adicional de solución floculante, para forzar el material arcilloso a quedar en suspensión encima de la arena. Después de un período de sedimentación, se determinan las alturas de la arcilla floculada y de la arena en el cilindro. El "equivalente de arena" es la relación entre la altura de arena y la altura de arcilla, expresada en porcentaje. (INVIAS, Equivalente de Arena De Suelos y Agregados Finos, 2012).

CAPÍTULO III

DESCRIPCIÓN DEL SITIO DE ESTUDIO

3.1 Localización

El barrio Nueva Jerusalén del Sector 85 Velasco Ibarra, tiene una superficie aproximada de 1.16 km^2 , se encuentra ubicado en el cantón La Libertad, provincia de Santa Elena, en las coordenadas: Este (510102), Norte (9751010).



Figura 16. Ubicación del sitio de estudio

Fuente: Google Earth Pro-2018, modificado por los autores

Geográficamente, limita al Norte con el sector el Sinaí, al Este con la línea de poliducto Ancón-La Libertad, al Sur y Oeste con la parroquia José Luis Tamayo. Cabe recalcar que existen viviendas en la parte inferior izquierda colindantes al sector, pero, se encuentran catalogadas como invasiones.

3.2 Características topográficas

Topográficamente el sector cuenta con elevaciones regulares en toda su extensión, siendo la cota más alta, 26 msm y la menor cota de 6 msm, el desnivel está orientado desde la parte Noreste al Sureste.

Los datos del párrafo anterior fueron obtenidos por medio de la utilización en conjunto de diferentes softwares como: Google Earth Pro, Global Mapper V17, Autocad Civil 3D 2017.

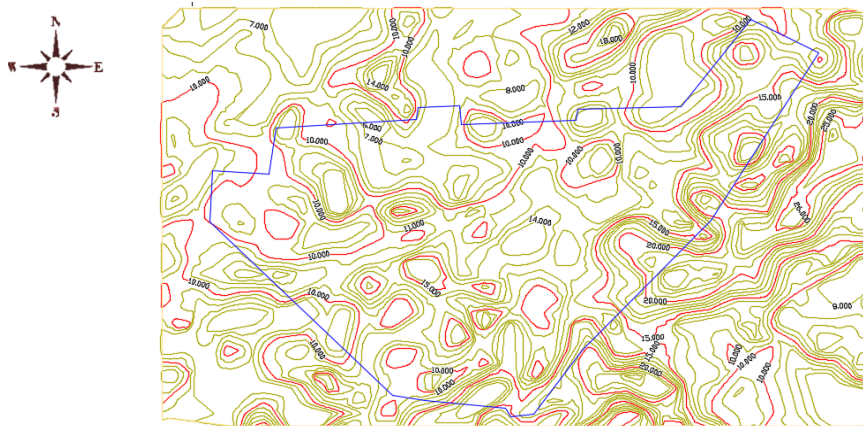


Figura 17. Planta topográfica de terreno natural.

Fuente: Elaborada por los autores.

3.3 Riesgos de la comunidad

3.3.1 Inundaciones

El 80% de la superficie del barrio Velasco Ibarra se encuentra caracterizado como zona con probabilidad de inundación alta según el departamento de gestión de riesgos del cantón.



Figura 18. Zona con probabilidad de inundación

Fuente: Gestión de riesgos, GAD La Libertad, 2018

La principal causa de inundaciones ocurridas en los últimos 45 años ha sido a causa de fenómeno del Niño de los años 1965, 1992, 1997–1998, dejando miles de damnificados, varias víctimas mortales y ciudades incomunicadas a causa del temporal, el cantón La Libertad fue parte de las zonas inundadas por precipitaciones extremas.

La temporada de lluvias en el cantón La Libertad es de aproximadamente 2 meses, siendo los meses de febrero y marzo los de mayor intensidad con precipitaciones promedio de 126 mm, la mitad del año restante, las lluvias son casi nulas, acumulando un promedio total de 1 mm.

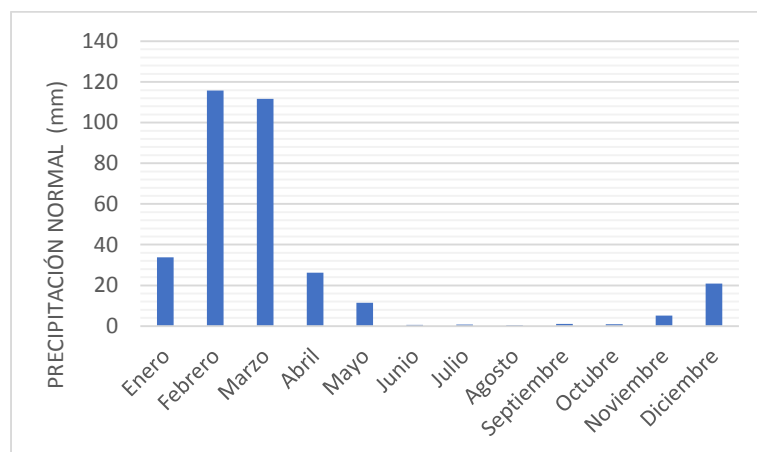


Figura 19. Precipitación promedio (1981-2010) en La Libertad

Fuente: INOCAR, red de estaciones meteorológicas

3.3.2 Sismicidad

De acuerdo con la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC, 2014), el territorio litoral del país tiene una amenaza sísmica muy alta, por tanto, el sector Velasco Ibarra se encuentra catalogado como zona sísmica VI, con un valor de $Z \geq 0.5$.

ZONA SISMICA	I	II	III	IV	V	VI
Valor factor Z	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	> 0,50
Caracterización del peligro sísmico.	Intermedia	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy alta
NOTA: Peligro sísmico para un 10% de excedencia en 50 años (periodo de retorno 475 años)						

Tabla 28: Valores del factor z en función de la zona sísmica adoptada

Fuente: Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC, 2014, pág. 28)

Los sismos que liberan gran cantidad de energía no siempre forman tsunamis, la mayoría se genera por terremotos submarinos, por ejemplo, el 2 de octubre de 1933 se generó un sismo frente al cantón La Libertad con una intensidad de 6.9, originando un tsunami con amplitudes de 2 a 2.5 metros que produjeron una inundación al arribo a las costas.

3.4 Detalles del material a utilizar como estabilizante

3.4.1 Localización de las arenas asfálticas

Las arenas bituminosas conocidas como “Tierra Brea”, se encuentran en diferentes sectores petrolíferos de la península de Santa Elena. En décadas pasadas, las compañías petroleras que operaron en la península utilizaron la tierra brea como “carpeta asfáltica” para las vías de ingreso a los pozos de petróleo.

La Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), en base a interpretaciones geofísicas y sondeos superficiales, ha cuantificado este

recurso y sus reservas, como se observa en la tabla mostrada a continuación.

Campo	Santa Paula	Petrópolis
Ubicación	4 km al sur de La Libertad	Salinas
Superficie	50.400 m ²	36.000 m ²
Espesor promedio	3,76 m	10,65 m
Volumen aproximado	200.000 m ³	400.000 m ³
Profundidad media de yacencia (sobrecarga)	1,27 m	2,13 m

Tabla 29. Reservas estimadas de arenas asfálticas en la península de Santa Elena

Fuente: (Nuñez D. , 2003)

Como se puede apreciar las reservas estimadas de arenas asfálticas en la península de Santa Elena, son de aproximadamente 600.000 m³. Sin embargo, en la actualidad la explotación del material no se realiza, debido a los diferentes asentamientos humanos, que se han ido construyendo sobre estas áreas en los últimos años.



Figura 20. Localización de arenas asfálticas

Fuente: Google Earth Pro-2018, modificado por los autores

Las arenas asfálticas utilizadas en este proyecto de investigación se encuentran ubicadas colindantes al pozo de petróleo SPA0039

perteneciente a la empresa Pacifpetrol S.A a 876 metros del barrio Velasco Ibarra en el cantón La Libertad.

3.5 Condiciones viales del sector

El cantón La Libertad cuenta con alrededor de 307,9 km de caminos, la Tabla 27 muestra la cantidad lineal de vía por tipo y el porcentaje con respecto a la composición de su red vial total, se puede evidenciar que los caminos que se encuentran en terreno natural y lastrados alcanzan el 45,5% de las vías del cantón, siendo este porcentaje menor al 48,1% de vías en asfalto.

TIPO	LONGITUD (km)	%
Asfalto	148,08	48,1
Lastrado	93,28	30,3
Doble Riego	16,93	5,5
Terreno Natural	46,8	15,2
Adoquín Vehicular	2,77	0,9
TOTAL	307,87	100

Tabla 30. *Inventario vial del Cantón La Libertad, 2017*

Fuente: GAD La Libertad

El sector Velasco Ibarra cuenta con aproximadamente 22,46 km de vías, de los cuales el 21,3% cuenta con material asfáltico como capa de rodadura, sin embargo, 78,7% se encuentra en terreno natural o con algún tipo de material de mejoramiento que no cumple con las características necesarias para prestar las garantías de accesibilidad al sitio en época invernal.

La figura 21 muestra la red vial del sector denotándose de colores: azul, para las vías que cuentan con material asfáltico en condiciones aceptables, verde las que tienen algún tipo de material bituminoso con mejoramiento y amarillo, las vías de terreno natural como capa de rodadura.

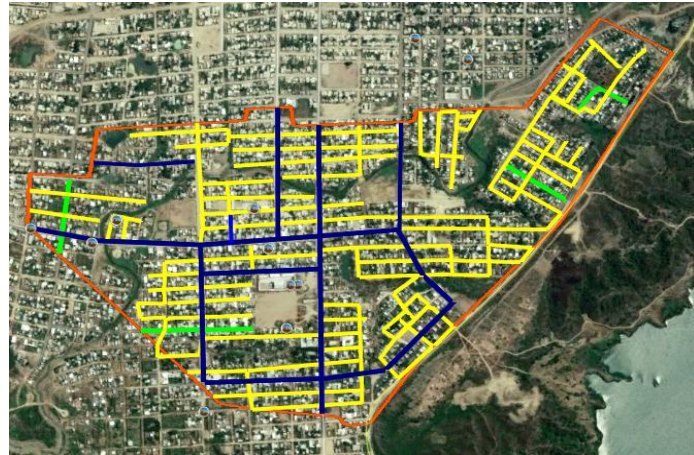


Figura 21. Condiciones viales del sector

Fuente: Google Earth Pro-2018, modificado por los autores

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Los ensayos de laboratorio descritos a continuación se efectuaron siguiendo las normas internacionales AASHTO, ASTM y las normas ecuatorianas MTOP y NTE INEN, fueron realizados en el laboratorio de Suelos de la Universidad Estatal Península de Santa Elena.

4.1 Recolección de datos

4.1.1 Origen de la Muestra

4.1.1.1 Suelo de Subrasante

Las muestras de suelo de subrasante denominadas calicata 1 y calicata 2 del presente estudio de investigación, concuerdan con la clasificación A-1 b de la AASHTO y fueron tomadas del barrio nueva Jerusalén, sector Velazco Ibarra del Cantón La Libertad, con coordenadas: Este (509468), Sur (9751021) y Este (509452), Sur (9750781) respectivamente.



Figura 22: Suelo de subrasante Calicata 1 (profundidad 1m)
Fuente: Elaborada por los autores



Figura 23: Calicata 1
Fuente: Elaborada por los autores



**UNIVERSIDAD ESTADAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**



PROYECTO: Estabilización o mejoramiento de la capacidad portante de los suelos de subrasante de carreteras utilizando diferentes proporciones de arenas asfálticas de yacimientos naturales de la península de Santa Elena.

LOCALIZACIÓN: Velasco Ibarra- La Libertad- Santa Elena

TESISTAS: Kleber Borbor Gabino
Liliana Collantes Piguave

TUTOR: Ing. Nelson Álvarez Sánchez

MUESTRA: TERRENO NATURAL

RESULTADOS DE ENSAYO DE LABORATORIO

DESCRIPCIÓN	ESTRATIGRAFIA	MUESTRA CALICATA 1		CLASIFICACIÓN		W	WL	Wp	IP	Proctor		Granulometría				CBR	Propiedades indice				AASHTO	Correlacion
				SUCS	AASHTO					Ys	Wopt	#4	#10	#40	#200		IL	IG	CR	Cc		
		#	PROF			%	%	%	%													
Suelo de partículas gruesas con finos		1	1,00	SM-SC	A1-b	16,22				1604	11,5	84,27	71,48	44,5	21,93	23,34						

DESCRIPCIÓN	ESTRATIGRAFIA	MUESTRA CALICATA 2		CLASIFICACIÓN		W	WL	Wp	IP	Proctor		Granulometría				CBR	Propiedades indice				AASHTO	Correlacion
				SUCS	AASHTO					Ys	Wopt	#4	#10	#40	#200		IL	IG	CR	Cc		
		#	PROF			%	%	%	%													
Suelo de partículas gruesas con finos		1	0-0,60	SM-SC	A1-b	7,44				1630	11,45	89,08	72,39	49,89	18,32	24,5						
Suelo de partículas gruesas con finos		1	0,6-1,2	SM-SC	A1-b	10,36				1618	13,90	85,93	70,15	44,56	17,98	22,8						

LABORATORISTAS	REVISADO	FECHA DE TOMA DE MUESTRAS	
Kleber Borbor Gabino Liliana Collantes Piguave	Ing. Lucrecia Moreno	28/01/2019	

4.1.1.2 Arenas Asfálticas

Las Arenas asfálticas fueron extraídas a 4 metros de profundidad en las minas de Achayán, cerca del pozo SPA 0039 de la empresa Pacifpetrol de la provincia de Santa Elena, las coordenadas son: Este (509336.12) y Sur (9750613.48).



Figura 24: Arenas asfálticas- minas de Achayán
Fuente: Elaborada por los autores



Figura 25: Arenas asfálticas a 4 metros de profundidad
Fuente: Elaborada por los autores.



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**



PROYECTO: Estabilización o mejoramiento de la capacidad portante de los suelos de subrasante de carreteras utilizando diferentes proporciones de arenas asfálticas de yacimientos naturales de la península de Santa Elena.

LOCALIZACIÓN: Velasco Ibarra- La Libertad- Santa Elena

TESISTAS: Kleber Borbor Gabino
Liliana Collantes Piguave

TUTOR: Ing. Nelson Álvarez Sánchez

MUESTRA: TERRENO NATURAL

RESULTADOS DE ENSAYO DE LABORATORIO

DESCRIPCIÓN	ESTRATIGRAFIA	MUESTRA ARENA ASFALTICA		CLASIFICACIÓN		W	WL	Wp	IP	Proctor		Granulometría				CBR	Propiedades indice				AASHTO	Correlacion
				SUCS	AASHTO					Y _s	Wopt	#4	#10	#40	#200		IL	IG	CR	Cc		
		#	PROF			%	%	%	%													
Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, de color negro por el contenido de bitumen		1	4-5	CL	A-6	7,13	21,5	5,68	15,82	1818	7,15	89,22	80,75	72,91	50,04	9,56	0,092	3,66	0,91	0,1035	1,36	0,17

<p>Indice de grupo $IG = (F-35) * (0.2 + 0.005 * (LL - 40)) + 0.01 * (F-15) * (IP - 10)$ siendo: F = % que pasa el tamiz ASTM N° 200 A-2-6 y A-2-7 $IG = 0,01(F-15) * (IP-10)$</p>	<p>El índice de liquidez es indicativo de la historia de los esfuerzos a la que ha estado sometido el suelo.</p> $IL = \frac{(W - Wp)}{IP}$ <p>donde: IL = 0, el suelo estará consolidado (OC) $0.7 \leq IL \leq 1$, el suelo estará normalmente consolidado (NC) IL > 1, el suelo es sensitivo</p> <p>Correlación: $(S_u / \sigma'_{vo})_{NC} = 0.11 + 0.0037 * IP$ (%)</p> <p>suelos normalmente consolidados, OCR = 1</p>	<p>NC - normally consolidated LOC - lightly overconsolidated HOC - heavily overconsolidated OCR - overconsolidation ratio = $\bar{\sigma}_p / \bar{\sigma}_{vo}$ $\bar{\sigma}_p$ - maximum vertical effective stress in soil during its geologic history $\bar{\sigma}_{vo}$ - vertical effective stress in-situ $\bar{\sigma}_{ho}$ - horizontal effective stress in-situ K_o - in-situ coefficient of horizontal soil stress = $\bar{\sigma}_{ho} / \bar{\sigma}_{vo}$</p>	<p>Terzaghi & Peck, 1967</p> $CC = 0.009 * (LL - 10)$ La compresibilidad de los suelos puede expresarse: Baja: Cc de 0.00 a 0.19 Media Cc de 0.20 a 0.39 Alta Cc de 0.40 a más <p>Consistencia Relativa (C.R.)</p> <p>C.R. entre 0.00 a 0.25 Suelo Muy Suave C.R. entre 0.25 a 0.50 Suelo Suave C.R. entre 0.50 a 0.75 Consistencia Media C.R. entre 0.75 a 1.00 Consistencia Rígida LL > 50% Se puede decir que la arcilla es expansiva $\frac{6}{(LL/PL) < 2.5}$ Tipo de suelo: CH A-7-6 SUCS AASHTO</p>
---	---	--	--

LABORATORISTAS	REVISADO	FECHA DE TOMA DE MUESTRAS		
Kleber Borbor Gabino Liliana Collantes Piguave	Ing. Lucrecia Moreno	28/01/2019		

4.2 Proporciones de muestras para ensayos

Los diferentes ensayos se realizarán con las proporciones de arena asfáltica y suelo de subrasante de la calicata 1 puesto que, esta posee características similares a la calicata 2, la siguiente tabla describe las proporciones a utilizar:

Porcentaje de Arena Asfáltica	Porcentaje de Suelo de Subrasante (Calicata 1)
0	100
10	90
20	80
30	70
40	60
50	50
70	30
100	0

Tabla 31: Proporciones de muestras de suelo para ensayo – mezclas.

Fuente: Elaborada por los autores

4.3 Composición de arenas asfálticas

La composición de las arenas asfálticas provenientes de yacimientos naturales de la provincia de Santa Elena se determina mediante los ensayos de:

- Extracción cuantitativa del asfalto en mezclas en caliente para pavimentos (para determinar la cantidad de bitumen).
- Distribución granulométrica de arenas Asfálticas (para calcular la cantidad de agregados gruesos y finos)
- Contenido de humedad

Tamaño Nominal Máximo del Agregado		Masa Mínima de la Muestra
mm	Pul	Kg
4.75	No.4	0.5
9.5	3/8"	1.0
12.5	1/2"	1.5
19.0	1/4"	2.0
25.0	1"	3.0
37.5	1-1/2"	4.0

Tabla 32: Composición de arenas asfálticas Achayán.

Fuente: Elaborada por los autores

4.4 Extracción de bitumen

Preparación de especímenes de ensayo

La cantidad de muestra para el ensayo se determina según el tamaño máximo nominal del agregado en la mezcla, de acuerdo con la siguiente tabla:

componente	Peso	Porcentaje
Grueso	601,80	40,00%
Finos	752,14	50,04%
Agua	107,01	7,13%
Bitumen	42,20	2,81%
Total	1500,00	100,0%

Tabla 33: Tamaños de la muestra

Fuente: (I.N.V.E, 2012)

Para realizar la extracción de bitumen de las arenas asfálticas, se tomó una muestra de suelo de 1500 gramos, cuando no es suficientemente blanda

para separarla con una espátula, se la coloca en una fuente y se calienta en el horno a 110 ± 5 °C, hasta que se pueda disgregar.



Figura 26: Ensayo de extracción de bitumen de arenas asfálticas

Fuente: Elaborada por los autores

Materiales y Equipos

- Horno
- Aparato de Extracción
- Anillos Filtrantes
- Balanza
- Recipiente plano
- Placa eléctrica de calentamiento
- Cápsulas
- Cilindros graduados de 2000 ml de capacidad
- Desecador
- Reactivos (Gasolina)

Reactivos

- Gasolina

Se deberán utilizar productos químicos de grado reactivo en todos los ensayos, se pueden usar otros grados si se demuestra que el reactivo tiene

la suficiente pureza para permitir su uso y sin perder exactitud cuándo se determine el contenido del asfalto. (I.N.V.E, 2012).

Procedimiento de ensayo

1. Se determina el contenido de humedad de la muestra de suelo
2. Se coloca en la taza la fracción de suelo seleccionada de 650 a 2500gramos.
3. Se cubre la porción de ensayo con gasolina, tricloroetileno, cloruro de metileno, se tiene que dejar durante un lapso suficiente para que el disolvente desintegre la porción del ensayo.
4. Se coloca la tasa con la porción de ensayo y el solvente ubicado en el aparato de extracción
5. Se seca y pesa el anillo filtrante, y se ajusta alrededor del borde de la taza, se sujeta la tapa a la taza con las abrazaderas
6. Se ubica un recipiente para recoger el desagüe y el extracto
7. Se inicia la centrifugación girando lentamente y aumentando de manera gradual la velocidad, hasta un máximo de 3600rpm o hasta que deje de fluir el solvente por el desagüe, posteriormente se detiene la máquina y se le agrega otra cantidad de solvente, hasta que el extracto no sea más oscuro.
8. Se recoge el extracto y el material obtenido tras el lavado
9. Posteriormente, se retira de la taza el anillo y filtro y se deja secar a temperatura ambiente.
10. Se transfieren todo el agregado y el anillo filtrante de la taza de la centrífuga a un recipiente metálico previamente pesado. Se seca a temperatura ambiente una campana hasta que se disipen los vapores y luego en un horno a 110°C, hasta masa constante.

Cálculo de contenido de asfalto o bitumen de las arenas asfálticas

El contenido de asfalto se determina mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Contenido de asfalto, \%} = \frac{(W_1 - W_2) - (W_3 - W_4)}{(W_1 - W_2)}$$

Dónde:

w_1 : Masa de la porción de ensayo

w_2 : Masa del agua en la porción de ensayo

w_3 : Masa del agregado mineral extraído

w_4 : Masa de la materia mineral en el extracto

Procedimiento de cálculo

w_1 : 1500 gr.

w_2 : 7,14%

w_3 : 1353,79

w_4 : Masa de la materia mineral en el extracto: 0

$$\text{Contenido de asfalto, \%} = \frac{(1500 - (7,14\% \times 1500)) - (1353,79)}{1500 - (1500 \times 7,14\%)}$$

$$\text{Contenido de asfalto, \%} = \frac{1392,9 - 1353,79}{1500 - 107,1}$$

$$\text{Contenido de asfalto, \%} = \frac{39,11}{1392,9}$$

$$\text{Contenido de asfalto, \%} = 0,028078 \times 100$$

$$\text{Contenido de asfalto, \%} = \mathbf{2,81\%}$$

El bitumen de las arenas asfálticas estudiadas es de 2.81% y la

granulometría de extracción (línea azul), conforme a la ASTM D-3515 para un tamaño máximo nominal de agregado de 4.75 mm, se muestra a continuación:

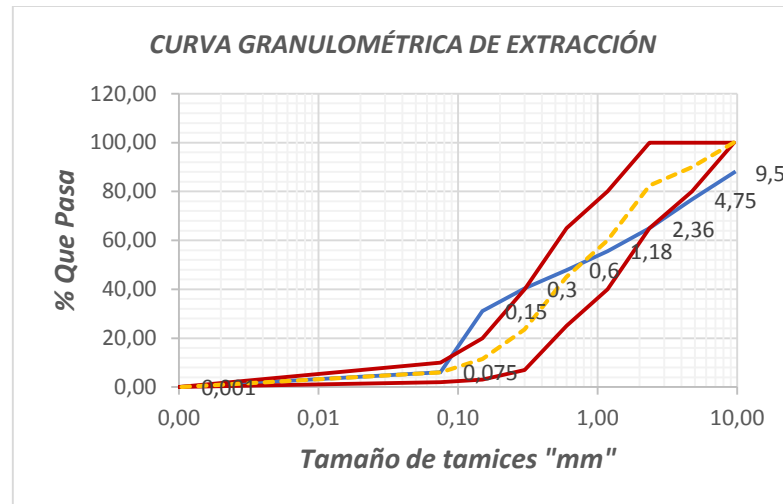


Figura 27. Granulometría de extracción, arenas asfálticas

Fuente: Elaborada por los autores

4.5 Clasificación de las arenas asfálticas

Para caracterizar las arenas asfálticas se utilizó la clasificación de los suelos por el método AASHTO mostrado en la Tabla 22, para ello se realiza el ensayo de granulometría y de límites de Atterberg de las muestras tomadas mediante la realización de calicatas en el área de estudio de la presente investigación.

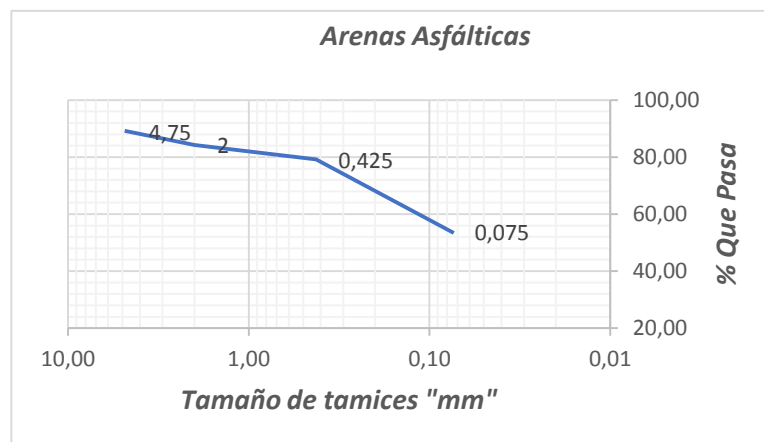


Figura 28. Granulometría de arenas asfálticas

Fuente: Elaborada por los autores

Para clasificar según AASHTO se verifican los porcentajes de suelo que pasa por la malla número 200, 40 y 10, del análisis granulométrico de arenas asfálticas que se muestra a continuación:

TAMICES		PESO	% RETENIDO	% QUE PASA
"mm"	"in"	PARCIAL "gr"		
4,75	No 4	92,81	10,78	89,22
2,00	No 10	72,98	8,47	80,75
0,425	No 40	67,50	7,84	72,91
0,075	No 200	197,00	22,87	50,04
0	FONDO	431,00	50,04	0,00
TOTAL		861,29		

Tabla 34: Análisis granulométrico de las Arenas Asfálticas

Fuente: Elaborada por los autores

Porcentajes de suelo de malla número 200: 50,04% > 35% (material limoso-arcilloso):

- Porcentajes de suelo de malla número 40: 72,91%
- Porcentaje de suelo de la malla número 10: 80,75%

A partir del ensayo de límites de Atterberg se obtuvo la siguiente información:

- Limite liquido 21,50
- Limite plástico 5,68
- Índice de plasticidad 15.82

De acuerdo con los porcentajes retenidos en el análisis granulométrico y con la verificación de los límites de Atterberg en la tabla 22, las arenas

asfálticas pertenecen al grupo **A-6** de la clasificación de suelos establecida por AASHTO y CL en clasificación de suelos SUCS.

4.6 Ensayo de granulometría

(ASTM D 421-78 / AASHTO T 87-70)

El ensayo de granulometría se realiza para determinar la gradación de agregados finos y gruesos, y obtener una distribución de partículas por tamaños. Para el presente trabajo de investigación se realizó la granulometría de los suelos de subrasante (calicata 1 y 2) del sector Velazco Ibarra-cantón La Libertad, además la granulometría de las arenas asfálticas provenientes de yacimientos naturales de las minas de Achayan.

Tamices		No 4	No 10	No 40	No 200
Arena Asfáltica	% Que pasa	89,22	80,75	72,91	50,04
Calicata 1	% Que pasa	84,27	71,48	44,50	21,93
Calicata 2	% Que pasa	89,08	72,39	49,89	18,32

Tabla 35. *Granulometría de suelos*

Fuente: Elaborada por los autores

El procedimiento y equipo utilizado se describe a continuación:

Equipos para el análisis granulométrico

- **Balanza:** debe tener lectura y exactitud de 0,1% de la masa de la muestra de suelo del ensayo.

- **Tamices:** se usará una serie de tamices estandarizados para serie gruesa y fina según la norma ASTM-E11
- **Taras o recipientes:** utilizados para colocar los diferentes tamaños del material.
- **Horno:** debe tener la capacidad de mantener temperatura constante de 110°C
- **Agitador mecánico de tamices:** Dispositivo capaz de realizar movimientos verticales y laterales a los tamices, que hacen que las partículas reboten y caigan.

Procedimiento de ensayo

1. Se obtienen las muestras en campo, para el caso en estudio (calicata 1 y arenas asfálticas) las cuales serán sometidas al respectivo análisis y ensayo granulométrico para determinar la composición del material.
2. Realizar el cuarteo de la muestra, separando en pequeñas porciones de tamaño adecuado, del material dividido se escoge la cuarta parte y se coloca en la báscula para obtener el peso.
3. Tomar una pequeña porción del material a analizar para calcular la humedad que posee, esto se realiza colocando en el horno de secado la muestra a 105°C durante un período de 24 horas.
4. Posteriormente la muestra seleccionada se coloca en los agitadores mecánicos que sean necesarios y adecuados, y además que cubran los tamaños de las partículas del material a ensayarse, para obtener las divisiones de las partículas retenidas en cada tamiz, con las aberturas estandarizadas en la norma AASHTO T-27.
5. Una vez obtenida la separación de partículas se coloca cada fragmento en una báscula con la finalidad de conseguir el peso y registrarlo en la tabla de granulometría, se procederá a sumar cada fragmento donde se obtiene el peso total o equivalente al valor inicial de la masa de la muestra con un pequeño error permisible.

6. De cada muestra de suelo se deberá conseguir partículas de diversas dimensiones las cuales serán ubicadas en el horno de secado donde posteriormente se la retirará en un lapso de 24 horas.
7. Se escoge otra porción con partículas finas que se encuentran retenidas en el fondo, luego de haber pasado por el tamiz 200.
8. Esta pequeña muestra no tiene que contener partículas muy finas por lo que será sometido a un lavado utilizando el tamiz 200 donde se podrá realizar el retiro de estas.
9. Luego de transcurrir 24 horas, las muestras sometidas al horno deben colocarse al ambiente, donde las partículas que contienen elevada temperatura regresaran a su estado natural y se procederá a medir su respectivo peso.
10. Finalmente se define el valor de humedad contenida en cada muestra.

4.7 Límites de Atterberg

4.7.1 Limite Líquido

Norma NTE INEN 691

Este ensayo permite determinar el contenido de agua de una muestra de suelo, en el límite entre su comportamiento líquido y plástico, la muestra es secada en el horno a 60 °C.

se realiza a la fracción de suelo pasante del tamiz No. 40, mediante el dispositivo mecánico conocido como copa de Casagrande, y aplicando determinados números de golpes, para establecer la fluencia del suelo en condiciones normalizadas.



Figura 29: Determinación del límite líquido

Fuente: Elaborada por los autores

Equipo para determinar el límite líquido

- Copa de casagrande
- Acanaladores
- Recipiente de mezclado
- Espátulas
- Botella de Lavado (que contenga agua destilada)
- Balanza
- Tamiz No.40

Calibración del equipo

El dispositivo mecánico debe estar: limpio, seco y en perfectas condiciones a fin de que la copa descienda libremente y no se presente un excesivo juego lateral en su articulación.

Se debe ajustar la altura de caída de la copa del dispositivo mecánico de tal forma que, cuando la copa está localizada a su máxima altura, el calibrador de 10 mm pase justamente entre ésta y la base. El ancho de la punta del acanalador debe ser inferior a 2,50 mm y para aplicarlo en el ensayo es indispensable que esté limpio y seco.

Muestreo

De acuerdo con la norma NTE INEN 691, se debe tomar una muestra de suelo de aproximadamente 250 gramos del material pasante del tamiz No. 40.

Procedimiento de ensayo

1. Para el respectivo análisis se escogieron las muestras de suelo de la subrasante (Calicata 1), de las arenas asfálticas, y de las diferentes proporciones descritas en la tabla 28.
2. De cada muestra y proporción mezclada, se escogieron 300 gramos de la fracción de suelo pasante del tamiz No. 40.
3. Posteriormente, se la añade a la muestra ensayada agua destilada y se la mezcla completamente en el recipiente, con el uso de la espátula, hasta obtener una pasta homogénea y densa que pueda moldearse fácilmente con los dedos
4. Colocar una pequeña porción de esta pasta homogénea en la copa de Casagrande.
5. Nivelar la muestra con la espátula paralelamente a la base, de tal manera que tenga una profundidad de 10 mm en la sección de espesor máximo
6. Pasar el acanalador por el centro de la muestra para realizar una ranura y separarla en dos partes iguales. La mayor profundidad del suelo debe ser igual a la altura de la cabeza del acanalador.
7. Realizar los respectivos golpes de la copa de casa grande hasta que la ranura de la muestra se cierra 12.7mm. Esto se realiza girando la manivela de la copa 2 golpes en un segundo.
8. Cuando la ranura se halla cerrado se procederá a tomar una porción de esta muestra, pesarla y colocarlo al horno durante 24 horas donde

posteriormente se obtendrá el contenido de humedad presente en dicha muestra.

9. Ejecutar este procedimiento mínimo cuatro veces con un contenido de humedad diferente, con estos datos se gráfica de escala logarítmica, representando los contenidos de agua, en la escala aritmética, como abscisas, y el número de golpes, como ordenadas; de esta manera, se determina un punto para cada ensayo realizado. y se obtiene el contenido de humedad cuando se requieran 25 golpes.

Los datos, resultados y gráficas de cada ensayo de límites de Atterberg de las arenas asfálticas, suelos de subrasante y diferentes proporciones ensayadas, se detallan en los numerales del 6 al 15, del anexo B, del presente trabajo de investigación.

4.7.2 Limite Plástico

Norma NTE INEN 692

Este método de ensayo consiste en determinar el contenido de agua de un suelo en el límite entre su comportamiento plástico y sólido, para lo cual, se utiliza el proceso de rolado para evaporar gradualmente el agua hasta que comienza a fisurarse o disgregarse. (INEN N. , determinacion del limite plastico , 1982).

Equipo para determinar el límite plástico

- Recipiente de Mezclado
- Espátula
- Recipiente con agua destilada
- Superficie Lisa para amasado y enrollamiento
- Balanza

- Horno
- Tamiz No.40

Preparación de la muestra

Se toma una muestra de aproximadamente 100 gramos de la fracción del material que pase por el tamiz No. 40 y se realiza el procedimiento de ensayo para cada proporción mostrada en la tabla 28.

Procedimiento de ensayo

1. Mezclar el suelo pasante del tamiz N° 40 con agua destilada hasta formar una masa homogénea y plástica, apta para rolar y determinar el límite plástico de la muestra ensayada.
2. Hacer rolar la masa homogénea deslizándola poco a poco con la palma de la mano y una superficie lisa hasta conseguir pequeños cilindros de 3.2 mm (1/8").
3. Recoger las pequeñas barritas de suelo y colocarlo en un recipiente adecuado donde se obtendrá la masa correspondiente y el contenido de humedad que posee.
4. Una vez obtenido el peso, se debe introducir al horno durante 24 horas hasta que la muestra húmeda se seque por completo para calcular el contenido de humedad que posee dicha muestra.

Procedimiento de cálculos del límite plástico

El Límite plástico se expresa como el porcentaje del promedio de las humedades de ambas determinaciones:

$$LP = \frac{\text{Peso del Agua}}{\text{Peso del suelo secado al Horno}} \times 100$$

4.7.3 Índice de plasticidad

Se define al índice de plasticidad como la diferencia entre el Límite Líquido y el Límite Plástico:

$$IP = LL - LP$$

- Si no se pueden determinar el Límite Líquido y Plástico en una muestra de suelo el índice de Plasticidad se denota como No Plástico (NP).
- Si el Límite Plástico es mayor o igual que el límite líquido, la muestra de suelo es considerada No Plástica.

Los valores obtenidos a partir de los ensayos de límites de Atterberg, para las arenas asfálticas (adición 100%), calicata 1 (adición 0%) y para las mezclas de suelo se presentan a continuación:

ADICIÓN ARENA ASFÁLTICA	LL	LP	IP
0,00	-	-	NP
10,00	-	-	NP
20,00	16,77	9,49	7,28
30,00	16,61	6,18	10,43
40,00	17,50	6,32	11,18
50,00	18,12	7,59	10,53
70,00	16,79	6,06	10,73
100,00	21,50	5,68	15,82

Tabla 36. Límites de Atterberg para suelos naturales y mezclas

Fuente: Elaborada por los autores

4.8 Contenido de humedad

Norma ASTM C566

La determinación del contenido de humedad de un suelo corresponde a la razón entre la masa del agua contenida en el suelo y la masa seca del mismo, se hace frecuentemente secando la muestra al horno a una temperatura de 110° C. En el caso de suelos con alto contenido de materia orgánica el secado debe efectuarse a 60°C. (Manual De Carreteras: Suelos, Geología; Geotecnia y Pavimentos, 2013).

Equipos para determinar el contenido de humedad

- Horno
- Balanza de Precisión (varía de acuerdo con la masa que se pesa)
- Recipientes de aluminio o porcelana
- Herramientas (guantes, espátula, brochas)



Figura 30: *Determinación del contenido de humedad*

Fuente: elaborada por los autores

Procedimiento de ensayo

1. Se escoge una muestra representativa de cada proporción de suelo a ensayar, descritas en la figura 25, las cuales serán sometidas al respectivo análisis.
2. Posteriormente, se coloca la muestra de suelo húmeda en los recipientes previamente pesados.
3. Se coloca la muestra en la balanza y se toma el peso de la muestra húmeda más el recipiente.
4. El recipiente más la muestra se colocan en el horno de secado en un lapso de 24 horas a una temperatura de 110°C.
5. Finalmente, transcurridas las 24 horas se determina el peso del recipiente más la muestra seca, y se procede a determinar el Contenido de Humedad.

Procedimiento de cálculo de contenido de humedad

Para determinar la humedad se utiliza la siguiente fórmula:

$$W = \frac{W_W}{W_S} \times 100$$

Donde:

W : Contenido de Humedad Expresado en Porcentaje.

W_W : Peso del Agua Existente en la Masa de Suelo

W_S : Peso de las Partículas Sólidas

El contenido de humedad de las arenas asfálticas es de 7.13%, mientras que el de la Calicata 1 es de 16.22%.

4.9 Gravedad específica

Se determinó la gravedad Específica de la arena asfáltica en base a la norma AASHTO T-100-70 y ASTM D 854-58.



Figura 31: Gravedad Específica

Fuente: Elaborada por los autores

Equipos

- Picnómetro o Matraz calibrado a diferentes temperaturas
- Balanza
- Estufa
- Horno de secado a temperatura constante de 105°C
- Termómetro con temperatura de 0 a 50°C
- Capsulas de porcelana
- Pipeta
- Embudo de vidrio
- Glicerina

Muestreo

Se toman 200 gramos de la muestra de arenas asfálticas que haya pasado por el tamiz No. 40, posteriormente, se coloca en una cápsula y se deja en el horno de secado durante 12 horas a una temperatura constante de 105°C. Si se trata de suelos residuales la muestra se deja secar en el medio ambiente.

Procedimiento del ensayo

1. De la muestra preparada y ya sin contenido de humedad, se escogen de 50 a 150 gramos (según sea más arcilla o arena fina).
2. Se llena el matraz con agua hasta el cuello, se pesa y se toma la temperatura. Se quita un poco de agua al matraz y se le introduce la muestra del suelo.
3. Se coloca el matraz en baño María con Glicerina durante 30 minutos si se trata de suelos arcillosos, para suelos arenosos son suficientes 10 minutos, esto se realiza con la finalidad de expulsar el aire contenido.
4. Se saca el matraz del baño María y se deja enfriar hasta que llegue a la temperatura inicial, se agrega agua destilada hasta el cuello, con ayuda de la pipeta para que quede perfectamente calibrado y se toma nuevamente la temperatura y el peso.
5. Posteriormente se coloca todo el contenido del matraz en una cápsula y se deja en el horno para obtener el peso seco de la muestra.

Procedimiento de cálculo

Para determinar la gravedad específica de una muestra de suelo se emplea la siguiente fórmula:

$$G_s = \frac{w_s \times K}{w_s + w_b - w_a}$$

Dónde:

k : Factor de corrección basado en la densidad del agua a 20°C, para expresar la gravedad específica a 20°C.

w_a : Masa del picnómetro más agua a la temperatura del ensayo de gravedad específica.

w_s : Masa del suelo seco.

w_b : Masa del picnómetro + agua + suelo, a la temperatura de ensayo.

El ensayo de gravedad específica debe realizarse simultáneamente con dos matraces, usando el mismo material, con la finalidad de obtener una comprobación, si los valores obtenidos no difieren en más del 1% se debe promediar, si difieren más del 1% se debe repetir el ensayo. La gravedad específica de la arena asfáltica es de 2.19.

4.10 Contenido de humedad óptima y densidad máxima

AASHTO T-180



Figura 32: Ensayo de proctor modificado

Fuente: Elaborada por los autores

El ensayo de Proctor Modificado (Método B) se realiza a los suelos finos para determinar la máxima densidad y la humedad óptima que poseen, cuando se aplica una energía por unidad de volumen determinado.

Para el respectivo análisis se escogieron las muestras de suelo de la subrasante (Calicata 1), de las arenas asfálticas, y de las diferentes proporciones descritas en la tabla 28. Los resultados del ensayo se muestran a continuación:

ADICIÓN ARENA ASFÁLTICA	HUMEDAD	DENSIDAD SECA MÁXIMA
0	11,4	1604
10	12,3	1680
20	10,8	1687
30	9,8	1782
40	9,5	1750
50	10,56	1758
70	7,77	1774
100	7,15	1818

Tabla 37. Densidad seca máxima y humedad óptima

Fuente: Elaborada por los autores

Equipos

- Moldes cilíndricos de metal
- Collarines ajustables
- Martillo Mecánico (masa=4,54kg)
- Balanza
- Horno
- Regla metálica
- Herramientas misceláneas (espátula, cucharón, alicate, martillo)
- Tamiz 3/8"
- Recipientes (taras)

Se escogió el método B debido a que el suelo retenido en la malla N° 4 es más de 20% y 20% o menos por peso es retenido en la malla de 9,5 mm (3/8 pulg). El método B de Proctor modificado tiene las siguientes características:

Método B	
Diámetro del Molde	101,6mm(4pulg)
Volumen del Molde	944 cm ³
masa del pistón	4,54 kg
Altura de caída del pistón	457mm
Número de capas	5
Número de golpes por capas	25
Energía de Compactación	2700KN.m/m ³
Suelo a utilizarse	pasante del tamiz 3/8"

Tabla 38: Características para ensayo proctor modificado-método B

Fuente: Elaborada por los autores

Procedimiento de ensayo

1. Se seca el suelo al ambiente y se pesan 5 muestras de 2500 gramos, a cada una se le añade un porcentaje diferente de humedad, para los ensayos de este trabajo de investigación se añadieron los siguientes porcentajes: 0%, 100%, 200%, 300% y 400% para cada una de las proporciones descritas en la tabla 28.
2. Cada muestra se mezcla homogéneamente, se divide en 5 partes proporcionales, y se coloca en el molde con el collarín, posteriormente

se procede a la compactación del material, en este tipo de ensayo se necesitará 5 capas y 25 golpes por cada una.

3. Luego de realizar los respectivos golpes a la muestra se deberá retirar el collarín y enrasarla hasta lograr una superficie lisa.
4. Se escoge una pequeña fracción de muestra y se coloca en el horno, a fin de obtener el contenido de humedad que dicha muestra posee.
5. Se debe repetir el procedimiento para las 5 muestras variando solamente el contenido de humedad.
6. Finalmente, luego de conseguir los resultados de cada muestra se procede a graficar la curva densidad seca versus humedad la cual permite determinar la humedad óptima.

4.11 Capacidad de soporte (CBR)

Norma ASTM D-1883

El ensayo CBR permite determinar la capacidad portante de un suelo, para el trabajo investigativo se realizaron pruebas de laboratorio con las proporciones descritas en la tabla 28, y con los datos de las humedades óptimas del ensayo de compactación, Proctor Modificado.

Materiales y equipos



Figura 33: Equipo para ensayo CBR

Fuente: Elaborada por los autores

- **Prensa** (similar a las usadas en los ensayos de compresión)
- **Moldes cilíndricos de metal:** con diámetro interior de 152,4 mm \pm 0.66 mm y altura de 177,8 \pm 0.46 mm, debe incluir collar suplementario de 51 mm (2.0") de altura y una placa de base perforada de 9.53 mm (3/8") de espesor. Las perforaciones de la base deberán ser por lo menos 20 uniformemente espaciadas dentro de la circunferencia del molde.
- **Disco espaciador metálico:** Diámetro de 150.8 \pm 0.8mm (5 15/16" \pm 1/32") y espesor de 61.37 \pm 0.25 mm), para insertarlo como falso fondo en el molde cilíndrico durante la compactación.
- **Martillo de Compactación:** (Proctor Modificado)
- **Aparato medidor de expansión:** compuesto por una placa de metal perforada y un trípode.
- **Pistón de Penetración Cilíndrico:** debe ser metálico de 49.63 \pm 0.13 mm de diámetro, área de 1935 mm² (3 pulg²) y con longitud necesaria para realizar el ensayo de penetración con las sobrecargas precisas.
- **Dial:** Con recorrido mínimo de 25 mm (1") y divisiones en 0.025 mm (0.001"), debe incluir una pieza que permita su acoplamiento en la prensa para medir la penetración del pistón en la muestra.
- **Piscina o tanque:** debe tener la capacidad suficiente para la inmersión de los moldes en agua
- **Horno:** con temperatura constante de 110 \pm 5°C
- **Balanzas:** con capacidad de 20 kg y de 1000 g con sensibilidades de 5 g y 0.1 g respectivamente.
- **Tamiz 3/8**
- **Herramientas de uso general:** cuarteador, mezclador, enrasador, cápsulas, probetas, espátulas, discos de papel de filtro.

Procedimiento de ensayo CBR

1. Se preparan 3 especímenes de suelo, cada una con 5000 gramos, a cada muestra se le agrega la humedad óptima que se obtuvo en el ensayo de Proctor modificado.
2. Para cada molde se divide la muestra en 5 partes iguales, se ajusta el molde a la placa de base, y se une con el collarín de extensión, se pesa y se coloca el disco espaciador dentro del molde (encima se coloca papel filtro).
3. Se compactan los 3 especímenes con 12, 25 y 56 golpes respectivamente, colocando 5 capas proporcionales de la mezcla de suelo en el molde, usando el martillo apropiado.
4. Se escoge una pequeña proporción de suelo para determinar el contenido de humedad del material que está siendo compactado, al comienzo y al final de este procedimiento (se toman dos muestras).
5. Cuando se concluya la compactación, se quita el collarín y se engrasa cada espécimen, se desmonta el molde y se vuelve a montar invertido.
6. Se quita el disco espaciador, y se coloca papel de filtro entre el molde y la base.
7. Se determina la masa del molde con el espécimen compactado.
8. Cada muestra usada para desarrollar las curvas de compactación para 12, 25 y 56 golpes por capa, será penetrado.
9. Se toma la primera lectura para medir la expansión, se coloca el trípode con sus patas en los bordes del molde, haciendo coincidir el vástago del deformímetro con el de la placa perforada.
10. Inmersión. - Se colocan los especímenes en la piscina de inmersión poniendo la sobrecarga, Luego de 10 min se toma la primera lectura y se mantienen en esas condiciones durante 4 días (96 horas), transcurrido el lapso de tiempo se vuelve a medir el hinchamiento con el dial, se saca el molde del tanque y se vierte el agua retenida en la parte de arriba, manteniendo la placa y sobrecarga en su posición, se

deja escurrir el molde por 15 minutos, se retiran las sobrecargas y la placa perforada, se pesa y se procede al ensayo de penetración.



Figura 34: *Especímenes de CBR en piscina de inmersión*

Fuente: *Elaborada por los autores*

11. Penetración. -Se coloca sobre el espécimen de CBR las sobrecargas que tuvo durante el período de inmersión. Previamente, se ha llevado el conjunto a la prensa y colocado el pistón de penetración en el orificio central de la sobrecarga anular.



Figura 35: *Medición de carga de penetración*

Fuente: *Elaborada por los autores*

Después de aplicar la carga de asentamiento se coloca el resto de las sobrecargas alrededor del pistón, se ubica el dial de tal manera que se pueda medir la penetración del pistón, se aplica una carga de 44 N, para que el pistón se asiente.

Posteriormente, se encera el dial, para medir la carga y el de control de la penetración. Se aplica la carga sobre el pistón de penetración mediante el mecanismo correspondiente de la prensa, con una velocidad de penetración uniforme de 1.27 milímetros por minuto.

12. Finalmente, se desmonta el molde y se toma humedades en la parte superior e inferior.

Los resultados del ensayo de CBR (capacidad portante y densidades) con energías de compactación de 56, 25 y 12 golpes para las arenas asfálticas, calicata 1 y las diferentes mezclas suelo-arena asfáltica se detallan en la siguiente tabla:

ADICIÓN ARENA ASFÁLTICA	CBR			DENSIDADES-CBR (kg/m ³)		
	56	25	12	56	25	12
0	23,34	11,6	3,93	1710	1678	1590
10	20,58	12,35	3,97	1729	1635	1562
20	16,61	7,31	5,29	1754	1739	1620
30	12,16	5,55	4,59	1800	1795	1731
40	12,72	8,75	7,72	1746	1712	1714
50	13,23	15,58	5,33	1860	1683	1599
70	10,66	8,89	7,28	1901	1813	1730
100	9,56	7,75	6,98	1991	1839	1827

Tabla 39. Capacidad portante de suelos naturales y mezclas

Fuente: Elaborada por los autores

4.12 Densidad teórica máxima (MÉTODO RICE)

Norma ASTM D-2041

La gravedad específica máxima teórica – rice de la arena asfáltica tiene un valor de 2.304 g/cm^3 .



Figura 36: Densidad teórica máxima-RICE

Fuente: Elaborada por los autores

Equipos

- Recipiente de vacíos de metal: diámetro entre 180 y 260 mm y una altura de aproximadamente 160 mm, el recipiente debe estar equipado con una cubierta transparente que permita observar el flujo de burbujas de aire en el interior y una conexión a la bomba de vacíos.
- Balanza: con precisión de 0.1 gr
- Bomba de vacíos: capaz de sostener una presión residual de al menos 30 mmHg
- Termómetro: debe tener una precisión de 0.5°C
- Dispositivo de agitación Mecánica: Capaz de provocar una agitación suave y consistente en la muestra, debe estar equipado con un

sistema de soporte para el recipiente, de tal forma que éste no se mueva en la superficie del dispositivo.

- Manómetro de Presión residual
- Horno: capaz de mantener una temperatura de 105°C

GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA – RICE	
NORMA AST D-2041 / AASHTO T-209	
PESO DE MUESTRA	1500
PESO MATRAZ	6763
P. MAT. +MUESTRA	7612
2,304	g/cm³

Tabla 40. Gravedad específica máxima teórica

Fuente: Elaborada por los autores

Procedimiento para determinar la densidad teórica

Preparación de la Muestra:

1. Se toma una muestra de Arena Asfáltica de 1500 gramos y se calienta en el horno de secado durante 2 horas a una temperatura de 135°C, posteriormente, se deja enfriar hasta la temperatura ambiente, y se coloca en el recipiente de vacío, previamente calibrado. Se pesa el recipiente de vacío y la muestra de arena asfáltica para determinar la masa neta de la muestra.
2. Después de este proceso se agrega agua de aproximadamente 25°C hasta cubrir la mezcla completamente y se ubica la tapa del recipiente del vacío y se coloca en el dispositivo de agitación mecánica e inmediatamente comenzar a eliminar el aire atrapado en la muestra,

umentando gradualmente la presión de vacío hasta que el manómetro de presión residual indique $3,7 \pm 0,3 \text{ Kpa}$.

3. Finalmente, se toma la masa del recipiente y su contenido en el agua y en el aire, parámetros fundamentales para el cálculo de la densidad teórica máxima.

4.13 Estabilidad Marshall de arenas asfálticas

Este ensayo permite determinar los valores de estabilidad y deformabilidad, de los pavimentos asfálticos. Para la arena asfáltica ensayada el valor de estabilidad Marshall corregida por volumen de briqueta alcanzó un valor promedio de 275,78 lb con un flujo de 26 centésimas de pulgada.



Figura 37: Briquetas para estabilidad Marshall

Fuente: Elaborada por los autores

Equipo:

- **Dispositivo para moldear probetas:** formado por un molde cilíndrico, collar de extensión y una placa de base plana.
- **Extractor de Probetas:** Elemento de acero en forma de disco con diámetro de 100 milímetros y 12.7 milímetros de espesor, utilizado para extraer la probeta compactada del molde.
- **Martillo de Compactación:** Consistente en un dispositivo de acero formado por una base plana circular de 98.4mm de diámetro y un

pisón deslizante de 4536 gramos de peso total, montado en forma que proporcione una altura de caída de 457.2mm.

- **Pedestal de Compactación:** consiste en una pieza prismática de madera de base cuadrada de 203.2 mm de lado y 457.2 mm de altura (8" x 8" x 18").
- **Sujetador para el molde:** Consiste en un dispositivo con resorte de tensión diseñado para centrar rígidamente el molde de compactación sobre el pedestal.
- **Mordazas y medidor de deformación:** Las mordazas consisten en dos segmentos cilíndricos, con un radio de curvatura interior de 50.8 mm (2") maquinado con exactitud.
- Prensa
- Medidor de la estabilidad
- Balanza
- Guantes
- Bandeja metálica

Preparación de la muestra

1. Se pesan 3 muestras de arena asfáltica cada una con 1200 gramos, posteriormente se pone a calentar a una temperatura de 120°C.



Figura 38: Preparación de muestra para estabilidad Marshall

Fuente: Elaborada por los autores

2. Se arma el conjunto de molde de las probetas como: collar, placa de base y la base del martillo de compactación.
3. Se coloca papel filtro en el fondo del molde antes de poner la mezcla
4. Luego de colocar la mezcla se golpea vigorosamente con la ayuda de una espátula 15 veces alrededor del perímetro del molde y 10 veces en el interior.
5. Se coloca papel filtro encima de la mezcla se pone el sujetador y se ubica sobre el del pedestal de compactación.
6. Se procede a dar el número de golpes correspondientes (75 golpes) y luego se invierte el molde y se da la misma cantidad de golpes.
7. Posterior a la compactación se retira la placa base y el collar y se deja enfriar la muestra hasta que su temperatura sea tal que no produzca daños al extraerla del molde.
8. Se marcan las probetas y se dejan reposar durante 24 horas.
9. Transcurrido el periodo de reposo de las briquetas se determinan la gravedad específica Bulk y la Estabilidad Marshall, procesos que se describen a continuación.

4.14 Gravedad específica bulk

La gravedad específica bulk promedio entre las tres briquetas ensayadas es de $2,156 \text{ g/cm}^3$ valor que debe ser menor a la gravedad máxima teórica-RICE.

Para determinar la gravedad Bulk se toman las muestras de las briquetas de arena asfáltica transcurrido las 24 horas de reposo y se siguen los pasos del procedimiento descrito en la norma ASTM D 1188. Se toma la masa en el aire del espécimen seco, la masa del espécimen en el agua y masa en el aire del espécimen saturado y superficie seca.

- **Masa en el aire del espécimen seco:** después del transcurso de una hora, se determina el peso del espécimen de arenas asfálticas en el aire, esto se realiza a temperatura ambiente.
- **Masa del espécimen en el agua:** se sumergió el espécimen en agua a 25° C por 5 minutos y luego se determinó la masa en el agua.
- **Masa en el aire del espécimen saturado y superficie seca:** se seca la superficie del espécimen y rápidamente se verifica el peso.

Determinación de la estabilidad y flujo

1. Se realiza posterior a la compactación de los especímenes de las arenas asfálticas, se colocan las probetas de ensayo en baño María durante 30 minutos.
2. Antes de colocar las probetas se limpian las barras guías
3. Se sacan las probetas del baño maría y seca con una franela el exceso de agua, se ubican centradas en la mordaza interior, se coloca encima la mordaza superior con el medidor de deformación y todo el conjunto se coloca en la prensa, al que se le ajusta el medidor de flujo encerado y se aplica la carga de ensayo, hasta que ocurra la falla.
4. El flujo se verá reflejado en el dial de deformación en el instante de la falla.



Figura 39: Aplicación de la carga a la probeta Marshall

Fuente: Elaborada por los autores

4.15 Equivalente de arena de suelos y agregados finos

El resultado que proporciona el ensayo de equivalente de arena es la determinación de un valor empírico de la cantidad de material fino y arcilla que contiene una muestra de suelo.

Equipos y materiales

- Cilindro de Plástico graduado
- Tapón de caucho o goma (para ajustar el cilindro)
- Tubo flexible de plástico o caucho: de 1.20m de largo y 4,7mm de diámetro.
- Tubo irrigador de acero inoxidable.
- Botellón de 1 galón de capacidad
- Dispositivo para tomar las lecturas del nivel de arena
- Recipiente metálico con capacidad de 85 ± 5 ml
- Embudo con diámetro de 101,6mm
- Cronómetro para tomar lectura en minutos y segundos
- Agitador Mecánico: capaz de producir un movimiento oscilatorio de 100 ciclos completos en 45 ± 5 segundos.



Figura 40: Adición de la solución mediante el sifón

Fuente: Elaborada por los autores

Procedimiento del ensayo

1. Se escoge una muestra representativa de 1500 gr. de suelo que sea pasante del tamiz #4.
2. Se vierte solución de cloruro de calcio en el cilindro graduado, con la ayuda del sifón, hasta una altura de 101.6 ± 2.54 mm.
3. Posteriormente, se vierte la muestra de ensayo con ayuda del embudo en el cilindro graduado, y con la palma de la mano se golpea varias veces el fondo del cilindro para que se liberen las burbujas de aire y remojar la muestra completamente. La muestra se deja en reposo durante 10 minutos.
4. Transcurridos los 10 minutos del período de humedecimiento, se tapa el cilindro con el tapón y se suelta el material del fondo invirtiendo y agitando el cilindro a la vez.
5. Luego de soltar el material del fondo con el agitador mecánico se procede a agitar el cilindro durante 45 segundos.
6. Seguidamente después de la agitación, se coloca el cilindro verticalmente sobre la mesa de trabajo y se remueve el tapón.
7. Se realiza el procedimiento de Irrigación, colocando una cantidad adicional de solución floculante, durante este procedimiento el cilindro se mantiene vertical y la base en contacto con la superficie de trabajo, se coloca el tubo irrigador en la parte posterior del cilindro, se afloja la pinza de la manguera y se lava el material a medida que baja el irrigador, el cual debe llegar por medio del material hasta el fondo, aplicándole giros y presión hasta que el cilindro esté lleno a la altura de 382 mm, mientras que la solución fluye, luego se levanta el tubo irrigador sin que deje de fluir la solución, este proceso se realiza con la finalidad de forzar el material arcilloso a quedarse en suspensión encima de la arena.



Figura 41: *Proceso de Irrigación*

Fuente: *Elaborada por los autores*

1. El cilindro y el contenido se dejan por $20 \text{ min} \pm 15\text{s}$. en reposo e inmediatamente se comienza a medir el tiempo luego de retirar el tubo irrigador, Transcurrido el período de sedimentación, se miden las alturas de la arcilla floculada y de la arena en el cilindro.



Figura 42: *Medida de altura de arcilla en probetas con tubo irrigador*

Fuente: *Elaborada por los autores*

2. Finalmente, luego de tomar las lecturas, se saca el conjunto del cilindro, se tapa y se sacude hasta que el material sedimentado se deshaga y se enjuaga la probeta 2 veces.

Cálculos para determinar el equivalente de arena

El "equivalente de arena" es la relación entre la altura de arena y la altura de arcilla, expresada en porcentaje. (INVIAS, Equivalente de Arena De Suelos y Agregados Finos, 2012). Se calcula con aproximación de décima (0.1 %), mediante la siguiente expresión:

$$\text{Equivalente de arena (EA)} = \frac{\text{Lectura de Arena}}{\text{Lectura de Arcilla}} \times 100$$

Cuando el nivel de las lecturas de arcilla o arena esté entre líneas de graduación, se anotará la lectura correspondiente a la graduación inmediatamente superior. Por ejemplo, si la "lectura de arcilla" es 7.95 se anotará como 8.0. Una "lectura de arena" de 3.22, se anotará como 3.3.

$$(EA) = \frac{2.7}{4.7} \times 100 = 57.44$$

El cálculo anterior corresponde a la probeta 1, este valor de ser redondeado a un número entero por lo que el equivalente de arena sería 58. El mismo procedimiento aplica para las probetas 2 y 3.

Probeta	Lec. Arcilla	Lec. Arena	E.A.
1	4.65 = 4.7	2.7	57.44
2	4.5	2.4	53.33
3	4.6	2.1	45.65

Tabla 41. Equivalente de arena

Fuente: Elaborada por los autores

Para obtener el promedio de una serie de valores de equivalente de arena, se debe promediar el número de valores enteros determinados como se describió anteriormente. Por ello se tiene:

$$(EA) = \frac{58 + 54 + 46}{3} = 52.67$$

El promedio se redondeará también al entero superior, de manera que en este caso el valor definitivo del equivalente de arena será "53".

CAPÍTULO V

ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 Análisis arenas asfálticas

A partir de los ensayos de extracción, humedad y distribución granulométrica, es posible caracterizar la composición de las arenas asfálticas.

Con base en el ensayo de extracción se determinó que el porcentaje de bitumen con relación al peso de la muestra estudiada es de 2.81%, el cual es inferior a la composición típica presentada por Woynillowicz en el estudio de las arenas alquitranadas orientadas a la extracción de petróleo en Alberta Canadá, cuyo valor alcanza el 10%.

Mediante el ensayo de distribución granulométrica para suelo natural se evidenció que el material contiene más de 50% de finos, considerando también los límites de Atterberg, la clasificación AASHTO correspondiente para las denominadas arenas asfálticas es en el grupo A-6 de suelos arcillosos. La gravedad específica del material es de 2,19.

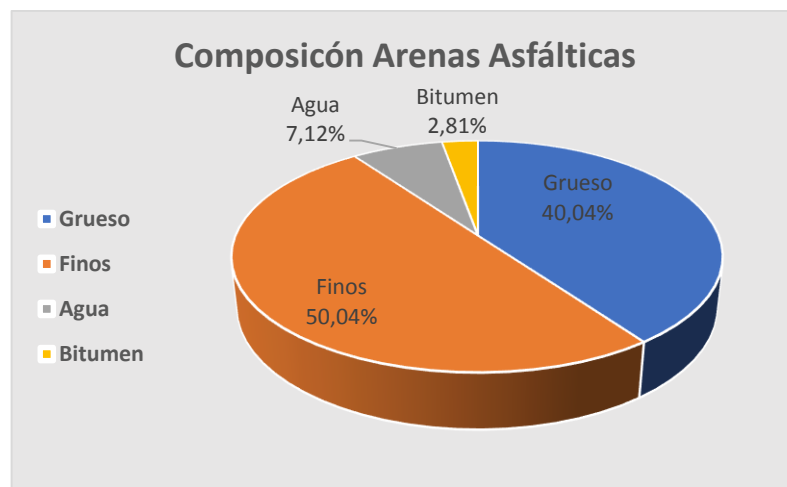


Figura 43. Composición arenas asfálticas, Achayan

Fuente: Elaborada por los autores

La granulometría de extracción realizada al material no cumple con todos los rangos en los límites superior e inferior de la faja granulométrica establecida en ASTM D-3515, para ningún tamaño máximo nominal de agregado.

Por tanto, las arenas asfálticas no cumplen con lo estipulado en las especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes del MOP en la sección 402 denominada “Mejoramiento de subrasante”, debido a que la norma expresa lo siguiente: “deberá ser suelo granular, material rocoso o combinaciones de ambos, libre de material orgánico y escombros, y salvo que se especifique de otra manera, tendrá una granulometría igual que todas las partículas pasarán por un tamiz de cuatro pulgadas (100 mm.) con abertura cuadrada y no más de 20 por ciento pasará el tamiz N.º 200 (0,075 mm).”

La estabilidad Marshall de las arenas asfálticas es de 275,78 lb, con un flujo de 26 centésimas de pulgada, valores que se muestran a continuación comparándolos con valores de la tabla 405.5.4 del MOP – Estructura de pavimento, para capa de rodadura.

Crterios Marshall	Arenas asfálticas	Tipo de tráfico pesado	Tipo de tráfico medio	Tipo de tráfico liviano
Estabilidad (lb)	275,78	1800	1200	1000-2400
Flujo (in/100)	26	8 a 14	8 a 16	8 a 16
% de vacíos	6,44	3 a 5	3 a 5	3 a 5
G. Bulk (g/cm3)	2.156	-	-	-
RICE (g/cm3)	2.304	-	-	-

Tabla 42. Estabilidad Marshall - Capa de rodadura

Fuente: Elaborada por los autores

La tabla 40 muestra que las arenas asfálticas alcanzan el 15.32% de estabilidad que el MOP exige para capa de rodadura en tráfico pesado, los valores de flujo y cantidad de vacíos quedan fuera del rango de la norma. Los resultados de límites de Atterberg, compactación Proctor, CBR, serán analizados en posteriores apartados de este capítulo.

5.2 Análisis de suelo de subrasante, Calicata 1

El ensayo de granulometría evidencia que este suelo pertenece al grupo A-1b de la clasificación AASHTO, la identificación visual y de tacto revela una considerable cantidad de conchillas presentes en el mismo y la humedad natural alcanza el 16.22%.

El ensayo de límites de Atterberg muestra que el suelo de la Calicata 1 es NP.

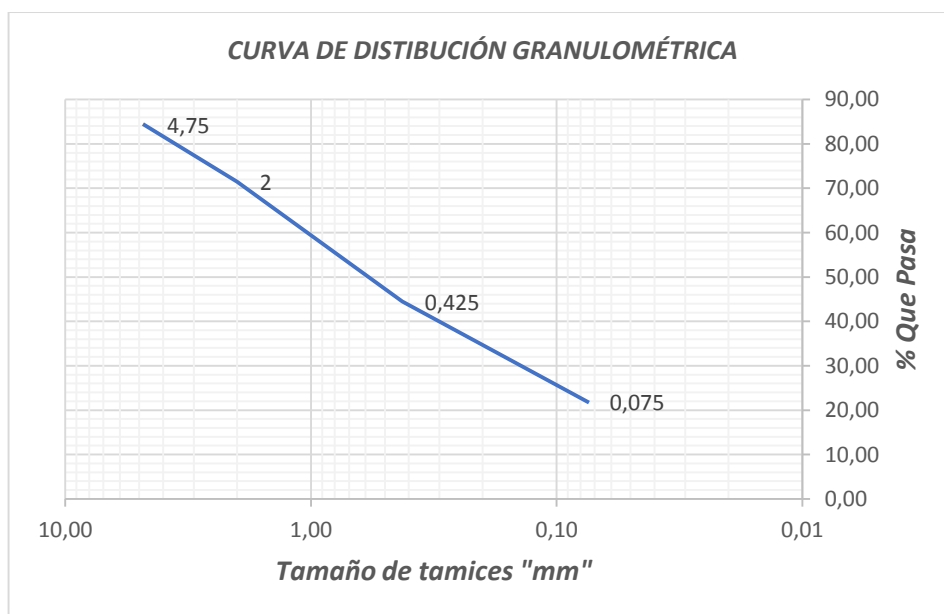


Figura 44. Granulometría Calicata 1

Fuente: Elaborada por los autores

5.3 Análisis de las proporciones adicionadas

5.3.1 Análisis de limite líquido

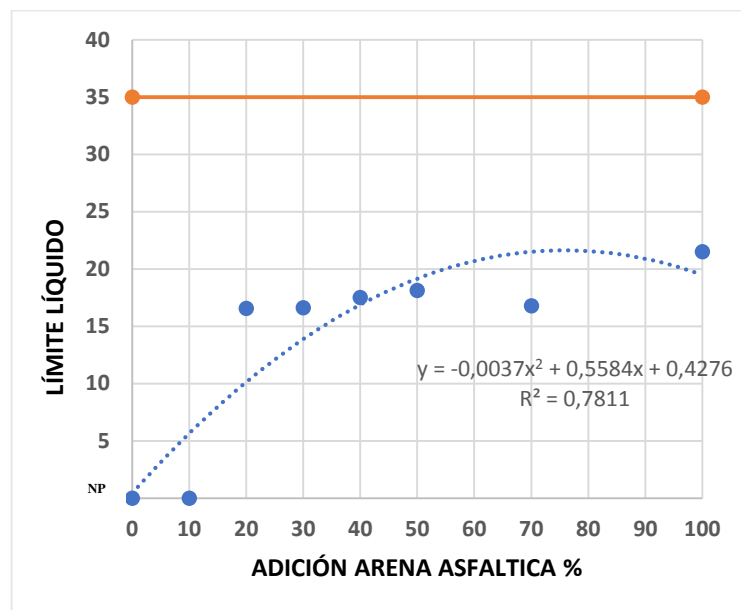


Figura 45. Análisis de limite liquido

Fuente: Elaborada por los autores

El ensayo de límite líquido en particular muestra que el terreno natural, arenas asfálticas y todas las combinaciones de suelo-arena asfáltico cumplen con lo estipulado en las especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes del MOP en la sección 402 denominada “Mejoramiento de subrasante”, debido a que su humedad no supera el 35% establecido en la norma.

Se observa que mientras se aumenta el contenido de arena asfáltica el límite líquido de la mezcla también lo hace. En la curva para los porcentajes de adición intermedios (20% a 70%), el límite liquido presenta pequeñas variaciones de aproximadamente 1% en su contenido de humedad.

5.3.2 Análisis del índice de plasticidad

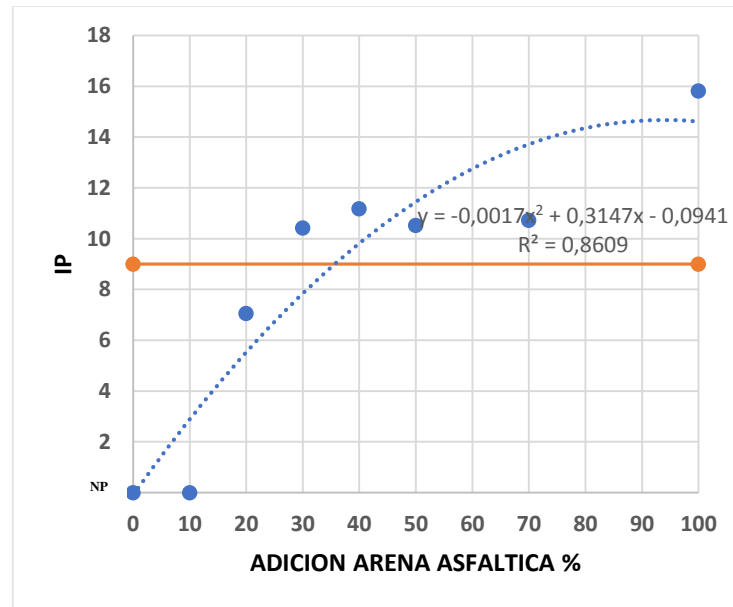


Figura 46. Análisis de Índice de plasticidad

Fuente: Elaborada por los autores

El índice de plasticidad muestra que el terreno natural (calicata 1), cumple con lo estipulado en las especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes del MOP en la sección 402 denominada “Mejoramiento de subrasante”, no así las arenas asfálticas debido a que su IP es de 15,82 y el valor máximo indicado en la norma es 9.

Se observa que hasta la adición del 20% de arena asfáltica es posible cumplir con un IP menor a 9, a partir del 30% de adición en adelante los valores de índice de plasticidad no cumplen con las especificaciones del MOP debido a que se obtienen valores de IP que oscilan entre 10 y 16.

5.3.3 Análisis de la humedad óptima y densidad seca máxima

El ensayo proctor evidencia una tendencia a incrementar cuando el porcentaje de adición de arenas asfálticas al terreno natural aumenta.

El incremento de densidad es de 13.34% tomando como valores de referencia las densidades secas máximas de la calicata 1 (adición 0%) que alcanza un valor de 1604 kg/m³ y de la arena asfáltica (adición 100%) que tiene un valor de 1818 kg/m³.

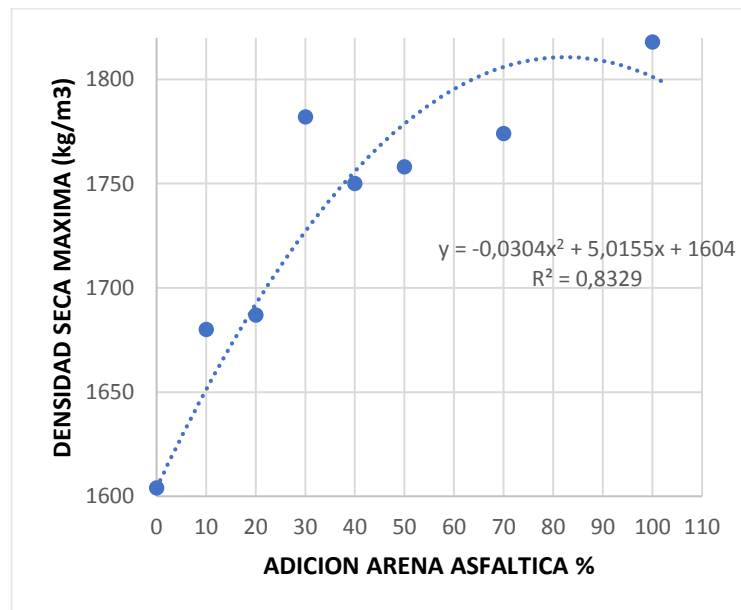


Figura 47. Análisis de la densidad seca máxima

Fuente: Elaborada por los autores

En cuanto a las humedades óptimas que permiten alcanzar la densidad seca máxima, se observa que el material de calicata 1 necesita mayor cantidad de agua (11,4%) para alcanzar la cresta en la curva de compactación, como se muestra en la Figura 48 mientras aumenta el contenido de arena asfáltica y se mezcla con el suelo los valores de humedad óptima tienden a decrecer, estableciéndose el valor mínimo de 7.15% para las arenas asfálticas.

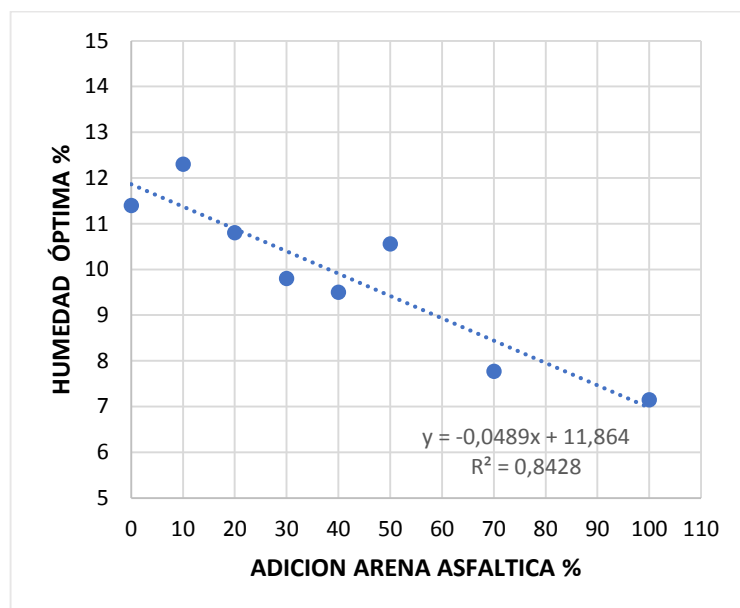


Figura 48. Análisis humedad optima

Fuente: Elaborada por los autores

5.3.4 Análisis de la capacidad portante CBR

La capacidad portante de los suelos en estado natural y mezclados en diferentes proporciones evidencia que la capacidad portante decrece al aumentar la cantidad de arena asfáltica en la mezcla de suelo.

CBR							
Calicata 1	Calicata 1 con adición de arena asfáltica						Arena asfáltica
	+10%	+20%	+30%	+40%	+50%	+70%	
23,34	20,58	16,61	12,16	12,72	13,23	10,66	9,56

Tabla 43. Análisis de la capacidad portante

Fuente: Elaborada por los autores

El suelo de la calicata 1 posee un CBR de 23,34 lo que la categoriza como una subrasante muy buena, por otra parte, la capacidad portante de las arenas asfálticas es de 9,56 razón por la cual ingresa en el rango de subrasante regular.

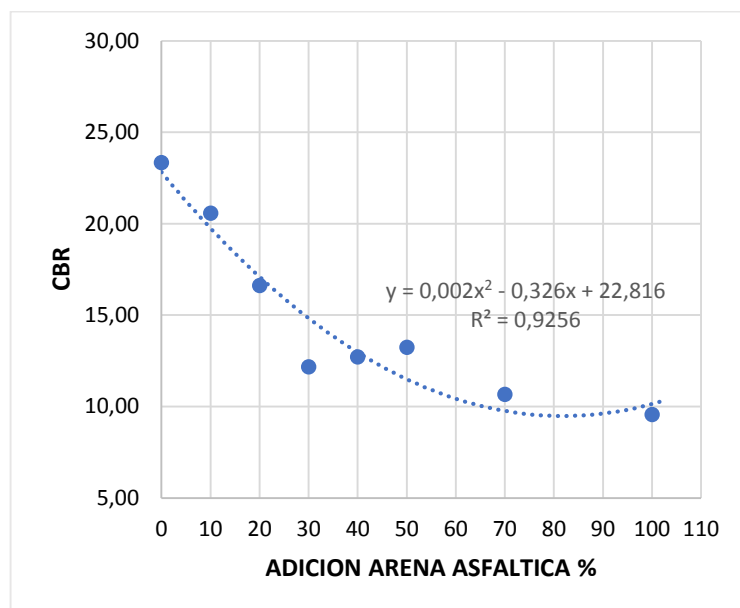


Figura 49. Análisis CBR

Fuente: Elaborada por los autores

Tomando como referencia el valor de CBR de la calicata 1 y el valor obtenido con una adición de arena asfáltica del 70% se obtiene un decrecimiento de la capacidad portante del 118,9%. Las arenas asfálticas no cumplen con lo estipulado en las especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes del MOP en la sección 402 denominada “Mejoramiento de subrasante”.

Debido a que la norma exige un valor de CBR de 20%. La única mezcla de suelo-arena asfáltica que cumple el ultimo criterio mencionado seria la adición de 10% que alcanza un CBR de 20,58, decreciendo un 13.41% con respecto a la capacidad portante del suelo natural.

5.3.5 Análisis de módulo de resiliencia

A partir del nomograma mostrado en la figura 5 de este trabajo de investigación que correlacionan al Mr con el valor de CBR, se obtienen los siguientes resultados:

ADICIÓN ARENAS ASFÁLTICAS	CBR	MR (psi)
0	23,34	13375
10	20,58	12757
20	16,61	12000
30	12,16	11000
40	11,98	10789
50	13,23	11300
70	10,66	10394
100	9,56	9875

Tabla 44. Análisis del módulo de resiliencia

Fuente: Elaborada por los autores

Este ensayo realizado en laboratorio puede tomar diferentes valores debido a las condiciones en que se lo realiza, factores como: temperatura, tipo de agregado, frecuencia de cargas y contenidos de vacíos muestran una clara influencia en el resultado final.

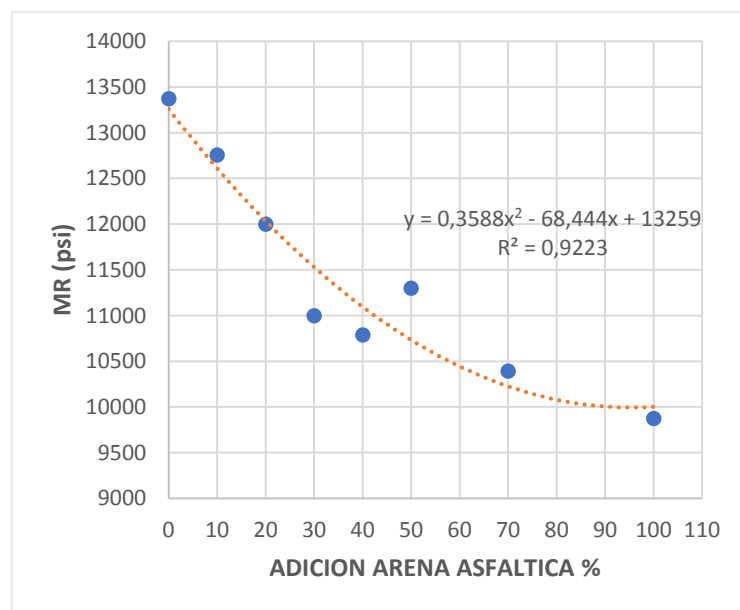


Figura 50. Resultados del módulo resiliente

Fuente: Elaborada por los autores

La aplicación del Módulo Resiliente en las metodologías de diseño de pavimentos parece ser simple, sin embargo, no lo es, ya que no es posible determinar un valor único para un suelo específico, por ello, por la complejidad en cuanto a la adquisición de equipos para obtener los valores de MR se realizaron diferentes estudios, que son los que hoy permiten calcular este importante parámetro a partir de fórmulas empíricas.

Las muestras con mayor contenido de bitumen en la investigación presentada es la adición de 100% y 70% de arena asfáltica, 2.81% de bitumen para las arenas asfálticas, las cuales presentan el menor valor de módulo de resiliencia, lo que parece concordar con (Almudaiheem y Al-Sugair, 2013) quienes analizaron la influencia del contenido de betún sobre el módulo resiliente, mediante pruebas diametrales y hallaron que los valores disminuyen con un incremento en el contenido de betún.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

Se concluye que el material denominado arena asfáltica posee en su mayoría partículas finas, y un contenido de betún considerablemente bajo, parámetros como el aumento en la densidad seca máxima mostrada en la tabla 37 puede ser atribuido a que el betún actúa como ligante entre las partículas y la energía de compactación reduce los vacíos entre ellas.

Las muestras de arenas asfálticas utilizadas en el presente trabajo de investigación, in situ se encuentran confinadas, denotando que aparentemente poseen las características mecánicas fundamentales para ser usada como suelo de fundación, pero al ser extraídas se pierde el confinamiento de sus partículas, y por ende la muestra ya no posee las mismas características iniciales de resistencia, motivo por el cual se obtuvo un bajo resultado de capacidad portante de las arenas asfálticas.

El bajo resultado de capacidad portante de todas las mezclas analizadas en esta investigación es atribuido al tipo de suelo A-6, mismos que tienden a presentar valores de CBR entre 5 y 15, mientras que el suelo de subrasante que clasifica como A-1b, alcanzan valores típicos de CBR entre 20 y 40, por ello, en la mezcla de estos suelos al ser adicionado el tipo A-6 el valor de CBR decrece como se muestra en la tabla 44.

A partir de los ensayos específicos realizados a las arenas asfálticas, terreno natural y las mezclas estudiadas se concluye particularmente lo siguiente:

1. El suelo de subrasante de la calicata 1 (terreno natural), cumple con los criterios establecidos en el MOP en la sección 402 denominada

“Mejoramiento de subrasante”, ya que la norma exige un valor de CBR min= 20%, LL max = 35% e IP max= 9 y los resultados obtenidos para el terreno natural fueron un CBR de 23,34%, material no plástico y clasifica como suelo tipo A-1b.

2. Al clasificar las arenas asfálticas por el método SUCS, se concluye que debido a su alto contenido de partículas finas este material presenta doble simbología, caracterizándose, así como: una arena fina mal graduada y una arcilla-limosa.
3. Las arenas asfálticas estudiadas contienen 50,04% de finos, alcanza un CBR de 9,56% y un IP = 15,82, por consiguiente, se concluye que este material no cumple con los requisitos establecidos en el MOP en la sección 402 denominada “Mejoramiento de subrasante”, tan sólo el límite líquido está por debajo del valor permitido (LL =21,5 < 35%).
4. Las arenas asfálticas encontradas a 4m de profundidad en las minas de Achayán cerca del pozo SPA 0039 de la empresa Pacifpetrol, cuentan con 2.81% de bitumen.
5. Para todas las mezclas estudiadas suelo-arena asfáltico se evidencia un aumento en el límite líquido e índice de plasticidad al incrementar el contenido de arena asfáltica.
6. Todas las proporciones de suelo-arena asfáltico cumplen el requisito de límite líquido establecido en el MOP en la sección 402 denominada “Mejoramiento de subrasante” que exige LLmax de 35%.
7. Las adiciones del 10% y 20% de arena asfáltica al terreno natural cumplen el requisito de índice de plasticidad establecido en el MOP en la sección 402 denominada “Mejoramiento de subrasante” que exige IPmax de 9, las adiciones de 30%,40%,50% y 70% tienen un IP mayor a 10,43.
8. Para todas las proporciones estudiadas se incrementó la densidad seca máxima al aumentar el contenido de arena asfáltica, al mismo

tiempo que se necesitó menor cantidad de agua para alcanzar el máximo valor en la curva de compactación.

9. El valor de la capacidad portante decrece conforme el contenido de arena asfáltica aumenta, solo el terreno natural y la mezcla (90% TN - 10% AA) alcanza una capacidad portante de 23,34% y 20,58% respectivamente lo cual cumple con lo establecido en el MOP sección 402 para "Mejoramiento de subrasante", donde se establece un CBR_{min} de 20%.
10. Se elaboró el paper del presente trabajo de investigación, siguiendo los parámetros establecidos en la revista científica tecnológica de la UPSE.

6.2 RECOMENDACIONES

1. Se recomienda que, para futuras investigaciones referentes al tema, se realice un previo ensayo granulométrico del material, con la finalidad de conocer si el porcentaje de finos presentes en la muestra, permite caracterizar al material como arenas asfálticas.
2. Se recomienda realizar un estudio extrayendo muestras de arenas asfálticas provenientes de yacimientos naturales en otros sectores de afloramiento, que tengan un contenido de bitumen mayor a 2,81%, ya que el bitumen posee ciertas características físicas que le permiten actuar como aglutinante y es posible que si se encuentra un material con mayor cantidad de bitumen y con una cantidad de finos menor al 35% los resultados serían satisfactorios.
3. Se recomienda que al momento de tomar las muestras de arenas asfálticas de las calicatas se lo realice de tal forma que no se pueda mezclar la muestra con el suelo que se encuentra en la superficie pues esto altera los resultados de los ensayos de laboratorio.
4. Todas las pruebas de laboratorio que se vayan a efectuar para la estabilización de suelo de subrasante deben hacerse conforme indiquen las normas vigentes del país y tomando en referencia

también las normas internacionales, para garantizar la veracidad de los resultados obtenidos.

5. Se recomienda que si se va a trabajar con arenas asfálticas se usen los adecuados equipos de protección personal como mascarillas y guantes aislantes, puesto que en ensayos como: estabilización Marshall, y densidad Máxima teórica (RICE), es necesario preparar la muestra a elevadas temperaturas y el olor del bitumen puede ocasionar molestias al momento de manipular el material.

6.3 REFERENCIAS

- M. Aiassa, G., & A. Arría, P. (2007). *Diseño de mezclas de suelo compactado para la construcción de terraplenes. Revista EIA (Escuela de Ingeniería de Antioquia)*.
- AASHTO *Guide for Design of Paviment Structures*. (1993). En t. A. officials. Washington.
- AEC. (2018). *Asociación Española para la Calidad*. Obtenido de <https://www.aec.es/web/guest/centro-conocimiento/normas-astm>
- Al-Sugair, & Almudaiheem. (2013). *Experimental Investigation of Strength and Stiffness. ScienceDirect*, 1-6.
- ASTM. (2007). *Ensayo CBR. Perú: Universidad Nacional de Ingeniería* .
- Bayas, E. (2015). *Estabilización y Mejoramiento de Sub-Rasante Mediante Cal Y Cemento Para Una Obra Vial en el Sector de Santos Pamba Barrio Colinas del Sur. Quito*.
- Construmática. (2018 de 2018). Obtenido de Ensayo CBR: https://www.construmatica.com/construpedia/Ensayo_CBR
- Corral, J. T. (2008). *El suelo cemento como material de construcción* .
- DAS, B. M. (2001). *Principio de ingeniería de cimentaciones, Compactación en Campo (Sétima ed.)*. California: International Thomson Editores.
- Herrera Montealegre, M. (2014). *Determinación del Módulo resiliente de Diseño de Pavimentos Mediante Criterios AASHTO 1993 y 2002. Lima*.
- I.N.V.E. (2012). *Extracción cuantitativa del asfalto en mezclas en caliente*.
- ILER, I. I. (2016). *Estudio del comportamiento de un suelo arcilloso. Ambato*.
- INEN, N. (2011). *Análisis Granulométrico en los áridos fino y Grueso*.
- INEN, N. T. (2011). *Análisis Granulométrico en los áridos fino y grueso*.
- INVIAS. (2012). *Resistencia de mezclas asfálticas en caliente*.
- Leone, I., & Claudio, I. (2001). *Pavimentos. En Pavimentos (págs. 5-6)*.

- Lime Association, N. (2004). *Manual de estabilización de suelo tratado con cal.*
- Manual de Carreteras: Suelos, G. G. (2013). *Suelos Estabilizados con Cementos. Lima, Perú.*
- MOP. (2000). *Superficie de Rodadura.*
- MOP. (2002). *Base de Agregados.*
- MOP. (2002). *Disposiciones Generales.*
- MOP. (2002). *Superficie de Rodadura.*
- MOP. (2002). *Superficies de Rodadura.*
- MTC, DGC, & F-PERÚ. (2004). *Norma técnica de estabilizadores químicos. Perú.*
- MTOP. (2002). *Estructura del Pavimento.*
- NEC. (2014). *Peligro Sísmico. Dirección de Comunicación Social, MIDUVI.*
- Palma, I. (2012). *Stabilization and reinforcement on roads with Biaxial Geogrids. Cancún.*
- Pavimentos, M. C. (2002). *Manual Centroamericano Para el Diseño de Pavimentos. En Pavimentos, Manual Centroamericano Para el Diseño de. Guatemala.*
- Pico Núñez, J. C. (2016). "Análisis comparativo de la estabilización de la subrasante. Ambato.
- Rangel, G. (2015). *Scribd. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/57343728/Estabilizacion-Fisica>*
- Rendón Quintana, H. A., & Reyes Iizcano, F. A. (2015). *Bases Granulares. En H. A. Rendón Quintana , & F. A. Reyes Iizcano, Pavimentos: Materiales, Construcción y Diseños (pág. capítulo 8). Bogotá: Ecoe. Ediciones.*
- Salas, M. B. (2012). *Temas de pavimento de concreto: diseño, Construcción y Supervisión. Lima.*
- Transportation, U. D. (1992). *Soil and base stabilization and associated drainage. Obtenido de <http://www.lanamme.ucr.ac.cr/banco-de>*

informacion-digital-on-line/INFORMES/2005/LM-PI-PV-IN-16B-05D.pdf

Vías, I. N. (2007). *Relación de soporte del suelo en el laboratorio.*

Woynillowicz, D. (2007). *Arenas Alquitranadas. Calgary, Alberta: Wordl Watch.*

ANEXOS A

(Registro fotográfico)

1. Ensayo de Granulometría del Suelo de Subrasante y Arenas Asfálticas.



Cuarteo y secado de suelo de subrasante



Secado de Arenas asfálticas



Lavado de finos de suelo de subrasante



Tamizado de muestras

2. Ensayo de límites de Atterberg



Preparación de las muestras para ensayo de límites de Aterberg



Determinación del Límite líquido con la copa de Casagrande



Límite Líquido de Arenas
Asfálticas



Peso de las muestras para
sacar el contenido de
humedad

3. Ensayo de Extracción de Bitumen de Arenas Asfálticas



Preparación de muestras de arenas asfálticas



Colocación de muestra en la centrífuga para extraer



Medición de reactivo (gasolina)

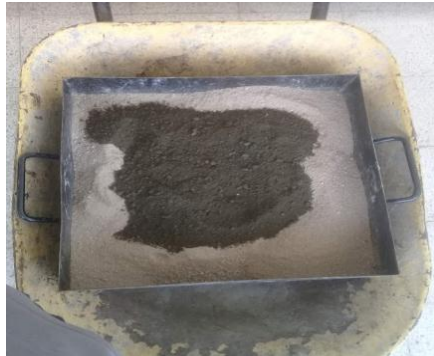


Proceso de extracción de bitumen



Volatilización del reactivo en arenas asfálticas

4. Proporciones a ensayar de Arenas Asfálticas y suelo de Subrasante para ensayos de CBR y Proctor Modificado



Proporciones de arenas
asfálticas y suelo de
subrasante



Proporción 50-50



Proporción 80-20



Proporción 85-15



Proporción 60-40

5. Ensayo de Gravedad Específica



Extracción del aire



Peso del matraz + suelo

Ensayo de Proctor Modificado (Método B)



Aplicación de energía de compactación para Proctor modificado



Materiales para ensayo de Proctor Modificado

6. Ensayo de Capacidad de soporte del Suelo (CBR) de las Arenas Asfálticas y el suelo de Subrasante.



Materiales para ensayo de CBR



Aplicación de contenido de humedad



Aplicación de energía de compactación



Inmersión de muestras



Aplicación de carga de penetración

7. Ensayo de Estabilidad Marshall



Preparación de muestra



Aplicación de número de golpes



Colocación de las briquetas en baño María



Proceso de secado de briquetas



Extracción de las muestras del molde



Aplicación de carga a la probeta Marshall

8. Ensayo de Densidad Teórica Máxima (MÉTODO RICE)



Preparación de la muestra



Calibración del molde



Mezclado de Arenas
Asfálticas y agua



Colocación de recipiente
de vacío en el dispositivo
de agitación



Peso de la muestra sin
porcentaje de vacíos

9. Ensayo de equivalente de arena de suelos y agregados finos



Materiales de ensayo



Probetas de ensayo



Preparación de La Solución



Adición de la solución mediante el sifón



Proceso de irrigación




Colocación del Tubo Irrigador


ANEXOS B

(Ensayos de laboratorio)

1. Extracción de bitumen



UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL



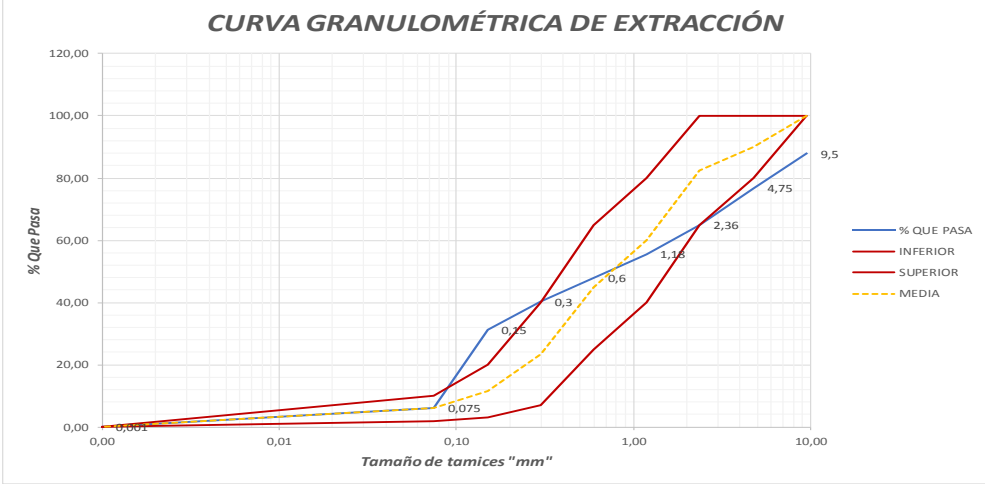
EXTRACCIÓN DE BITUMEN			
PROYECTO:	Estabilización o mejoramiento de la capacidad portante de los suelos de la subrasante de carretera utilizando diferentes proporciones de arenas asfálticas de yacimientos naturales de la península de Santa Elena	TESISTAS:	Kleber Borbor Gabino Liliana Collantes Piguave
LOCALIZACIÓN:	Velasco Ibarra-La Libertad-Santa Elena	TUTOR:	Ing. Nelson Alvarez
FECHA:	30/01/2019	PROFUNDIDAD:	4 m
NORMA:	ASTM D-2172 - AASHTO T-30	ARENA ASFÁLTICA:	100%
Pag:	1/1	MUESTRA N°:	ARENA ASFÁLTICA

EXTRACCIÓN DE ASFALTO: PORCENTAJE NORMA ASTM D-2172	
PESO INICIAL DE LA MUESTRA	1500
HUEMDAD DE LA MUESTRA	7,14%
PESO PAPEL FILTRO ANTES DEL ENSAYO	15,49
PESO PAPEL FILTRO DESPUES DEL ENSAYO	17,63
PESO FINAL DE LA MUESTRA	1353,79
PESO DE MUESTRA RETENIDA EN PAPEL FILTRO	2,14
PORCENTAJE DE BITUMEN EN LA MUESTRA	2,81%

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS PROVENIENTES DE EXTRACCIÓN AASHTO T-30			NORMA
TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO	4,75mm	N°4	


TAMICES		PESO PARCIAL "gr"	% RETENIDO	% QUE PASA	ESPECIFICACIÓN MTOP-ASTM D-3515		
"mm"	"in"				LÍMITE SUPERIOR	LÍMITE INFERIOR	CUMPLIMIENTO
9,5	3/8	165,15	12,20	87,80	100	100	NO CUMPLE
4,75	N° 4	149,42	11,04	76,76	80	100	NO CUMPLE
2,36	N° 8	160,14	11,83	64,93	65	100	NO CUMPLE
1,18	N° 16	127,09	9,39	55,55	40	80	CUMPLE
0,6	N° 30	104,64	7,73	47,82	25	65	CUMPLE
0,3	N° 50	100,53	7,43	40,39	7	40	NO CUMPLE
0,15	N° 100	125,77	9,29	31,10	3	20	NO CUMPLE
0,08	N° 200	338,40	25,00	6,11	2	10	CUMPLE
0	FONDO	82,65	6,11	0,00	0	0	CUMPLE
TOTAL		1353,79					

CURVA GRANULOMÉTRICA DE EXTRACCIÓN




Laboratoristas	Revisado	Fecha de toma de muestra
Kleber Borbor Gabino Liliana Collantes Piguave	Ing. Lucrecia Moreno	28/01/2019

2. Determinación de granulometría y contenido de humedad Arenas
Asfálticas



UNIVERSIDAD ESTADAL PENINSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL

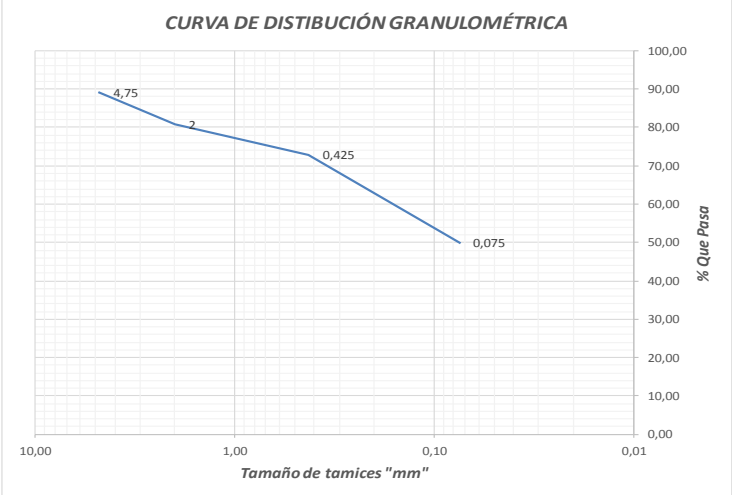


DETERMINACIÓN DE GRANULOMETRÍA Y CONTENIDO DE HUMEDAD			
PROYECTO:	Estabilización o mejoramiento de la capacidad portante de los suelos de la subrasante de carretera utilizando diferentes proporciones de arenas asfálticas de yacimientos naturales de la península de Santa Elena	TESISTAS:	Kleber Borbor Gabino Liliana Collantes Piguave
LOCALIZACIÓN:	Velasco Ibarra-La Libertad-Santa Elena	TUTOR:	Ing. Nelson Alvarez
FECHA:	30/01/2019	PROFUNDIDAD:	1 m
NORMA:	ASTM D 2216 ; C- 136	ARENA ASFÁLTICA:	100%
Pag:	1/1	MUESTRA N°:	ARENA ASFÁLTICA

CONTENIDO DE HUMEDAD NORMA ASTM D-2216	
Nº RECIPIENTE	B
PESO DE RECIPIENTE	84,040
P. REC + P- SUELO HÚMEDO	0,985
P. REC + P- SUELO SECO	0,925
PESO AGUA	0,060
PESO SUELO SECO	0,841
CONTENIDO DE HUMEDAD	7,13%


ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO NORMA ASTM C-136	
---	--

TAMICES		PESO PARCIAL "gr"	% RETENIDO	% QUE PASA
"mm"	"in"			
4,75	No 4	92,81	10,78	89,22
2,00	No 10	72,98	8,47	80,75
0,425	No 40	67,50	7,84	72,91
0,075	No 200	197,00	22,87	50,04
0	FONDO	431,00	50,04	0,00
TOTAL		861,29		




Laboratoristas	Revisado	Fecha de toma de muestra
Kleber Borbor Gabino Liliana Collantes Piguave	Ing. Lucrecia Moreno	28/01/2019

3. Determinación de granulometría y contenido de humedad Calicata 1



UNIVERSIDAD ESTADAL PENINSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL



DETERMINACIÓN DE GRANULOMETRÍA Y CONTENIDO DE HUMEDAD

PROYECTO:	Estabilización o mejoramiento de la capacidad portante de los suelos de la subrasante de carretera utilizando diferentes proporciones de arenas asfálticas de yacimientos naturales de la península de Santa Elena	TESISTAS:	Kleber Borbor Gabino Liliana Collantes Piguave
LOCALIZACIÓN:	Velasco Ibarra-La Libertad-Santa Elena	TUTOR:	Ing. Nelson Alvarez
FECHA:	30/01/2019	PROFUNDIDAD:	1 m
NORMA:	ASTM D 2216 ; C-136	ARENA ASFÁLTICA:	0%
Pag:	1/1	MUESTRA N°:	Calicata 1

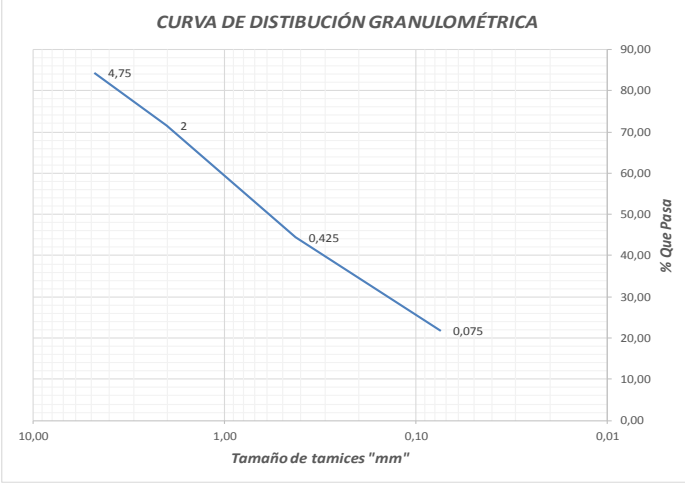
**CONTENIDO DE HUMEDAD
NORMA ASTM D-2216**

N° RECIPIENTE	Q
PESO DE RECIPIENTE	90,010
P. REC + P- SUELO HÚMEDO	828,000
P. REC + P- SUELO SECO	725,000
PESO AGUA	103,000
PESO SUELO SECO	634,990
CONTENIDO DE HUMEDAD	16,22%

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO
NORMA ASTM C-136**

TAMICES		PESO PARCIAL "gr"	% RETENIDO	% QUE PASA
"mm"	"in"			
4,75	No 4	0,0997	15,73	84,27
2,00	No 10	0,0810	12,78	71,48
0,425	No 40	0,1710	26,98	44,50
0,075	No 200	0,1430	22,57	21,93
0	FONDO	0,1390	21,93	0,00
TOTAL		0,63		

CURVA DE DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA



Laboratoristas	Revisado	Fecha de toma de muestra
Kleber Borbor Gabino Liliana Collantes Piguave	Ing. Lucrecia Moreno	28/01/2019

4. Determinación de granulometría y contenido de humedad Calicata 2



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL**

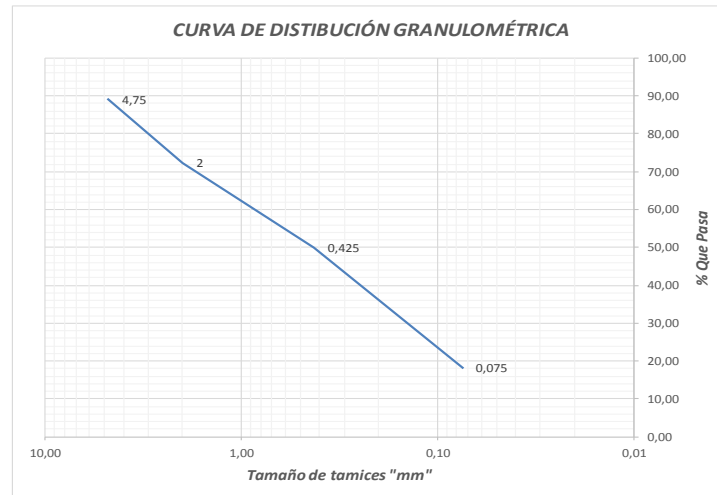


DETERMINACIÓN DE GRANULOMETRÍA Y CONTENIDO DE HUMEDAD			
PROYECTO:	Estabilización o mejoramiento de la capacidad portante de los suelos de la subrasante de carretera utilizando diferentes proporciones de arenas asfálticas de yacimientos naturales de la península de Santa Elena	TESISTAS:	Kleber Borbor Gabino Liliana Collantes Piguave
LOCALIZACIÓN:	Velasco Ibarra-La Libertad-Santa Elena	TUTOR:	Ing. Nelson Alvarez
FECHA:	30/01/2019	PROFUNDIDAD:	0-0,60
NORMA:	ASTM D 2216 ; C-136	ARENA ASFÁLTICA:	0%
Pag:	1/1	MUESTRA N°:	CALICATA 2

CONTENIDO DE HUMEDAD NORMA ASTM D-2216	
Nº RECIPIENTE	A
PESO DE RECIPIENTE	88,850
P. REC + P- SUELO HÚMEDO	681,000
P. REC + P- SUELO SECO	640,000
PESO AGUA	41,000
PESO SUELO SECO	551,150
CONTENIDO DE HUMEDAD	7,44%



**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO
NORMA ASTM C-136**

TAMICES		PESO PARCIAL "gr"	% RETENIDO	% QUE PASA
"mm"	"in"			
4,75	No 4	0,0602	10,92	89,08
2,00	No 10	0,0920	16,69	72,39
0,425	No 40	0,1240	22,50	49,89
0,075	No 200	0,1740	31,57	18,32
0	FONDO	0,1010	18,32	0,00
TOTAL		0,551		



Laboratoristas	Revisado	Fecha de toma de muestra
Kleber Borbor Gabino Liliana Collantes Piguave	Ing. Lucrecia Moreno	28/01/2019

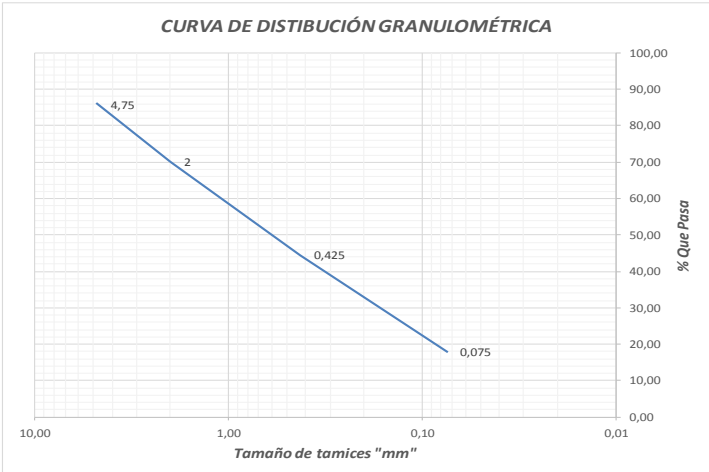
5. Determinación de granulometría y contenido de humedad Calicata 2

	UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL		
DETERMINACIÓN DE GRANULOMETRÍA Y CONTENIDO DE HUMEDAD			
PROYECTO:	Estabilización o mejoramiento de la capacidad portante de los suelos de la subrasante de carretera utilizando diferentes proporciones de arenas asfálticas de yacimientos naturales de la península de Santa Elena	TESISTAS:	Kleber Borbor Gabino Liliana Collantes Piguave
LOCALIZACIÓN:	Velasco Ibarra-La Libertad-Santa Elena	TUTOR:	Ing. Nelson Alvarez
FECHA:	30/01/2019	PROFUNDIDAD:	0,6-1,2
NORMA:	ASTM D 2216 ; C-136	ARENA ASFÁLTICA:	0%
Pag:	1/1	MUESTRA Nº:	CALICATA 2

CONTENIDO DE HUMEDAD NORMA ASTM D-2216	
Nº RECIPIENTE	D
PESO DE RECIPIENTE	87,510
P. REC + P- SUELO HÚMEDO	865,000
P. REC + P- SUELO SECO	792,000
PESO AGUA	73,000
PESO SUELO SECO	704,490
CONTENIDO DE HUMEDAD	10,36%

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO NORMA ASTM C-136				
TAMICES		PESO PARCIAL	% RETENIDO	% QUE PASA
"mm"	"in"	"gr"		
4,75	No 4	0,0990	14,07	85,93
2,00	No 10	0,1110	15,78	70,15
0,425	No 40	0,1800	25,59	44,56
0,075	No 200	0,1870	26,58	17,98
0	FONDO	0,1265	17,98	0,00
TOTAL		0,704		

CURVA DE DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA



Laboratoristas	Revisado	Fecha de toma de muestra
Kleber Borbor Gabino Liliana Collantes Piguave	Ing. Lucrecia Moreno	28/01/2019

6. Determinación de límites de Atterberg, Arenas Asfálticas



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL**



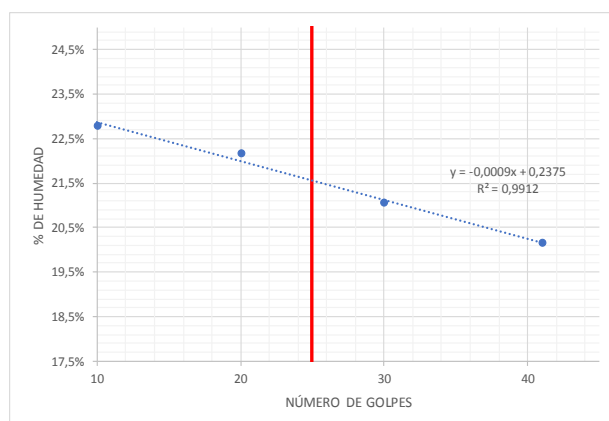
DETERMINACIÓN DE LÍMITE LIQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD

PROYECTO:	Estabilización o mejoramiento de la capacidad portante de los suelos de la subrasante de carretera utilizando diferentes proporciones de arenas asfálticas de yacimientos naturales de la península de Santa Elena	TESISTAS:	Kleber Borbor Gabino Liliana Collantes Piguave
LOCALIZACIÓN:	Velasco Ibarra-La Libertad-Santa Elena	TUTOR:	Ing. Nelson Alvarez
FECHA:	30/01/2019	PROFUNDIDAD:	4 m
NORMA:	ASTM D-4318	ARENA ASFÁLTICA:	100%
Pag:	1/1	MUESTRA N°:	ARENA ASFÁLTICA

LÍMITE LÍQUIDO				
NORMA ASTM D-4318				
Nº RECIPIENTE	3	L1	J1	L3
PESO DE RECIPIENTE	9,23	9,34	9,13	9,11
P. REC + P- SUELO HÚMEDO	29,48	42,68	41,22	53,01
P. REC + P- SUELO SECO	24,01	34,94	34,05	44,12
PESO AGUA	5,47	7,74	7,17	8,89
PESO SUELO SECO	24,00	34,93	34,04	44,11
CONTENIDO DE HUMEDAD	22,8%	22,2%	21,1%	20,2%
Nº DE GOLPES	10,00	20,00	30,00	41,00



LÍMITE PLÁSTICO		
NORMA ASTM D-4318		
Nº RECIPIENTE	N1	S
PESO DE RECIPIENTE	9,12	9,58
P. REC + P- SUELO HÚMEDO	12,88	14,50
P. REC + P- SUELO SECO	12,27	13,63
PESO AGUA	0,61	0,87
PESO SUELO SECO	12,26	13,62
CONTENIDO DE HUMEDAD	5,0%	6,4%

RESULTADOS
LL
21,50
LP
5,68
IP
15,82



Laboratoristas	Revisado	Fecha de toma de muestra
Kleber Borbor Gabino Liliana Collantes Piguave	Ing. Lucrecia Moreno	28/01/2019

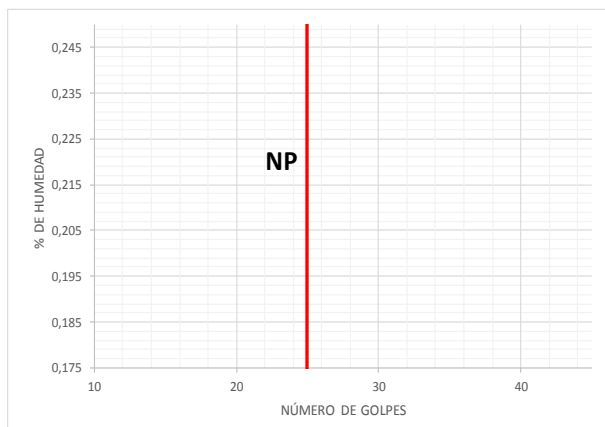
7. Determinación de límites de Atterberg, Calicata 1

	UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL		
DETERMINACIÓN DE LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD			
PROYECTO:	Estabilización o mejoramiento de la capacidad portante de los suelos de la subrasante de carretera utilizando diferentes proporciones de arenas asfálticas de yacimientos naturales de la península de Santa Elena	TESISTAS:	Kleber Borbor Gabino Liliana Collantes Piguave
LOCALIZACIÓN:	Velasco Ibarra-La Libertad-Santa Elena	TUTOR:	Ing. Nelson Alvarez
FECHA:	30/01/2019	PROFUNDIDAD:	1 m
NORMA:	ASTM D-4318	ARENA ASFÁLTICA:	0%
Pag:	1/1	MUESTRA N°:	TERRENO NATURAL

LÍMITE LÍQUIDO				
NORMA ASTM D-4318				
Nº RECIPIENTE	-	-	-	-
PESO DE RECIPIENTE	-	-	-	-
P. REC + P- SUELO HÚMEDO	-	-	-	-
P. REC + P- SUELO SECO	-	-	-	-
PESO AGUA	-	-	-	-
PESO SUELO SECO	-	-	-	-
CONTENIDO DE HUMEDAD	-	-	-	-
Nº DE GOLPES	-	-	-	-

LÍMITE PLÁSTICO		
NORMA ASTM D-4318		
Nº RECIPIENTE	-	-
PESO DE RECIPIENTE	-	-
P. REC + P- SUELO HÚMEDO	-	-
P. REC + P- SUELO SECO	-	-
PESO AGUA	-	-
PESO SUELO SECO	-	-
CONTENIDO DE HUMEDAD	-	-

RESULTADOS
LL
-
LP
-
IP
NP



The graph plots the percentage of moisture (% DE HUMEDAD) on the y-axis (ranging from 0.175 to 0.245) against the number of blows (NÚMERO DE GOLPES) on the x-axis (ranging from 10 to 40). A vertical red line is drawn at approximately 25 blows, with the label 'NP' placed to its left, indicating that the Plasticity Index is Non-Plastic.

Laboratoristas	Revisado	Fecha de toma de muestra
Kleber Borbor Gabino Liliana Collantes Piguave	Ing. Lucrecia Moreno	28/01/2019

8. Determinación de límites de Atterberg, Calicata 2



**UNIVERSIDAD ESTADAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL**

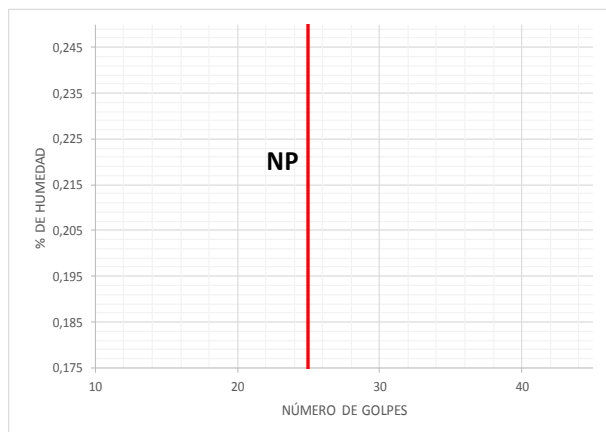


DETERMINACIÓN DE LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD			
PROYECTO:	Estabilización o mejoramiento de la capacidad portante de los suelos de la subrasante de carretera utilizando diferentes proporciones de arenas asfálticas de yacimientos naturales de la península de Santa Elena	TESISTAS:	Kleber Borbor Gabino Liliana Collantes Piguave
LOCALIZACIÓN:	Velasco Ibarra-La Libertad-Santa Elena	TUTOR:	Ing. Nelson Alvarez
FECHA:	30/01/2019	PROFUNDIDAD:	0-0,6 m
NORMA:	ASTM D-4318	ARENA ASFÁLTICA:	0%
Pag:	1/1	MUESTRA Nº:	TERRENO NATURAL

LÍMITE LÍQUIDO				
NORMA ASTM D-4318				
Nº RECIPIENTE	-	-	-	-
PESO DE RECIPIENTE	-	-	-	-
P. REC + P- SUELO HÚMEDO	-	-	-	-
P. REC + P- SUELO SECO	-	-	-	-
PESO AGUA	-	-	-	-
PESO SUELO SECO	-	-	-	-
CONTENIDO DE HUMEDAD	-	-	-	-
Nº DE GOLPES	-	-	-	-



LÍMITE PLÁSTICO		
NORMA ASTM D-4318		
Nº RECIPIENTE	-	-
PESO DE RECIPIENTE	-	-
P. REC + P- SUELO HÚMEDO	-	-
P. REC + P- SUELO SECO	-	-
PESO AGUA	-	-
PESO SUELO SECO	-	-
CONTENIDO DE HUMEDAD	-	-

RESULTADOS
LL
-
LP
-
IP
NP



Laboratoristas	Revisado	Fecha de toma de muestra
Kleber Borbor Gabino Liliana Collantes Piguave	Ing. Lucrecia Moreno	28/01/2019

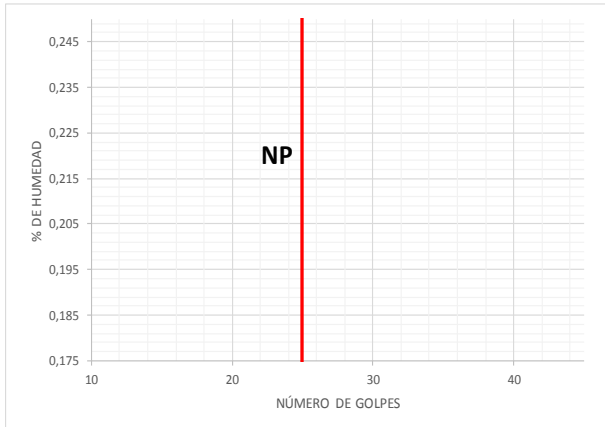
9. Determinación de límites de Atterberg, Calicata 2

	UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL		
DETERMINACIÓN DE LÍMITE LIQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD			
PROYECTO:	Estabilización o mejoramiento de la capacidad portante de los suelos de la subrasante de carretera utilizando diferentes proporciones de arenas asfálticas de yacimientos naturales de la península de Santa Elena	TESISTAS:	Kleber Borbor Gabino Liliana Collantes Piguave
LOCALIZACIÓN:	Velasco Ibarra-La Libertad-Santa Elena	TUTOR:	Ing. Nelson Alvarez
FECHA:	30/01/2019	PROFUNDIDAD:	0,6-1,2 m
NORMA:	ASTM D-4318	ARENA ASFÁLTICA:	0%
Pag:	1/1	MUESTRA N°:	TERRENO NATURAL

LÍMITE LÍQUIDO				
NORMA ASTM D-4318				
Nº RECIPIENTE	-	-	-	-
PESO DE RECIPIENTE	-	-	-	-
P. REC + P- SUELO HÚMEDO	-	-	-	-
P. REC + P- SUELO SECO	-	-	-	-
PESO AGUA	-	-	-	-
PESO SUELO SECO	-	-	-	-
CONTENIDO DE HUMEDAD	-	-	-	-
Nº DE GOLPES	-	-	-	-

LÍMITE PLÁSTICO		
NORMA ASTM D-4318		
Nº RECIPIENTE	-	-
PESO DE RECIPIENTE	-	-
P. REC + P- SUELO HÚMEDO	-	-
P. REC + P- SUELO SECO	-	-
PESO AGUA	-	-
PESO SUELO SECO	-	-
CONTENIDO DE HUMEDAD	-	-



RESULTADOS
LL
-
LP
-
IP
NP



The graph plots the percentage of moisture (% DE HUMEDAD) on the y-axis (ranging from 0.175 to 0.245) against the number of blows (NÚMERO DE GOLPES) on the x-axis (ranging from 10 to 40). A vertical red line is drawn at 25 blows, with the label 'NP' placed to its left, indicating that the test results are not plastic.

Laboratoristas	Revisado	Fecha de toma de muestra
Kleber Borbor Gabino Liliana Collantes Piguave	Ing. Lucrecia Moreno	28/01/2019

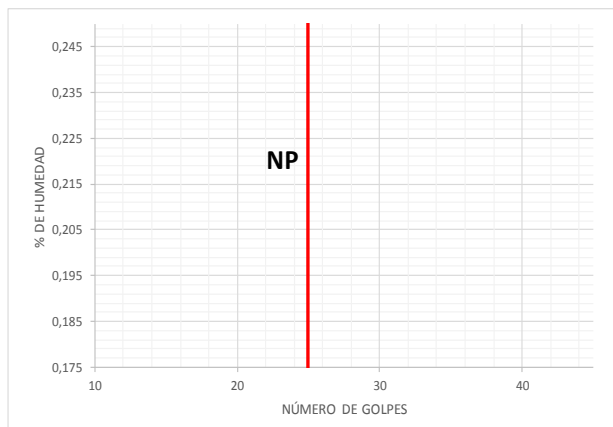
10. Determinación de límites de Atterberg, mezcla 90% TN -10% AA

	UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL		
DETERMINACIÓN DE LÍMITE LIQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD			
PROYECTO:	Estabilización o mejoramiento de la capacidad portante de los suelos de la subrasante de carretera utilizando diferentes proporciones de arenas asfálticas de yacimientos naturales de la península de Santa Elena	TESISTAS:	Kleber Borbor Gabino Liliana Collantes Piguave
LOCALIZACIÓN:	Velasco Ibarra-La Libertad-Santa Elena	TUTOR:	Ing. Nelson Alvarez
FECHA:	30/01/2019	PROFUNDIDAD:	1 m
NORMA:	ASTM D-4318	ARENA ASFÁLTICA:	10%
Pag:	1/1	MUESTRA N°:	TERRENO NATURAL

LÍMITE LÍQUIDO				
NORMA ASTM D-4318				
Nº RECIPIENTE	-	-	-	-
PESO DE RECIPIENTE	-	-	-	-
P. REC + P- SUELO HÚMEDO	-	-	-	-
P. REC + P- SUELO SECO	-	-	-	-
PESO AGUA	-	-	-	-
PESO SUELO SECO	-	-	-	-
CONTENIDO DE HUMEDAD	-	-	-	-
Nº DE GOLPES	-	-	-	-

LÍMITE PLÁSTICO		
NORMA ASTM D-4318		
Nº RECIPIENTE	-	-
PESO DE RECIPIENTE	-	-
P. REC + P- SUELO HÚMEDO	-	-
P. REC + P- SUELO SECO	-	-
PESO AGUA	-	-
PESO SUELO SECO	-	-
CONTENIDO DE HUMEDAD	-	-



RESULTADOS
LL
-
LP
-
IP
NP



The graph plots the percentage of humidity (Y-axis, ranging from 0.175 to 0.245) against the number of blows (X-axis, ranging from 10 to 40). A vertical red line is drawn at 25 blows, with the label 'NP' placed to its left, indicating that the test results fall below the plasticity limit.

Laboratoristas	Revisado	Fecha de toma de muestra
Kleber Borbor Gabino Liliana Collantes Piguave	Ing. Lucrecia Moreno	28/01/2019

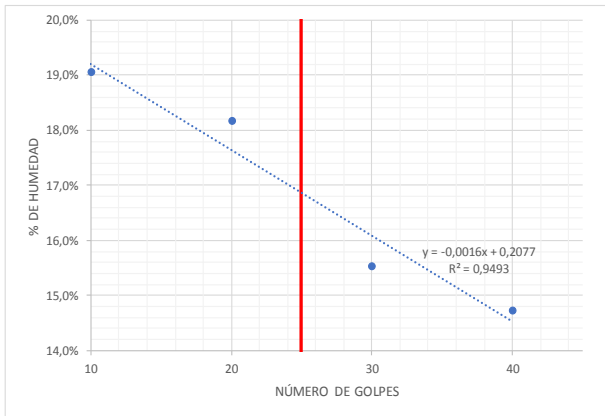
11. Determinación de límites de Atterberg, mezcla 80% TN -20% AA

	UNIVERSIDAD ESTADAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL		
DETERMINACIÓN DE LÍMITE LIQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD			
PROYECTO:	Estabilización o mejoramiento de la capacidad portante de los suelos de la subrasante de carretera utilizando diferentes proporciones de arenas asfálticas de yacimientos naturales de la península de Santa Elena	TESISTAS:	Kleber Borbor Gabino Liliana Collantes Piguave
LOCALIZACIÓN:	Velasco Ibarra-La Libertad-Santa Elena	TUTOR:	Ing. Nelson Alvarez
FECHA:	30/01/2019	PROFUNDIDAD:	1 m
NORMA:	ASTM D-4318	ARENA ASFÁLTICA:	20%
Pag:	1/1	MUESTRA N°:	TERRENO NATURAL

LÍMITE LÍQUIDO				
NORMA ASTM D-4318				
Nº RECIPIENTE	V2	J	P1	7
PESO DE RECIPIENTE	9,15	9,13	9,24	9,28
P. REC + P- SUELO HÚMEDO	30,08	28,82	25,23	24,48
P. REC + P- SUELO SECO	25,27	24,39	21,84	21,34
PESO AGUA	4,81	4,43	3,39	3,14
PESO SUELO SECO	25,26	24,38	21,83	21,33
CONTENIDO DE HUMEDAD	19,0%	18,2%	15,5%	14,7%
Nº DE GOLPES	10	20	30	40



LÍMITE PLÁSTICO		
NORMA ASTM D-4318		
Nº RECIPIENTE	1	W3
PESO DE RECIPIENTE	9,20	9,14
P. REC + P- SUELO HÚMEDO	14,23	12,99
P. REC + P- SUELO SECO	12,76	12,09
PESO AGUA	1,47	0,90
PESO SUELO SECO	12,75	12,08
CONTENIDO DE HUMEDAD	11,5%	7,4%

RESULTADOS
LL
16,77
LP
9,49
IP
7,28



Laboratoristas	Revisado	Fecha de toma de muestra
Kleber Borbor Gabino Liliana Collantes Piguave	Ing. Lucrecia Moreno	28/01/2019

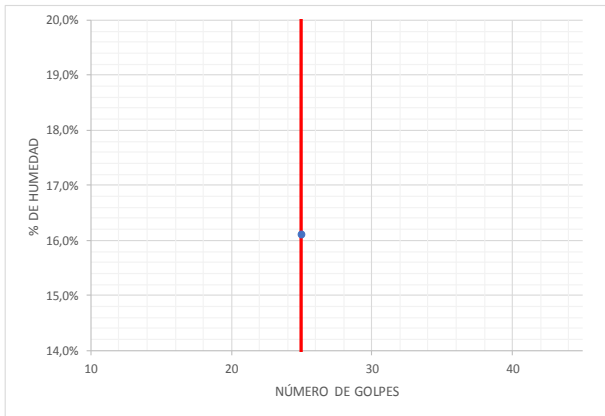
12. Determinación de límites de Atterberg, mezcla 70% TN -30% AA

	UNIVERSIDAD ESTADAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL		
DETERMINACIÓN DE LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD			
PROYECTO:	Estabilización o mejoramiento de la capacidad portante de los suelos de la subrasante de carretera utilizando diferentes proporciones de arenas asfálticas de yacimientos naturales de la península de Santa Elena	TESISTAS:	Kleber Borbor Gabino Liliana Collantes Piguave
LOCALIZACIÓN:	Velasco Ibarra-La Libertad-Santa Elena	TUTOR:	Ing. Nelson Alvarez
FECHA:	30/01/2019	PROFUNDIDAD:	1 m
NORMA:	ASTM D-4318	ARENA ASFÁLTICA:	30%
Pag:	1/1	MUESTRA N°:	TERRENO NATURAL

LÍMITE LÍQUIDO			
NORMA ASTM D-4318			
Nº RECIPIENTE	W2		
PESO DE RECIPIENTE	9,03		
P. REC + P- SUELO HÚMEDO	30,08		
P. REC + P- SUELO SECO	25,91		
PESO AGUA	4,17		
PESO SUELO SECO	25,90		
CONTENIDO DE HUMEDAD	16,1%		
Nº DE GOLPES	25		


LÍMITE PLÁSTICO		
NORMA ASTM D-4318		
Nº RECIPIENTE	S	L1
PESO DE RECIPIENTE	9,29	9,34
P. REC + P- SUELO HÚMEDO	12,29	13,20
P. REC + P- SUELO SECO	11,54	12,47
PESO AGUA	0,75	0,73
PESO SUELO SECO	11,53	12,46
CONTENIDO DE HUMEDAD	6,5%	5,9%

RESULTADOS
LL
16,61
LP
6,18
IP
10,43




Laboratoristas	Revisado	Fecha de toma de muestra
Kleber Borbor Gabino Liliana Collantes Piguave	Ing. Lucrecia Moreno	28/01/2019

13. Determinación de límites de Atterberg, mezcla 60% TN -40% AA



UNIVERSIDAD ESTADAL PENINSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL

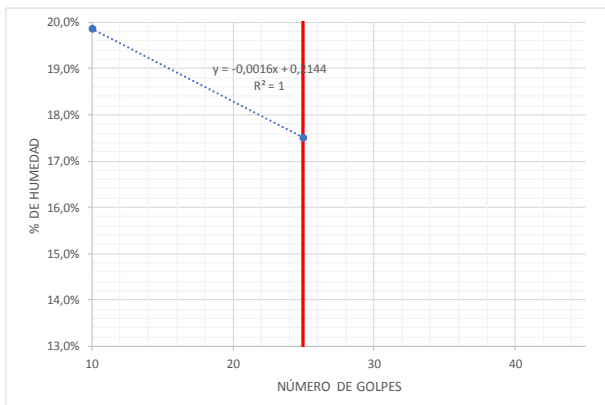


DETERMINACIÓN DE LÍMITE LIQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD			
PROYECTO:	Estabilización o mejoramiento de la capacidad portante de los suelos de la subrasante de carretera utilizando diferentes proporciones de arenas asfálticas de yacimientos naturales de la península de Santa Elena	TESISTAS:	Kleber Borbor Gabino Liliana Collantes Piguave
LOCALIZACIÓN:	Velasco Ibarra-La Libertad-Santa Elena	TUTOR:	Ing. Nelson Alvarez
FECHA:	30/01/2019	PROFUNDIDAD:	1 m
NORMA:	ASTM D-4318	ARENA ASFÁLTICA:	40%
Pag:	1/1	MUESTRA N°:	TERRENO NATURAL

LÍMITE LIQUIDO			
NORMA ASTM D-4318			
Nº RECIPIENTE	N3	6	
PESO DE RECIPIENTE	9,26	9,27	
P. REC + P- SUELO HÚMEDO	30,79	32,85	
P. REC + P- SUELO SECO	25,69	27,96	
PESO AGUA	5,10	4,89	
PESO SUELO SECO	25,68	27,95	
CONTENIDO DE HUMEDAD	19,9%	17,5%	
Nº DE GOLPES	10	25	



LÍMITE PLÁSTICO		
NORMA ASTM D-4318		
Nº RECIPIENTE	9	L
PESO DE RECIPIENTE	9,43	9,31
P. REC + P- SUELO HÚMEDO	13,73	13,54
P. REC + P- SUELO SECO	12,90	12,75
PESO AGUA	0,83	0,79
PESO SUELO SECO	12,89	12,74
CONTENIDO DE HUMEDAD	6,4%	6,2%

RESULTADOS
LL
17,50
LP
6,32
IP
11,18



Laboratoristas	Revisado	Fecha de toma de muestra
Kleber Borbor Gabino Liliana Collantes Piguave	Ing. Lucrecia Moreno	28/01/2019

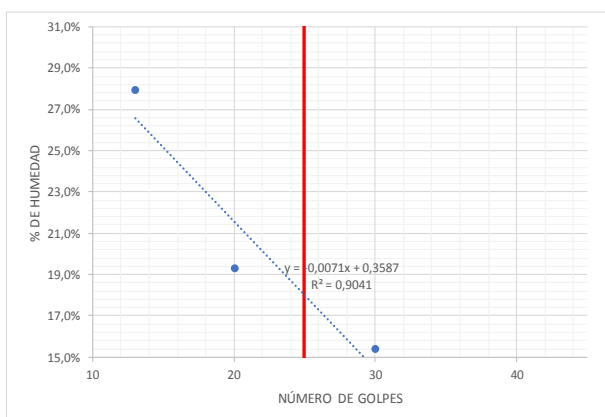
14. Determinación de límites de Atterberg, mezcla 50% TN -50% AA

	UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL		
DETERMINACIÓN DE LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD			
PROYECTO:	Estabilización o mejoramiento de la capacidad portante de los suelos de la subrasante de carretera utilizando diferentes proporciones de arenas asfálticas de yacimientos naturales de la península de Santa Elena	TESISTAS:	Kleber Borbor Gabino Liliana Collantes Piguave
LOCALIZACIÓN:	Velasco Ibarra-La Libertad-Santa Elena	TUTOR:	Ing. Nelson Alvarez
FECHA:	30/01/2019	PROFUNDIDAD:	1 m
NORMA:	ASTM D-4318	ARENA ASFÁLTICA:	50%
Pag:	1/1	MUESTRA N°:	TERRENO NATURAL

LÍMITE LÍQUIDO				
NORMA ASTM D-4318				
Nº RECIPIENTE	N4		8	W4
PESO DE RECIPIENTE	9,28		9,13	9,14
P. REC + P- SUELO HÚMEDO	31,58		32,98	26,37
P. REC + P- SUELO SECO	24,69		27,65	22,86
PESO AGUA	6,89		5,33	3,51
PESO SUELO SECO	24,68		27,64	22,85
CONTENIDO DE HUMEDAD	27,9%		19,3%	15,4%
Nº DE GOLPES	13		20	30



LÍMITE PLÁSTICO		
NORMA ASTM D-4318		
Nº RECIPIENTE	15	W1
PESO DE RECIPIENTE	9,20	9,05
P. REC + P- SUELO HÚMEDO	13,17	15,11
P. REC + P- SUELO SECO	12,29	13,99
PESO AGUA	0,88	1,12
PESO SUELO SECO	12,28	13,98
CONTENIDO DE HUMEDAD	7,2%	8,0%

RESULTADOS
LL
18,12
LP
7,59
IP
10,53



Laboratoristas	Revisado	Fecha de toma de muestra
Kleber Borbor Gabino Liliana Collantes Piguave	Ing. Lucrecia Moreno	28/01/2019

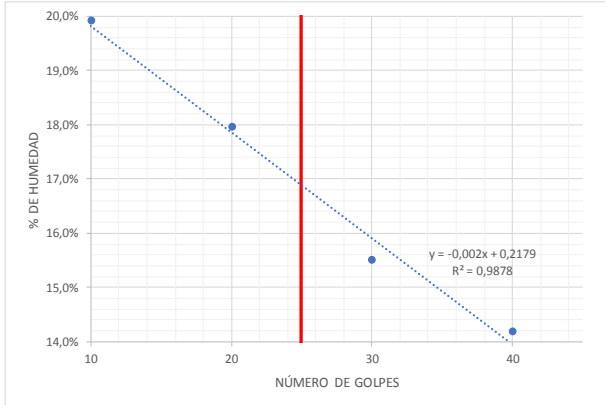
15. Determinación de límites de Atterberg, mezcla 30% TN -70% AA

	UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL		
DETERMINACIÓN DE LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD			
PROYECTO:	Estabilización o mejoramiento de la capacidad portante de los suelos de la subrasante de carretera utilizando diferentes proporciones de arenas asfálticas de yacimientos naturales de la península de Santa Elena	TESISTAS:	Kleber Borbor Gabino Liliana Collantes Piguave
LOCALIZACIÓN:	Velasco Ibarra-La Libertad-Santa Elena	TUTOR:	Ing. Nelson Alvarez
FECHA:	30/01/2019	PROFUNDIDAD:	1 m
NORMA:	ASTM D-4318	ARENA ASFÁLTICA:	70%
Pag:	1/1	MUESTRA Nº:	TERRENO NATURAL

LÍMITE LÍQUIDO				
NORMA ASTM D-4318				
Nº RECIPIENTE	P3	N4	6	W5
PESO DE RECIPIENTE	9,28	9,28	9,31	9,71
P. REC + P- SUELO HÚMEDO	31,27	23,27	26,77	28,84
P. REC + P- SUELO SECO	26,08	19,73	23,18	25,26
PESO AGUA	5,19	3,54	3,59	3,58
PESO SUELO SECO	26,07	19,72	23,17	25,25
CONTENIDO DE HUMEDAD	19,9%	18,0%	15,5%	14,2%
Nº DE GOLPES	10	20	30	40



LÍMITE PLÁSTICO		
NORMA ASTM D-4318		
Nº RECIPIENTE	P	L4
PESO DE RECIPIENTE	9,52	9,11
P. REC + P- SUELO HÚMEDO	13,42	12,27
P. REC + P- SUELO SECO	12,73	11,50
PESO AGUA	0,69	0,77
PESO SUELO SECO	12,72	11,49
CONTENIDO DE HUMEDAD	5,4%	6,7%

RESULTADOS
LL
16,79
LP
6,06
IP
10,73



Laboratoristas	Revisado	Fecha de toma de muestra
Kleber Borbor Gabino Liliana Collantes Piguave	Ing. Lucrecia Moreno	28/01/2019

16. Determinación de la gravedad específica de las arenas asfálticas

	UNIVERSIDAD ESTADAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL		
DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAAD ESPECÍFICA DE LOS SUELOS			
PROYECTO:	Estabilización o mejoramiento de la capacidad portante de los suelos de la subrasante de carretera utilizando diferentes proporciones de arenas asfálticas de yacimientos naturales de la península de Santa Elena	TESISTAS:	Kleber Borbor Gabino Liliana Collantes Piguave
LOCALIZACIÓN:	Velasco Ibarra-La Libertad-Santa Elena	TUTOR:	Ing. Nelson Alvarez
FECHA:	30/01/2019	PROFUNDIDAD:	4 m
NORMA:	ASTM D 854	ARENA ASFÁLTICA:	100%
Pag:	1/1	MUESTRA N°:	Arena Asfáltica

DATOS DEL ENSAYO		
NORMA ASTM D-854		
N° RECIPIENTE	2	1
TEMPERATURA °c	29,5 °c	30 °c
PESO DE RECIPIENTE	161,31	157,68
RECIPIENTE + Ws	211	208,77
FRASCO + AGUA	Wbw	658,00
FRASCO+ AGUA+ SUELO	Wbws	683,00

CÁLCULOS		
Ws	49,69	51,09
Ws + Wbw	707,69	706,09
Ws + Wbw - Wbws	22,69	23,09
FACTOR DE CORRECCIÓN K	0,9958	0,99585
Ws * k / (Ws + Wbw - Wbws)	2,18	2,20

Gs	2,19
-----------	------

OBSERVACIONES:

Laboratoristas	Revisado	Fecha de toma de muestra
Kleber Borbor Gabino Liliana Collantes Piguave	Ing. Lucrecia Moreno	28/01/2019

17. Determinación de la relación humedad-densidad de las arenas asfálticas.

UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL			
DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD DE SUELOS			
PROYECTO:	Estabilización o mejoramiento de la capacidad portante de los suelos de la subrasante de carretera utilizando diferentes proporciones de arenas asfálticas de yacimientos naturales de la península de Santa Elena	TESISTAS:	Kleber Borbor Gabino Liliana Collantes Piguave
LOCALIZACIÓN:	Velasco Ibarra-La Libertad-Santa Elena	TUTOR:	Ing. Nelson Alvarez
FECHA:	30/01/2019	PROFUNDIDAD:	4 m
NORMA:	ASTM D 1557	ARENA ASFÁLTICA:	100%
Pag:	1/1	MUESTRA Nº:	ARENA ASFÁLTICA

PROCEDIMIENTO:	B	DATOS DEL MOLDE	
GOLPES/CAPA:	25	MASA	3745 g.
Nº DE CAPAS	5	VOL.	1006,01 cm ³

Modificado Metodo B: Porcion que pasa en la malla No 3/8 (9,5mm). Puede usarse si el suelo retenido en la malla Nº 4 es mas de 20% y 20% o menos por peso es retenido en la malla de 9.5 mm (3/8 pulz).

DATOS DEL ENSAYO										
PUNTO Nº	1		2		3		4		5	
RECIPIENTE #	A	L	30	IA	JL	P	A	R1	R	A4
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA HUMEDA	86,63	97,14	65,23	64,28	61,13	62,30	54,93	51,71	68,29	80,21
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA SECA	84,09	94,23	62,43	61,55	57,22	58,16	50,31	47,31	60,15	70,76
MASA DE AGUA	2,54	2,91	2,80	2,73	3,91	4,14	4,62	4,40	8,14	9,45
MASA DE RECIPIENTE	16,05	17,21	16,85	16,55	16,57	16,33	16,77	16,67	16,47	16,57
MASA DE MUESTRA SECA	68,04	77,02	45,58	45,00	40,65	41,83	33,54	30,64	43,68	54,19
% DE HUMEDAD	3,73	3,78	6,14	6,07	9,62	9,90	13,77	14,36	18,64	17,44
% DE HUMEDAD PROMEDIO	3,76		6,10		9,76		14,07		18,04	
HUMEDAD AÑADIDA (cc)	0,00		100,00		200,00		300,00		400,00	
SUELO HUMEDO + MASA DE CILINDRO	5602,00		5727,00		5683,00		5747,00		5602,00	
MASA DE SUELO HÚMEDO	1857,00		1982,00		1938,00		2002,00		1857,00	
DENSIDAD HÚMEDA DEL SUELO (g/cm3)	1,846		1,970		1,926		1,990		1,846	
DENSIDAD SECA DEL SUELO (g/cm3)	1,779		1,857		1,755		1,745		1,564	

DENSIDAD SECA vs HUMEDAD

yd MÁXIMA (kg/m3)	1818
HUMEDAD ÓPTIMA (%)	7,15

Laboratoristas	Revisado	Fecha de toma de la muestra
Kleber Borbor Gabino Liliana Collantes Piguave	Ing. Lucrecia Moreno	28/01/2019

18. Determinación de la relación humedad-densidad de la Calicata 1

UNIVERSIDAD ESTADAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL			
DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD DE SUELOS			
PROYECTO:	Estabilización o mejoramiento de la capacidad portante de los suelos de la subrasante de carretera utilizando diferentes proporciones de arenas asfálticas de yacimientos naturales de la península de Santa Elena	TESISTAS:	Kleber Borbor Gabino Liliana Collantes Piguave
LOCALIZACIÓN:	Velasco Ibarra-La Libertad-Santa Elena	TUTOR:	Ing. Nelson Alvarez
FECHA:	30/01/2019	PROFUNDIDAD:	1 m
NORMA:	ASTM D 1557	ARENA ASFÁLTICA:	0%
Pag:	1/1	CALICATA N°:	1

PROCEDIMIENTO:	B	DATOS DEL MOLDE	
GOLPES/CAPA:	25	MASA:	3745 g.
Nº DE CAPAS:	5	VOL.:	1006,01 cm ³

Modificado Metodo B: Porcion que pasa en la malla No 3/8 (9,5mm). Puede usarse si el suelo retenido en la malla N° 4 es mas de 20% y 20% o menos por peso es retenido en la malla de 9.5 mm (3/8 pulg).

DATOS DEL ENSAYO										
PUNTO N°	1		2		3		4		5	
RECIPIENTE #	K	R	HD	RG	J	S1	K2	X	41	F
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA HUMEDA	67,18	71,12	42,63	43,40	53,40	47,80	72,41	57,89	72,50	70,25
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA SECA	64,65	68,28	40,19	41,30	49,51	43,28	65,52	51,40	63,58	61,64
MASA DE AGUA	2,53	2,84	2,44	2,10	3,89	4,52	6,89	6,49	8,92	8,61
MASA DE RECIPIENTE	17,04	16,94	16,53	16,73	17,13	17,28	16,68	17,17	16,92	17,18
MASA DE MUESTRA SECA	47,61	51,34	23,66	24,57	32,38	26,00	48,84	34,23	46,66	44,46
% DE HUMEDAD	5,31	5,53	10,31	8,55	12,01	17,38	14,11	18,96	19,12	19,37
% DE HUMEDAD PROMEDIO	5,42		9,43		14,70		16,53		19,24	
HUMEDAD AÑADIDA (cc)	0,00		100,00		200,00		300,00		400,00	
SUELO HUMEDO + MASA DE CILINDRO	5371,00		5512,00		5577,00		5554,00		5552,00	
MASA DE SUELO HÚMEDO	1626,00		1767,00		1832,00		1809,00		1807,00	
DENSIDAD HÚMEDA DEL SUELO (g/cm ³)	1,616		1,756		1,821		1,798		1,796	
DENSIDAD SECA DEL SUELO (g/cm ³)	1,533		1,605		1,588		1,543		1,506	

yd MÁXIMA (kg/m³)
1604
HUMEDAD ÓPTIMA (%)
11,50

Laboratoristas	Revisado	Fecha de toma de la muestra
Kleber Borbor Gabino Liliana Collantes Piguave	Ing. Lucrecia Moreno	28/01/2019

19. Determinación de la relación humedad-densidad de la Calicata 2

UNIVERSIDAD ESTADAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL			
DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD DE SUELOS			
PROYECTO:	Estabilización o mejoramiento de la capacidad portante de los suelos de la subrasante de carretera utilizando diferentes proporciones de arenas asfálticas de yacimientos naturales de la península de Santa Elena	TESISTAS:	Kleber Borbor Gabino Liliana Collantes Piguave
LOCALIZACIÓN:	Velasco Ibarra-La Libertad-Santa Elena	TUTOR:	Ing. Nelson Alvarez
FECHA:	30/01/2019	PROFUNDIDAD:	0-0,6 m
NORMA:	ASTM D 1557	ARENA ASFÁLTICA:	0%
Pag:	1/1	CALICATA Nº:	2

PROCEDIMIENTO:	B	DATOS DEL MOLDE	Modificado Metodo B: Porción que pasa en la malla No 3/8 (9,5mm). Puede usarse si el suelo retenido en la malla Nº 4 es mas de 20% y 20% o menos por peso es retenido en la malla de 9,5 mm (3/8 pulg).	
GOLPES/CAPA:	25	MASA		3745 g.
Nº DE CAPAS	5	VOL.		1006,01 cm ³

DATOS DEL ENSAYO										
PUNTO Nº	1		2		3		4		5	
	N	J	GG	F	C8	T	2	0	R	M2
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA HUMEDA	69,20	73,25	43,91	44,70	55,00	49,23	74,58	59,63	74,68	72,36
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA SECA	66,59	70,33	41,40	42,54	51,00	44,58	67,49	52,94	65,49	63,49
MASA DE AGUA	2,61	2,93	2,51	2,16	4,01	4,66	7,10	6,68	9,19	8,87
MASA DE RECIPIENTE	16,89	17,13	16,73	17,18	17,95	16,78	16,42	15,72	17,21	17,32
MASA DE MUESTRA SECA	49,70	53,20	24,67	25,36	33,05	27,80	51,07	37,22	48,28	46,17
% DE HUMEDAD	5,24	5,50	10,19	8,53	12,12	16,75	13,90	17,96	19,03	19,21
% DE HUMEDAD PROMEDIO	5,37		9,36		14,44		15,93		19,12	
HUMEDAD AÑADIDA (cc)	0,00		100,00		200,00		300,00		400,00	
SUELO HUMEDO + MASA DE CILINDRO	5405,70		5547,61		5613,03		5589,88		5587,87	
MASA DE SUELO HÚMEDO	1660,70		1802,61		1868,03		1844,88		1842,87	
DENSIDAD HÚMEDA DEL SUELO (g/cm ³)	1,651		1,792		1,857		1,834		1,832	
DENSIDAD SECA DEL SUELO (g/cm ³)	1,567		1,638		1,623		1,582		1,538	

DENSIDAD SECA vs HUMEDAD

yd MÁXIMA (kg/m³)
1630

HUMEDAD ÓPTIMA (%)
11,45

Laboratoristas	Revisado	Fecha de toma de la muestra
Kleber Borbor Gabino Liliana Collantes Piguave	Ing. Lucrecia Moreno	28/01/2019

20. Determinación de la relación humedad-densidad de la Calicata 2

UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL	
DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD DE SUELOS	
PROYECTO:	Estabilización o mejoramiento de la capacidad portante de los suelos de la subrasante de carretera utilizando diferentes proporciones de arenas asfálticas de yacimientos naturales de la península de Santa Elena
LOCALIZACIÓN:	Velasco Ibarra-La Libertad-Santa Elena
FECHA:	30/01/2019
NORMA:	ASTM D 1557
Pag:	1/1
TESISTAS:	Kleber Borbor Gabino Liliana Collantes Piguave
TUTOR:	Ing. Nelson Alvarez
PROFUNDIDAD:	0,6-1,2 m
ARENA ASFÁLTICA:	0%
CALICATA N°:	2

PROCEDIMIENTO:	B	DATOS DEL MOLDE	
GOLPES/CAPA:	25	MASA	3745 g
N° DE CAPAS	5	VOL.	1006,01 cm ³

Modificado Metodo B: Porción que pasa en la malla No 3/8 (9,5mm). Puede usarse si el suelo retenido en la malla N° 4 es mas de 20% y 20% o menos por peso es retenido en la malla de 9.5 mm (3/8 pulg).

PUNTO N°	DATOS DEL ENSAYO									
	1		2		3		4		5	
RECIPIENTE #	P	S	J	GG	A	B	K	C8	R	F
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA HUMEDA	71,27	75,45	45,23	46,04	56,65	50,71	76,82	61,42	76,92	74,53
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA SECA	67,22	70,99	41,78	42,94	51,97	45,02	68,12	53,44	66,10	64,09
MASA DE AGUA	4,06	4,46	3,44	3,10	4,68	5,69	8,70	7,98	10,81	10,44
MASA DE RECIPIENTE	17,15	16,64	17,13	16,73	16,77	16,74	17,09	17,95	17,21	17,09
MASA DE MUESTRA SECA	50,07	54,35	24,65	26,21	35,20	28,28	51,03	35,49	48,89	47,00
% DE HUMEDAD	8,10	8,21	13,96	11,84	13,29	20,12	17,05	22,47	22,11	22,22
% DE HUMEDAD PROMEDIO	8,16		12,90		16,71		19,76		22,17	
HUMEDAD AÑADIDA (cc)	0,00		100,00		200,00		300,00		400,00	
SUELO HUMEDO + MASA DE CILINDRO	5438,75		5581,53		5647,35		5624,06		5622,04	
MASA DE SUELO HÚMEDO	1693,75		1836,53		1902,35		1879,06		1877,04	
DENSIDAD HÚMEDA DEL SUELO (g/cm ³)	1,684		1,826		1,891		1,868		1,866	
DENSIDAD SECA DEL SUELO (g/cm ³)	1,557		1,617		1,620		1,560		1,527	

DENSIDAD SECA vs HUMEDAD

yd MÁXIMA (kg/m³)	1618
HUMEDAD ÓPTIMA (%)	13,90

Laboratoristas	Revisado	Fecha de toma de la muestra
Kleber Borbor Gabino Liliana Collantes Piguave	Ing. Lucrecia Moreno	28/01/2019

21. Determinación de la relación humedad-densidad de la mezcla 90%
TN-10% AA

UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL		
DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD DE SUELOS		
PROYECTO:	Estabilización o mejoramiento de la capacidad portante de los suelos de la subrasante de carretera utilizando diferentes proporciones de arenas asfálticas de yacimientos naturales de la península de Santa Elena	TESISTAS: Kleber Borbor Gabino Liliana Collantes Piguave
LOCALIZACIÓN:	Velasco Ibarra-La Libertad-Santa Elena	TUTOR: Ing. Nelson Alvarez
FECHA:	30/01/2019	PROFUNDIDAD: 1 m
NORMA:	ASTM D 1557	ARENA ASFÁLTICA: 10%
Pag:	1/1	MUESTRA N°: 1

PROCEDIMIENTO:	B	
GOLPES/CAPA:	25	
Nº DE CAPAS:	5	

DATOS DEL MOLDE	
MASA:	3745 g.
VOL.:	1006,01 cm ³

Modificado Metodo B: Porcion que pasa en la malla No 3/8 (9,5mm). Puede usarse si el suelo retenido en la malla N° 4 es mas de 20% y 20% o menos por peso es retenido en la malla de 9.5 mm (3/8 pulg).



DATOS DEL ENSAYO										
PUNTO N°	1		2		3		4		5	
RECIPIENTE #	N	J	GG	F	C8	T	2	0	R	M2
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA HUMEDA	61,84	67,02	61,91	56,33	71,14	63,29	66,95	70,85	70,15	64,23
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA SECA	57,55	61,94	55,74	51,94	66,21	55,57	57,11	62,39	59,08	54,01
MASA DE AGUA	4,29	5,08	6,17	4,39	4,93	7,72	9,84	8,46	11,07	10,22
MASA DE RECIPIENTE	16,89	17,13	16,73	17,18	17,95	16,78	16,42	15,72	17,21	17,32
MASA DE MUESTRA SECA	40,66	44,81	39,01	34,76	48,26	38,79	40,69	46,67	41,87	36,69
% DE HUMEDAD	10,55	11,34	15,82	12,63	10,22	19,90	24,18	18,13	26,44	27,86
% DE HUMEDAD PROMEDIO	10,94		14,22		15,06		21,16		27,15	
HUMEDAD AÑADIDA (cc)	0,00		100,00		200,00		300,00		400,00	
SUELO HUMEDO + MASA DE CILINDRO	5617,00		5680,00		5642,00		5359,00		5426,00	
MASA DE SUELO HÚMEDO	1872,00		1935,00		1897,00		1614,00		1681,00	
DENSIDAD HÚMEDA DEL SUELO (g/cm3)	1,861		1,923		1,886		1,604		1,671	
DENSIDAD SECA DEL SUELO (g/cm3)	1,677		1,684		1,639		1,324		1,314	

DENSIDAD SECA vs HUMEDAD

yd MÁXIMA (kg/m3)	1680
HUMEDAD ÓPTIMA (%)	12,50

Laboratoristas	Revisado	Fecha de toma de la muestra
Kleber Borbor Gabino Liliana Collantes Piguave	Ing. Lucrecia Moreno	28/01/2019

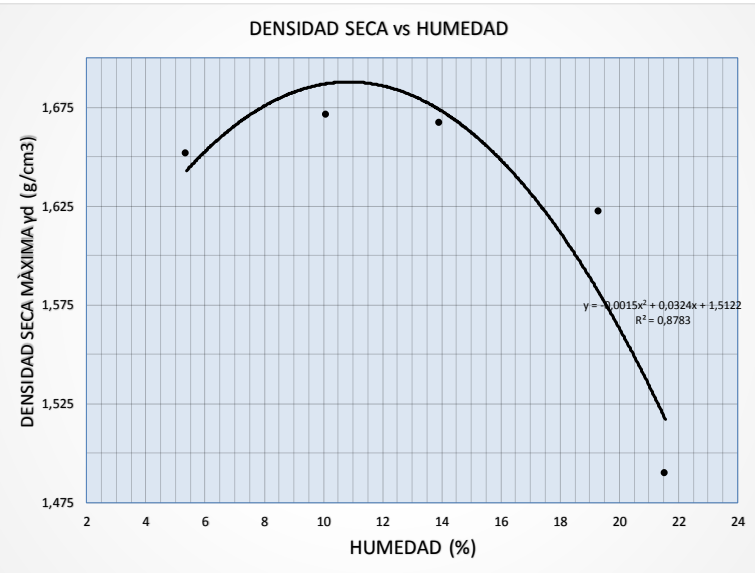
22. Determinación de la relación humedad-densidad de la mezcla 80%
TN-20% AA

	UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL		
DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD DE SUELOS			
PROYECTO:	Estabilización o mejoramiento de la capacidad portante de los suelos de la subrasante de carretera utilizando diferentes proporciones de arenas asfálticas de yacimientos naturales de la península de Santa Elena	TESISTAS:	Kleber Borbor Gabino Liliana Collantes Piguave
LOCALIZACIÓN:	Velasco Ibarra-La Libertad-Santa Elena	TUTOR:	Ing. Nelson Alvarez
FECHA:	30/01/2019	PROFUNDIDAD:	1 m
NORMA:	ASTM D 1557	ARENA ASFÁLTICA:	20%
Pag:	1/1	MUESTRA Nº:	1

PROCEDIMIENTO:	B	DATOS DEL MOLDE	Modificado Metodo B: Porción que pasa en la malla No 3/8 (9,5mm). Puede usarse si el suelo retenido en la malla Nº 4 es mas de 20% y 20% o menos por peso es retenido en la malla de 9,5 mm (3/8 pulg).
GOLPES/CAPA:	25	MASA 3745 g.	
Nº DE CAPAS:	5	VOL. 1006,01 cm ³	

DATOS DEL ENSAYO										
PUNTO Nº	1		2		3		4		5	
RECIPIENTE #	G6	M2	B	K	C8	W	Y	Z	A	T
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA HUMEDA	64,83	47,28	45,49	52,98	61,51	55,98	72,38	75,65	58,66	57,04
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA SECA	62,36	45,76	42,95	49,57	56,30	51,09	63,28	66,23	51,27	49,86
MASA DE AGUA	2,47	1,52	2,54	3,41	5,21	4,89	9,10	9,42	7,39	7,18
MASA DE RECIPIENTE	16,73	17,32	16,74	17,13	17,95	16,91	17,12	16,42	16,77	16,78
MASA DE MUESTRA SECA	45,63	28,44	26,21	32,44	38,35	34,18	46,16	49,81	34,50	33,08
% DE HUMEDAD	5,41	5,34	9,69	10,51	13,59	14,31	19,71	18,91	21,42	21,70
% DE HUMEDAD PROMEDIO	5,38		10,10		13,95		19,31		21,56	
HUMEDAD AÑADIDA (cc)	0,00		100,00		200,00		300,00		400,00	
SUELO HUMEDO + MASA DE CILINDRO	5496,00		5596,00		5656,00		5692,00		5567,00	
MASA DE SUELO HÚMEDO	1751,00		1851,00		1911,00		1947,00		1822,00	
DENSIDAD HÚMEDA DEL SUELO (g/cm ³)	1,741		1,840		1,900		1,935		1,811	
DENSIDAD SECA DEL SUELO (g/cm ³)	1,652		1,671		1,667		1,622		1,490	

DENSIDAD SECA vs HUMEDAD



Laboratoristas	Revisado	Fecha de toma de la muestra
Kleber Borbor Gabino Liliana Collantes Piguave	Ing. Lucrecia Moreno	28/01/2019

yd MÁXIMA (kg/m³)
1687
HUMEDAD ÓPTIMA (%)
11

23. Determinación de la relación humedad-densidad de la mezcla 70% TN–30% AA.

UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL		
DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD DE SUELOS		
PROYECTO:	Estabilización o mejoramiento de la capacidad portante de los suelos de la subrasante de carretera utilizando diferentes proporciones de arenas asfálticas de yacimientos naturales de la península de Santa Elena	TESISTAS: Kleber Borbor Gabino Liliana Collantes Piguave
LOCALIZACIÓN:	Velasco Ibarra-La Libertad-Santa Elena	TUTOR: Ing. Nelson Alvarez
FECHA:	30/01/2019	PROFUNDIDAD: 1 m
NORMA:	ASTM D 1557	ARENA ASFÁLTICA: 30%
Pag:	1/1	MUESTRA N°: 1

PROCEDIMIENTO:	B	DATOS DEL MOLDE
GOLPES/CAPA:	25	MASA 3745 g.
N° DE CAPAS	5	VOL. 1006,01 cm ³

Modificado Metodo B: Porcion que pasa en la malla No 3/8 (9,5mm). Puede usarse si el suelo retenido en la malla N° 4 es mas de 20% y 20% o menos por peso es retenido en la malla de 9.5 mm (3/8 pulg).

DATOS DEL ENSAYO										
PUNTO N°	1		2		3		4		5	
RECIPIENTE #	U	K	Z	N	RM	T	S1	Y	K2	O
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA HUMEDA	59,85	49,23	48,90	58,40	56,01	60,37	67,70	59,24	65,12	45,09
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA SECA	58,15	47,96	46,52	55,44	51,73	55,68	60,50	53,47	56,76	40,34
MASA DE AGUA	1,70	1,27	2,38	2,96	4,28	4,69	7,20	5,77	8,36	4,75
MASA DE RECIPIENTE	16,62	17,13	16,42	16,89	17,14	16,78	17,28	17,12	16,68	15,72
MASA DE MUESTRA SECA	41,53	30,83	30,10	38,55	34,59	38,90	43,22	36,35	40,08	24,62
% DE HUMEDAD	4,09	4,12	7,91	7,68	12,37	12,06	16,66	15,87	20,86	19,29
% DE HUMEDAD PROMEDIO	4,11		7,79		12,22		16,27		20,08	
HUMEDAD AÑADIDA (cc)	0,00		100,00		200,00		300,00		400,00	
SUELO HUMEDO + MASA DE CILINDRO	5532,00		5672,00		5730,00		5722,00		5596,00	
MASA DE SUELO HÚMEDO	1787,00		1927,00		1985,00		1977,00		1851,00	
DENSIDAD HÚMEDA DEL SUELO (g/cm ³)	1,776		1,915		1,973		1,965		1,840	
DENSIDAD SECA DEL SUELO (g/cm ³)	1,706		1,777		1,758		1,690		1,532	

DENSIDAD SECA vs HUMEDAD

yd MÁXIMA (kg/m³)
1782

HUMEDAD ÓPTIMA (%)
10,10

Laboratoristas	Revisado	Fecha de toma de la muestra
Kleber Borbor Gabino Liliana Collantes Piguave	Ing. Lucrecia Moreno	28/01/2019

24. Determinación de la relación humedad-densidad de la mezcla 60% TN-40% AA

UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL	
DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD DE SUELOS	
PROYECTO:	Estabilización o mejoramiento de la capacidad portante de los suelos de la subrasante de carretera utilizando diferentes proporciones de arenas asfálticas de yacimientos naturales de la península de Santa Elena
TESISTAS:	Kleber Borbor Gabino Liliana Collantes Piguave
LOCALIZACIÓN:	Velasco Ibarra-La Libertad-Santa Elena
FECHA:	30/01/2019
TUTOR:	Ing. Nelson Alvarez
NORMA:	ASTM D 1557
PROFUNDIDAD:	1 m
ARENA ASFÁLTICA:	40%
Pag:	1/1
MUESTRA N°:	1

PROCEDIMIENTO:	B
GOLPES/CAPA:	25
Nº DE CAPAS	5

DATOS DEL MOLDE	
MASA	3745 g.
VOL.	1006,01 cm ³

Modificado Metodo B: Porcion que pasa en la malla No 3/8 (9,5mm). Puede usarse si el suelo retenido en la malla N° 4 es mas de 20% y 20% o menos por peso es retenido en la malla de 9.5 mm (3/8 pulg).

DATOS DEL ENSAYO											
PUNTO N°	1		2		3		4		5		
RECIPIENTE #	P	S	J	GG	A	B	K	C8	R	F	
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA HUMEDA	50,01	54,57	58,68	63,39	55,35	63,05	70,28	51,33	63,59	63,31	
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA SECA	48,55	52,91	55,21	59,55	51,29	58,22	62,96	46,51	56,02	55,86	
MASA DE AGUA	1,46	1,66	3,47	3,84	4,06	4,83	7,32	4,82	7,57	7,45	
MASA DE RECIPIENTE	17,15	16,64	17,13	16,73	16,77	16,74	17,09	17,95	17,21	17,09	
MASA DE MUESTRA SECA	31,40	36,27	38,08	42,82	34,52	41,48	45,87	28,56	38,81	38,77	
% DE HUMEDAD	4,65	4,58	9,11	8,97	11,76	11,64	15,96	16,88	19,51	19,22	
% DE HUMEDAD PROMEDIO	4,61		9,04		11,70		16,42		19,36		
HUMEDAD AÑADIDA (cc)	0,00		100,00		200,00		300,00		400,00		
SUELO HUMEDO + MASA DE CILINDRO	5534,00		5627,00		5730,00		5655,00		5555,00		
MASA DE SUELO HÚMEDO	1789,00		1882,00		1985,00		1910,00		1810,00		
DENSIDAD HÚMEDA DEL SUELO (g/cm ³)	1,778		1,871		1,973		1,899		1,799		
DENSIDAD SECA DEL SUELO (g/cm ³)	1,700		1,716		1,766		1,631		1,507		

DENSIDAD SECA vs HUMEDAD

yd MÁXIMA (kg/m³)
1750
HUMEDAD ÓPTIMA (%)
9,50

Laboraristas	Revisado	Fecha de toma de la muestra
Kleber Borbor Gabino Liliana Collantes Piguave	Ing. Lucrecia Moreno	28/01/2019

25. Determinación de la relación humedad-densidad de la mezcla 50%
TN-50% AA

UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL			
DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD DE SUELOS			
PROYECTO:	Estabilización o mejoramiento de la capacidad portante de los suelos de la subrasante de carretera utilizando diferentes proporciones de arenas asfálticas de yacimientos naturales de la península de Santa Elena	TESISTAS:	Kleber Borbor Gabino Liliana Collantes Piguave
LOCALIZACIÓN:	Velasco Ibarra-La Libertad-Santa Elena	TUTOR:	Ing. Nelson Alvarez
FECHA:	30/01/2019	PROFUNDIDAD:	1 m
NORMA:	ASTM D 1557	ARENA ASFÁLTICA:	50%
Pag:	1/1	MUESTRA N°:	1

PROCEDIMIENTO:	B	DATOS DEL MOLDE	
GOLPES/CAPA:	25	MASA:	3745 g.
N° DE CAPAS:	5	VOL.:	1006,01 cm ³

Modificado Metodo B: Porcion que pasa en la malla No 3/8 (9,5mm). Puede usarse si el suelo retenido en la malla N° 4 es mas de 20% y 20% o menos por peso es retenido en la malla de 9.5 mm (3/8 pulg).

DATOS DEL ENSAYO										
PUNTO N°	1		2		3		4		5	
RECIPIENTE #	2	K	P	C	A4	D	S	A	K	F
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA HUMEDA	58,08	50,62	55,96	47,95	59,60	53,16	68,36	51,68	57,15	76,71
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA SECA	55,78	48,72	52,35	44,48	54,19	48,61	60,68	46,41	50,00	65,99
MASA DE AGUA	2,30	1,90	3,61	3,47	5,41	4,55	7,68	5,27	7,15	10,72
MASA DE RECIPIENTE	16,92	17,09	16,33	16,66	16,57	16,83	16,64	16,77	17,14	17,09
MASA DE MUESTRA SECA	38,86	31,63	36,02	27,82	37,62	31,78	44,04	29,64	32,86	48,90
% DE HUMEDAD	5,92	6,01	10,02	12,47	14,38	14,32	17,44	17,78	21,76	21,92
% DE HUMEDAD PROMEDIO	5,96		11,25		14,35		17,61		21,84	
HUMEDAD AÑADIDA (cc)	0,00		100,00		200,00		300,00		400,00	
SUELO HUMEDO + MASA DE CILINDRO	5546,00		5701,00		5719,00		5648,00		5373,00	
MASA DE SUELO HÚMEDO	1801,00		1956,00		1974,00		1903,00		1628,00	
DENSIDAD HÚMEDA DEL SUELO (g/cm3)	1,790		1,944		1,962		1,892		1,618	
DENSIDAD SECA DEL SUELO (g/cm3)	1,689		1,748		1,716		1,608		1,328	

DENSIDAD SECA vs HUMEDAD

yd MÁXIMA (kg/m³)	1758
HUMEDAD ÓPTIMA (%)	10,56

Laboratoristas	Revisado	Fecha de toma de la muestra
Kleber Borbor Gabino Liliana Collantes Piguave	Ing. Lucrecia Moreno	28/01/2019

26. Determinación de la relación humedad-densidad de la mezcla 30% TN-70% AA

UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL			
DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD DE SUELOS			
PROYECTO:	Estabilización o mejoramiento de la capacidad portante de los suelos de la subrasante de carretera utilizando diferentes proporciones de arenas asfálticas de yacimientos naturales de la península de Santa Elena		TESISTAS:
LOCALIZACIÓN:	Velasco Ibarra-La Libertad-Santa Elena		Kleber Borbor Gabino Liliana Collantes Piguave
FECHA:	30/01/2019		TUTOR:
NORMA:	ASTM D 1557		Ing. Nelson Alvarez
Pag:	1/1		PROFUNDIDAD: 1 m ARENA ASFÁLTICA: 20% MUESTRA N°: 1

PROCEDIMIENTO:	B	DATOS DEL MOLDE	Modificado Metodo B: Porcion que pasa en la malla No 3/8 (9,5mm). Puede usarse si el suelo retenido en la malla N° 4 es mas de 20% y 20% o menos por peso es retenido en la malla de 9.5 mm (3/8 pulg).	
GOLPES/CAPA:	25	MASA		3745 g.
Nº DE CAPAS	5	VOL.		1006,01 cm ³

DATOS DEL ENSAYO										
PUNTO N°	1		2		3		4		5	
	F	M2	C	P	K	J	U	C8	A4	D
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA HUMEDA	50,69	58,79	60,47	57,85	63,79	45,60	44,01	58,33	45,22	52,75
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA SECA	49,03	56,62	56,54	54,28	58,39	42,25	39,94	52,07	40,22	46,70
MASA DE AGUA	1,66	2,17	3,93	3,57	5,40	3,35	4,07	6,26	5,00	6,05
MASA DE RECIPIENTE	17,18	17,32	16,66	16,33	17,14	17,13	16,62	17,95	16,57	16,83
MASA DE MUESTRA SECA	31,85	39,30	39,88	37,95	41,25	25,12	23,32	34,12	23,65	29,87
% DE HUMEDAD	5,21	5,52	9,85	9,41	13,09	13,34	17,45	18,35	21,14	20,25
% DE HUMEDAD PROMEDIO	5,37		9,63		13,21		17,90		20,70	
HUMEDAD AÑADIDA (cc)	0,00		100,00		200,00		300,00		400,00	
SUELO HUMEDO + MASA DE CILINDRO	5606,00		5698,00		5664,00		5526,00		5499,00	
MASA DE SUELO HUMEDO	1861,00		1953,00		1919,00		1781,00		1754,00	
DENSIDAD HUMEDA DEL SUELO (g/cm3)	1,850		1,941		1,908		1,770		1,744	
DENSIDAD SECA DEL SUELO (g/cm3)	1,756		1,771		1,685		1,502		1,445	

DENSIDAD SECA vs HUMEDAD

yd MÁXIMA (kg/m3)	1774
HUMEDAD ÓPTIMA (%)	7,77

Laboratoristas	Revisado	Fecha de toma de la muestra
Kleber Borbor Gabino Liliana Collantes Piguave	Ing. Lucrecia Moreno	28/01/2019

27. Determinación de CBR de Arenas Asfálticas

UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL	
C.B.R. - DENSIDADES	
PROYECTO:	Estabilización o mejoramiento de la capacidad portante de los suelos de la subrasante de carretera utilizando diferentes proporciones de arenas asfálticas de yacimientos naturales de la península de Santa Elena
LOCALIZACIÓN:	Velasco Ibarra-La Libertad-Santa Elena
FECHA:	30/01/2019
NORMA:	ASTM D 1883
Pag:	1/1
TESISTAS:	Kleber Borbor Gabino Liliana Collantes Piguave
TUTOR:	Ing. Nelson Alvarez
PROFUNDIDAD:	4 m
ARENA ASFÁLTICA:	100%
MUESTRA N°:	ARENA ASFÁLTICA

DATOS			
MOLDE N°	1	2	3
PESO MOLDE	7035	7109	6875
VOL. MOLDE	2268,21	2389,03	2389,03
No. De GOLPES POR CAPA	12	25	56
			PESO DE MARTILLO
			4,54 kg
			ALTURA DEL MARTILLO
			18"

N° de ensayo		1	2	3			
ANTES DE LA INMERSIÓN							
		12 Golpes x capa	25 Golpes x capa	56 Golpes x capa			
HUMEDAD	RECIPIENTE #	X	M2	F			
	Wh+r	76,31	54,21	71,89			
	Ws+r	71,15	51,53	67,83			
	Ww	5,16	2,68	4,06			
	r	17,17	17,32	17,18			
	Ws	53,98	34,21	50,65			
	w %	9,56	7,83	8,02			
	MOLDE NÚMERO		1	2	3		
MOLDE MAS SUELO HUMEDO		11575,00	11826,00	12012,00			
MOLDE		7035,00	7109,00	6875,00			
SUELO HUMEDO		4540,00	4717,00	5137,00			
SUELO SECO		4143,88	4374,32	4755,79			
CONTENIDO DE AGUA		9,56	7,83	8,02			
DENSIDAD HÚMEDA DEL SUELO (g/cm3)		2,002	1,974	2,150			
DENSIDAD SECA DEL SUELO (g/cm3)		1,827	1,831	1,991			
DESPUÉS DE LA INMERSIÓN							
		12 Golpes x capa	25 Golpes x capa	56 Golpes x capa			
HUMEDAD	RECIPIENTE #	K	U	S1	Y	K2	RM
	Wh+r	60,72	66,17	57,22	65,50	61,65	69,15
	Ws+r	56,25	60,83	52,68	60,16	56,73	63,66
	Ww	4,47	5,34	4,54	5,34	4,92	5,49
	r	17,13	16,62	17,28	17,12	16,68	17,14
	Ws	39,12	44,21	35,40	43,04	40,05	46,52
	w %	11,43	12,08	12,82	12,41	12,28	11,80
	w % PROMEDIO		11,75	12,62			12,04
MOLDE NÚMERO		1	2			3	
MOLDE MAS SUELO HUMEDO		11667,00	12056,00			11883,00	
MOLDE		7035,00	7109,00			6875,00	
SUELO HUMEDO		4632,00	4947,00			5008,00	
SUELO SECO		4144,87	4392,81			4469,71	
CONTENIDO DE AGUA		11,75	12,62			12,04	
DENSIDAD HÚMEDA DEL SUELO (g/cm3)		2,042	2,071			2,096	
DENSIDAD SECA DEL SUELO (g/cm3)		1,827	1,839			1,871	
HINCHAMIENTO							
LECTURA INICIAL		0,05	0,14			0,15	
24 HORAS		0,38	0,36			0,54	
48 HORAS		0,40	0,37			0,55	
72 HORAS		0,49	0,43			0,64	
96 HORAS		0,50	0,46			0,66	
HINCHAMIENTO %		9,00	6,40			10,20	

CBR %			
DENSIDAD SECA kg/m ³	1827	1839	1991

Laboratoristas	Revisado	Fecha de toma de la muestra
Kleber Borbor Gabino Liliana Collantes Piguave	Ing. Lucrecia Moreno	28/01/2019



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL**



C.B.R. - DENSIDADES

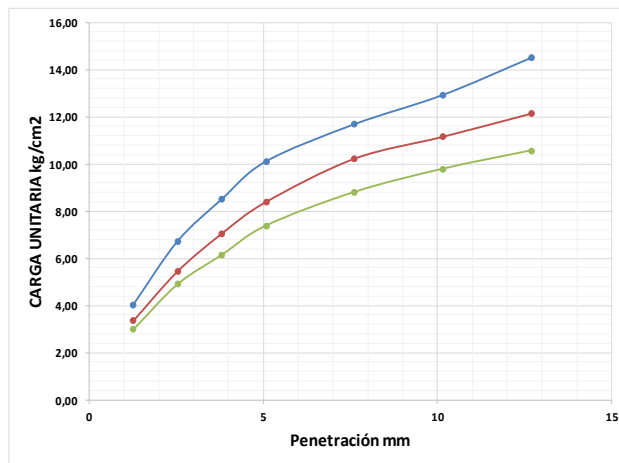
PROYECTO:	Estabilización o mejoramiento de la capacidad portante de los suelos de la subrasante de carretera utilizando diferentes proporciones de arenas asfálticas de yacimientos naturales de la península de Santa Elena	TESISTAS:	Kleber Borbor Gabino Liliana Collantes Piguave
LOCALIZACIÓN:	Velasco Ibarra-La Libertad-Santa Elena	TUTOR:	Ing. Nelson Alvarez
FECHA:	30/01/2019	PROFUNDIDAD:	4 m
NORMA:	ASTM D 1883	ARENA ASFÁLTICA:	100%
Pag:	1/1	MUESTRA N°:	ARENA ASFÁLTICA

DATOS			
MOLDE N°	1	2	3
PESO MOLDE	7035	7109	6875
VOL. MOLDE	2268,21	2389,03	2389,03
No. De GOLPES POR CAPA	12	25	56

PESO DE MARTILLO	4,54 kg
ALTURA DEL MARTILLO	18"

N° de ensayo	3			2			1		
	CARGA DE PENETRACIÓN EL Lb			CARGA DE PENETRACIÓN EL Kg					
1,27 mm (0,05")	172,07	143,30	127,87	78,05	65,00	58,00			
2,54 mm (0,1")	286,60	232,59	209,44	130,00	105,50	95,00			
3,81 mm (0,15")	362,66	300,93	262,35	164,50	136,50	119,00			
5,08 mm (0,2")	431,00	358,25	315,26	195,50	162,50	143,00			
7,62 mm (0,30")	498,24	436,51	375,89	226,00	198,00	170,50			
10,16 mm (0,40")	551,16	476,20	417,78	250,000	216,000	189,500			
12,70 mm (0,5")	618,40	518,09	450,84	280,50	235,00	204,50			

	CARGA UNITARIA EN lb/in ²			CARGA UNITARIA EN kg/cm ²		
	1,27 mm (0,05")	57,36	47,77	42,62	4,03	3,36
2,54 mm (0,1")	95,53	77,53	69,81	6,72	5,45	4,91
3,81 mm (0,15")	120,89	100,31	87,45	8,50	7,05	6,15
5,08 mm (0,2")	143,67	119,42	105,09	10,10	8,40	7,39
7,62 mm (0,30")	166,08	145,50	125,30	11,68	10,23	8,81
10,16 mm (0,40")	183,72	158,73	139,26	12,92	11,16	9,79
12,70 mm (0,5")	206,13	172,70	150,28	14,50	12,14	10,57





N° DE GOLPES	Esfuerzo de penetración	
	0,1 in	0,2 in
56	6,72	10,10
25	5,45	8,40
12	4,91	7,39

C.B.R	%	
56	9,6	9,6
25	7,8	8,0
12	7,0	7,0

Laboratoristas	Revisado	Fecha de toma de la muestra
Kleber Borbor Gabino Liliana Collantes Piguave	Ing. Lucrecia Moreno	28/01/2019

28. Determinación de CBR de Calicata 1

 UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL			
C.B.R. - DENSIDADES			
PROYECTO:	Estabilización o mejoramiento de la capacidad portante de los suelos de la subrasante de carretera utilizando diferentes proporciones de arenas asfálticas de yacimientos naturales de la península de Santa Elena	TESISTAS:	Kleber Borbor Gabino Liliana Collantes Piguave
LOCALIZACIÓN:	Velasco Ibarra-La Libertad-Santa Elena	TUTOR:	Ing. Nelson Alvarez
FECHA:	30/01/2019	PROFUNDIDAD:	1m
NORMA:	ASTM D 1883	ARENA ASFÁLTICA:	0%
Pag:	1/1	MUESTRA N°:	TERRENO NATURAL

DATOS					
MOLDE N°	XIX	XIII	XVIII		
PESO MOLDE	6009	6668	6559	PESO DE MARTILLO	4,54 kg
VOL. MOLDE	2330,61	2352,58	2337,40	ALTURA DEL MARTILLO	18"
No. De GOLPES POR CAPA	12	25	56		

N° de ensayo	1	2	3				
ANTES DE LA INMERSIÓN							
	12 Golpes x capa	25 Golpes x capa	56 Golpes x capa				
HUMEDAD	RECIPIENTE #	41	30	W			
	Wh+r	66,4	65,87	65,64			
	Wsr+r	61,11	60,35	60,44			
	Ww	5,29	5,52	5,20			
	r	16,24	16,85	16,91			
	Ws	44,87	43,50	43,53			
	w %	11,79	12,69	11,95			
	MOLDE NÚMERO	XIX	XIII	XVIII			
MOLDE MAS SUELO HUMEDO	10154,00	11119,00	11034,00				
MOLDE	6009,00	6668,00	6559,00				
SUELO HUMEDO	4145,00	4451,00	4475,00				
SUELO SECO	3707,86	3949,79	3997,47				
CONTENIDO DE AGUA	11,79	12,69	11,95				
DENSIDAD HÚMEDA DEL SUELO (g/cm ³)	1,779	1,892	1,915				
DENSIDAD SECA DEL SUELO (g/cm ³)	1,591	1,679	1,710				
DESPUÉS DE LA INMERSIÓN							
	12 Golpes x capa	25 Golpes x capa	56 Golpes x capa				
HUMEDAD	RECIPIENTE #	Z	R	F	Z	HD	A
	Wh+r	85,37	86,65	81,46	82,53	90,86	117,05
	Wsr+r	76,21	75,83	77,08	70,08	79,12	102,77
	Ww	9,16	10,82	4,38	12,45	11,74	14,28
	r	16,92	17,21	17,09	16,42	16,53	16,35
	Ws	59,29	58,62	59,99	53,66	62,59	86,42
	w %	15,45	18,46	7,30	23,20	18,76	16,52
	w % PROMEDIO	16,95		15,25		17,64	
	MOLDE NÚMERO	XIX		XIII		XVIII	
	MOLDE MAS SUELO HUMEDO	10544,00		11364,00		11296,00	
MOLDE	6009,00		6668,00		6559,00		
SUELO HUMEDO	4535,00		4696,00		4737,00		
SUELO SECO	3877,60		4074,57		4026,68		
CONTENIDO DE AGUA	16,95		15,25		17,64		
DENSIDAD HÚMEDA DEL SUELO (g/cm ³)	1,946		1,996		2,027		
DENSIDAD SECA DEL SUELO (g/cm ³)	1,664		1,732		1,723		
HINCHAMIENTO							
LECTURA INICIAL	0,15		0,02		0,09		
24 HORAS	0,51		0,40		0,41		
48 HORAS	0,52		0,41		0,42		
72 HORAS	0,53		0,44		0,45		
96 HORAS	0,53		0,44		0,46		
HINCHAMIENTO %	7,60		8,40		7,40		
CBR %							
DENSIDAD SECA kg/m³	1590,9		1679		1710		

Laboratoristas	Revisado	Fecha de toma de la muestra
Kleber Borbor Gabino Liliana Collantes Piguave	Ing. Lucrecia Moreno	28/01/2019



**UNIVERSIDAD ESTADAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL**



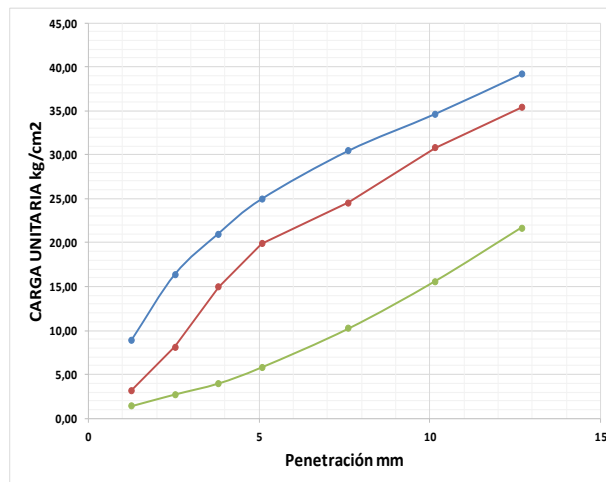
C.B.R. - DENSIDADES

PROYECTO:	Estabilización o mejoramiento de la capacidad portante de los suelos de la subrasante de carretera utilizando diferentes proporciones de arenas asfálticas de yacimientos naturales de la península de Santa Elena	TESISTAS:	Kleber Borbor Gabino Liliana Collantes Piguave
LOCALIZACIÓN:	Velasco Ibarra-La Libertad-Santa Elena	TUTOR:	Ing. Nelson Alvarez
FECHA:	30/01/2019	PROFUNDIDAD:	1 m
NORMA:	ASTM D 1883	ARENA ASFÁLTICA:	0%
Pag:	1/1	MUESTRA N°:	ERRENO NATURAL

DATOS			
MOLDE N°	XIX	XIII	XVIII
PESO MOLDE	6009	6668	6559
VOL. MOLDE	2330,61	2352,58	2337,40
No. De GOLPES POR CAPA	12	25	56
PESO DE MARTILLO			4,54 kg
ALTURA DEL MARTILLO			18"

N° de ensayo	3			2			1		
	CARGA DE PENETRACIÓN EL Lb			CARGA DE PENETRACIÓN EL Kg					
1,27 mm (0,05")	381,40	135,58	61,73	173,00	61,50	28,00			
2,54 mm (0,1")	699,97	347,89	117,95	317,50	157,80	53,50			
3,81 mm (0,15")	896,18	639,34	170,86	406,50	290,00	77,50			
5,08 mm (0,2")	1064,83	849,88	249,12	483,00	385,50	113,00			
7,62 mm (0,30")	1298,52	1048,30	436,51	589,00	475,50	198,00			
10,16 mm (0,40")	1477,10	1312,85	665,80	670,000	595,500	302,000			
12,70 mm (0,5")	1671,10	1510,16	925,94	758,00	685,00	420,00			

	CARGA UNITARIA EN lb/in ²			CARGA UNITARIA EN kg/cm ²		
	1,27 mm (0,05")	127,13	45,19	20,58	8,94	3,18
2,54 mm (0,1")	233,32	115,96	39,32	16,41	8,16	2,76
3,81 mm (0,15")	298,73	213,11	56,95	21,01	14,99	4,01
5,08 mm (0,2")	354,94	283,29	83,04	24,96	19,92	5,84
7,62 mm (0,30")	432,84	349,43	145,50	30,44	24,57	10,23
10,16 mm (0,40")	492,37	437,62	221,93	34,63	30,78	15,61
12,70 mm (0,5")	557,03	503,39	308,65	39,17	35,40	21,71





N° DE GOLPES	Esfuerzo de penetración	
	0,1 in	0,2 in
56	16,41	24,96
25	8,16	19,92
12	2,76	5,84

C.B.R.	%	
	56	23,3
25	11,6	18,9
12	3,9	5,5

Laboratoristas	Revisado	Fecha de toma de la muestra
Kleber Borbor Gabino Liliana Collantes Piguave	Ing. Lucrecia Moreno	28/01/2019

29. Determinación de CBR de Calicata 2

 	
UNIVERSIDAD ESTADAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL	
C.B.R. - DENSIDADES	
PROYECTO:	Estabilización o mejoramiento de la capacidad portante de los suelos de la subrasante de carretera utilizando diferentes proporciones de arenas asfálticas de yacimientos naturales de la península de Santa Elena
LOCALIZACIÓN:	Velasco Ibarra-La Libertad-Santa Elena
FECHA:	30/01/2019
NORMA:	ASTM D 1883
Pag:	1/1
TESISTAS:	Kleber Borbor Gabino Liliana Collantes Piguave
TUTOR:	Ing. Nelson Alvarez
PROFUNDIDAD:	0-0,6 m
ARENA ASFÁLTICA:	0%
MUESTRA Nº:	TERRENO NATURAL CALICATA 2

DATOS			
MOLDE Nº	II	III	VIII
PESO MOLDE	5943	5826	6408
VOL. MOLDE	2344,60	2344,31	2341,90
No. De GOLPES POR CAPA	12	25	56
			PESO DE MARTILLO 4,54 kg
			ALTURA DEL MARTILLO 18"

		Nº de ensayo					
		1	2	3			
		ANTES DE LA INMERSIÓN					
		12 Golpes x capa	25 Golpes x capa	56 Golpes x capa			
HUMEDAD	RECIPIENTE #	K2	56	R			
	Wh+ _r	68,392	67,85	67,61			
	Ws+ _r	62,9433	62,16	62,25			
	Ww	5,4487	5,69	5,36			
	r	16,04	16,88	16,94			
	Ws	46,9033	45,28	45,31			
	w %	11,62	12,56	11,82			
MOLDE NÚMERO		II	III	VIII			
MOLDE MAS SUELO HUMEDO		9935,69	10379,94	10996,77			
MOLDE		5943,00	5826,00	6408,00			
SUELO HUMEDO		3992,69	4553,94	4588,77			
SUELO SECO		3577,14	4045,92	4103,71			
CONTENIDO DE AGUA		11,62	12,56	11,82			
DENSIDAD HÚMEDA DEL SUELO (g/cm³)		1,703	1,943	1,959			
DENSIDAD SECA DEL SUELO (g/cm³)		1,526	1,726	1,752			
		DESPÚES DE LA INMERSIÓN					
		12 Golpes x capa	25 Golpes x capa	56 Golpes x capa			
HUMEDAD	RECIPIENTE #	J	41	C8	U	Y	R2
	Wh+ _r	87,93	89,25	83,90	83,09	93,59	120,56
	Ws+ _r	78,50	78,10	74,20	73,14	81,49	105,85
	Ww	9,43	11,14	9,70	9,95	12,09	14,71
	r	16,78	16,92	17,95	16,62	17,12	16,04
	Ws	61,72	61,18	56,25	56,52	64,37	89,81
	w %	15,29	18,21	17,25	17,60	18,78	16,38
w % PROMEDIO		16,75	17,43	17,58			
MOLDE NÚMERO		II	III	VIII			
MOLDE MAS SUELO HUMEDO		10060,32	10586,92	11034,88			
MOLDE		5943,00	5826,00	6408,00			
SUELO HUMEDO		4117,32	4760,92	4626,88			
SUELO SECO		3526,58	4054,34	3935,07			
CONTENIDO DE AGUA		16,75	17,43	17,58			
DENSIDAD HÚMEDA DEL SUELO (g/cm³)		1,756	2,031	1,976			
DENSIDAD SECA DEL SUELO (g/cm³)		1,504	1,729	1,680			
		HINCHAMIENTO					
LECTURA INICIAL		0,14	0,07	0,07			
24 HORAS		0,40	0,35	0,41			
48 HORAS		0,41	0,41	0,42			
72 HORAS		0,42	0,41	0,42			
96 HORAS		0,42	0,41	0,43			
HINCHAMIENTO %		5,60	6,80	7,20			

CBR %			
DENSIDAD SECA kg/m³	1526	1726	1752

Laboratoristas	Revisado	Fecha de toma de la muestra
Kleber Borbor Gabino Liliana Collantes Piguave	Ing. Lucrecia Moreno	28/01/2019



**UNIVERSIDAD ESTADAL PENINSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL**



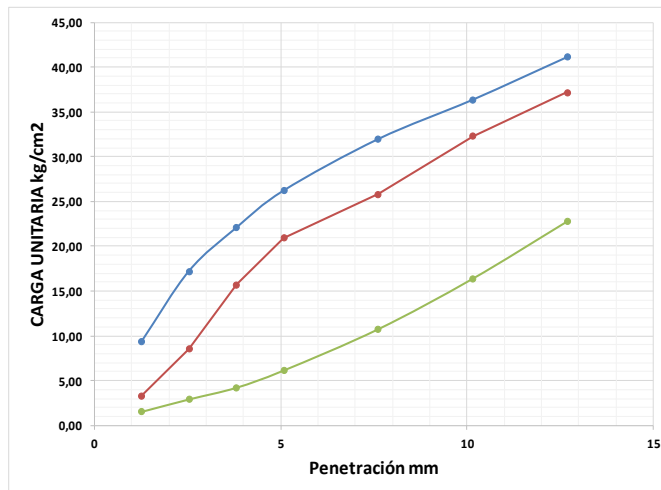
C. B. R. - DENSIDADES

PROYECTO:	Estabilización o mejoramiento de la capacidad portante de los suelos de la subrasante de carretera utilizando diferentes proporciones de arenas asfálticas de yacimientos naturales de la península de Santa Elena	TESISTAS:	Kleber Borbor Gabino Liliana Collantes Piguave
LOCALIZACIÓN:	Velasco Ibarra-La Libertad-Santa Elena	TUTOR:	Ing. Nelson Alvarez
FECHA:	30/01/2019	PROFUNDIDAD:	0-0,6 m
NORMA:	ASTM D 1883	ARENA ASFÁLTICA:	0%
Pag:	1/1	MUESTRA N°:	TERRENO NATURAL CALICATA 2

DATOS			
MOLDE N°	II	III	VIII
PESO MOLDE	5943	5826	6408
VOL. MOLDE	2344,60	2344,31	2341,90
No. De GOLPES POR CAPA	12	25	56
PESO DE MARTILLO	4,54 kg		
ALTURA DEL MARTILLO	18"		

N° de ensayo	3	2	1	3	2	1
	CARGA DE PENETRACIÓN EL Lb			CARGA DE PENETRACIÓN EL Kg		
1,27 mm (0,05")	400,47	142,36	64,82	181,65	64,58	29,40
2,54 mm (0,1")	734,97	365,28	123,84	333,38	165,69	56,18
3,81 mm (0,15")	940,99	671,31	179,40	426,83	304,50	81,38
5,08 mm (0,2")	1118,07	892,38	261,58	507,15	404,78	118,65
7,62 mm (0,30")	1363,45	1100,71	458,34	618,45	499,28	207,90
10,16 mm (0,40")	1550,95	1378,49	699,09	703,500	625,275	317,100
12,70 mm (0,5")	1754,66	1585,67	972,24	795,90	719,25	441,00

	CARGA UNITARIA EN lb/in ²			CARGA UNITARIA EN kg/cm ²		
1,27 mm (0,05")	133,49	47,45	21,61	9,39	3,34	1,52
2,54 mm (0,1")	244,99	121,76	41,28	17,23	8,56	2,90
3,81 mm (0,15")	313,66	223,77	59,80	22,06	15,74	4,21
5,08 mm (0,2")	372,69	297,46	87,19	26,21	20,92	6,13
7,62 mm (0,30")	454,48	366,90	152,78	31,96	25,80	10,74
10,16 mm (0,40")	516,98	459,50	233,03	36,36	32,31	16,39
12,70 mm (0,5")	584,89	528,56	324,08	41,13	37,17	22,79





N° DE GOLPES	Esfuerzo de penetración	
	0,1 in	0,2 in
56	17,23	26,21
25	8,56	20,92
12	2,90	6,13

C.B.R	%	
56	24,5	24,9
25	12,2	19,8
12	4,1	5,8

Laboratoristas	Revisado	Fecha de toma de la muestra
Kleber Borbor Gabino Liliana Collantes Piguave	Ing. Lucrecia Moreno	28/01/2019

30. Determinación de CBR de Calicata 2

	UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL		
C.B.R. - DENSIDADES			
PROYECTO:	Estabilización o mejoramiento de la capacidad portante de los suelos de la subrasante de carretera utilizando diferentes proporciones de arenas asfálticas de yacimientos naturales de la península de Santa Elena	TESISTAS:	Kleber Borbor Gabino Liliana Collantes Piguave
LOCALIZACIÓN:	Velasco Ibarra-La Libertad-Santa Elena	TUTOR:	Ing. Nelson Alvarez
FECHA:	30/01/2019	PROFUNDIDAD:	0,6-1,2 m
NORMA:	ASTM D 1883	ARENA ASFÁLTICA:	0%
Pag:	1/1	MUESTRA Nº:	TERRENO NATURAL CALICATA 2

DATOS					
MOLDE Nº	V	XI	XX	PESO DE MARTILLO	4,54 kg
PESO MOLDE	5888	7102	6065	ALTURA DEL MARTILLO	18"
VOL. MOLDE	2318,79	2331,11	2343,34		
No. De GOLPES POR CAPA	12	25	56		

Nº de ensayo		1	2	3			
ANTES DE LA INMERSIÓN							
		12 Golpes x capa	25 Golpes x capa	56 Golpes x capa			
HUMEDAD	RECIPIENTE #	O	F	K			
	Wh+r	66,6822	66,15	65,92			
	Ws+r	61,3697175	60,61	60,70			
	Ww	5,3124825	5,54	5,22			
	r	15,72	17,18	17,09			
	Ws	45,6497175	43,43	43,61			
	w %	11,64	12,77	11,98			
MOLDE NÚMERO		V	XI	XX			
MOLDE MAS SUELO HUMEDO		9987,29	11395,44	10721,84			
MOLDE		5888,00	7102,00	6065,00			
SUELO HUMEDO		4099,29	4293,44	4656,84			
SUELO SECO		3671,97	3807,42	4158,81			
CONTENIDO DE AGUA		11,64	12,77	11,98			
DENSIDAD HÚMEDA DEL SUELO (g/cm³)		1,768	1,842	1,987			
DENSIDAD SECA DEL SUELO (g/cm³)		1,584	1,633	1,775			
DESPUÉS DE LA INMERSIÓN							
		12 Golpes x capa	25 Golpes x capa	56 Golpes x capa			
HUMEDAD	RECIPIENTE #	K	U	S1	Y	K2	RM
	Wh+r	90,57	91,93	86,42	87,56	96,39	124,18
	Ws+r	80,85	80,45	75,45	77,90	83,94	109,03
	Ww	9,72	11,48	10,97	9,66	12,45	15,15
	r	16,91	16,92	17,12	16,68	9,46	17,14
	Ws	63,94	63,53	58,33	61,22	74,48	91,89
	w %	15,20	18,07	18,81	15,77	16,72	16,49
w % PROMEDIO		16,63	17,29	16,60			
MOLDE NÚMERO		V	XI	XX			
MOLDE MAS SUELO HUMEDO		10160,32	11737,30	11034,88			
MOLDE		5888,00	7102,00	6065,00			
SUELO HUMEDO		4272,32	4635,30	4969,88			
SUELO SECO		3663,03	3951,98	4262,15			
CONTENIDO DE AGUA		16,63	17,29	16,60			
DENSIDAD HÚMEDA DEL SUELO (g/cm³)		1,842	1,988	2,121			
DENSIDAD SECA DEL SUELO (g/cm³)		1,580	1,695	1,819			
HINCHAMIENTO							
LECTURA INICIAL		0,11	0,07	0,06			
24 HORAS		0,40	0,40	0,42			
48 HORAS		0,42	0,40	0,42			
72 HORAS		0,46	0,40	0,43			
96 HORAS		0,48	0,41	0,43			
HINCHAMIENTO %		7,30	6,80	7,40			
CBR %							
DENSIDAD SECA kg/m³		1584	1633	1775			

Laboratoristas	Revisado	Fecha de toma de la muestra
Kleber Borbor Gabino Liliana Collantes Piguave	Ing. Lucrecia Moreno	28/01/2019



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL**



C.B.R. - DENSIDADES

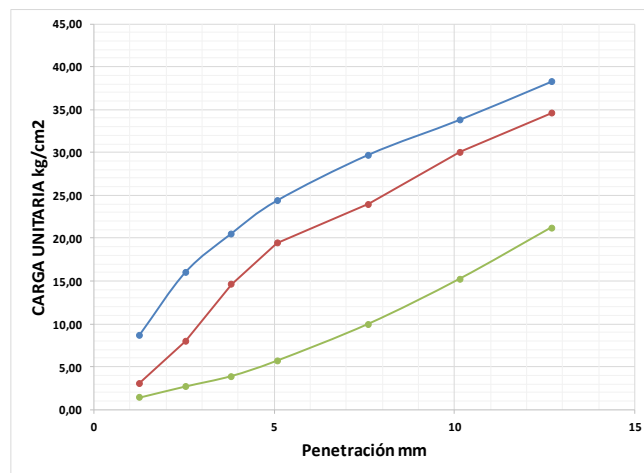
PROYECTO:	Estabilización o mejoramiento de la capacidad portante de los suelos de la subrasante de carretera utilizando diferentes proporciones de arenas asfálticas de yacimientos naturales de la península de Santa Elena	TESISTAS:	Kleber Borbor Gabino Liliana Collantes Piguave
LOCALIZACIÓN:	Velasco Ibarra-La Libertad-Santa Elena	TUTOR:	Ing. Nelson Alvarez
FECHA:	30/01/2019	PROFUNDIDAD:	0,6-1,2 m
NORMA:	ASTM D 1883	ARENA ASFÁLTICA:	0%
Pag:	1/1	MUESTRA Nº:	TERRENO NATURAL CALICATA 2

DATOS			
MOLDE Nº	V	XI	XX
PESO MOLDE	5888	7102	6065
VOL. MOLDE	2318,79	2331,11	2343,34
No. De GOLPES POR CAPA	12	25	56

PESO DE MARTILLO	4,54 kg
ALTURA DEL MARTILLO	18"

Nº de ensayo	3			2			1					
	CARGA DE PENETRACIÓN EL Lb						CARGA DE PENETRACIÓN EL Kg					
1,27 mm (0,05")	372,44	132,40	60,28	168,93	60,05	27,34	310,04	154,09	52,24	396,95	283,19	75,68
2,54 mm (0,1")	683,52	339,71	115,18	310,04	154,09	52,24	471,65	376,44	110,34	581,506	294,903	80,541
3,81 mm (0,15")	875,12	624,32	166,84	396,95	283,19	75,68	581,506	471,65	110,34	654,255	581,506	294,903
5,08 mm (0,2")	1039,81	829,91	243,27	471,65	376,44	110,34	654,255	581,506	294,903	740,19	668,90	410,13
7,62 mm (0,30")	1268,01	1023,66	426,26	581,506	471,65	110,34	740,19	668,90	410,13	804,18	740,19	410,13
10,16 mm (0,40")	1442,38	1282,00	650,15	654,255	581,506	294,903	804,18	740,19	410,13	904,18	804,18	410,13
12,70 mm (0,5")	1631,83	1474,68	904,18	740,19	668,90	410,13	904,18	804,18	410,13	1004,18	904,18	410,13

	CARGA UNITARIA EN lb/in ²			CARGA UNITARIA EN kg/cm ²		
	1,27 mm (0,05")	124,15	44,13	20,09	8,73	3,10
2,54 mm (0,1")	227,84	113,24	38,39	16,02	7,96	2,70
3,81 mm (0,15")	291,71	208,11	55,61	20,51	14,63	3,91
5,08 mm (0,2")	346,60	276,64	81,09	24,37	19,45	5,70
7,62 mm (0,30")	422,67	341,22	142,09	29,72	24,00	9,99
10,16 mm (0,40")	480,79	427,33	216,72	33,81	30,05	15,24
12,70 mm (0,5")	543,94	491,56	301,39	38,25	34,57	21,20





Nº DE GOLPES	Esfuerzo de penetración	
	0,1 in	0,2 in
56	16,02	24,37
25	7,96	19,45
12	2,70	5,70

C.B.R	%	
	56	22,8
25	11,3	18,4
12	3,8	5,4

Laboratoristas	Revisado	Fecha de toma de la muestra
Kleber Borbor Gabino Liliana Collantes Piguave	Ing. Lucrecia Moreno	28/01/2019

31. Determinación de CBR de la mezcla 90% TN – 10% AA

	UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL		
C.B.R. - DENSIDADES			
PROYECTO:	Estabilización o mejoramiento de la capacidad portante de los suelos de la subrasante de carretera utilizando diferentes proporciones de arenas asfálticas de yacimientos naturales de la península de Santa Elena	TESISTAS:	Kleber Borbor Gabino Liliana Collantes Piguave
LOCALIZACIÓN:	Velasco Ibarra-La Libertad-Santa Elena	TUTOR:	Ing. Nelson Alvarez
FECHA:	30/01/2019	PROFUNDIDAD:	1 m
NORMA:	ASTM D 1883	ARENA ASFÁLTICA:	10%
Pag:	1/1	MUESTRA N°:	TERRENO NATURAL

DATOS					
MOLDE N°	V	XX	XIII		
PESO MOLDE	5888	6065	6668	PESO DE MARTILLO	4,54 kg
VOL. MOLDE	2318,79	2343,34	2352,58	ALTURA DEL MARTILLO	18"
No. De GOLPES POR CAPA	12	25	56		

N° de ensayo		1	2	3			
ANTES DE LA INMERSIÓN							
		12 Golpes x capa	25 Golpes x capa	56 Golpes x capa			
HUMEDAD	RECIPIENTE #	O	F	K			
	Wh+r	63,61	65,75	70,23			
	Ws+r	59,59	61,89	65,57			
	Ww	4,02	3,86	4,66			
	r	15,72	17,18	17,09			
	Ws	43,87	44,71	48,48			
	w %	9,16	8,63	9,61			
MOLDE NÚMERO		V	XX	XIII			
MOLDE MAS SUELO HUMEDO		9796,00	10228,00	11127,00			
MOLDE		5888,00	6065,00	6668,00			
SUELO HUMEDO		3908,00	4163,00	4459,00			
SUELO SECO		3579,95	3832,15	4067,98			
CONTENIDO DE AGUA		9,16	8,63	9,61			
DENSIDAD HÚMEDA DEL SUELO (g/cm3)		1,685	1,777	1,895			
DENSIDAD SECA DEL SUELO (g/cm3)		1,544	1,635	1,729			
DESPUÉS DE LA INMERSIÓN							
		12 Golpes x capa	25 Golpes x capa	56 Golpes x capa			
HUMEDAD	RECIPIENTE #	J	C8	U	Y	R2	
	Wh+r	84,12	59,50	81,21	58,91	71,51	67,09
	Ws+r	71,62	52,00	69,68	51,38	62,87	59,58
	Ww	12,50	7,50	11,53	7,53	8,64	7,51
	r	16,78	16,92	17,95	16,62	17,12	16,04
	Ws	54,84	35,08	51,73	34,76	45,75	43,54
	w %	22,79	21,38	22,29	21,66	18,89	17,25
w % PROMEDIO		22,09	21,98	18,07			
MOLDE NÚMERO		V	XX	XIII			
MOLDE MAS SUELO HUMEDO		10310,00	10669,00	11448,00			
MOLDE		5888,00	6065,00	6668,00			
SUELO HUMEDO		4422,00	4604,00	4780,00			
SUELO SECO		3622,02	3774,52	4048,55			
CONTENIDO DE AGUA		22,09	21,98	18,07			
DENSIDAD HÚMEDA DEL SUELO (g/cm3)		1,907	1,965	2,032			
DENSIDAD SECA DEL SUELO (g/cm3)		1,562	1,611	1,721			
HINCHAMIENTO							
LECTURA INICIAL		0,13	0,10	0,09			
24 HORAS		0,43	0,35	0,40			
48 HORAS		0,43	0,36	0,40			
72 HORAS		0,44	0,39	0,42			
96 HORAS		0,44	0,39	0,43			
HINCHAMIENTO %		6,20	5,80	6,80			

CBR %			
DENSIDAD SECA kg/m3	1562	1635	1729

Laboratoristas	Revisado	Fecha de toma de la muestra
Kleber Borbor Gabino Liliana Collantes Piguave	Ing. Lucrecia Moreno	28/01/2019



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL**



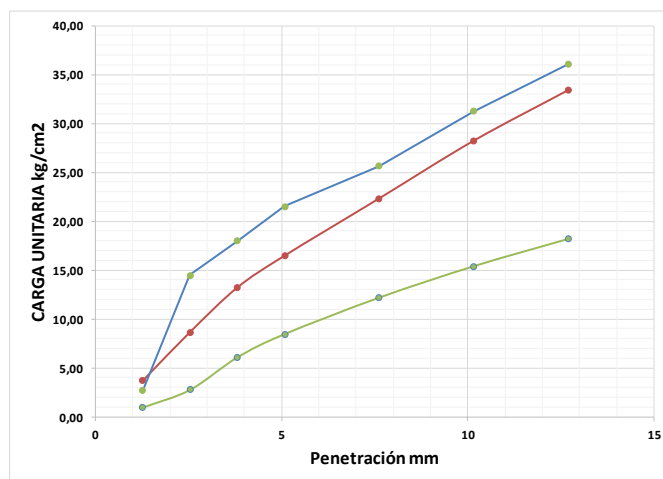
C.B.R. - DENSIDADES

PROYECTO:	Estabilización o mejoramiento de la capacidad portante de los suelos de la subrasante de carretera utilizando diferentes proporciones de arenas asfálticas de yacimientos naturales de la península de Santa Elena	TESISTAS:	Kleber Borbor Gabino Liliana Collantes Piguave
LOCALIZACIÓN:	Velasco Ibarra-La Libertad-Santa Elena	TUTOR:	Ing. Nelson Alvarez
FECHA:	30/01/2019	PROFUNDIDAD:	1 m
NORMA:	ASTM D 1883	ARENA ASFÁLTICA:	10%
Pag:	1/1	MUESTRA N°:	TERRENO NATURAL

DATOS			
MOLDE N°	V	XX	XIII
PESO MOLDE	5888	6065	6668
VOL. MOLDE	2318,79	2343,34	2352,58
No. De GOLPES POR CAPA	12	25	56
			PESO DE MARTILLO 4,54 kg
			ALTURA DEL MARTILLO 18"

N° de ensayo	CARGA DE PENETRACIÓN EL Lb			CARGA DE PENETRACIÓN EL Kg		
	1	2	3	1	2	3
1,27 mm (0,05")	41,89	158,73	114,64	19,00	72,00	52,00
2,54 mm (0,1")	119,05	370,38	617,29	54,00	168,00	280,00
3,81 mm (0,15")	260,15	564,38	767,21	118,00	256,00	348,00
5,08 mm (0,2")	361,56	703,27	917,12	164,00	319,00	416,00
7,62 mm (0,30")	520,29	952,40	1093,49	236,00	432,00	496,00
10,16 mm (0,40")	656,98	1203,72	1333,80	298,000	546,000	605,000
12,70 mm (0,5")	776,03	1424,18	1538,82	352,00	646,00	698,00

	CARGA UNITARIA EN lb/in ²			CARGA UNITARIA EN kg/cm ²		
1,27 mm (0,05")	13,96	52,91	38,21	0,98	3,72	2,69
2,54 mm (0,1")	39,68	123,46	205,76	2,79	8,68	14,47
3,81 mm (0,15")	86,72	188,13	255,74	6,10	13,23	17,98
5,08 mm (0,2")	120,52	234,42	305,71	8,48	16,49	21,50
7,62 mm (0,30")	173,43	317,47	364,50	12,20	22,33	25,63
10,16 mm (0,40")	218,99	401,24	444,60	15,40	28,22	31,27
12,70 mm (0,5")	258,68	474,73	512,94	18,19	33,39	36,07



N° DE GOLPES	Esfuerzo de penetración	
	0,1 in	0,2 in
12	2,79	8,48
25	8,68	16,49
56	14,47	21,50

C.B.R	%	
12	4,0	8,0
25	12,3	15,6
56	20,6	20,4

Laboraristas Kleber Borbor Gabino Liliana Collantes Piguave	Revisado Ing. Lucrecia Moreno	Fecha de toma de la muestra 28/01/2019
--	---	--

32. Determinación de CBR de la mezcla 80% TN – 20% AA

UNIVERSIDAD ESTADAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL	
C.B.R. - DENSIDADES	
PROYECTO: Estabilización o mejoramiento de la capacidad portante de los suelos de la subrasante de carretera utilizando diferentes proporciones de arenas asfálticas de yacimientos naturales de la península de Santa Elena	TESISTAS: Kleiber Borbor Gabino Liliana Collantes Piguave
LOCALIZACIÓN: Velasco Ibarra-La Libertad-Santa Elena	TUTOR: Ing. Nelson Alvarez
FECHA: 30/01/2019	PROFUNDIDAD: 1 m
NORMA: ASTM D 1883	ARENA ASFÁLTICA: 20%
Pag: 1/1	MUESTRA Nº: TERRENO NATURAL 80%

DATOS					
MOLDE Nº	II	III	VIII		
PESO MOLDE	5943	5826	6408	PESO DE MARTILLO	4,54 kg
VOL. MOLDE	2344,60	2344,31	2341,90	ALTURA DEL MARTILLO	18"
No. De GOLPES POR CAPA	12	25	56		

Nº de ensayo		1	2	3			
ANTES DE LA INMERSIÓN							
		12 Golpes x capa	25 Golpes x capa	56 Golpes x capa			
HUMEDAD	RECIPIENTE #	K2	56	R			
	Wh+r	56,52	69,05	82,74			
	Ws+r	50,96	61,80	73,72			
	Ww	5,56	7,25	9,02			
	r	16,04	16,88	16,94			
	Ws	34,92	44,92	56,78			
	w %	15,92	16,14	15,89			
MOLDE NÚMERO		II	III	VIII			
MOLDE MAS SUELO HUMEDO		10346,00	10561,00	11169,00			
MOLDE		5943,00	5826,00	6408,00			
SUELO HUMEDO		4403,00	4735,00	4761,00			
SUELO SECO		3798,24	4076,98	4108,35			
CONTENIDO DE AGUA		15,92	16,14	15,89			
DENSIDAD HÚMEDA DEL SUELO (g/cm ³)		1,878	2,020	2,033			
DENSIDAD SECA DEL SUELO (g/cm ³)		1,620	1,739	1,754			
DESPUÉS DE LA INMERSIÓN							
		12 Golpes x capa	25 Golpes x capa	56 Golpes x capa			
HUMEDAD	RECIPIENTE #	K	T	B	N	A	GG
	Wh+r	70,53	62,97	62,54	46,84	63,47	59,61
	Ws+r	62,63	54,77	55,98	42,17	57,08	53,33
	Ww	7,90	8,20	6,56	4,67	6,39	6,28
	r	17,09	16,78	16,74	16,89	16,77	16,73
	Ws	45,54	37,99	39,24	25,28	40,31	36,60
	w %	17,35	21,58	16,72	18,47	15,85	17,16
w % PROMEDIO		19,47	17,60			16,51	
MOLDE NÚMERO				III			VIII
MOLDE MAS SUELO HUMEDO		10346,00	10561,00			11169,00	
MOLDE		5943,00	5826,00			6408,00	
SUELO HUMEDO		4403,00	4735,00			4761,00	
SUELO SECO		3685,57	4026,52			4086,51	
CONTENIDO DE AGUA		19,47	17,60			16,51	
DENSIDAD HÚMEDA DEL SUELO (g/cm ³)		1,878	2,020			2,033	
DENSIDAD SECA DEL SUELO (g/cm ³)		1,572	1,718			1,745	
HINCHAMIENTO							
LECTURA INICIAL		0,10	0,10			0,08	
24 HORAS		0,40	0,44			0,46	
48 HORAS		0,45	0,44			0,46	
72 HORAS		0,45	0,44			0,47	
96 HORAS		0,47	0,46			0,47	
HINCHAMIENTO %		7,40	7,20			7,80	
CBR %							
DENSIDAD SECA kg/m³		1620	1739			1754	

Laboratoristas	Revisado	Fecha de toma de la muestra
Kleiber Borbor Gabino Liliana Collantes Piguave	Ing. Lucrecia Moreno	28/01/2019



**UNIVERSIDAD ESTADAL PENINSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL**



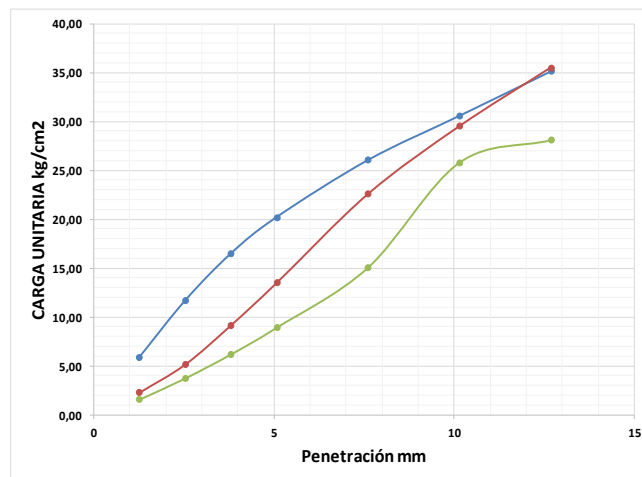
C.B.R. - DENSIDADES

PROYECTO:	Estabilización o mejoramiento de la capacidad portante de los suelos de la subrasante de carretera utilizando diferentes proporciones de arenas asfálticas de yacimientos naturales de la península de Santa Elena	TESISTAS:	Kleber Borbor Gabino Liliana Collantes Piguave
LOCALIZACIÓN:	Velasco Ibarra-La Libertad-Santa Elena	TUTOR:	Ing. Nelson Alvarez
FECHA:	30/01/2019	PROFUNDIDAD:	1 m
NORMA:	ASTM D 1883	ARENA ASFÁLTICA:	20%
Pag:	1/1	MUESTRA Nº:	TERRENO NATURAL 80%

DATOS			
MOLDE Nº	II	III	VIII
PESO MOLDE	5943	5826	6408
VOL. MOLDE	2344,60	2344,31	2341,90
No. De GOLPES POR CAPA	12	25	56
PESO DE MARTILLO	4,54 kg		
ALTURA DEL MARTILLO	18"		

Nº de ensayo	3	2	1	3	2	1
	CARGA DE PENETRACIÓN EL Lb			CARGA DE PENETRACIÓN EL Kg		
1,27 mm (0,05")	251,33	97,00	66,14	114,00	44,00	30,00
2,54 mm (0,1")	498,24	219,36	158,62	226,00	99,50	71,95
3,81 mm (0,15")	703,27	390,22	263,45	319,00	177,00	119,50
5,08 mm (0,2")	862,01	575,41	380,30	391,00	261,00	172,50
7,62 mm (0,30")	1111,13	963,42	642,65	504,00	437,00	291,50
10,16 mm (0,40")	1304,03	1258,84	1101,21	591,500	571,000	499,500
12,70 mm (0,5")	1498,04	1514,57	1199,31	679,50	687,00	544,00

	CARGA UNITARIA EN lb/in ²			CARGA UNITARIA EN kg/cm ²		
1,27 mm (0,05")	83,78	32,33	22,05	5,89	2,27	1,55
2,54 mm (0,1")	166,08	73,12	52,87	11,68	5,14	3,72
3,81 mm (0,15")	234,42	130,07	87,82	16,49	9,15	6,18
5,08 mm (0,2")	287,34	191,80	126,77	20,21	13,49	8,91
7,62 mm (0,30")	370,38	321,14	214,22	26,05	22,58	15,06
10,16 mm (0,40")	434,68	419,61	367,07	30,57	29,51	25,81
12,70 mm (0,5")	499,35	504,86	399,77	35,12	35,50	28,11



Nº DE GOLPES	Esfuerzo de penetración	
	0,1 in	0,2 in
56	11,68	20,21
25	5,14	13,49
12	3,72	8,91

C.B.R	%	
56	16,6	19,2
25	7,3	12,8
12	5,3	8,5

Laboratoristas	Revisado	Fecha de toma de la muestra
Kleber Borbor Gabino Liliana Collantes Piguave	Ing. Lucrecia Moreno	28/01/2019

33. Determinación de CBR de la mezcla 70% TN – 30% AA

UNIVERSIDAD ESTADAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL			
C.B.R. - DENSIDADES			
PROYECTO:	Estabilización o mejoramiento de la capacidad portante de los suelos de la subrasante de carretera utilizando diferentes proporciones de arenas asfálticas de yacimientos naturales de la península de Santa Elena	TESISTAS:	Kleber Borbor Gabino Liliana Collantes Piguave
LOCALIZACIÓN:	Velasco Ibarra-La Libertad-Santa Elena	TUTOR:	Ing. Nelson Alvarez
FECHA:	30/01/2019	PROFUNDIDAD:	1 m
NORMA:	ASTM D 1883	ARENA ASFÁLTICA:	30%
Pag:	1/1	MUESTRA Nº:	TERRENO NATURAL 70%

DATOS				
MOLDE Nº	V	XI	XX	
PESO MOLDE	5888	7102	6065	PESO DE MARTILLO 4,54 kg
VOL. MOLDE	2318,79	2331,11	2343,34	ALTURA DEL MARTILLO 18"
No. De GOLPES POR CAPA	12	25	56	

Nº de ensayo		1	2	3				
ANTES DE LA INMERSIÓN								
		12 Golpes x capa	25 Golpes x capa	56 Golpes x capa				
HUMEDAD	RECIPIENTE #	B	P	X				
	Wh+r	57,9	65,56	64,20				
	Ws+r	53,22	60,03	58,64				
	Ww	4,68	5,53	5,56				
	f	16,74	17,15	17,17				
	Ws	36,48	42,88	41,47				
	w %	12,83	12,90	13,41				
	MOLDE NÚMERO	V	XI	XX				
MOLDE MAS SUELO HUMEDO		10455,00	11826,00	10848,00				
MOLDE		5888,00	7102,00	6065,00				
SUELO HUMEDO		4567,00	4724,00	4783,00				
SUELO SECO		4047,72	4184,37	4217,54				
CONTENIDO DE AGUA		12,83	12,90	13,41				
DENSIDAD HÚMEDA DEL SUELO (g/cm3)		1,970	2,027	2,041				
DENSIDAD SECA DEL SUELO (g/cm3)		1,746	1,795	1,800				
DESPUÉS DE LA INMERSIÓN								
		12 Golpes x capa	25 Golpes x capa	56 Golpes x capa				
HUMEDAD	RECIPIENTE #	X	P	F	K	S	R2	
	Wh+r	64,77	74,70	85,50	78,51	64,57	87,50	
	Ws+r	57,37	66,65	75,11	69,71	57,59	77,04	
	Ww	7,40	8,05	10,39	8,80	6,98	10,46	
	f	17,17	17,15	15,72	17,13	16,64	16,04	
	Ws	40,20	49,50	59,39	52,58	40,95	61,00	
	w %	18,41	16,26	17,49	16,74	17,05	17,15	
	w % PROMEDIO	17,34	17,12	17,12	17,10	17,10	17,10	
	MOLDE NÚMERO		V	XI	XX	XX	XX	XX
	MOLDE MAS SUELO HUMEDO		10598,00	11858,00	10902,00	10902,00	10902,00	10902,00
MOLDE		5888,00	7102,00	6065,00	6065,00	6065,00	6065,00	
SUELO HUMEDO		4710,00	4756,00	4837,00	4837,00	4837,00	4837,00	
SUELO SECO		4014,14	4060,95	4130,79	4130,79	4130,79	4130,79	
CONTENIDO DE AGUA		17,34	17,12	17,10	17,10	17,10	17,10	
DENSIDAD HÚMEDA DEL SUELO (g/cm3)		2,031	2,040	2,064	2,064	2,064	2,064	
DENSIDAD SECA DEL SUELO (g/cm3)		1,731	1,742	1,763	1,763	1,763	1,763	
HINCHAMIENTO								
LECTURA INICIAL		0,09	0,07	0,07	0,07	0,09	0,09	
24 HORAS		0,45	0,27	0,27	0,27	0,48	0,48	
48 HORAS		0,47	0,28	0,28	0,28	0,48	0,48	
72 HORAS		0,47	0,29	0,29	0,29	0,48	0,48	
96 HORAS		0,47	0,29	0,29	0,29	0,48	0,48	
HINCHAMIENTO %		7,60	4,40	4,40	4,40	7,86	7,86	

CBR %			
DENSIDAD SECA kg/m3	1746	1795	1800

Laboratoristas	Revisado	Fecha de toma de la muestra
Kleber Borbor Gabino Liliana Collantes Piguave	Ing. Lucrecia Moreno	28/01/2019



UNIVERSIDAD ESTADAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



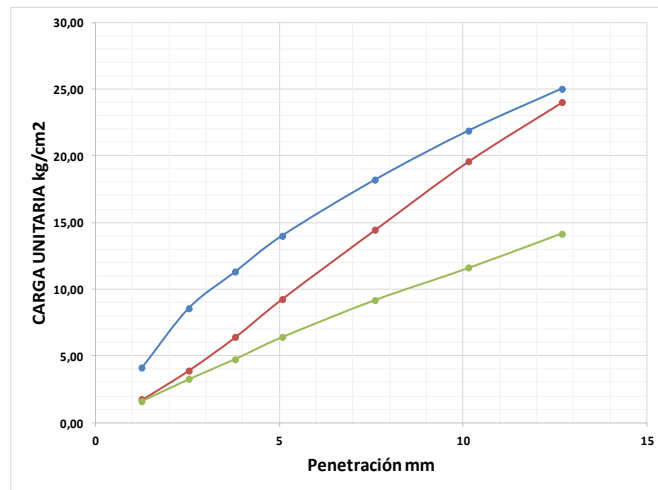
C.B.R. - DENSIDADES

PROYECTO:	Estabilización o mejoramiento de la capacidad portante de los suelos de la subrasante de carretera utilizando diferentes proporciones de arenas asfálticas de yacimientos naturales de la península de Santa Elena	TESISTAS:	Kleber Borbor Gabino Liliana Collantes Piguave
LOCALIZACIÓN:	Velasco Ibarra-La Libertad-Santa Elena	TUTOR:	Ing. Nelson Alvarez
FECHA:	30/01/2019	PROFUNDIDAD:	1 m
NORMA:	ASTM D 1883	ARENA ASFÁLTICA:	30%
Pag:	1/1	MUESTRA Nº:	TERRENO NATURAL 70%

DATOS			
MOLDE Nº	V	XI	XX
PESO MOLDE	5888	7102	6065
VOL. MOLDE	2318,79	2331,11	2343,34
No. De GOLPES POR CAPA	12	25	56
			PESO DE MARTILLO 4,54 kg
			ALTURA DEL MARTILLO 18"

Nº de ensayo	3			2			1		
	CARGA DE PENETRACIÓN EL Lb			CARGA DE PENETRACIÓN EL Kg					
1,27 mm (0,05")	175,27	72,75	68,34	79,5	33,0	31,0			
2,54 mm (0,1")	364,86	166,45	137,79	165,5	75,5	62,5			
3,81 mm (0,15")	481,71	273,37	202,83	218,5	124,0	92,0			
5,08 mm (0,2")	596,35	394,63	272,27	270,5	179,0	123,5			
7,62 mm (0,30")	776,03	616,19	391,32	352,0	279,5	177,5			
10,16 mm (0,40")	932,55	834,45	493,83	423,0	378,5	224,0			
12,70 mm (0,5")	1067,04	1022,94	604,07	484,0	464,0	274,0			

	CARGA UNITARIA EN lb/in ²			CARGA UNITARIA EN kg/cm ²		
	1,27 mm (0,05")	58,42	24,25	22,78	4,11	1,71
2,54 mm (0,1")	121,62	55,48	45,93	8,55	3,90	3,23
3,81 mm (0,15")	160,57	91,12	67,61	11,29	6,41	4,75
5,08 mm (0,2")	198,78	131,54	90,76	13,98	9,25	6,38
7,62 mm (0,30")	258,68	205,40	130,44	18,19	14,44	9,17
10,16 mm (0,40")	310,85	278,15	164,61	21,86	19,56	11,58
12,70 mm (0,5")	355,68	340,98	201,36	25,01	23,98	14,16



Nº DE GOLPES	Esfuerzo de penetración	
	0,1 in	0,2 in
56	8,55	13,98
25	3,90	9,25
12	3,23	6,38

C.B.R	%	
	56	12,2
25	5,5	8,8
12	4,6	6,1

Laboratoristas	Revisado	Fecha de toma de la muestra
Kleber Borbor Gabino Liliana Collantes Piguave	Ing. Lucrecia Moreno	28/01/2019

34. Determinación de CBR de la mezcla 60% TN – 40% AA

UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL	
C.B.R. - DENSIDADES	
PROYECTO:	Estabilización o mejoramiento de la capacidad portante de los suelos de la subrasante de carretera utilizando diferentes proporciones de arenas asfálticas de yacimientos naturales de la península de Santa Elena
LOCALIZACIÓN:	Velasco Ibarra-La Libertad-Santa Elena
FECHA:	30/01/2019
NORMA:	ASTM D 1883
Pag:	1/1
TESISTAS:	Kleber Borbor Gabino Liliana Collantes Piguave
TUTOR:	Ing. Nelson Alvarez
PROFUNDIDAD:	1 m
ARENA ASFÁLTICA:	40%
MUESTRA Nº:	TERRENO NATURAL 60%

DATOS			
MOLDE Nº	IV	VI	VII
PESO MOLDE	5870	5862	5878
VOL. MOLDE	2268,21	2389,03	2389,03
No. De GOLPES POR CAPA	12	25	56
		PESO DE MARTILLO	4,54 kg
		ALTURA DEL MARTILLO	18"

		1		2		3	
Nº de ensayo							
ANTES DE LA INMERSIÓN							
		12 Golpes x capa		25 Golpes x capa		56 Golpes x capa	
HUMEDAD	RECIPIENTE #	X		M2		F	
	Wh+r	82,9		89,78		89,70	
	Ws+r	74,44		81,08		80,97	
	Ww	8,46		8,70		8,73	
	r	16,57		16,35		16,53	
	Ws	57,87		64,73		64,44	
	w %	14,62		13,44		13,55	
	MOLDE NÚMERO	IV		VI		VII	
MOLDE MAS SUELO HUMEDO	10325,00		10502,00		10613,00		
MOLDE	5870,00		5862,00		5878,00		
SUELO HUMEDO	4455,00		4640,00		4735,00		
SUELO SECO	3886,79		4090,25		4170,06		
CONTENIDO DE AGUA	14,62		13,44		13,55		
DENSIDAD HÚMEDA DEL SUELO (g/cm³)	1,964		1,942		1,982		
DENSIDAD SECA DEL SUELO (g/cm³)	1,714		1,712		1,746		
DESPUÉS DE LA INMERSIÓN							
		12 Golpes x capa		25 Golpes x capa		56 Golpes x capa	
HUMEDAD	RECIPIENTE #	K	U	S1	Y	K2	RM
	Wh+r	116,05	90,32	105,70	97,38	36,28	98,27
	Ws+r	99,85	79,97	92,13	85,64	32,74	87,13
	Ww	16,20	10,35	13,57	11,74	3,54	11,14
	r	16,91	16,92	17,12	16,68	9,46	17,14
	Ws	82,94	63,05	75,01	68,96	23,28	69,99
	w %	19,53	16,42	18,09	17,02	15,21	15,92
	w % PROMEDIO	17,97		17,56		15,56	
MOLDE NÚMERO	IV		VI		VII		
MOLDE MAS SUELO HUMEDO	10427,00		10548,00		10659,00		
MOLDE	5870,00		5862,00		5878,00		
SUELO HUMEDO	4557,00		4686,00		4781,00		
SUELO SECO	3862,72		3986,13		4137,20		
CONTENIDO DE AGUA	17,97		17,56		15,56		
DENSIDAD HÚMEDA DEL SUELO (g/cm³)	2,009		1,961		2,001		
DENSIDAD SECA DEL SUELO (g/cm³)	1,703		1,669		1,732		
HINCHAMIENTO							
LECTURA INICIAL	0,06		0,09		0,10		
24 HORAS	0,46		0,43		0,49		
48 HORAS	0,47		0,47		0,51		
72 HORAS	0,47		0,50		0,51		
96 HORAS	0,47		0,50		0,53		
HINCHAMIENTO %	8,20		8,20		8,60		

CBR %			
DENSIDAD SECA kg/m3	1714	1712	1746

Laboratoristas	Revisado	Fecha de toma de la muestra
Kleber Borbor Gabino Liliana Collantes Piguave	Ing. Lucrecia Moreno	28/01/2019



**UNIVERSIDAD ESTADAL PENINSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL**



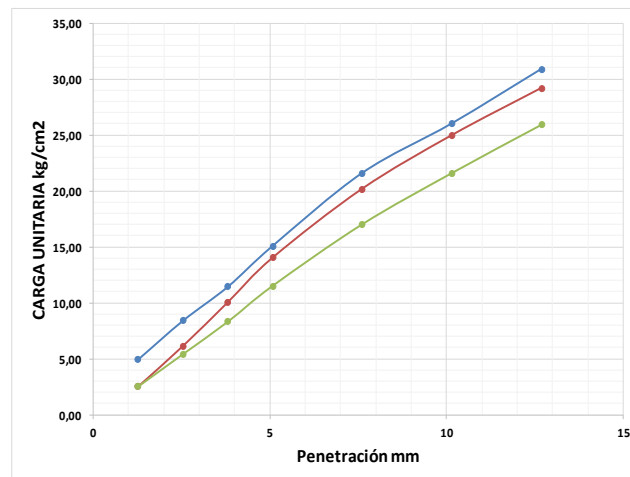
C.B.R. - DENSIDADES

PROYECTO:	Estabilización o mejoramiento de la capacidad portante de los suelos de la subrasante de carretera utilizando diferentes proporciones de arenas asfálticas de yacimientos naturales de la península de Santa Elena	TESISTAS:	Kleber Borbor Gabino Liliana Collantes Piguave
LOCALIZACIÓN:	Velasco Ibarra-La Libertad-Santa Elena	TUTOR:	Ing. Nelson Alvarez
FECHA:	30/01/2019	PROFUNDIDAD:	1 m
NORMA:	ASTM D 1883	ARENA ASFÁLTICA:	40%
Pag:	1/1	MUESTRA N°:	TERRENO NATURAL 60%

DATOS			
MOLDE N°	IV	VI	VII
PESO MOLDE	5870	5862	5878
VOL. MOLDE	2268,21	2389,03	2389,03
No. De GOLPES POR CAPA	12	25	56
			PESO DE MARTILLO 4,54 kg
			ALTURA DEL MARTILLO 18"

N° de ensayo	CARGA DE PENETRACIÓN EL Lb			CARGA DE PENETRACIÓN EL Kg		
	3	2	1	3	2	1
1,27 mm (0,05")	211,64	108,03	108,03	96,00	49,00	49,00
2,54 mm (0,1")	359,35	262,35	231,49	163,00	119,00	105,00
3,81 mm (0,15")	488,32	428,80	354,94	221,50	194,50	161,00
5,08 mm (0,2")	643,75	598,55	491,63	292,00	271,50	223,00
7,62 mm (0,30")	921,53	860,90	726,42	418,00	390,50	329,50
10,16 mm (0,40")	1110,03	1064,83	921,53	503,500	483,000	418,000
12,70 mm (0,5")	1317,26	1244,51	1105,62	597,50	564,50	501,50

	CARGA UNITARIA EN lb/in ²			CARGA UNITARIA EN kg/cm ²		
	3	2	1	3	2	1
1,27 mm (0,05")	70,55	36,01	36,01	4,96	2,53	2,53
2,54 mm (0,1")	119,78	87,45	77,16	8,42	6,15	5,43
3,81 mm (0,15")	162,77	142,93	118,31	11,45	10,05	8,32
5,08 mm (0,2")	214,58	199,52	163,88	15,09	14,03	11,52
7,62 mm (0,30")	307,18	286,97	242,14	21,60	20,18	17,03
10,16 mm (0,40")	370,01	354,94	307,18	26,02	24,96	21,60
12,70 mm (0,5")	439,09	414,84	368,54	30,88	29,17	25,92





N° DE GOLPES	Esfuerzo de penetración	
	0,1 in	0,2 in
56	8,42	15,09
25	6,15	14,03
12	5,43	11,52

C.B.R	%	
56	12,7	14,3
25	8,7	13,3
12	7,7	10,9

Laboratoristas	Revisado	Fecha de toma de la muestra
Kleber Borbor Gabino Liliana Collantes Piguave	Ing. Lucrecia Moreno	28/01/2019

35. Determinación de CBR de la mezcla 50% TN – 50% AA

	UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL		
C.B.R. - DENSIDADES			
PROYECTO:	Estabilización o mejoramiento de la capacidad portante de los suelos de la subrasante de carretera utilizando diferentes proporciones de arenas asfálticas de yacimientos naturales de la península de Santa Elena	TESISTAS:	Kleber Borbor Gabino Liliana Collantes Piguave
LOCALIZACIÓN:	Velasco Ibarra-La Libertad-Santa Elena	TUTOR:	Ing. Nelson Alvarez
FECHA:	30/01/2019	PROFUNDIDAD:	1 m
NORMA:	ASTM D 1883	ARENA ASFÁLTICA:	50%
Pag:	1/1	MUESTRA Nº:	TERRENO NATURAL 50%

DATOS						
MOLDE Nº	II	VII	XVIII		PESO DE MARTILLO	4,54 kg
PESO MOLDE	5943	5878	6559		ALTURA DEL MARTILLO	18"
VOL. MOLDE	2344,60	2352,58	2337,40			
No. De GOLPES POR CAPA	12	25	56			

Nº de ensayo		1	2	3			
ANTES DE LA INMERSIÓN							
		12 Golpes x capa	25 Golpes x capa	56 Golpes x capa			
HUMEDAD	RECIPIENTE #	L1	U	C8			
	Wh+fr	26,25	78,95	98,58			
	Ws+fr	24,94	74,28	91,98			
	Ww	1,31	4,67	6,60			
	r	9,34	16,62	17,95			
	Ws	15,6	57,66	74,03			
	w %	8,40	8,10	8,92			
	MOLDE NÚMERO	II	VII	XVIII			
MOLDE MAS SUELO HUMEDO	10008,00	10158,00	11293,00				
MOLDE	5943,00	5878,00	6559,00				
SUELO HUMEDO	4065,00	4280,00	4734,00				
SUELO SECO	3750,09	3959,33	4346,50				
CONTENIDO DE AGUA	8,40	8,10	8,92				
DENSIDAD HÚMEDA DEL SUELO (g/cm3)	1,734	1,819	2,025				
DENSIDAD SECA DEL SUELO (g/cm3)	1,599	1,683	1,860				
DESPUÉS DE LA INMERSIÓN							
		12 Golpes x capa	25 Golpes x capa	56 Golpes x capa			
HUMEDAD	RECIPIENTE #	P	F	0	A4	P	JL
	Wh+fr	97,10	120,50	110,19	97,73	81,73	90,63
	Ws+fr	83,23	103,02	95,36	82,48	72,19	81,19
	Ww	13,87	17,48	14,83	15,25	9,54	9,44
	r	17,15	17,18	15,72	16,57	16,37	16,57
	Ws	66,08	85,84	79,64	65,91	55,82	64,62
	w %	20,99	20,36	18,62	23,14	17,09	14,61
	w % PROMEDIO	20,68	20,88	15,85			
MOLDE NÚMERO	II	VII	XVIII				
MOLDE MAS SUELO HUMEDO	10413,00	10530,00	11482,00				
MOLDE	5943,00	5878,00	6559,00				
SUELO HUMEDO	4470,00	4652,00	4923,00				
SUELO SECO	3704,12	3848,46	4249,48				
CONTENIDO DE AGUA	20,68	20,88	15,85				
DENSIDAD HÚMEDA DEL SUELO (g/cm3)	1,907	1,977	2,106				
DENSIDAD SECA DEL SUELO (g/cm3)	1,580	1,636	1,818				
HINCHAMIENTO							
LECTURA INICIAL	0,15	0,09	0,01				
24 HORAS	0,55	0,48	0,35				
48 HORAS	0,57	0,49	0,37				
72 HORAS	0,58	0,50	0,44				
96 HORAS	0,58	0,50	0,44				
HINCHAMIENTO %	8,60	8,20	8,60				

CBR %			
DENSIDAD SECA kg/m3	1599	1683	1860

Laboratoristas	Revisado	Fecha de toma de la muestra
Kleber Borbor Gabino Liliana Collantes Piguave	Ing. Lucrecia Moreno	28/01/2019



**UNIVERSIDAD ESTADAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL**



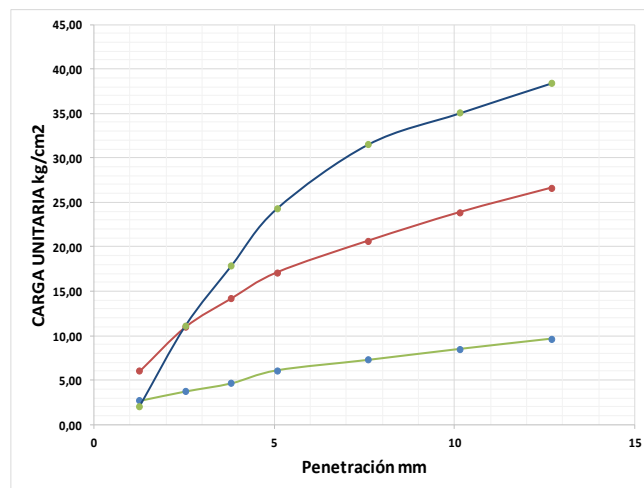
C.B.R. - DENSIDADES

PROYECTO:	Estabilización o mejoramiento de la capacidad portante de los suelos de la subrasante de carretera utilizando diferentes proporciones de arenas asfálticas de yacimientos naturales de la península de Santa Elena	TESISTAS:	Kleber Borbor Gabino Liliana Collantes Piguave
LOCALIZACIÓN:	Velasco Ibarra-La Libertad-Santa Elena	TUTOR:	Ing. Nelson Alvarez
FECHA:	30/01/2019	PROFUNDIDAD:	1 m
NORMA:	ASTM D 1883	ARENA ASFÁLTICA:	50%
Pag:	1/1	MUESTRA Nº:	TERRENO NATURAL 50%

DATOS			
MOLDE Nº	II	VII	XVIII
PESO MOLDE	5943	5878	6559
VOL. MOLDE	2344,60	2352,58	2337,40
No. De GOLPES POR CAPA	12	25	56
			PESO DE MARTILLO 4,54 kg
			ALTURA DEL MARTILLO 18"

Nº de ensayo	CARGA DE PENETRACIÓN EL Lb			CARGA DE PENETRACIÓN EL Kg		
	1	2	3	1	2	3
1,27 mm (0,05")	115,74	255,74	88,18	52,50	116,00	40,00
2,54 mm (0,1")	159,83	467,38	473,99	72,50	212,00	215,00
3,81 mm (0,15")	198,42	604,07	760,59	90,00	274,00	345,00
5,08 mm (0,2")	260,15	729,73	1036,17	118,00	331,00	470,00
7,62 mm (0,30")	309,75	881,85	1344,82	140,50	400,00	610,00
10,16 mm (0,40")	361,56	1018,53	1494,73	164,000	462,000	678,000
12,70 mm (0,5")	410,06	1135,38	1638,03	186,00	515,00	743,00

	CARGA UNITARIA EN lb/in ²			CARGA UNITARIA EN kg/cm ²		
	1	2	3	1	2	3
1,27 mm (0,05")	38,58	85,25	29,39	2,71	5,99	2,07
2,54 mm (0,1")	53,28	155,79	158,00	3,75	10,96	11,11
3,81 mm (0,15")	66,14	201,36	253,53	4,65	14,16	17,83
5,08 mm (0,2")	86,72	243,24	345,39	6,10	17,11	24,29
7,62 mm (0,30")	103,25	293,95	448,27	7,26	20,67	31,52
10,16 mm (0,40")	120,52	339,51	498,24	8,48	23,88	35,04
12,70 mm (0,5")	136,69	378,46	546,01	9,61	26,61	38,40





Nº DE GOLPES	Esfuerzo de penetración	
	0,1 in	0,2 in
12	3,75	6,10
25	10,96	17,11
56	11,11	24,29

C.B.R	%	
12	5,3	5,8
25	15,6	16,2
56	13,2	23,0

Laboratoristas	Revisado	Fecha de toma de la muestra
Kleber Borbor Gabino Liliana Collantes Piguave	Ing. Lucrecia Moreno	28/01/2019

36. Determinación de CBR de la mezcla 30% TN – 70% AA

	UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL		
C.B.R. - DENSIDADES			
PROYECTO:	Estabilización o mejoramiento de la capacidad portante de los suelos de la subrasante de carretera utilizando diferentes proporciones de arenas asfálticas de yacimientos naturales de la península de Santa Elena	TESISTAS:	Kleber Borbor Gabino Liliana Collantes Piguave
LOCALIZACIÓN:	Velasco Ibarra-La Libertad-Santa Elena	TUTOR:	Ing. Nelson Alvarez
FECHA:	30/01/2019	PROFUNDIDAD:	1 m
NORMA:	ASTM D 1883	ARENA ASFÁLTICA:	70%
Pag:	1/1	MUESTRA N°:	TERRENO NATURAL

DATOS			
MOLDE N°	VI	XIX	IV
PESO MOLDE	5862	6009	5870
VOL. MOLDE	2325,14	2330,61	2338,60
No. De GOLPES POR CAPA	12	25	56
			PESO DE MARTILLO 4,54 kg
			ALTURA DEL MARTILLO 18"

N° de ensayo		1	2	3			
ANTES DE LA INMERSIÓN							
		12 Golpes x capa	25 Golpes x capa	56 Golpes x capa			
HUMEDAD	RECIPIENTE #	JG	R	JC			
	Wh+r	72,85	75,18	77,42			
	Ws+r	68,04	70,77	72,36			
	Ww	4,81	4,41	5,06			
	r	16,88	16,94	16,57			
	Ws	51,16	53,83	55,79			
	w %	9,40	8,19	9,07			
	MOLDE NÚMERO	VI	XIX	IV			
MOLDE MAS SUELO HUMEDO		10262,00	10581,00	10718,00			
MOLDE		5862,00	6009,00	5870,00			
SUELO HUMEDO		4400,00	4572,00	4848,00			
SUELO SECO		4021,87	4225,80	4444,86			
CONTENIDO DE AGUA		9,40	8,19	9,07			
DENSIDAD HÚMEDA DEL SUELO (g/cm³)		1,892	1,962	2,073			
DENSIDAD SECA DEL SUELO (g/cm³)		1,730	1,813	1,901			
DESPUÉS DE LA INMERSIÓN							
		12 Golpes x capa	25 Golpes x capa	56 Golpes x capa			
HUMEDAD	RECIPIENTE #	R	Z	K	JG	W	HD
	Wh+r	90,96	92,21	120,37	102,81	110,46	108,77
	Ws+r	80,39	81,73	107,37	91,99	99,82	98,61
	Ww	10,57	10,48	13,00	10,82	10,64	10,16
	r	16,94	16,42	17,09	16,88	16,91	16,53
	Ws	63,45	65,31	90,28	75,11	82,91	82,08
	w %	16,66	16,05	14,40	14,41	12,83	12,38
	w % PROMEDIO	16,35		14,40		12,61	
MOLDE NÚMERO	VI		XIX		IV		
MOLDE MAS SUELO HUMEDO		10515,00		10783,00		10805,00	
MOLDE		5862,00		6009,00		5870,00	
SUELO HUMEDO		4653,00		4774,00		4935,00	
SUELO SECO		3999,05		4172,98		4382,55	
CONTENIDO DE AGUA		16,35		14,40		12,61	
DENSIDAD HÚMEDA DEL SUELO (g/cm³)		2,001		2,048		2,110	
DENSIDAD SECA DEL SUELO (g/cm³)		1,720		1,791		1,874	
HINCHAMIENTO							
LECTURA INICIAL		0,09		0,08		0,05	
24 HORAS		0,44		0,45		0,22	
48 HORAS		0,52		0,48		0,32	
72 HORAS		0,53		0,52		0,43	
96 HORAS		0,53		0,52		0,52	
HINCHAMIENTO %		8,80		8,80		9,40	

CBR %			
DENSIDAD SECA kg/m³	1730	1813	1901

Laboratoristas	Revisado	Fecha de toma de la muestra
Kleber Borbor Gabino Liliana Collantes Piguave	Ing. Lucrecia Moreno	28/01/2019



**UNIVERSIDAD ESTADAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL**



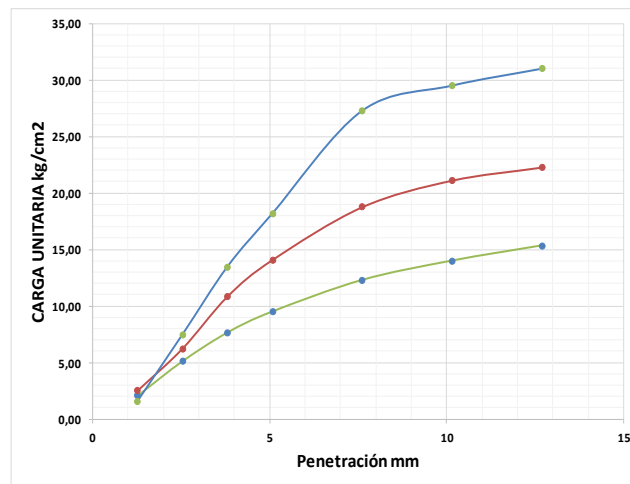
C.B.R. - DENSIDADES

PROYECTO:	Estabilización o mejoramiento de la capacidad portante de los suelos de la subrasante de carretera utilizando diferentes proporciones de arenas asfálticas de yacimientos naturales de la península de Santa Elena	TESISTAS:	Kleber Borbor Gabino Liliana Collantes Piguave
LOCALIZACIÓN:	Velasco Ibarra-La Libertad-Santa Elena	TUTOR:	Ing. Nelson Alvarez
FECHA:	30/01/2019	PROFUNDIDAD:	1 m
NORMA:	ASTM D 1883	ARENA ASFÁLTICA:	70%
Pag:	1/1	MUESTRA N°:	TERRENO NATURAL

DATOS				
MOLDE N°	VI	XIX	IV	
PESO MOLDE	5862	6009	5870	
VOL. MOLDE	2325,14	2330,61	2338,60	
No. De GOLPES POR CAPA	12	25	56	
			PESO DE MARTILLO	4,54 kg
			ALTURA DEL MARTILLO	18"

N° de ensayo	CARGA DE PENETRACIÓN EL Lb			CARGA DE PENETRACIÓN EL Kg		
	1	2	3	1	2	3
1,27 mm (0,05")	88,18	108,03	68,34	40,00	49,00	31,00
2,54 mm (0,1")	218,26	266,76	319,67	99,00	121,00	145,00
3,81 mm (0,15")	326,28	462,97	575,41	148,00	210,00	261,00
5,08 mm (0,2")	405,65	600,76	776,03	184,00	272,50	352,00
7,62 mm (0,30")	524,70	800,28	1164,04	238,00	363,00	528,00
10,16 mm (0,40")	597,45	900,59	1258,84	271,000	408,500	571,000
12,70 mm (0,5")	654,77	950,19	1322,77	297,00	431,00	600,00

	CARGA UNITARIA EN lb/in ²			CARGA UNITARIA EN kg/cm ²		
	1	2	3	1	2	3
1,27 mm (0,05")	29,39	36,01	22,78	2,07	2,53	1,60
2,54 mm (0,1")	72,75	88,92	106,56	5,12	6,25	7,49
3,81 mm (0,15")	108,76	154,32	191,80	7,65	10,85	13,49
5,08 mm (0,2")	135,22	200,25	258,68	9,51	14,08	18,19
7,62 mm (0,30")	174,90	266,76	388,01	12,30	18,76	27,29
10,16 mm (0,40")	199,15	300,20	419,61	14,01	21,11	29,51
12,70 mm (0,5")	218,26	316,73	440,92	15,35	22,27	31,01





N° DE GOLPES	Esfuerzo de penetración	
	0,1 in	0,2 in
12	5,12	9,51
25	6,25	14,08
56	7,49	18,19

C.B.R	%	
	0,1 in	0,2 in
12	7,3	9,0
25	8,9	13,4
56	10,7	17,2

Laboratoristas	Revisado	Fecha de toma de la muestra
Kleber Borbor Gabino Liliana Collantes Piguave	Ing. Lucrecia Moreno	28/01/2019

37. Determinación de Estabilidad Marshall de la Arena Asfáltica

	UNIVERSIDAD ESTADAL PENINSULA DE SANTA ELENA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL														
PROYECTO: LOCALIZACIÓN: TESISTAS: TUTOR: MUESTRA:	Estabilización o mejoramiento de la capacidad portante de los suelos de subrasante de carreteras utilizando diferentes proporciones de arenas asfálticas de yacimientos naturales de la península de Santa Elena. Velasco Ibarra- La Libertad- Santa Elena Kleber Borbor Gabino Liliana Collantes Piguave Ing. Nelson Álvarez Sánchez Arenas Asfálticas														
MÉTODO MARSHALL- NORMA ASTM D 1559															
Fecha	N° Briqueta	% Bitumen	ANÁLISIS VOLUMÉTRICO								ESTABILIDAD				FLUJO 0,01"
			Altura cm	Volumen cm ³	Peso de Briqueta			Gravedad específica de la mezcla		% Volumen de vacíos	Estabilidad Ensayo kg	Corrección por voluen	Estabilidad corregida kg	Estabilidad corregida lb	
					Aire gr	SSS gr	Agua gr	Bulk (Gmb) g/cm ³	Máxima teórica RICE (Gmm) gr/cm ³						
08/03/2019	1		7,073	544,1	1173	1182	637,9	2,156			156,5	0,93	145,55	320,87	21,5
08/03/2019	2		7,145	547,5	1179	1189	641,5	2,153			145	0,89	129,05	284,51	29,2
08/03/2019	3		7,355	528,7	1141	1149	620,3	2,158			109	0,96	104,64	230,69	27
Promedio		2,83%	7,19	540,10	1164,33	1173,33	633,23	2,156	2,30	6,44				275,78	26
MÓDULO DE RIGIDEZ															
RIGIDEZ MARSHALL (kg/cm)											189,42				
LABORATORISTAS			REVISADO				FECHA DE TOMA DE MUESTRAS								
Kleber Borbor Gabino Liliana Collantes Piguave			Ing. Lucrecia Moreno				28/01/2019								

ANEXO C

(Paper)

ESTABILIZACIÓN O MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD PORTANTE DE LOS SUELOS DE LA SUBRASANTE DE CARRETERA UTILIZANDO DIFERENTES PROPORCIONES DE ARENAS ASFÁLTICAS DE YACIMIENTOS NATURALES DE LA PENÍNSULA DE SANTA ELENA.

Kleber Borbor Gabino¹, Liliana Collantes Piguave², Nelson Álvarez Sánchez³

- 1. Egresado de la carrera de Ingeniería Civil –Universidad Estatal Península de Santa Elena.*
- 2. Egresado de la carrera de Ingeniería Civil –Universidad Estatal Península de Santa Elena.*
- 3. Facultad de Ingeniería Civil –Universidad Estatal Península de Santa Elena (UPSE) –Magister en Ingeniería Vial, nalvarez@upse.edu.ec.*

Resumen

Las estabilizaciones de suelos son muy comunes en la actualidad, puesto que es relevante tener una base ideal para las estructuras debido a que el funcionamiento a largo plazo de cualquier obra de ingeniería depende netamente de la calidad de suelos subyacentes. Es importante estudiar nuevas opciones de estabilización de suelos de subrasante proponiendo diferentes materiales y métodos que garanticen el soporte estructural del pavimento diseñado, por tal motivo se prepone el método de estabilización de subrasante mediante la adición en proporciones de arenas asfálticas. En el presente proyecto de investigación se requiere analizar la variación de las propiedades físico-mecánicas, y el comportamiento del suelo de subrasante correspondiente al sector Velasco Ibarra del Cantón La Libertad, provincia de Santa Elena, mezclado con diferentes proporciones de arenas asfálticas, dicho material es proveniente de yacimientos naturales cercanos a la zona, por lo que se puede aprovechar este recurso y si el resultado de la investigación mediante los ensayos de laboratorio pertinentes es satisfactorio se podrían obtener valores de soporte (CBR) adecuados para el suelo de subrasante.

Palabras claves:

Subrasante, estabilización, mejoramiento, arenas asfálticas, capacidad portante

Abstract

Soil stabilizations are very common nowadays, since it is important to have an ideal base for the structures since the long term operation of any engineering work depends clearly on the quality of underlying soils. It is important to study new options for the stabilization of subgrade soils by proposing different materials and methods that guarantee the structural support of the designed pavement. For this reason, the subgrade stabilization method is proposed by adding asphalt sands in proportions. In the present research project it is required to analyze the variation of physical-mechanical properties, and the subgrade soil behavior corresponding to Velasco Ibarra sector of La Libertad Canton, province of Santa Elena, mixed with different proportions of asphalt sands, said material it comes from natural deposits close to the area, so that this resource can be used and if the result of the investigation through the pertinent laboratory tests is satisfactory, adequate support values (CBR) could be obtained for the subgrade soil.

Keywords:

Subgrade, stabilization, improvement, asphalt sands, bearing capacity

1. Introducción

Con el paso del tiempo el hombre ha empleado diferentes técnicas para estabilizar suelos mediante el uso de diversos materiales tales como: cal, puzolana, cenizas volcánicas, entre otros, actualmente se están utilizando nuevos materiales: geosintéticos, agentes químicos, emulsiones asfálticas, que nos permiten mejorar las propiedades y aumentar la resistencia a los suelos que van a servir como soporte de un proyecto de Ingeniería Civil.

Los suelos son la base fundamental para cualquier tipo de construcción, por tal motivo las características que este presenta deben cumplir con los requerimientos que garanticen la integridad y el tiempo de vida útil de la obra a ejecutar. En la construcción de caminos y carreteras el suelo de subrasante debe ser capaz de resistir las cargas producto del tráfico y el propio peso de la estructura del pavimento, generalmente el suelo que se encuentra en el terreno natural no cumple con lo establecido en las normas vigentes por lo que es necesario realizar una estabilización.

En la región Costa Ecuatoriana predominan los suelos expansivos, mismos que se caracterizan por experimentar variación en su volumen debido a la presencia de humedad, siendo estos no aptos para la construcción, por ello es de vital importancia buscar nuevas alternativas de estabilización como la que se describe a continuación. En el presente trabajo de investigación se plantea el estudio de la estabilización de los suelos de la subrasante para carreteras, los cuales fueron extraídos

del barrio Nueva Jerusalén correspondiente al sector Velasco Ibarra del cantón La Libertad, para lograr la estabilización y mejoramiento de la capacidad portante se mezclará el suelo a mejorar con diferentes porcentajes de arenas asfálticas provenientes de yacimientos naturales ubicados en las minas de Achayán cerca del pozo SPA 0039 de la empresa Pacifpetrol de la Provincia de Santa Elena.

1.1. Fundamentación

El estudio de la estabilización o mejoramiento de la capacidad portante del suelo de subrasante es de gran importancia y debe de realizarse de manera adecuada, ya que ésta es el cimiento para la estructura de una vía, además dependerá exclusivamente de la capacidad portante del suelo para que las capas que conformen el pavimento tengan menor espesor y por tanto se logre que el presupuesto del proyecto disminuya por la optimización de los materiales, de los componentes y de la estructura, asimismo garantiza una respuesta satisfactoria a las solicitudes de cargas impuestas por el tráfico, logrando que los proyectos viales cumplan con la vida útil estimada.

Actualmente las arenas bituminosas existentes en los yacimientos de las minas Achayan cerca del pozo SPA 0039 de la empresa Pacifpetrol, ubicado en el Cantón La Libertad, no son utilizadas para ningún fin, por tal motivo la investigación se basará en comprobar que este material proporciona resultados satisfactorios de estabilización para suelos de subrasante y a su vez darle un valor

agregado al usarlo como materia prima.

El estudio se realizará de manera investigativa y mediante ensayos de laboratorio, y una vez que se concluya, se tiene la finalidad de constatar si verdaderamente existe la posibilidad de mejorar las propiedades de los suelos de subrasante utilizando recursos existentes en la provincia y nuevas metodologías de estabilización con el uso de las arenas asfálticas como base principal de este estudio.

1.2. Definiciones

Para permitir una mejor comprensión del trabajo a realizar es necesario conocer algunos conceptos básicos que están enfocados a la construcción y estabilización de suelos de subrasante de caminos y carreteras los cuales se describen a continuación:

Estabilización de Suelos

La estabilización de suelos es una técnica que busca mejorar las propiedades físicas y mecánicas de los suelos que no reúnen las condiciones necesarias para su utilización. (Nuñez, 2016)

El MTOP define la estabilización como un tratamiento que se aplica a los suelos o a las capas del firme mediante la adición de un ligante (cal, cemento, asfalto, productos químicos, etc.), para mejorar sus características mecánicas y conseguir un suelo o capa de firme capaz de soportar los esfuerzos impuestos por las cargas del tránsito y resistir la acción de los agentes atmosféricos, conservando materialmente uniforme su volumen.

Este procedimiento se usa frecuentemente para mejorar la subrasante y con ello disminuir el espesor de las capas de Subbase y/o Base, o para construir una capa de base capaz de soportar una capa de rodadura asfáltica. (MOP, Estabilización de subrasante, 2002)

Existen diferentes tipos de estabilización, las cuales se detallan a continuación:

a. Estabilización mecánica.

Proceso que busca reducir el índice de vacíos en el suelo, mediante de la expulsión del fluido intersticial producto de las cargas aplicadas, la densificación del suelo es lograda por técnicas de compactación.

b. Estabilización química.

Consiste en alterar las propiedades del suelo utilizando aditivos, el cual, al ser mezclado con el suelo, ocasiona una variación en las propiedades moleculares del mismo y en algunas ocasiones, aglomera las partículas entre sí produciendo un aumento en su resistencia.

La estabilización química de suelos es una tecnología que se basa en la aplicación de un producto químico, genéricamente denominado estabilizador químico, el cual se debe mezclar íntima y homogéneamente con el suelo a tratar y curar de acuerdo con especificaciones técnicas propias del producto. Los métodos más utilizados de estabilización química son: cal, cemento portland, cloruro de sodio, productos asfálticos, escorias de fundición.

c. Estabilización física.

Se utiliza para mejorar el suelo produciendo cambios físicos en el mismo, mediante el aporte de materiales granulares y/o cohesivos con la finalidad de mejorar la capacidad de soporte del suelo de subrasante.

Algunos de los métodos de este tipo de estabilización son: mezcla de suelos, geosintéticos y la vibroflotación.

Por ser la mezcla de suelos el enfoque de la investigación se procede a detallar el tema:

Mezcla de suelos

La mezcla de suelos para mejorar sus características ingenieriles data desde las primeras civilizaciones, por lo que es una de las técnicas más utilizadas, puesto que es un método económico, en comparación con otros tipos de estabilización. Sin embargo, no surge mayor efecto por sí sola, por lo que siempre debe ir acompañada de otro procedimiento como la compactación.

Por ejemplo, los suelos como las gravas-arenas tienen una alta fricción interna lo que lo hacen soportar grandes esfuerzos, pero esta cualidad no hace que sea estable como para ser firme de una carretera ya que al no tener cohesión sus partículas se mueven libremente y con el paso de los vehículos, estos se pueden separar e incluso salirse del camino. [3]

El estudio en mención tiene la finalidad de combinar el suelo de subrasante existente en el sector Velazco Ibarra, con distintas proporciones de arenas asfálticas de yacimientos naturales existentes en la

provincia, mediante los métodos de dosificación se pretende determinar la proporción óptima para que los porcentajes de CBR se encuentren en el rango permisible de suelo de subrasante y de esta manera mejorar la capacidad portante de suelo de subrasante del sitio en estudio.

La mezcla de suelos busca principalmente las correcciones de los parámetros descritos a continuación:

1. Variación en la plasticidad de los suelos.
2. Variación de la composición mineral de los materiales de suelo
3. Variación de los porcentajes de capacidad portante (CBR) de los suelos.

Proceso de estabilización por mezcla de suelos

El proceso para estabilizar el suelo de subrasante mediante la mezcla de suelos se describe a continuación:

1. El suelo existente se disgregará o escarificará, en una profundidad de quince centímetros (15 cm).
2. Posteriormente se colocará el material de préstamo o de aporte.
3. Los materiales disgregados y los de aporte se humedecerán o airearán hasta alcanzar la humedad apropiada de compactación y previa eliminación de partículas mayores de setenta y cinco milímetros (75 mm), si las hubiere. Finalmente se procederá a un mezclado de ambos suelos, se conformará y compactará cumpliendo las exigencias de densidad y espesores hasta el nivel de subrasante fijado en el proyecto.

Es de gran importancia realizar el control de calidad y verificar el estudio y comportamiento de la

mezcla tomando en cuenta los siguientes parámetros:

1. Análisis granulométrico
2. Características de plasticidad
3. Resistencia al esfuerzo cortante (CBR)
4. Densidad óptima del suelo (Proctor)

1.3. Formulación de objetivos e hipótesis

1.3.1 Objetivos

Analizar y evaluar el comportamiento del suelo de subrasante del barrio Nueva Jerusalén, sector Velasco Ibarra del Cantón La Libertad, mejorado y estabilizado mediante la adición de arenas bituminosas en diferentes porcentajes para determinar la variación de sus propiedades físicas y mecánicas.

Identificar las propiedades físico-mecánicas del suelo natural y de arenas asfálticas como: Contenido de Humedad, Límites de Atterberg, Granulometría, Densidad, CBR, Módulo de Resiliencia

Determinar el porcentaje óptimo arena bituminosa para la estabilización y mejoramiento del suelo de subrasante.

Estudiar la variación de la capacidad portante del suelo de la subrasante con el incremento del contenido de arena bituminosa mediante el ensayo CBR.

1.3.2 Hipótesis

El suelo de la subrasante del Barrio Nueva Jerusalén, sector Velasco Ibarra del Cantón La Libertad, estabilizado con una adición

porcentual de arenas bituminosas mejora considerablemente sus propiedades, principalmente su capacidad portante, en comparación al suelo en condiciones naturales.

La compactación del suelo de subrasante estabilizado con una adición porcentual de arenas bituminosas determina una reducción en el espesor de las capas superiores que conforman el pavimento.

2. Materiales y Métodos

Para la caracterización del material de subrasante, arenas asfálticas y las mezclas porcentuales de los suelos antes mencionados deben realizarse ensayos de laboratorio siguiendo las normas internacionales AASHTO, ASTM y además las normas ecuatorianas MTOP y NTE INEN.

2.1. Recolección de datos

2.1.1 Descripción del sitio de estudio

El barrio Nueva Jerusalén del Sector 85, Velasco Ibarra, tiene una superficie aproximada de 1.16 km², se encuentra ubicado en el cantón La Libertad, provincia de Santa Elena, en las coordenadas: Este (510102), Norte (9751010).

Topográficamente el sector cuenta con elevaciones regulares en toda su extensión, siendo la cota más alta, 26 msnm y la menor cota de 6 msnm, el desnivel está orientado desde la parte noreste a la sureste.

El sector Velasco Ibarra cuenta con aproximadamente 22,46 km de vías, de los cuales el 21,3% cuenta con material asfáltico como capa de

rodadura, sin embargo, 78,7% se encuentra en terreno natural o con algún tipo de material de mejoramiento que no cumple con las características necesarias para prestar las garantías de accesibilidad al sitio en época invernal.

2.1.2 Suelos de subrasante

La subrasante es la capa que sirve de apoyo a la estructura del pavimento, debe tener una capacidad de respuesta para recibir y resistir las cargas disipadas del tránsito y el peso de la estructura del pavimento, funciones necesarias para garantizar su vida útil.

Las muestras de suelo de subrasante denominadas calicata 1 y calicata 2 del presente estudio de investigación, concuerdan con la clasificación A-1 b de la AASHTO y fueron tomadas del barrio nueva Jerusalén, sector Velazco Ibarra del Cantón La Libertad, con coordenadas: Este (509468), Sur (9751021) y Este (509452), Sur (9750781) respectivamente.

2.1.3 Arenas asfálticas

Conocidas como arenas bituminosas, arenas petrolíferas y en Venezuela como petróleo crudo extrapesado, son una mezcla con valores usuales de un 85% de arena, arcilla y cieno, y un 10% de betún de petróleo, que es una sustancia parecida al alquitrán, que puede ser convertida en petróleo. [1]

Las Arenas asfálticas fueron extraídas a 4 metros de profundidad en las minas de Achayán, cerca del pozo SPA 0039 de la empresa Pacifpetrol de la Provincia de Santa Elena, las

coordenadas son: Este (509336.12) y Sur (9750613.48).

2.1.4 Proporciones por ensayar

Los materiales propuestos para realizar la mezcla de suelos deben ser sometidos a una serie de ensayos en el laboratorio para obtener información fundamental sobre las características que poseen.

Los diferentes ensayos se realizan con las proporciones de arena asfáltica y suelo de subrasante de la calicata 1 puesto que esta posee características similares a la calicata 2, la siguiente tabla 43 describe las proporciones a utilizar:

Tabla 45. Proporciones de mezclas de suelo para ensayos.

Porcentaje de Arena Asfáltica	Porcentaje de Suelo de Subrasante (Calicata 1)
0	100
10	90
20	80
30	70
40	60
50	50
70	30
100	0

2.2. Ensayos de laboratorio

2.2.1 Granulometría de suelos

Es un procedimiento mecánico o manual que consiste en separar las partículas que constituyen el agregado según su tamaño, se deben calcular los porcentajes pasantes, los porcentajes retenidos totales o porcentajes en fracciones de varios tamaños con una aproximación de 0,1% sobre la base de la masa total de la muestra seca inicial. [2]

La realización de este ensayo es efectuada bajo la norma ASTM D 421-78 / AASHTO T 87-7, los resultados obtenidos se muestran a continuación:

Tabla 46. Granulometría de suelos

Tamices		No 4	No 10	No 40	No 200
Arena Asfáltica	% Que pasa	89,22	80,75	72,91	50,04
Calicata 1	% Que pasa	84,27	71,48	44,50	21,93
Calicata 2	% Que pasa	89,08	72,39	49,89	18,32

2.2.2 Contenido de humedad natural

La determinación del contenido de humedad de un suelo corresponde a la razón entre la masa del agua contenida en el suelo y la masa seca del mismo, se hace frecuentemente secando la muestra al horno a una temperatura de 110° C.

En el caso de suelos con alto contenido de materia orgánica el secado debe efectuarse a 60°C. [3]

Tabla 47. Humedad natural de los suelos

Suelo	Humedad %
Arena Asfáltica	7.14
Calicata 1	16.22
Calicata 2	7.44

2.2.3 Límites de Atterberg

Los puntos donde el suelo se encuentra en transición de un estado a otro debido al cambio de su contenido de humedad son denominados límites de Atterberg.

El límite líquido de un suelo se determina utilizando la copa de Casagrande (designación de prueba D-4318 de la ASTM) y se define

como el contenido de humedad en el que se cierra una ranura de 12.7 mm mediante 25 golpes. El límite plástico se define como el contenido de humedad en el que el suelo se agrieta al formar un rollito de 3.18 mm de diámetro (designación de prueba D-4318 de la ASTM). La diferencia entre el límite líquido y el límite plástico se define como el índice de plasticidad (IP). (Das, 2001)

Los valores obtenidos a partir de los ensayos de límites de Atterberg, para las arenas asfálticas (adición 100%), calicata 1 (adición 0%) y para las mezclas de suelo se presentan a continuación:

Tabla 48. Límites de Atterberg de suelos naturales y mezclas

ADICIÓN ARENA ASFÁLTICA	LL	LP	IP
0	-	-	NP
10	-	-	NP
20	16,77	9,49	7,28
30	16,61	6,18	10,43
40	17,50	6,32	11,18
50	18,12	7,59	10,53
70	16,79	6,06	10,73
100	21,50	5,68	15,82

2.2.4 Contenido de humedad óptima y densidad máxima

El ensayo de compactación Proctor tiene gran relevancia en la construcción ingenieril de vías, su importancia radica en el control de la compactación de los suelos, con este ensayo se determina la densidad seca máxima y la humedad óptima del suelo, mediante la aplicación de una energía de compactación determinada.

La realización de este ensayo es efectuada bajo la norma AASHTO T-180. Los resultados del ensayo se muestran a continuación:

Tabla 49. Densidad seca máxima y humedad óptima

ADICIÓN ARENA ASFÁLTICA	HUMEDAD ÓPTIMA	DENSIDAD SECA MÁXIMA
0	11,4	1604
10	12,3	1680
20	10,8	1687
30	9,8	1782
40	9,5	1750
50	10,56	1758
70	7,77	1774
100	7,15	1818

2.2.5 Capacidad de soporte (CBR)

El Ensayo CBR (California Bearing Ratio: Ensayo de Relación de Soporte de California) mide la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo y se utiliza para poder evaluar la calidad del terreno de subrasante, subbase y base de pavimentos, se efectúa bajo condiciones controladas de humedad y densidad. [4]

La realización de este ensayo es efectuada bajo la norma ASTM D-1883.

Para el presente trabajo investigativo se realizaron pruebas de laboratorio con las proporciones descritas en la tabla 43, y con los datos de las humedades óptimas del ensayo de compactación, Proctor Modificado.

Los resultados del ensayo de CBR (capacidad portante y densidades) con energías de compactación de 56, 25 y

12 golpes para las arenas asfálticas, calicata 1 y las diferentes mezclas suelo-arena asfáltica se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 50. Capacidad portante de suelos naturales y mezclas.

A.A	CBR			DENSIDADES-CBR		
	56	25	12	56	25	12
0	23,3	11,6	3,9	1710	1678	1590
10	20,5	12,3	3,9	1729	1635	1562
20	16,6	7,31	5,2	1754	1739	1620
30	12,1	5,55	4,5	1800	1795	1731
40	12,7	8,75	7,7	1746	1712	1714
50	13,2	15,5	5,3	1860	1683	1599
70	10,6	8,89	7,2	1901	1813	1730
100	9,56	7,75	6,9	1991	1839	1827

2.3. Caracterización de arenas asfálticas

2.3.1 Extracción de bitumen

Para realizar la extracción de bitumen de las arenas asfálticas, se tomó una muestra de 1500 gramos, cuando no es suficientemente blanda para separarla con una espátula, se la coloca en una fuente y se calienta en el horno a 110 ± 5 °C, hasta que se pueda disgregar.

La extracción de bitumen se realiza bajo la norma ASTM D-2172, y el análisis granulométrico de agregados provenientes de extracción bajo la norma AASHTO T-30.

El contenido de asfalto se determina mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Contenido de asfalto, \%} = \frac{(W_1 - W_2) - (W_3 - W_4)}{(W_1 - W_2)}$$

Donde:

w_1 : Masa de la porción de ensayo,

w_2 : Masa del agua en la porción de ensayo,

w_3 : Masa del agregado mineral extraído

w_4 : Masa de la materia mineral en el extracto: 0

Procedimiento de cálculo

w_1 : 1500 gr.

w_2 : 7,14%

w_3 : 1353,79

$$\text{Cont. de asfalto, \%} = \frac{(1500 - (7,14\% \times 1500)) - (1353,79)}{1500 - (1500 \times 7,14\%)}$$

$$\text{Cont. de asfalto, \%} = \frac{1392,9 - 1353,79}{1500 - 107,1}$$

$$\text{Cont. de asfalto, \%} = \frac{39,11}{1392,9}$$

$$\text{Cont. de asfalto, \%} = 0,028078 \times 100$$

$$\text{Cont. de asfalto, \%} = \mathbf{2,81\%}$$

El bitumen de las arenas asfálticas estudiadas es de 2.81% y granulometría de la extracción se muestra a continuación:

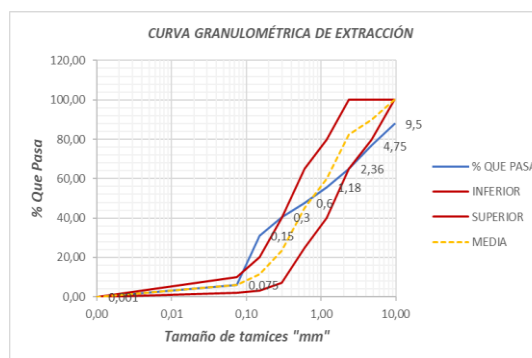


Figura 51. Curva granulométrica de extracción

2.3.2 Clasificación de suelos

De acuerdo con los porcentajes provenientes del análisis granulométrico de la tabla 44 y con la verificación de los límites de Atterberg en la tabla 46, las arenas asfálticas pertenecen al grupo A-6 de la clasificación de suelos establecida

por AASHTO y SM-SC en clasificación de suelos SUCS.

2.3.3 Gravedad específica

Se determinó la gravedad específica de la arena asfáltica en base a la norma AASHTO T-100-70 y ASTM D 854-58.

Se toman 200 gramos de la muestra de arenas asfálticas que haya pasado por el tamiz No. 40, posteriormente se coloca en una capsula y se deja en el horno de secado durante 12 horas a una temperatura constante de 105°C. Si se trata de suelos residuales la muestra se deja secar en el medio ambiente

El ensayo de gravedad específica debe realizarse simultáneamente con dos matraces, usando el mismo material, con la finalidad de obtener una comprobación, si los valores obtenidos no difieren en más del 1% se debe promediar, si difieren más del 1% se debe repetir el ensayo. La gravedad específica de la arena asfáltica es de 2.19.

2.3.4 Gravedad máxima teórica

La gravedad específica máxima teórica – rice de la arena asfáltica tiene un valor de 2.304 g/cm³, para la determinación de este parámetro se siguió la norma ASTM D-2041, siguiendo la metodología que se detalla a continuación:

1.-Se toma una muestra de Arena Asfáltica de 1500 gramos y se calienta en el horno de secado durante 2 horas a una temperatura de 135°C, posteriormente se deja enfriar hasta la temperatura ambiente, y se coloca en

el recipiente de vacío, previamente calibrado. Se pesa el recipiente de vacío y la muestra de arena asfáltica para determinar la masa neta de la muestra.

2.-Posteriormente se le agrega agua de aproximadamente 25°C hasta cubrir la mezcla completamente y se ubica la tapa del recipiente del vacío y se coloca en el dispositivo de agitación mecánica e inmediatamente comenzar a eliminar el aire atrapado en la muestra, aumentando gradualmente la presión de vacío hasta que el manómetro de presión residual indique 3,7+-0,3Kpa.

3.-Finalmente se toma la masa del recipiente y su contenido en el agua y en el aire, parámetros fundamentales para el cálculo de la densidad teórica máxima.

Tabla 51. Gravedad específica máxima teórica

GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA – RICE	
NORMA AST D-2041 / AASHTO T-209	
PESO DE MUESTRA	1500
PESO MATRAZ	6763
P. MAT. +MUESTRA	7612
2,304	g/cm3

2.3.5 Estabilidad Marshall

Este ensayo normado por ASTM D-1559, permite determinar los valores de estabilidad y deformabilidad, de los pavimentos asfálticos.

Para la arena asfáltica ensayada el valor de estabilidad Marshall corregida por volumen de briqueta alcanzó un valor promedio de 275,78 lb con un flujo de 26 centésimas de pulgada.



Figura 52. Briquetas de arena asfáltica

2.3.6 Gravedad específica bulk

Para determinar la gravedad Bulk se toman las muestras de las briquetas de arena asfáltica transcurrido las 24 horas de reposo y se siguen los pasos del procedimiento descrito en la norma ASTM D 1188:

Se toma la masa en el aire del espécimen seco, la masa del espécimen en el agua y masa en el aire del espécimen saturado y superficie seca. La gravedad específica bulk promedio entre las tres briquetas ensayadas es de 2,156 g/cm³ valor que debe ser menor a la gravedad máxima teórica- RICE.

2.3.7 Equivalente de arena

Este ensayo tiene por objeto determinar la proporción relativa del contenido de polvo fino nocivo, o material arcilloso, en los suelos o agregados finos. Es un procedimiento que se puede utilizar para lograr una correlación rápida en campo basado en la norma ASTM D-2419.

A un volumen determinado de suelo o agregado fino se le adiciona una pequeña cantidad de solución floculante, mezclándolos en un cilindro de plástico graduado y agitándolos para que las partículas de

arena pierdan la cobertura arcillosa. La muestra es entonces "irrigada", usando una cantidad adicional de solución floculante, para forzar el material arcilloso a quedar en suspensión encima de la arena. Después de un período de sedimentación, se determinan las alturas de la arcilla floculada y de la arena en el cilindro. El "equivalente de arena" es la relación entre la altura de arena y la altura de arcilla, expresada en porcentaje. [9]

El "equivalente de arena" es la relación entre la altura de arena y la altura de arcilla, expresada en porcentaje. Se calcula con aproximación de décima (0.1 %), mediante la siguiente expresión:

$$(EA) = \frac{\text{Lectura de Arena}}{\text{Lectura de Arcilla}} \times 100$$

Tabla 52. Equivalente de Arena

Probeta	Lec. Arcilla	Lec. Arena	E.A.
1	4.65 = 4.7	2.7	57.44
2	4.5	2.4	53.33
3	4.6	2.1	45.65

Para obtener el promedio de una serie de valores de equivalente de arena, se debe promediar el número de valores enteros. El promedio se redondeará también al entero superior, de manera que en este caso el valor definitivo del equivalente de arena será "53".

3. Resultados y Discusión

Los resultados de límites de Atterberg, compactación proctor, CBR, para las arenas asfálticas y suelo de subrasante serán analizados en posteriores apartados de esta

sección denominados análisis de las proporciones adicionadas.

3.1. Arenas Asfálticas

A partir de los ensayos de extracción, humedad y distribución granulométrica, es posible caracterizar la composición de las arenas asfálticas.

Con base en el ensayo de extracción se determinó que el porcentaje de bitumen con relación al peso de la muestra estudiada es de 2.81%, el cual es inferior a la composición típica presentada por Woynillowicz en el estudio de las arenas alquitranadas orientadas a la extracción de petróleo en Alberta Canadá, cuyo valor alcanza el 10%.

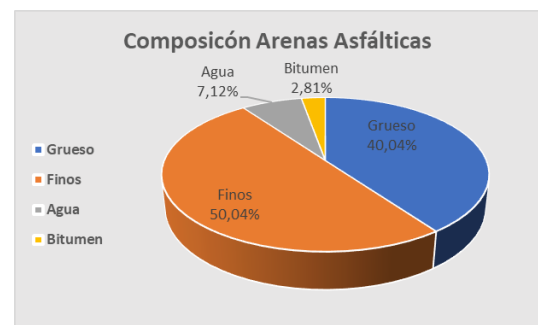


Figura 53. Composición de Arenas asfálticas

Mediante el ensayo de distribución granulométrica para suelo natural se evidenció que el material contiene más de 50% de finos, un equivalente de arena de 53, considerando también los límites de Atterberg, la clasificación AASHTO correspondiente para las denominadas arenas asfálticas es en el grupo A-6 de suelos arcillosos. La gravedad específica del material es de 2,19.

La granulometría de extracción realizada al material no cumple con

todos los rangos en los límites superior e inferior de la faja granulométrica establecida en ASTM D-3515, para ningún tamaño máximo nominal de agregado.

Por tanto las arenas asfálticas no cumplen con lo estipulado en las especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes del MOP en la sección 402 denominada “Mejoramiento de subrasante”, debido a que la norma expresa lo siguiente: “deberá ser suelo granular, material rocoso o combinaciones de ambos, libre de material orgánico y escombros, y salvo que se especifique de otra manera, tendrá una granulometría tal que todas las partículas pasarán por un tamiz de cuatro pulgadas (100 mm.) con abertura cuadrada y no más de 20 por ciento pasará el tamiz N.º 200 (0,075 mm).”

La estabilidad Marshall de las arenas asfálticas es de 275,78 lb, con un flujo de 26 centésimas de pulgada, valores que se muestran a continuación comparándolos con valores de la tabla 405.5.4 del MOP – Estructura de pavimento, para capa de rodadura.

Tabla 53. Estabilidad marshall - capa de rodadura.

Crterios Marshall	Arenas asfálticas	Capa de rodadura
Estabilidad (lb)	275,78	1800
Flujo (in/100)	26	8 a 14
% de vacíos	6,44	3 a 5
G. Bulk (g/cm3)	2.156	-
RICE (g/cm3)	2.304	-

La tabla 51 muestra que las arenas asfálticas alcanzan el 15.32% de estabilidad que el MOP exige para capa de rodadura en tráfico pesado,

los valores de flujo y cantidad de vacíos quedan fuera del rango de la norma.

3.2. Suelo de subrasante, Calicata 1

El ensayo de granulometría evidencia que este suelo pertenece al grupo A-1b de la clasificación AASHTO, la identificación visual y de tacto revela una considerable cantidad de conchillas presentes en el mismo y la humedad natural alcanza el 16.22%.

El ensayo de límites de Atterberg muestra que el suelo de la Calicata 1 es NP.

3.3. Análisis de las proporciones adicionadas

3.3.1 Análisis del límite liquido

El ensayo de limite liquido en particular muestra que el terreno natural, arenas asfálticas y todas las combinaciones de suelo-arena asfáltica cumplen con lo estipulado en las especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes del MOP en la sección 402 denominada “Mejoramiento de subrasante”, debido a que su humedad no supera el 35% establecido en la norma.

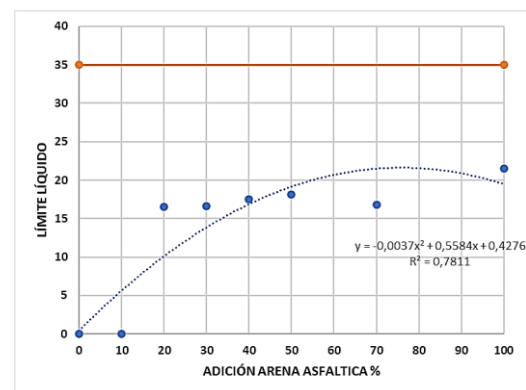


Figura 54. Análisis de limite liquido

Se observa que mientras se aumenta el contenido de arena asfáltica el límite líquido de la mezcla también lo hace.

En la curva para los porcentajes de adición intermedios (20% a 70%), el límite líquido presenta pequeñas variaciones de aproximadamente 1% en su contenido de humedad.

3.3.2 Análisis del índice de plasticidad

El índice de plasticidad muestra que el terreno natural (calicata 1), cumple con lo estipulado en las especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes del MOP en la sección 402 denominada “Mejoramiento de subrasante”, no así las arenas asfálticas debido a que su IP es de 15,82 y el valor máximo indicado en la norma es 9.

Se observa que hasta la adición del 20% de arena asfáltica es posible cumplir con un IP menor a 9, a partir del 30% de adición en adelante los valores de índice de plasticidad no cumplen con las especificaciones del MOP debido a que se obtienen valores de IP que oscilan entre 10 y 16.

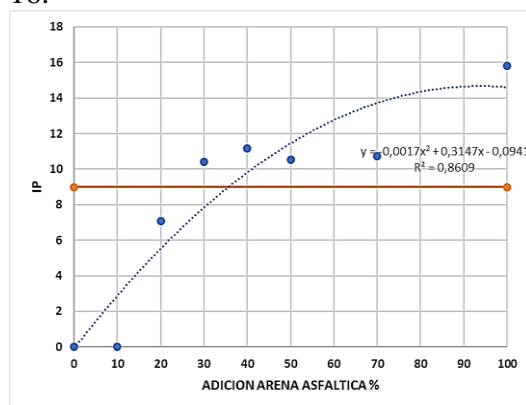


Figura 55. Análisis del índice de plasticidad

3.3.3 Análisis de la humedad óptima y densidad seca máxima

El ensayo proctor evidencia una tendencia a incrementar cuando el porcentaje de adición de arenas asfálticas al terreno natural aumenta.

El incremento de densidad es de 13.34% tomando como valores de referencia las densidades secas máximas de la calicata 1 (adición 0%) que alcanza un valor de 1604 kg/m³ y de la arena asfáltica (adición 100%) que tiene un valor de 1818 kg/m³.

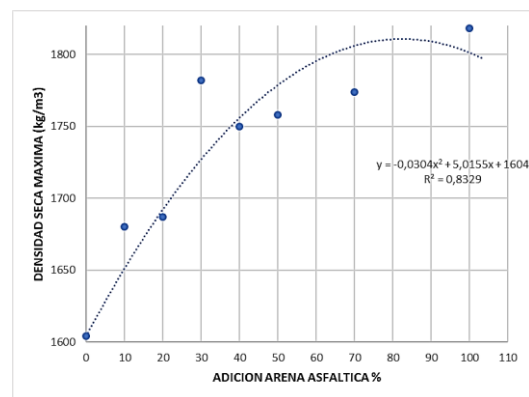


Figura 56. Análisis de densidad seca máxima

En cuanto a las humedades óptimas que permiten alcanzar la densidad seca máxima, se observa que el material de calicata 1 necesita mayor cantidad de agua (11,4%) para alcanzar la cresta en la curva de compactación, como se muestra en la Figura 42 mientras aumenta el contenido de arena asfáltica y se mezcla con el suelo los valores de humedad óptima tienden a decrecer, estableciéndose el valor mínimo de 7.15% para las arenas asfálticas.

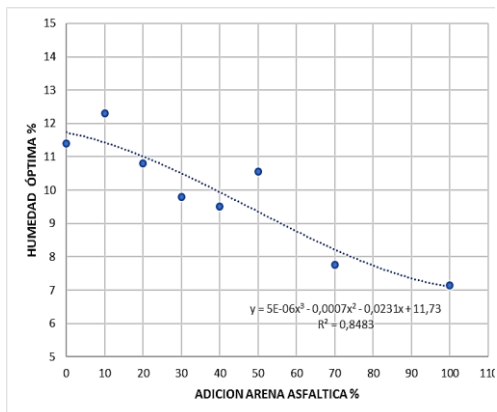


Figura 57. Análisis de humedad optima

3.3.4 Análisis de la capacidad portante

La capacidad portante de los suelos en estado natural y mezclados en diferentes proporciones evidencia que la capacidad portante decrece al aumentar la cantidad de arena asfáltica en la mezcla de suelo.

El suelo de la calicata 1 posee un CBR de 23,34 lo que la categoriza como una subrasante muy buena, por otra parte, la capacidad portante de las arenas asfálticas es de 9,56 razón por la cual ingresa en el rango de subrasante regular.

Tabla 54. Resultados de CBR

ADICIÓN ARENA ASFÁLTICA	CBR
0	23,34
10	20,58
20	16,61
30	12,16
40	12,72
50	13,23
70	10,66
100	9,56

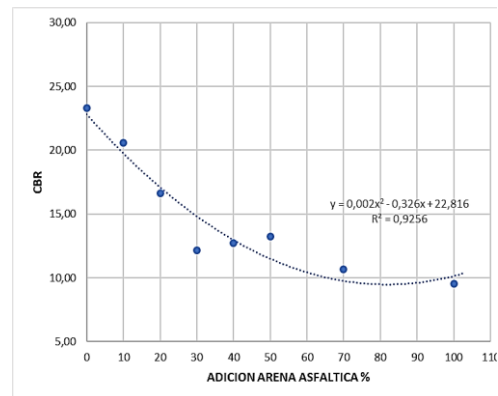


Figura 58. Análisis de CBR

Tomando como referencia el valor de CBR de la calicata 1 y el valor obtenido con una adición de arena asfáltica del 70% se obtiene un decrecimiento de la capacidad portante del 118,9%.

Las arenas asfálticas no cumplen con lo estipulado en las especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes del MOP en la sección 402 denominada “Mejoramiento de subrasante”, debido a que la norma exige un valor de CBR de 20%.

La única mezcla de suelo-arena asfáltica que cumple el ultimo criterio mencionado seria la adición de 10% que alcanza un CBR de 20,58, decreciendo un 13,41% con respecto a la capacidad portante del suelo natural.

3.3.5 Análisis del módulo de resiliencia

A partir del nomograma mostrado en la figura 9 de este trabajo de investigación que correlacionan al Mr con el valor de CBR, se obtienen los siguientes resultados:

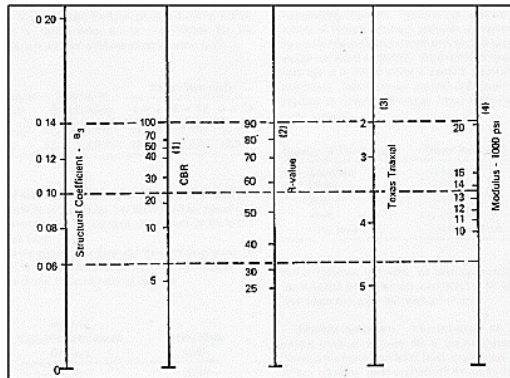


Figura 59. Nomograma para cálculo de coeficiente a3-AASHTO

Tabla 55. Resultados de Modulo de Resiliencia

ADICIÓN ARENAS ASFÁLTICAS	CBR	MR (psi)
0	23,34	13375
10	20,58	12757
20	16,61	12000
30	12,16	11000
40	11,98	10789
50	13,23	11300
70	10,66	10394
100	9,56	9875

Este ensayo realizado en laboratorio puede tomar diferentes valores debido a las condiciones en que se lo realiza, factores como: temperatura, tipo de agregado, frecuencia de cargas y contenidos de vacíos muestran una clara influencia en el resultado final.

Las muestras con mayor contenido de bitumen en la investigación presentada es la adición de 100% y 70% de arena asfáltica, 2.81% de bitumen para las arenas asfálticas, las cuales presentan el menor valor de módulo de resiliencia, lo que parece concordar con Almudaihem y Al-Sugair, 2013. [6] quienes analizaron la influencia del contenido de betún sobre el módulo resiliente, mediante pruebas diametrales y hallaron que los

valores disminuyen con un incremento en el contenido de betún.

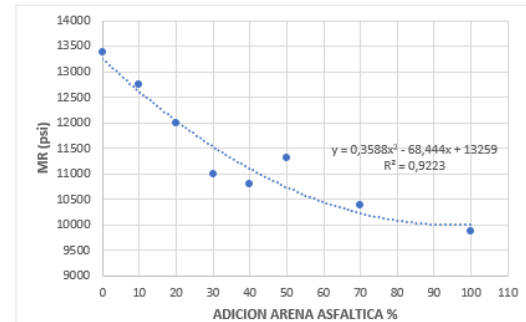


Figura 60. Análisis del módulo de resiliencia

La aplicación del Módulo Resiliente en las metodologías de diseño de pavimentos parece ser simple, sin embargo, no lo es, ya que no es posible determinar un valor único para un suelo específico, por ello y por la complejidad en cuanto a la adquisición de equipos para obtener los valores de MR se realizaron diferentes estudios, que son los que hoy nos permiten calcular este importante parámetro a partir de fórmulas empíricas.

4. Conclusiones

Se concluye que el material denominado arena asfáltica posee en su mayoría partículas finas, y un contenido de betún bajo, el aumento en la densidad seca máxima mostrado en la tabla 47 puede ser atribuido a que el betún actúa como ligante y la energía de compactación reduce los vacíos entre las partículas.

Las muestras de arenas asfálticas utilizadas en el presente trabajo de investigación, in situ se encuentran confinadas, denotando que aparentemente poseen las características mecánicas fundamentales para ser usada como

suelo de fundación, pero al ser extraídas se pierde el confinamiento de sus partículas, y por ende la muestra ya no posee las mismas características iniciales de resistencia, motivo por el cual se obtuvo un bajo resultado de capacidad portante de las arenas asfálticas.

El bajo resultado de capacidad portante de todas las mezclas analizadas en esta investigación es atribuido al tipo de suelo A-6, mismos que tienden a presentar valores de CBR entre 5 y 15, mientras que el suelo de subrasante que clasifica como A-1b alcanza valores de CBR entre 20 y 40, [7] por ello en la mezcla de estos suelos al ser adicionado el tipo A-6 el valor de CBR decrece como se muestra en la tabla 52.

A partir de los ensayos específicos realizados a las arenas asfálticas, terreno natural y las mezclas se concluye particularmente lo siguiente:

1. El suelo de subrasante de la calicata 1 (terreno natural), cumple con los criterios establecidos en el MOP en la sección 402 denominada "Mejoramiento de subrasante", ya que la norma exige un valor de CBR min= 20%, LL max = 35% e IP max= 9 y los resultados obtenidos para el terreno natural fueron un CBR de 23,34%, material no plástico y clasifica como suelo tipo A-1b.

2. Las arenas asfálticas estudiadas contienen 50, 04% de finos, alcanza un CBR de 9,56% y un IP = 15,82, por consiguiente, se concluye que este material no cumple con los requisitos establecidos en el

MOP en la sección 402 denominada "Mejoramiento de subrasante", tan solo el limite liquido está por debajo del valor permitido (LL =21,5 < 35%).

3. Las arenas asfálticas encontradas en las minas de Achayán cerca del pozo SPA 0039 de la empresa Pacifpetrol, cuentan con 2.81% de bitumen.

4. Para todas las mezclas estudiadas suelo-arena asfáltica se evidencia un aumento en el límite liquido e índice de plasticidad al incrementar el contenido de arena asfáltica.

5. Todas las proporciones de suelo-arena asfáltica cumplen el requisito de limite liquido establecido en el MOP en la sección 402 denominada "Mejoramiento de subrasante" que exige LLmax de 35%.

6. Las adiciones del 10% y 20% de arena asfáltica al terreno natural cumplen el requisito de índice de plasticidad establecido en el MOP en la sección 402 denominada "Mejoramiento de subrasante" que exige IPmax de 9, las adiciones de 30%,40%,50% y 70% tienen un IP mayor a 10,43.

7. Para todas las proporciones estudiadas se incrementó la densidad seca máxima al aumentar el contenido de arena asfáltica, al mismo tiempo que se necesitó menor cantidad de agua para alcanzar el máximo valor en la curva de compactación.

8. El valor de la capacidad portante decrece conforme el contenido de arena asfáltica aumenta, solo el terreno natural y la mezcla (90% TN - 10% AA) alcanza una capacidad portante de 23,34% y 20,58% respectivamente lo cual

cumple con lo establecido en el MOP sección 402 para “Mejoramiento de subrasante”, donde se establece un CBR_{min} de 20%.

5. Recomendaciones

1. Se recomienda realizar un estudio extrayendo muestras de arenas asfálticas provenientes de yacimientos naturales en otros sectores de afloramiento, que tengan un contenido de bitumen mayor a 2,81%, ya que el bitumen posee ciertas características físicas que le permiten actuar como aglutinante y es posible que si se encuentra un material con mayor cantidad de bitumen y con una cantidad de finos menor al 35% los resultados serían satisfactorios

2. Se recomienda que al momento de tomar las muestras de arenas asfálticas de las calicatas se lo realice de forma ordenada, tratando de no mezclar la muestra con el suelo que se encuentra en la superficie pues esto podría alterar los resultados de los ensayos de laboratorio.

3. Todas las pruebas de laboratorio que se vayan a efectuar para la estabilización de suelo de subrasante, deben hacerse conforme indiquen las normas vigentes del país y tomando en referencia también las normas internacionales, para garantizar la veracidad de los resultados obtenidos.

4. Se recomienda que si se va a trabajar con arenas asfálticas se usen los adecuados equipos de protección personal como mascarillas y guantes aislantes, puesto que en ensayos como: estabilización Marshall, y densidad Máxima teórica (RICE), es

necesario preparar la muestra a elevadas temperaturas y el olor del bitumen puede ocasionar molestias al momento de manipular el material.

6. Agradecimientos

Al ser supremo Dios, por brindarnos salud, fortaleza, sabiduría y por guiarnos en cada paso de nuestra vida. A nuestras familias, por ser el pilar fundamental siempre.

A nuestro tutor, Ing. Nelson Álvarez Sánchez, por la guía profesional y orientación brindada para llevar a cabo la realización de este proyecto de investigación.

A la Ing. Lucrecia Moreno que estuvo presta a colaborar con los equipos de su laboratorio de suelos, Hormigones y Asfalto INGEOTOP, y por su asesoría al momento de realizar los ensayos.

A nuestros estimados docentes de la Carrera de Ingeniería Civil que durante los 5 años nos impartieron sus experiencias y conocimientos.

Finalmente, a nuestra querida Universidad Estatal Península De Santa Elena por ser el centro de aprendizaje, que nos permitió formar como Ingenieros Civiles.

7.

8. Referencias

- [1] J. P. Nuñez, “ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIZACIÓN DE LA SUBRASANTE DE, Ambato, 2016.
- [2] MOP, «Estabilización de subrasante,» 2002.

- [3] G. Rangel, «Scribd,» 2015. [En línea]. Available: <https://es.scribd.com/document/57343728/Estabilizacion-Fisica>.
- [4] D. Woynillowicz, «Arenas Alquitradas,» Wordl Watch, Calgary, Alberta, 2007.
- [5] N. INEN, Análisis Granulométrico en los áridos fino y Grueso, quito, 2011.
- [6] «Manual De Carreteras: Suelos, Geología; Geotecnia y Pavimentos,» Lima, 2013.
- [7] B. M. Das, Principio de ingeniería de cimentaciones, California: International Thomson Editores, 2001.
- [8] ASTM, «Ensayo CBR,» Universidad Nacional de Ingeniería , Perú, 2007.
- [9] INVIAS, Equivalente de Arena De Suelos y Agregados Finos, 2012.
- [10] Al-Sugair y Almudaiheem, «Experimental Investigation of Strength and Stiffness,» ScienceDirect, pp. 1-6, 2013.
- [11] J. Gómez , J. Sesma y P. Garnica, Mecánica de materiales para pavimentos, Sanfandila: Instituto Mexicano del Transporte, 2002.