



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

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

**TEMA:**

---

**“ESTUDIO DEL EFECTO DE LA ADICIÓN DE EMULSIÓN ASFÁLTICA EN  
LAS PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS DE SUELOS GRANULARES,  
PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES”**

---

**AUTOR:** Erika Samantha Gavilanes Pozo

**TUTOR:** Ing. MSc. Favio Paúl Portilla Yandún

**AMBATO - ECUADOR**  
**Enero - 2022**

## CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Tutor del Trabajo Experimental, previo a la obtención del Título de Ingeniera Civil, con el tema: **“ESTUDIO DEL EFECTO DE LA ADICIÓN DE EMULSIÓN ASFÁLTICA EN LAS PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS DE SUELOS GRANULARES, PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES”**, elaborado por la Srta. Erika Samantha Gavilanes Pozo, portadora de la cédula de ciudadanía: C.I. 1805288840, estudiante de la Carrera de Ingeniería Civil, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- Que el presente trabajo experimental es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Está concluido en su totalidad.

Ambato, Enero 2022

---

**Ing. MSc. Favio Paúl Portilla Yandún**

**TUTOR**

## **AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

Yo, **Erika Samantha Gavilanes Pozo** con C.I.: 1805288840, declaro que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente Trabajo Experimental con el tema **“ESTUDIO DEL EFECTO DE LA ADICIÓN DE EMULSIÓN ASFÁLTICA EN LAS PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS DE SUELOS GRANULARES, PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES”**, así como también los análisis estadísticos, gráficos, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autora del proyecto, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, Enero 2022



---

**Erika Samantha Gavilanes Pozo**

**C.I.: 1805288840**

**AUTORA**

## **DERECHOS DE AUTOR**

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

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

Ambato, Enero 2022



**Erika Samantha Gavilanes Pozo**

**C.I.: 1805288840**

**AUTORA**

## **APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO**

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Trabajo Experimental, realizado por la estudiante Erika Samantha Gavilanes Pozo de la Carrera de Ingeniería Civil bajo el tema: **“ESTUDIO DEL EFECTO DE LA ADICIÓN DE EMULSIÓN ASFÁLTICA EN LAS PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS DE SUELOS GRANULARES, PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES”**.

Ambato, Enero 2022

Para constancia firman:

-----  
**Ing. Mg. Byron Genaro Cañizares Proaño**  
**Miembro Calificador**

-----  
**Ing. Mg. Myriam Marisol Bayas Altamirano**  
**Miembro Calificador**

## **DEDICATORIA**

A Dios, por ser mi guía y soporte de quien recibo todas las bendiciones y me ha permitido continuar luchando por mis ideales día a día haciéndome sentir su infinito amor, llenándome de fortaleza y fe en mis momentos de debilidad y sobre todo por alentar mis pasos con hilos de amor.

A mi hijo Jared, mi motor principal para salir adelante, por ser el ángel en mi vida, dueño de mi corazón y de todos mis triunfos, ya que es él quien me motiva y llena mi vida con su presencia, alegría, inocencia, caricias e infinito amor. A él se lo dedico todo mi esfuerzo y vida entera, agradeciendo siempre a Dios y a la vida por tenerlo conmigo y que sea mi fuente de inspiración para ser mejor y un verdadero ejemplo que con su mirada de amor me ha motivado a nunca rendirme y ha confiado en mí como su madre y amiga; te amo incondicionalmente y estaré siempre a tu lado dándote lo mejor de mí.

A mis padres, por su apoyo incondicional y guía que han sabido darme con paciencia, amor y palabras tan acertadas cuando lo he necesitado, por confiar en mí y proveerme con todos los medios emocionales y económicos necesarios para llegar a ser una profesional, les amo y admiro infinitamente.

A mis hermanos, Amy y Josué, por ser mis amigos incondicionales quienes llenan mi vida de alegría y me apoyan en todo momento, son una parte esencial en mi vida y la mejor compañía que tengo, les amo eternamente.

*Samantha*

## AGRADECIMIENTO

Primero que nada, quiero agradecer a Dios por las bendiciones recibidas y proveerme de sabiduría y fe para alcanzar un sueño más en mi vida según su voluntad, con tropiezos y alegrías sin soltarme nunca de su mano.

A mis padres, mis pilares fundamentales siendo una motivación en mi vida y ejemplo de que con esfuerzo, empeño y amor todo se puede lograr, dándome motivos para nunca darme por vencida siendo un orgullo para ellos.

A la Universidad Técnica de Ambato por abrirme sus puertas y convertirse en mi segundo hogar donde pude crecer no sólo profesionalmente, sino también, humanamente al permitirme construir mis mejores recuerdos y enseñanzas de vida; a mis docentes, que con sus enseñanzas, sabiduría y paciencia han sabido brindarme las pautas necesarias para mi formación profesional.

A mi docente tutor, el Ingeniero Favio Portilla por su guía, ayuda, tiempo y conocimientos impartidos muy necesarios para el correcto desarrollo del presente proyecto; pero, sobre todo, por su paciencia y apoyo incondicional a lo largo de mi carrera a quien auguro éxitos y bendiciones.

A mis amigos y amigas, quienes se han ganado una parte de mi corazón y han sido parte fundamental que de una u otra manera me han ofrecido su apoyo desinteresado siendo parte de este logro, siempre los recordaré con alegría y gratitud.

*Samantha*

## ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN .....	ii
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....	iii
DERECHOS DE AUTOR.....	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO .....	v
DEDICATORIA .....	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS .....	xiv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xvi
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xviii
RESUMEN.....	xx
ABSTRACT .....	xxi
CAPÍTULO I.....	1
1. MARCO TEÓRICO .....	1
1.1. Antecedentes Investigativos .....	1
1.1.1. Antecedentes .....	1
1.1.2. Justificación: .....	3
1.1.3. Fundamentación Teórica.....	4
1.1.3.1. El Suelo.....	4
1.1.3.2. El suelo como material de construcción .....	5
1.1.3.3. Clasificación de los suelos.....	6
-Suelos Cohesivos: .....	7
-Suelos Granulares: .....	7
1.1.3.4. Gravas .....	7
1.1.3.5. Arenas .....	8
1.1.3.6. Limos .....	8
1.1.3.7. Arcillas.....	8
1.1.3.8. Clasificación de los suelos según la AASHTO .....	9
1.1.3.9. Clasificación de los suelos según la SUCS.....	9



1.1.3.10. Propiedades de los suelos .....	12
1.1.3.10.1. Propiedades físicas y mecánicas del suelo .....	12
-Textura.....	12
-Granulometría.....	13
-Color .....	14
-Permeabilidad.....	15
-Porosidad .....	15
-Consistencia.....	15
-Plasticidad.....	16
-Humedad.....	16
-Compacidad Relativa.....	17
-Compresibilidad .....	17
-Resistencia al Corte .....	18
1.1.3.11. Ensayos de Campo.....	18
-Densidad de Campo .....	18
1.1.3.12. Ensayos de Laboratorio .....	19
-Gravedad Específica.....	19
- Humedad Natural .....	20
-Límite Líquido .....	20
- Límite Plástico .....	21
-Relación de Soporte California CBR .....	22
1.1.3.13. Estabilización de Suelos .....	23
1.1.3.13.1. Estabilización con Agregados.....	24
1.1.3.13.2. Estabilización con Cloruro de Sodio.....	25
1.1.3.13.3. Estabilización con Cemento.....	26
1.1.3.13.4. Estabilización con Cal.....	27
1.1.3.13.5. Estabilización con Asfalto .....	28
1.1.3.14. Emulsiones Asfálticas.....	30
1.1.3.14.1. Tipos de mezclas con emulsiones asfálticas .....	31
1.1.3.14.1.1. Mezclas asfálticas abiertas en frío.....	32
1.1.3.14.1.2. Mezclas asfálticas abiertas en caliente .....	32
1.1.3.14.1.3. Mezclas asfálticas densas .....	33

1.1.3.14.1.4. Mezclas asfálticas densas en caliente.....	34
1.1.3.14.1.5. Mezclas asfálticas drenantes .....	34
1.1.3.15. Pavimento .....	35
1.1.3.16. Tipos de Pavimentos.....	35
-Pavimentos Flexibles .....	35
-Pavimentos Semi – Rígidos .....	36
1.1.3.17. Estructura del pavimento .....	37
1.1.3.17.1. Subrasante .....	37
-Mejoramiento de la Subrasante .....	38
1.1.3.17.2. Sub-base .....	38
1.1.3.17.3. Base.....	39
1.1.3.17.4. Superficie de rodadura .....	40
1.1.3.17.5. Rasante.....	40
1.2. Hipótesis.....	41
1.3. Objetivos: .....	42
1.3.1. General:.....	42
1.3.2. Específicos: .....	42
CAPÍTULO II .....	43
2. METODOLOGÍA.....	43
2.1. Materiales y Equipos .....	43
2.2. Métodos .....	51
2.2.1. Nivel Exploratorio.....	51
2.2.2. Nivel Descriptivo .....	52
2.2.3. Nivel Explicativo .....	52
2.3. Población .....	53
2.4. Muestra.....	53
2.5. Plan de Recolección de Datos .....	55
2.5.1. Obtención de las emulsiones asfálticas.....	57
2.6. Plan de Procesamiento y Análisis de la Información .....	58
2.6.1. Plan de Procesamiento .....	58
2.6.2. Plan de Análisis de la Información .....	58
CAPÍTULO III .....	60

3. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	60
3.1. Análisis y discusión de los resultados .....	60
3.1.1. Análisis de las Propiedades Básicas del Suelo.....	61
3.1.2. Análisis de la Caracterización del Suelo.....	62
3.1.3. Análisis de las Propiedades Mecánicas de los Suelos.....	64
3.1.3.1. Análisis de resultados del Próctor Modificado y CBR del suelo de subrasante de la parroquia Izamba .....	66
a) Próctor Modificado .....	66
b) Análisis de CBR.....	67
c) Análisis de CBR óptimo modificado .....	69
3.1.3.2. Análisis de resultados del Próctor Modificado y CBR del suelo de subrasante de la parroquia Montalvo .....	70
a) Próctor Modificado .....	70
b) Análisis de CBR.....	71
c) Análisis de CBR óptimo modificado .....	73
3.1.3.3. Análisis de resultados del Próctor Modificado y CBR del suelo de subrasante de la parroquia Juan Benigno Vela .....	74
a) Próctor Modificado .....	74
b) Análisis de CBR.....	75
c) Análisis de CBR óptimo modificado .....	77
3.1.4. Análisis de los cambios en las Propiedades Mecánicas de la Subrasante de acuerdo con el valor de CBR.....	78
3.1.5. Análisis del Tráfico.....	79
3.1.5.1. Tipos de Vehículos .....	80
3.1.5.2. Cálculo del Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) .....	81
3.1.5.3. Cálculo de Tráfico Futuro – Tf.....	82
-Proyección de Tráfico Futuro (n).....	83
-Cálculo del Tráfico Atraído - Ta.....	83
-Cálculo del Tráfico Generado – Tg.....	84
-Cálculo del Tráfico por Desarrollo – Td.....	85
-Cálculo del Tráfico Actual - Tac.....	86
-Proyección del tráfico o Tráfico Futuro – Tf .....	86
3.1.5.4. Factor de Daño – FD.....	88

3.1.5.5. Ejes Equivalentes.....	88
-Ejes Equivalentes Futuro W18.....	89
-Factor de Distribución por Dirección.....	90
-Factor de Distribución por Carril .....	90
3.1.6. Diseño del Pavimento Flexible según el método AASHTO 93 .....	92
3.1.6.1. Datos para el diseño del pavimento .....	93
-Fórmula de Diseño del pavimento según la AASHTO 93 .....	93
-Período de Análisis .....	94
-Ejes Equivalentes .....	94
-Confiability.....	94
-Índice de Serviciabilidad.....	96
-Coeficiente de Drenaje, $m_2$ , $m_3$ .....	97
-Módulo de Resiliencia, $M_r$ .....	98
-Diseño 1: Suelo en estado natural .....	98
-Coeficiente estructural de la carpeta asfáltica ( $a_1$ ) .....	99
-Coeficiente estructural de la base granular ( $a_2$ ).....	100
-Coeficiente estructural de la subbase granular ( $a_3$ ) .....	101
-Número Estructural (SN) .....	102
3.1.6.2. Diseño del pavimento flexible 1, Subrasante en estado natural .....	104
3.1.6.3. Diseño del pavimento flexible 2, Subrasante con adición de emulsión asfáltica	107
3.1.6.4. Análisis del Diseño del Pavimento Flexible 1 y 2.....	111
3.1.7. Análisis Económico .....	112
3.2. Verificación de la Hipótesis .....	114
CAPÍTULO IV .....	116
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	116
4.1. Conclusiones.....	116
4.2. Recomendaciones.....	119
Bibliografía .....	121
Anexos.....	125
C.1 Ensayos de la Parroquia Izamba .....	126
C.2 Ensayos de la Parroquia Montalvo .....	148

C.3 Ensayos de la Parroquia Juan Benigno Vela .....	170
C.4 Especificaciones Técnicas de la Emulsión Asfáltica .....	192
C.5 Tráfico.....	194
C.6 Análisis Económico .....	198
C.7 Anexos Fotográficos .....	205

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Clasificación de suelos por el método AASHTO .....	9
<b>Tabla 2:</b> Letras y símbolos según la clasificación SUCS.....	11
<b>Tabla 3:</b> Clasificación Unificada de Suelos (SUCS) .....	11
<b>Tabla 4:</b> Tamaños de los tamices para análisis granulométrico.....	13
<b>Tabla 5:</b> Rangos de gravedad específica según Bowles.....	20
<b>Tabla 6:</b> Clasificación de suelos según su CBR.....	23
<b>Tabla 7:</b> Proporciones recomendadas de cemento según el tipo de suelo .....	27
<b>Tabla 8:</b> Clasificación de las Emulsiones Asfálticas .....	31
<b>Tabla 9:</b> Criterios Marshall para mezclas asfálticas según el tipo de tráfico. ....	33
<b>Tabla 10:</b> Clasificación de los Suelos de Subrasante. ....	37
<b>Tabla 11:</b> Materiales y Equipos .....	43
<b>Tabla 12:</b> Materiales y Equipos .....	44
<b>Tabla 13:</b> Materiales y Equipos .....	45
<b>Tabla 14:</b> Coordenadas de las calicatas.....	53
<b>Tabla 15:</b> Propiedades Básicas del Suelo.....	61
<b>Tabla 16:</b> Caracterización del Suelo .....	62
<b>Tabla 17:</b> Propiedades Mecánicas de los Suelos.....	64
<b>Tabla 18:</b> Estabilización del suelo de subrasante.....	79
<b>Tabla 19:</b> Tipos de vehículos de carga pesada.....	80
<b>Tabla 20:</b> Volumen de tránsito durante la hora pico.....	81
<b>Tabla 21:</b> Tráfico Actual.....	86
<b>Tabla 22:</b> Índice de Crecimiento Vehicular .....	87
<b>Tabla 23:</b> Factor de Daño.....	88
<b>Tabla 24:</b> Ejes Equivalentes.....	91
<b>Tabla 25:</b> CBR para el diseño del pavimento .....	92
<b>Tabla 26:</b> Nivel de Confiabilidad.....	95
<b>Tabla 27:</b> Desviación Estándar Normal .....	95
<b>Tabla 28:</b> Desviación Estándar Global.....	95
<b>Tabla 29:</b> Factores seleccionados para el diseño .....	96
<b>Tabla 30:</b> Índice de Serviciabilidad .....	96
<b>Tabla 31:</b> Calidad de drenaje .....	97
<b>Tabla 32:</b> Coeficientes de drenaje (m <sup>2</sup> , m <sup>3</sup> ) .....	97
<b>Tabla 33:</b> Criterios de diseño para mezclas Marshall .....	99
<b>Tabla 34:</b> Espesores mínimos en base al tráfico .....	103
<b>Tabla 35:</b> Parámetros para el Diseño 1 .....	104
<b>Tabla 36:</b> Diseño de Pavimento Flexible 1 - AASHTO 93.....	106
<b>Tabla 37:</b> Parámetros para el Diseño 2 .....	108
<b>Tabla 38:</b> Diseño de Pavimento Flexible 2 - AASHTO 93.....	109
<b>Tabla 39:</b> Coeficientes recomendados para subrasante mejorada.....	110
<b>Tabla 40:</b> Espesores de las capas del pavimento.....	111

**Tabla 41: Presupuesto – Diseño 1** .....112  
**Tabla 42: Presupuesto – Diseño 2**.....113

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Fases del Suelo.....	5
<b>Figura 2:</b> Carta de Plasticidad de Casagrande .....	10
<b>Figura 3:</b> Curva Granulométrica.....	14
<b>Figura 4:</b> Estabilización de suelos por medios químicos.....	24
<b>Figura 5:</b> Gradación del suelo con finos y sin finos .....	25
<b>Figura 6:</b> Estabilización con Cloruro de Sodio.....	26
<b>Figura 7:</b> Estabilización con cal.....	28
<b>Figura 8:</b> Estabilización con asfalto.....	29
<b>Figura 9:</b> Diagrama esquemático de una emulsión.....	30
<b>Figura 10:</b> Estructura del Pavimento Flexible. ....	36
<b>Figura 11:</b> Estructura del Pavimento Semirígido.....	36
<b>Figura 12:</b> Estructura básica de los pavimentos asfálticos .....	40
<b>Figura 13:</b> Pozo a cielo abierto .....	46
<b>Figura 14:</b> Densidad en campo por el método de Cono y Arena de Ottawa.....	46
<b>Figura 15:</b> Contenido de Humedad.....	47
<b>Figura 16:</b> Gravedad específica de sólidos .....	47
<b>Figura 17:</b> Calibración del picnómetro .....	48
<b>Figura 18:</b> Granulometría.....	48
<b>Figura 19:</b> Límite líquido.....	49
<b>Figura 20:</b> Límite plástico.....	49
<b>Figura 21:</b> Próctor Modificado .....	50
<b>Figura 22:</b> Relación de Soporte California CBR .....	50
<b>Figura 23:</b> Mapa de Ubicación de Calicatas .....	54
<b>Figura 24:</b> Próctor Modificado Izamba.....	66
<b>Figura 25:</b> Relación de Soporte California (CBR) Izamba.....	68
<b>Figura 26:</b> Relación óptima CBR de la parroquia Izamba.....	69
<b>Figura 27:</b> Relación óptima CBR de la parroquia Montalvo .....	70
<b>Figura 28:</b> Relación de Soporte California (CBR), Montalvo .....	72
<b>Figura 29:</b> Relación óptima CBR de la parroquia Montalvo .....	73
<b>Figura 30:</b> Relación óptima CBR de la parroquia Juan Benigno Vela .....	74
<b>Figura 31:</b> Relación de Soporte California (CBR), Juan Benigno Vela .....	76
<b>Figura 32:</b> Relación óptima CBR de la parroquia Juan Benigno Vela .....	77
<b>Figura 33:</b> Coeficientes estructurales para la carpeta asfáltica relacionada con varios ensayos .....	100
<b>Figura 34:</b> Coeficiente estructural para la base relacionada con varios ensayos .....	101
<b>Figura 35:</b> Coeficiente estructural para la subbase granular relacionada con distintos parámetros resistentes .....	102
<b>Figura 36:</b> Estructura del pavimento flexible .....	103
<b>Figura 37:</b> Diseño de Pavimento 1, programa AASHTO-93.....	105
<b>Figura 38:</b> Diseño de Pavimento Flexible 1.....	107



<b>Figura 39:</b> Diseño de Pavimento 2, programa AASHTO-93.....	108
<b>Figura 40:</b> Diseño de Pavimento Flexible 2.....	111
<b>Figura 41:</b> Análisis Económico.....	113

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1:</b> Contenido de Humedad.....	127
<b>Anexo 2:</b> Densidad in situ – Cono y Arena .....	128
<b>Anexo 3:</b> Granulometría .....	129
<b>Anexo 4:</b> Límite Líquido .....	130
<b>Anexo 5:</b> Límite Plástico .....	131
<b>Anexo 6:</b> Gravedad Específica .....	132
<b>Anexo 7:</b> Proctor Modificado con 0% de Emulsión Asfáltica .....	133
<b>Anexo 8:</b> Proctor Modificado con 1% de Emulsión Asfáltica .....	134
<b>Anexo 9:</b> Proctor Modificado con 3% de Emulsión Asfáltica .....	135
<b>Anexo 10:</b> Proctor Modificado con 5% de Emulsión Asfáltica .....	136
<b>Anexo 11:</b> Proctor Modificado con 8% de Emulsión Asfáltica .....	137
<b>Anexo 12:</b> CBR con 0% de Emulsión Asfáltica.....	138
<b>Anexo 13:</b> CBR con 1% de Emulsión Asfáltica.....	140
<b>Anexo 14:</b> CBR con 3% de Emulsión Asfáltica.....	142
<b>Anexo 15:</b> CBR con 5% de Emulsión Asfáltica.....	144
<b>Anexo 16:</b> CBR con 8% de Emulsión Asfáltica.....	146
<b>Anexo 17:</b> Contenido de Humedad.....	149
<b>Anexo 18:</b> Densidad in situ – Cono y Arena de Ottawa.....	150
<b>Anexo 19:</b> Granulometría .....	151
<b>Anexo 20:</b> Límite Líquido .....	152
<b>Anexo 21:</b> Límite Plástico .....	153
<b>Anexo 22:</b> Gravedad Específica .....	154
<b>Anexo 23:</b> Proctor Modificado con 0% de Emulsión Asfáltica .....	155
<b>Anexo 24:</b> Proctor Modificado con 1% de Emulsión Asfáltica .....	156
<b>Anexo 25:</b> Proctor Modificado con 3% de Emulsión Asfáltica .....	157
<b>Anexo 26:</b> Proctor Modificado con 5% de Emulsión Asfáltica .....	158
<b>Anexo 27:</b> Proctor Modificado con 8% de Emulsión Asfáltica .....	159
<b>Anexo 28:</b> CBR con 0% de Emulsión Asfáltica.....	160
<b>Anexo 29:</b> CBR con 1% de Emulsión Asfáltica.....	162
<b>Anexo 30:</b> CBR con 3% de Emulsión Asfáltica.....	164
<b>Anexo 31:</b> CBR con 5% de Emulsión Asfáltica.....	166
<b>Anexo 32:</b> CBR con 8% de Emulsión Asfáltica.....	168
<b>Anexo 33:</b> Contenido de Humedad.....	171
<b>Anexo 34:</b> Densidad in situ – Cono y Arena de Ottawa.....	172
<b>Anexo 35:</b> Granulometría .....	173
<b>Anexo 36:</b> Límite Líquido .....	174
<b>Anexo 37:</b> Límite Plástico .....	175
<b>Anexo 38:</b> Gravedad Específica .....	176
<b>Anexo 39:</b> Proctor Modificado con 0% de Emulsión Asfáltica .....	177
<b>Anexo 40:</b> Proctor Modificado con 1% de Emulsión Asfáltica .....	178

<b>Anexo 41:</b> Proctor Modificado con 3% de Emulsión Asfáltica .....	179
<b>Anexo 42:</b> Proctor Modificado con 5% de Emulsión Asfáltica .....	180
<b>Anexo 43:</b> Proctor Modificado con 8% de Emulsión Asfáltica .....	181
<b>Anexo 44:</b> CBR con 0% de Emulsión Asfáltica.....	182
<b>Anexo 45:</b> CBR con 1% de Emulsión Asfáltica.....	184
<b>Anexo 46:</b> CBR con 3% de Emulsión Asfáltica.....	186
<b>Anexo 47:</b> CBR con 5% de Emulsión Asfáltica.....	188
<b>Anexo 48:</b> CBR con 8% de Emulsión Asfáltica.....	190
<b>Anexo 49:</b> Ficha técnica de Emulsión Asfáltica.....	193
<b>Anexo 50:</b> Conteo vehicular en ambos sentidos.....	195
<b>Anexo 51:</b> Conteo vehicular sentido Este - Oeste .....	196
<b>Anexo 52:</b> Conteo vehicular sentido Oeste - Este .....	197
<b>Anexo 53:</b> APU, Capa de Rodadura.....	199
<b>Anexo 54:</b> APU, Base Clase II .....	200
<b>Anexo 55:</b> APU, Subbase Clase III .....	201
<b>Anexo 56:</b> APU, Subrasante Estabilizada .....	202
<b>Anexo 57:</b> Diseño 1 – Cuantificación.....	203
<b>Anexo 58:</b> Diseño 2 – Cuantificación.....	203
<b>Anexo 59:</b> Excavación del pozo a cielo abierto.....	206
<b>Anexo 60:</b> Colocación de la placa para el ensayo de Cono y Arena de Ottawa.....	206
<b>Anexo 61:</b> Límites de Atterberg .....	207
<b>Anexo 62:</b> Granulometría de los suelos.....	207
<b>Anexo 63:</b> Calibración del Picnómetro a distintas temperaturas.....	208
<b>Anexo 64:</b> Ensayo de gravedad específica .....	208
<b>Anexo 65:</b> Tamizado de las muestras de suelo.....	209
<b>Anexo 66:</b> Cuantificando la emulsión asfáltica en la probeta .....	209
<b>Anexo 67:</b> Mezclando el suelo con la emulsión asfáltica.....	210
<b>Anexo 68:</b> Cuarteo de la muestra para el ensayo de Proctor Modificado .....	210
<b>Anexo 69:</b> Ensayo de Proctor Modificado.....	211
<b>Anexo 70:</b> Saturación de los moldes de CBR.....	211
<b>Anexo 71:</b> Ensayo CBR.....	212
<b>Anexo 72:</b> Conteo manual de tráfico vehicular .....	212

## RESUMEN

En la presente investigación experimental, se realizó la evaluación en el cambio de las propiedades físico – mecánicas de suelos granulares de subrasante al añadirse emulsión asfáltica en distintos porcentajes con el fin de estabilizar los suelos provenientes del Cantón Ambato.

Para analizar estos cambios en las propiedades de los suelos se recolectó muestras de las parroquias de Izamba, Montalvo y Juan Benigno Vela para llevarse a cabo ensayos tanto en campo como en laboratorio y de esta manera se estableció un análisis comparativo de los valores alcanzados de CBR entre el suelo natural y el suelo modificado con emulsión asfáltica; además, se obtuvo mediante ensayos de laboratorio su Contenido de Humedad, Densidad de Campo, Límites de Atterberg, Gravedad Específica, Granulometría y Proctor modificado.

Se analizó los resultados alcanzados de humedad óptima, densidad seca máxima y CBR de las muestras modificadas al incorporarse emulsión asfáltica en un 0, 1, 3, 5 y 8 por ciento con el fin de establecer el porcentaje óptimo donde se alcancen los mayores valores de estas propiedades en los suelos.

Con los datos obtenidos, se llevó a cabo el diseño de pavimentos flexibles para el suelo en estado natural y el diseño para el suelo estabilizado con el propósito de analizar y comparar precios los cuales están influenciados por los espesores de cada capa que conforman el pavimento.

**PALABRAS CLAVES:** emulsión asfáltica, subrasante, estabilización de suelos, pavimento flexible, suelos granulares.

## ABSTRACT

In the present experimental investigation, an evaluation on the changes of the physical-mechanical properties of granular subgrade soils by adding asphalt emulsion in different percentages in order to stabilize the soils from Ambato was performed.

To analyze these changes on soils' properties, samples have been taken from the parishes of Izamba, Montalvo and Juan Benigno Vela to carry out essays both in the field and on the laboratory to establish a comparative analysis of the achieved CBR values between the natural soil and the soil modified with asphalt emulsion; Furthermore, it was obtained Moisture Content, Field Density, Atterberg Limits, Specific Gravity, Granulometry and modified Proctor were obtained through laboratory essays.

In addition to studying the changes in these properties, the results achieved for optimal humidity, maximum dry density and CBR of the modified samples were analyzed by adding asphalt emulsion at 0, 1, 3, 5 and 8 percent in order to establish the optimal percentage where the highest values of these properties are reached in the soils.

With the data obtained, the design of flexible pavements for the soil in its natural state and the design for the stabilized soil were also been made with the propose to analyze and compare prices which are influenced by the thicknesses of each layer that are part of the pavement.

**KEY WORDS:** asphalt emulsion, subgrade, soil stabilization, flexible pavement, granular soils.

# **CAPÍTULO I**

## **1. MARCO TEÓRICO**

### **1.1. Antecedentes Investigativos**

#### **1.1.1. Antecedentes**

En lo que se refiere al tema vial existen una variedad de suelos que no siempre cumplen con las especificaciones que exigen su uso y objetividad, por lo que es necesario modificar algunas de sus propiedades y así tener un suelo capaz de cumplir con sus requerimientos; al proceso de modificar las propiedades del suelo para mejorarlas, se conoce como estabilización y se la puede llevar a cabo por varios métodos, procesos o materiales como la adición de agentes estabilizantes. [1]

El empleo de cemento y emulsiones asfálticas en la estabilización de suelos son de los métodos mecánicos mayormente usados debido no solo porque se obtienen materiales granulares con especificaciones bastante buenas sino, porque representan métodos económicos que pueden ser empleados para mejorar las vías y así tener un incremento en la resistencia mecánica de las capas que componen un pavimento y mejorar además su durabilidad. [2]

En la Universidad Ricardo Palma, Facultad de Ingeniería de la ciudad Lima, Perú se llevó a cabo un “Análisis Comparativo de estabilización con Cemento Portland y Emulsión Asfáltica en Bases Granulares” en donde se realiza un análisis comparativo mediante ensayos de laboratorio para conocer los cambios en las propiedades en la base granular al

estabilizarla con emulsiones asfálticas donde los resultados obtenidos de CBR para los contenidos óptimos de cada estabilizante con la máxima densidad seca se tiene que, con una dosificación de emulsión asfáltica del 5.8% se obtiene un CBR de 153.5% que además determina una reducción en los espesores del diseño de pavimento de al menos 3cm en total, recomendando mediante este análisis el uso de emulsiones asfálticas para mejorar la impermeabilidad del suelo y tener un aumento en la resistencia al esfuerzo cortante . [3]

En la Universidad de San Carlos de Guatemala, en la Facultad de Ingeniería de la ciudad de Guatemala, se llevó a cabo un estudio de “Estabilización de Suelos con Emulsión Asfáltica para el empleo en Subbases y Bases” donde se determinó que existe una mejora en las propiedades mecánicas de los suelos al disminuir su plasticidad y añadir un porcentaje óptimo de emulsión asfáltica teniendo como resultado un incremento en la resistencia a la compresión no confinada del 13.68% con un porcentaje óptimo de emulsión asfáltica de 3.5% que, en relación al porcentaje óptimo teórico es similar al calculado con el porcentaje experimental. [4]

El empleo de emulsiones asfálticas toma protagonismo en países latinoamericanos debido no solo por su aplicación para fines viales y de mantenimiento, sino también, por la conservación de energía que su uso conlleva beneficiando a la conservación ambiental que minimiza la contaminación atmosférica estimando una producción mundial de 16 millones de toneladas al año. [5]

En Ecuador, es común que los materiales granulares de las minas o in situ no siempre cumplan con la calidad técnica que se requiere para ser usados en pavimentos, por lo que el uso de emulsiones asfálticas se toma como una alternativa funcional para mejorar su calidad y tener un adecuado desempeño sin dejar de lado el costo – beneficio que su uso representa en comparación con distintos tipos de estabilizadores o mezclas asfálticas en caliente ya que se optimizan recursos y su aplicación se da en un tiempo corto. [6]

### **1.1.2. Justificación:**

De acuerdo con estudios realizados por el MSc. Ing. Guillermo Lazo en la ciudad de Lima - Perú en el año 2008, se determinó que al estabilizar suelos con emulsiones asfálticas las propiedades geomecánicas, físicas y químicas mejoran notablemente y es proporcional al porcentaje estabilizador usado lo cual, en conjunto con conocimientos tecnológicos representa un gran aporte en el campo vial. [7]

En Ecuador, los problemas en lo que se refiere a la resistencia y durabilidad vial son notorios demandando de altas cifras económicas destinadas a su reparación, muchas veces la calidad del material del suelo de fundación está ligado a estos inconvenientes, es por ello que se requiere de estabilizaciones con el fin de mejorar las propiedades físicas y mecánicas del mismo para mejorar la calidad de la subrasante que es considerada como la cimentación del pavimento. [8]

Existen varios métodos y materiales para estabilizar el suelo, sin embargo, se ha tomado las emulsiones asfálticas de forma particular para demostrar las ventajas de su uso, sus resultados y fácil empleo en la construcción de pavimentos.

En Ambato, es usual la estabilización de las vías para evitar agrietamientos y deformaciones con su uso y paso del tiempo, es por ello que se plantea el estudio del uso de emulsiones asfálticas para su uso por medio de ensayos que permitan determinar las propiedades mecánicas de los suelos y su mejora, además de conocer el porcentaje óptimo que se debe añadir de estas emulsiones para un suelo de tipo granular. [9]

El desarrollo de la investigación experimental sobre estabilizar suelos granulares de subrasante contribuirá para determinar el tipo de emulsión asfáltica más favorable para su fin, así como conocer los cambios mecánicos en las propiedades de este tipo de suelo y su



aplicación en el diseño de pavimentos flexibles en cumplimiento con los requerimientos según las especificaciones técnicas del MTOP. [10]

### **1.1.3. Fundamentación Teórica**

#### **1.1.3.1.El Suelo**

Se entiende por suelo a la capa superficial de la tierra sobre el cual las plantas crecen y extraen el agua, minerales y aire necesarios para su desarrollo, siendo el suelo la interfase de la litósfera por lo que se encuentra en constante cambio, se lo define además como un aglomerado de partículas sólidas de distinto tamaño que resultan de la descomposición física y mecánica de las rocas como resultado de la erosión, donde dichas partículas del suelo son heterogéneas formando así una delgada capa sobre la corteza terrestre. [11]

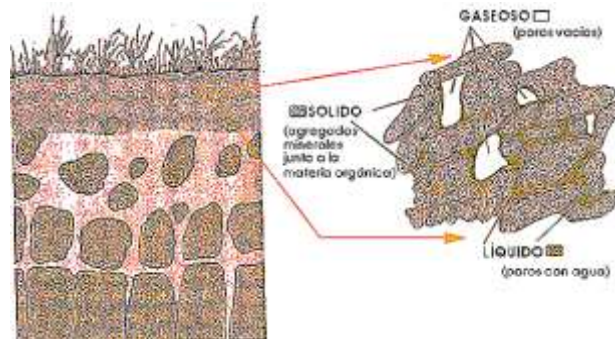
El suelo está conformado por distintas capas donde a cada una de ellas se le denomina horizonte y al conjunto de éstas se le denomina perfil; a su vez, el suelo está formado por tres fases:

-Fase sólida: concierne las partículas minerales y demás constituyentes orgánicos procedentes de restos de seres vivos que van dejando espacios vacíos entre ellos (porosidad). [12]

-Fase líquida: se refiere al agua en disolución que el suelo retiene y se encuentra entre los espacios vacíos del mismo. El agua se encuentra en los poros medianos o pequeños que no han sido absorbidos. [12]

-Fase gaseosa: esta fase se forma por el aire que ocupan los poros de tamaño grande que no contienen agua permitiendo la oxigenación del suelo. Su composición se asemeja al aire de la atmósfera, pero con menor cantidad de O<sub>2</sub> y mayor cantidad de CO<sub>2</sub>. [12]

**Figura 1:** Fases del Suelo



Fuente: Constituyentes del Suelo, Google Imágenes

### 1.1.3.2. El suelo como material de construcción

Desde el inicio de la historia de los humanos y su desarrollo como civilizaciones se han creado los principios de reconocimiento de las propiedades del suelo ante la necesidad de encontrar un suelo apto donde emplazar sus casas de forma segura y duradera. Desde el período neolítico, se ha empleado el suelo como material para la construcción de distintas obras civiles tales como viviendas, monumentos, tumbas, estructuras hidráulicas y vías de comunicación que con el pasar del tiempo y avances tecnológicos se le han dado al suelo distintas aplicaciones en la construcción como en la fabricación de adobes, tapiales, etc. [13]

Desde un punto de vista ingenieril el suelo es el sustrato físico sobre el cual se emplazan las distintas obras donde la finalidad del suelo es recibir los esfuerzos transmitidos por las estructuras, por esta razón en la construcción se debe seleccionar el tipo de suelo más idóneo según los objetivos y alcance que requieran su uso. [14]

### **1.1.3.3. Clasificación de los suelos**

Los suelos al estar constituidos por partículas sólidas heterogéneas pueden originarse de una naturaleza orgánica o inorgánica.

-Suelo Orgánico: se origina de la desintegración de los seres vivos, animales o plantas en mayor o menor grado de descomposición y se forman generalmente en el sitio. Cuando la descomposición es avanzada se le denomina humus; este tipo de suelo retiene en mayor cantidad el agua y permite una aireación del suelo haciéndolo fértil. [15]

-Suelo Inorgánico: se originan por la fragmentación mecánica y descomposición química de rocas y minerales producto de agentes físicos naturales como el agua, sol, lluvia, viento, glaciares y agentes químicos como la carbonatación, oxidación e hidratación. [15]

En lo que se refiere a suelos inorgánicos se los puede clasificar según su tamaño, es decir, según la proporción de las partículas minerales del suelo teniendo así dos grupos: suelos cohesivos y suelos granulares.

### **-Suelos Cohesivos:**

Una característica esencial en los suelos es la cohesión que éstos presentan, es decir, si presentan atracción intermolecular (adherencia) siendo sus partículas laminares como es el caso de los limos y las arcillas; este tipo de suelos debidos a sus altos contenidos de humedad, representan desfavorables comportamientos en el uso de la construcción ya que ocasionan asentamientos o deformaciones. Según la AASHTO se clasifica un suelo como cohesivo si más del 35% de la muestra pasa el tamiz N°200 (0.074mm). [8] [16]

### **-Suelos Granulares:**

Este tipo de suelos se los conoce también como suelos friccionantes o esféricos ya que sus partículas son gruesas y pueden ser redondeadas, subredondeadas, subangulares o angulares de acuerdo al nivel de erosión al que han sido expuestas, siendo más resistentes al corte en cuanto presenten mayor angularidad. [8]

Los suelos granulares son estables mecánicamente y se define su resistencia de acuerdo a sus propiedades físicas siendo las gravas y arenas suelos de este tipo. Además, según la AASHTO se clasifica un suelo como granular cuando más del 35% de la muestra es retenido por el tamiz N°200 (0.074mm). [16]

#### **1.1.3.4. Gravav**

Las partículas son mayores a 2mm de diámetro e interrumpen la ascensión por capilaridad del agua por lo que su evaporación disminuye al igual que la cohesión entre partículas,

teniendo así una mejor trabajabilidad y manejo de estos suelos que generalmente tienen en distintas proporciones arenas, limos y arcillas. [15] [17]

#### **1.1.3.5.Arenas**

Son partículas finas que van de 2mm hasta 0.02mm de diámetro, son suelos bastante permeables y con poca capacidad para retener el agua por lo que no poseen plasticidad y en estado seco presentan una ligera cohesión, estos suelos estando húmedos se densifican al igual que al estar sometidos bajo una carga en su superficie. [15] [17]

#### **1.1.3.6.Limos**

Sus partículas van de 0.02mm a 0.002mm de diámetro que al tacto son ásperas y se secan inmediatamente formando parte de los suelos finos que presentan algo de plasticidad que en estado seco tienen además una cohesión apreciable. Los limos pueden ser orgánicos o inorgánicos al ser desintegrados por procesos de trituración o cribado. [15] [17]

#### **1.1.3.7.Arcillas**

Son suelos finos constituidos por agregados de silicatos de aluminio hidratados donde el diámetro de sus partículas es inferior a 0.002mm que, al contacto con el agua presentan plasticidad y se secan lentamente, además se comprimen lentamente al aplicarse cargas sobre su superficie; en presencia de calor se deshidratan fácilmente y se pueden fragmentar. [15] [17]

### 1.1.3.8. Clasificación de los suelos según la AASHTO

El sistema de clasificación AASHTO Association of State Highway and Transportation Officials, clasifica a los suelos para uso en carreteras en ocho grupos y subgrupos denominados por la letra A mayúscula procedido por el número del 1 al 7 donde se clasifican por medio del tamiz N°200 de forma que, los suelos de los grupos A-1, A-2 y A-3 son suelos granulares donde el 35% o menos del material fino pasa el tamiz N°200 y los grupos de A-4 a A-7 son suelos finos que más del 35% de los finos pasan el tamiz N°200; se tiene además un octavo grupo que se refiere a un suelo netamente orgánico denominado turba. [16]

**Tabla 1:** Clasificación de suelos por el método AASHTO

Clasificación general	Material granular (35% o menos pasa el tamiz N° 200)							Materiales limo- arcillosos (Más del 35% pasa el tamiz N° 200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Subgrupo	A-1a	A-1b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5
Porcentaje que pasa el tamiz: N° 10 (2.00mm) N° 40 (0.425mm) N° 200 (0.075mm)	50 máx. 30 máx. 15 máx.	- 50 máx. 25 máx.	- 51 mín 10 máx.	- 35 máx.	- 35 máx.	- 35 máx.	- 35 máx.	- 36 mín	- 36 mín	- 36 mín	-
Características del material que pasa el tamiz N° 40 (0.425mm): Limite líquido Índice de plasticidad	-		-	40 máx. 10 máx.	41 mín 10 máx.	40 máx 11 mín	41 mín 11 mín	40 máx. 10 máx.	41 mín 10 máx.	40 máx. 11 mín	41 mín 11 mín*
Terreno de fundación	Excelente a bueno		Excelente a bueno	Excelente a bueno				Regular a malo			

\* El índice de plasticidad del subgrupo A-7-5, es igual o menor a LL-30  
El índice de plasticidad del subgrupo A-7-6, es mayor que LL-30

Fuente: AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials)

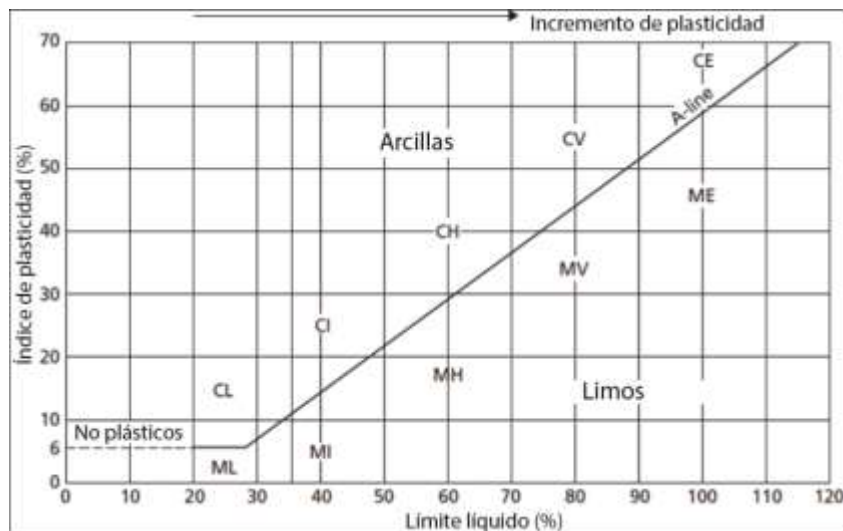
### 1.1.3.9. Clasificación de los suelos según la SUCS

Este sistema de clasificación de suelos se basa en la granulometría y plasticidad de los suelos es decir, se enfoca en su comportamiento mecánico y su tamaño; se diferencian los suelos gruesos de los finos de acuerdo a su granulometría, siendo un suelo grueso cuando más del 50% de las partículas se retienen en el tamiz N°200, una grava cuando la mayor parte de la fracción gruesa es retenida por el tamiz N°4 y una arena a lo que pasa el tamiz N°4. [8]

Por otro lado, se considera un suelo fino cuando más del 50% de la muestra pasa el tamiz N°200 y para distinguir una lima de una arcilla se basa en la carta de plasticidad de Casagrande según su comportamiento mecánico, límite líquido vs índice plástico (Ip) donde se delimitan por la línea A como se muestra en la Figura 2. [18]

Este sistema emplea dos letras para distinguir cada tipo de suelo donde la primera letra se refiere al tipo de suelo en inglés y la segunda letra hace referencia a su calidad en cuanto a su granulometría, cantidad de finos y plasticidad como se muestra en la Tabla 2. [18]

**Figura 2:** Carta de Plasticidad de Casagrande



Fuente: USCS (United Soil Classification System)

**Tabla 2:** Letras y símbolos según la clasificación SUCS

Tipo de Suelo	Prefijo	Subgrupo	Sufijo
Grava	G	Bien graduada	W
Arena	S	Pobrememente graduada	P
Limo	M	Limoso	M
Arcilla	C	Arcilloso	C
Orgánico	O	Límite líquido alto (>50)	L
Turba	Pt	Límite líquido bajo (<50)	H

Fuente: American Society of Testing Materials (ASTM)

**Tabla 3:** Clasificación Unificada de Suelos (SUCS)

DIVISIÓN MAYOR		SÍMBOLO	NOMBRES TÍPICOS	CRITERIO DE CLASIFICACIÓN EN EL LABORATORIO	
SUELOS DE PARTICULAS GRUESAS Más de la mitad del material es retenido en la malla número 200 (Ø)	GRAVAS Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por la malla No. 4 PARA CLASIFICACIÓN VERUAL PUEDE USARSE 1/2 cm. COMO EQUIVALENTE A LA ABERTURA DE LA MALLA No. 4	GW	Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de finos	COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD $C_u$ : mayor de 4. COEFICIENTE DE CURVATURA $C_c$ : entre 1 y 3. $C_u = D_{60} / D_{10}$ $C_c = (D_{30})^2 / (D_{10})(D_{60})$  NO SATISFACEN TODOS LOS REQUISITOS DE GRADUACIÓN PARA GW.  LÍMITES DE ATTERBERG ABAJO DE LA "LÍNEA A" O I.P. MENOR QUE 4. Arriba de la "línea A" y con I.P. entre 4 y 7 son casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles.  LÍMITES DE ATTERBERG ARRIBA DE LA "LÍNEA A" CON I.P. MAYOR QUE 7.  $C_u = D_{60} / D_{10}$ mayor de 6 ; $C_c = (D_{30})^2 / (D_{10})(D_{60})$ entre 1 y 3.  No satisfacen todos los requisitos de graduación para SW  LÍMITES DE ATTERBERG ABAJO DE LA "LÍNEA A" O I.P. MENOR QUE 4. Arriba de la "línea A" y con I.P. entre 4 y 7 son casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles.  LÍMITES DE ATTERBERG ARRIBA DE LA "LÍNEA A" CON I.P. MAYOR QUE 7.	
			GP		Gravas mal graduadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de finos
		GM	d		Gravas limosas, mezclas de grava, arena y limo
			u		Gravas arcillosas, mezclas de grava, arena y arcilla
		SW	SP		Arenas bien graduadas, arena con gravas, con poca o nada de finos.
			SM		d
SC	u	Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.			
	SUELOS DE PARTICULAS FINAS Más de la mitad del material pasa por la malla número 200 (Ø) Las partículas de 0.075 mm de diámetro (la malla No.200) son, aproximadamente, las más pequeñas visibles a simple vista.	LIMOS Y ARCILLAS Límite Líquido menor de 50	ML	Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos.	G – Grava, S – Arena, O – Suelo Orgánico, P – Turba, M – Limo C – Arcilla, W – Bien Graduada, P – Mal Graduada, L – Baja Compresibilidad, H – Alta Compresibilidad  <b>CARTA DE PLASTICIDAD (S.U.C.S.)</b> 
CL			Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres.		
OL			Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad.		
LIMOS Y ARCILLAS Límite Líquido Mayor de 50	MH	Limos inorgánicos, limos micáceos o diatomáceos, más elásticos.			
	CH	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas francas.			
	OH	Arcillas orgánicas de media o alta plasticidad, limos orgánicos de media plasticidad.			
SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS		P	Turbas y otros suelos altamente orgánicos.		

\*\* CLASIFICACIÓN DE FRONTERA- LOS SUELOS QUE POSEAN LAS CARACTERÍSTICAS DE DOS GRUPOS SE DESIGNAN CON LA COMBINACIÓN DE LOS DOS SÍMBOLOS; POR EJEMPLO GW-GC, MEZCLA DE ARENA Y GRAVA BIEN GRADUADAS CON CEMENTANTE ARCILLOSO.  
 Ø TODOS LOS TAMAÑOS DE LAS MALLAS EN ESTA CARTA SON LOS U.S. STANDARD.  
 \* LA DIVISIÓN DE LOS GRUPOS GM Y SM EN SUBDIVISIONES d Y u SON PARA CAMINOS Y AEROPUERTOS ÚNICAMENTE, LA SUB-DIVISIÓN ESTA BASADA EN LOS LÍMITES DE ATTERBERG EL SUFJO d SE USA CUANDO EL L.L. ES DE 28 O MENOS Y EL I.P. ES DE 6 O MENOS. EL SUFJO u ES USADO CUANDO EL L.L. ES MAYOR QUE 28.

Fuente: USCS (United Soil Classification System)



### **1.1.3.10. Propiedades de los suelos**

Los suelos al estar conformados por partículas heterogéneas presentan una variedad infinita en sus características mecánicas, físicas y químicas que distan un tipo de otro debido a las propiedades que éstos presentan; las principales propiedades de los suelos son: porosidad, peso específico, grado de saturación de agua, grado de saturación de aire, contenido de humedad, plasticidad, cohesión, granulometría, permeabilidad, etc. [15]

Determinar estas propiedades en el suelo es esencial para conocer la calidad del mismo y especificar si se dispondrá del suelo para ser utilizado ya sea directamente o mezclados como material estructural; se llegará a esta conclusión mediante varios ensayos y un análisis de suelo donde también intervengan las razones técnicas. [11]

#### **1.1.3.10.1. Propiedades físicas y mecánicas del suelo**

##### **-Textura**

Se refiere a la proporción de los tamaños de las partículas que forman el suelo teniendo en cuenta que está formado por fase sólida, líquida y gaseosa como se mencionó anteriormente. La textura de los suelos se determina según la distribución proporcional de los tamaños, tomando en cuenta que varían considerablemente entre suelos al estar conformados por partículas orgánicas e inorgánicas. [19]

## -Granulometría

Al proceso mediante el cual se separan las partículas del suelo según su tamaño se llama granulometría y su clasificación está basada en límites de diámetro de las partículas en milímetros con el uso de tamices o mallas como se muestra en la Tabla 4. [15]

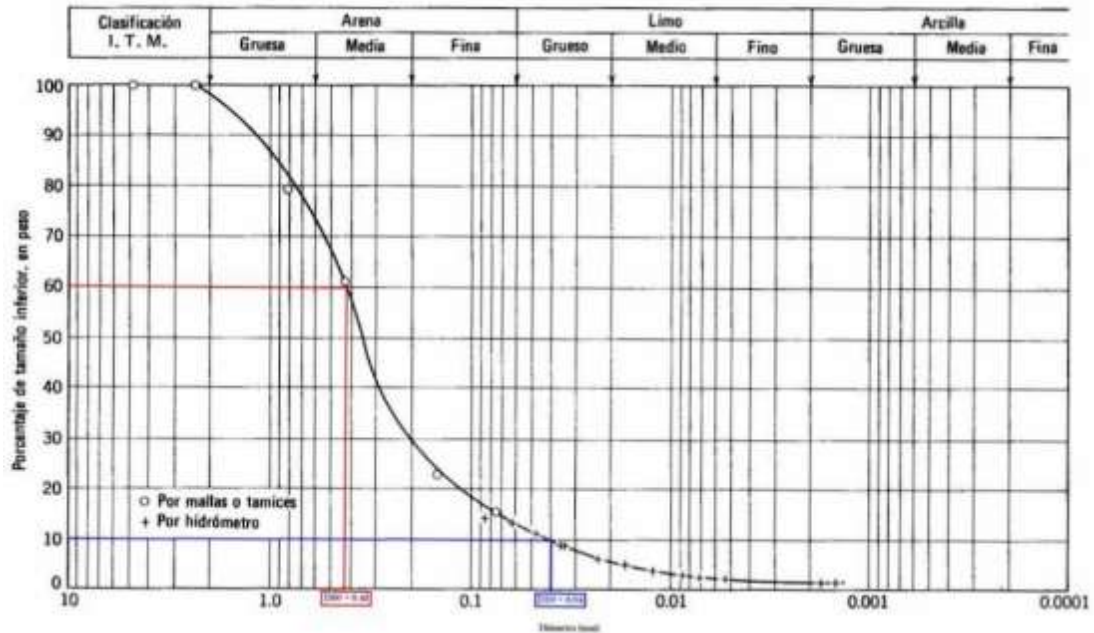
Mediante el análisis granulométrico se puede determinar la cantidad de los diversos tamaños de partículas que contiene un suelo en porcentaje y para su interpretación se utiliza la curva granulométrica que es una gráfica como se muestra en la **Figura 3**, donde se tiene las aberturas de los tamices en las abscisas a escala semilogarítmica y los porcentajes del material en las ordenadas a escala aritmética que además, nos permite identificar las condiciones o parámetros granulométricos como el tamaño nominal máximo, diámetro efectivo (D10), diámetro equiparable (D30), diámetro dimensional (D60), coeficiente de uniformidad (Cu) y el coeficiente de curvatura (Cc). [20]

**Tabla 4:** Tamaños de los tamices para análisis granulométrico

Tamaños nominales de abertura	
mm	ASTM
80	(3")
63	(2 ½")
50	(2")
40	(1 ½")
25	(1")
20	(¾")
12,5	(½")
10	(⅜")
6,3	(¼")
5	(N° 4)
2,5	(N° 8)
2,0	(N° 10)
1,25	(N° 16)
0,630	(N° 30)
0,315	(N° 50)
0,160	(N° 100)
0,080	(N° 200)

Fuente: American Society of Testing Materials (ASTM)

**Figura 3:** Curva Granulométrica



Fuente: American Society of Testing Materials (ASTM)

### -Color

El color puede emplearse como una medida indirecta para determinadas propiedades del suelo ya que varía según los componentes que contenga el suelo y principalmente de su grado de humedad ya que al contacto con el agua su tonalidad es más oscura. En términos generales, el color rojo indica la presencia de óxidos de hierro y magnesio; el color amarillo indica la presencia de óxidos hidratados; el color negro indica que se trata de un suelo orgánico y si se identifican suelos manchados o grisáceos se puede definir como un suelo con inadecuadas condiciones de aireación de una forma general. [19]

### **-Permeabilidad**

La permeabilidad se refiere a la capacidad del suelo para transmitir y permitir el paso del agua y aire a través de sus poros, siendo más permeables mientras más filtración se permita.

La permeabilidad del suelo está relacionada con su textura y el tamaño de sus poros; además, puede estar afectado por factores externos al suelo por lo que para conocer su permeabilidad como tal, es necesario identificar el tipo de suelo, su textura y estructura ya que mientras más fina sea su textura, la permeabilidad será más lenta. [19]

### **-Porosidad**

Debido a que el suelo tiene distintos componentes y sus partículas varían en tamaño existen espacios vacíos entre dichas partículas y a estos espacios vacíos se conoce como porosidad, pudiendo estar ocupados por aire en el caso de los poros macroscópicos o de agua en los poros microscópicos. De forma general, la porosidad va de 30% a 45% para suelos ligeros, de 45% a 55% en suelos medianos, de 50% a 65% en suelos pesados y de 75 a 90% en suelos turbosos. [19]

### **-Consistencia**

Esta propiedad permite que las partículas del suelo se mantengan trabadas o unidas entre sí y determina la fuerza de cohesión - adhesión que está directamente relacionada con la resistencia del suelo y plasticidad que éste presente; la consistencia varía según su

contenido de humedad teniendo así distintos estados de consistencia: estado líquido, semilíquido, plástico, semisólido y sólido. [19]

### **-Plasticidad**

Esta propiedad se refiere a los suelos finos (limos y arcillas) y la humedad que éstos contengan, definiéndose así la plasticidad como la propiedad para soportar deformaciones rápidas y volver a su forma y tamaño original pudiendo ser completamente secos en ausencia del agua o en estado líquido si contienen grandes cantidades de agua.

Para identificar esta propiedad en los suelos se deben evaluar bajo los criterios de los Límites de Atterberg: límite líquido, límite plástico y límite de contracción mediante ensayos de laboratorio. [19]

### **-Humedad**

Esta propiedad natural de los suelos se refiere a la cantidad de agua que puede estar presente entre las partículas de éste, haciendo que se encuentre en estado seco ante la ausencia de agua, relativamente saturado cuando la cantidad de agua es menor a la cantidad de la masa de suelo, saturado cuando la cantidad de agua es igual o superior a la cantidad de la masa de suelo o se puede hablar de un suelo sumergido cuando todos sus espacios están llenos de agua. [21]

Conocer el contenido de humedad del suelo también nos da una idea del tipo de suelo que se tiene ya que el contenido de humedad es el porcentaje que se obtiene de la relación del

peso del agua contenido con el peso de la fase sólida del suelo; en suelos limosos y arcillosos se presenta un porcentaje elevado de contenido de humedad. [21]

### **-Compacidad Relativa**

La compacidad relativa indica el grado de dureza o solidez de un suelo granular expresado en porcentaje; en otras palabras, indica el grado de acomodo de las partículas sólidas y la relación de vacíos “e” que se van dejando en su estado más suelto, más compacto y en su estado natural como se indica en la siguiente expresión: [15]

$$C_r = \frac{e_{\text{estado más suelto}} - e_{\text{estado natural}}}{e_{\text{estado más suelto}} - e_{\text{estado más compacto}}}$$

### **-Compresibilidad**

Esta propiedad se centra en el estudio de las variaciones volumétricas que presenta el suelo en el tiempo ante la presencia de una carga o esfuerzo que se aplica sobre el mismo; esta propiedad se determina principalmente para suelos arcillosos que se encuentran en estado de saturación ya que la fuerza que se aplica sobre el suelo obliga a que el agua se mueva y sea expulsada a través de los poros ocasionando una presión y unión entre las partículas sólidas del suelo; si el suelo disminuye de volumen, se denomina consolidación y si el suelo aumenta su volumen, se denomina expansión. [17]

## **-Resistencia al Corte**

La resistencia al corte de los suelos se refiere a la resistencia que opone el suelo frente a los esfuerzos cortantes y su deformación donde se tiene planos principales en donde el esfuerzo es normal o nulo y tensiones principales; la rotura o falla de corte del suelo se da por cizallamiento a lo largo de su superficie de manera que, una parte se desliza sobre la otra debido a los esfuerzos de corte. Para medir la resistencia al corte se puede llevar a cabo varios ensayos como el de corte directo, compresión triaxial, compresión no confinada, etc. [22] [23]

Esta propiedad es variable de acuerdo con la compacidad de las partículas de grava y arena donde la resistencia al corte se relaciona con el número de golpes que se obtienen por el ensayo de penetración estándar, en el caso donde en el suelo existan finos como limos y arcillas es necesario llevar a cabo pruebas triaxiales con muestras inalteradas. [15]

### **1.1.3.11. Ensayos de Campo**

## **-Densidad de Campo**

El principal objetivo de este ensayo es conocer tanto la densidad seca como la húmeda del suelo compactado en campo para determinar su grado de compactación expresado como la relación en porcentaje; por otro lado, permite llevar a cabo una comparación entre las densidades secas obtenidas en obra con las densidades máximas a obtenerse en laboratorio. Para conocer esta densidad se realiza el método de cono y arena según la ASTM D 1556 que es calculada con la siguiente expresión: [24]

$$G_c = \frac{\gamma_d}{\gamma_d \text{ máx}} * 100$$

Donde:

$G_c$  = *Grado de Compactación*

$\gamma_d$  = *Densidad seca en campo*

$\gamma_d \text{ máx}$  = *Densidad seca máxima en laboratorio*

#### **1.1.3.12. Ensayos de Laboratorio**

##### **-Gravedad Específica**

Se refiere a la relación entre una unidad de volumen de sólidos a una temperatura y la masa de un volumen igual de agua destilada a la misma temperatura, se denomina con las siglas “Gs” y este ensayo se lleva a cabo para suelos que pasen el tamiz N°4 (4.75mm) donde el objetivo de este ensayo es determinar las relaciones de las fases del suelo tales como: la relación de vacíos y su grado de saturación. [25]

En la **Tabla 5** se muestra el rango de valores de gravedad específica según el tipo de suelo propuesto por Bowles:



**Tabla 5:** Rangos de gravedad específica según Bowles

Tipo de Suelo	Rango Gravedad Específica
Arena	2.65-2.67
Arena Limosa	2.67-2.70
Arcilla Inorgánica	2.70-2.80
Suelos con Micas o Hierro	2.75-3.00
Suelos Orgánicos	Variable. Puede ser inferior a 2.00

Fuente: Manual de procedimientos de ensayos de suelos y memoria de cálculo, Wilmar Batía.

### **- Humedad Natural**

La humedad natural de un suelo “W”, se refiere al contenido de agua que almacena éste de forma natural, es decir sin añadirle o quitarle humedad para compactarlo. Este ensayo consiste en obtener la relación en peso de la cantidad de agua que contiene el suelo y el peso del mismo en estado seco expresado en porcentaje donde, la importancia de conocer esta característica del suelo sobre todo en los suelos finos radica en expresar su consistencia dándonos a conocer la capacidad que tiene el suelo para absorber y retener el agua en sus partículas. [26]

### **-Límite Líquido**

El límite líquido se define como el contenido de humedad expresado en porcentaje por debajo del cual el suelo toma un comportamiento como un material plástico (fluido viscoso). Casagrande [15] determina el límite líquido como el contenido de humedad con el cual una muestra de suelo que es colocada en la Copa Casagrande que es un recipiente

en forma acucharada, se separa con un ranurador y se deja caer a una altura de 1cm dándose el cierre de esa ranura en 1cm al cabo de 25 golpes que se determina mediante la curva de escurrimiento semilogarítmica. [8]

### **- Límite Plástico**

El límite plástico se define como la frontera entre el estado plástico y semisólido del suelo, se determina mediante una prueba subjetiva donde se determina el contenido de humedad de una muestra de suelo teniendo un peso de 20gr aproximadamente el cual debe ser amasado manualmente en forma cilíndrica de 3mm de diámetro para determinar el momento exacto en el que éste se rompe o resquebraja. [27]

El índice plástico, está expresado en porcentaje y se obtiene mediante la diferencia numérica entre el límite líquido y límite plástico que nos permite marcar la diferencia entre un suelo limoso de uno arcilloso y conocer si se trata de un suelo con alta o baja compresibilidad, plasticidad y consistencia; el índice plástico nos indica que al tener valores bajos el suelo en presencia de humedad exhibe cambios significativos pasando de estado plástico a semisólido; por el contrario, si se tiene un índice plástico alto, el suelo necesita de una cantidad considerable de agua para tener esta transición en su estado. [8]

### **-Compactación con Proctor Modificado**

La compactación se refiere al proceso mecánico mediante el cual las partículas del suelo se cohesionan entre sí, disminuyendo la relación de vacíos y el aire de los poros produciéndose un cambio volumétrico relevante donde la condición del suelo es parcialmente saturada. [26]

Su objetivo es mejorar las propiedades del suelo donde éste mantenga un comportamiento mecánico idóneo en el tiempo ya que la compactación incrementa su resistencia y capacidad de carga, disminuyendo el efecto de contracción, su capacidad de absorción y los asentamientos al reducir la cantidad de vacíos. [14]

El ensayo Proctor modificado, es uno de los ensayos de compactación más comunes ya que nos permite determinar la relación existente entre el contenido de humedad y el peso unitario seco del suelo al ser compactado requiriendo para ello una energía de compactación mayor a la estándar. [25]

### **-Relación de Soporte California CBR**

El método “CBR” (California Bearing Ratio) o ensayo de relación de soporte, es un método que nos permite medir la resistencia mecánica del suelo y clasificarlo para su uso como material de base o subbase; este ensayo, nos permite además medir la resistencia al corte del suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas de materiales cohesivos donde sus partículas tienen tamaños máximos de  $\frac{3}{4}$ ” (19mm). [14] [25]

Este ensayo es esencial para el diseño de pavimentos flexibles ya que presta información sobre la expansión que se espera del suelo bajo las capas que conforma el pavimento y evalúa la resistencia de los materiales a emplearse en la base y subbase; en la **Tabla 6** se presentan los valores de CBR para clasificar al suelo de manera generalizada: [25]

**Tabla 6:** Clasificación de suelos según su CBR

Valor CBR	Clasificación General	Usos
0--3	Muy Pobre	Subrasante
3--7	Pobre a Regular	Subrasante
7--20	Regular	Sub-base
20--50	Bueno	Base, Subbase
>50	Excelente	Base

Fuente: Manual de laboratorio de suelos, Joseph Bowles.

### 1.1.3.13. Estabilización de Suelos

Es muy común que se encuentre la necesidad de llevar a cabo una estabilización del suelo en la construcción de pavimentos debido a que éste no cumpla con los requisitos de calidad deseados para un determinado fin donde la relación costo – beneficio no se vea afectada; se entiende por estabilización de un suelo al proceso mediante el cual se busca mejorar las propiedades mecánicas de éste (durabilidad, plasticidad, resistencia, compresibilidad, permeabilidad, etc.) mediante distintos procesos dependiendo del tipo de suelo que se tenga, la extensión donde el método de estabilización sea efectivo y las propiedades que se requieran mejorar, siendo la finalidad de una estabilización no solo la de mejorar sus propiedades sino también el de mantenerlas con el tiempo. [28]

Existe distintos métodos y materiales que pueden emplearse para mejorar las propiedades de los suelos tales como:

- Mezclas de suelo con agregados siendo ésta una estabilización mecánica.
- Mezclas de suelo con aditivos como asfalto, polímeros, cemento, cal, cloruro de sodio, anilina furfural, etc. siendo ésta una estabilización química.

- Mediante compactación ya sea solo del suelo o combinada con cualquiera de los métodos antes mencionados.
- Mediante métodos eléctricos como la electroósmosis o por métodos térmicos. [28]

**Figura 4:** Estabilización de suelos por medios químicos



Fuente: La estabilización de suelos, Víctor Yepes

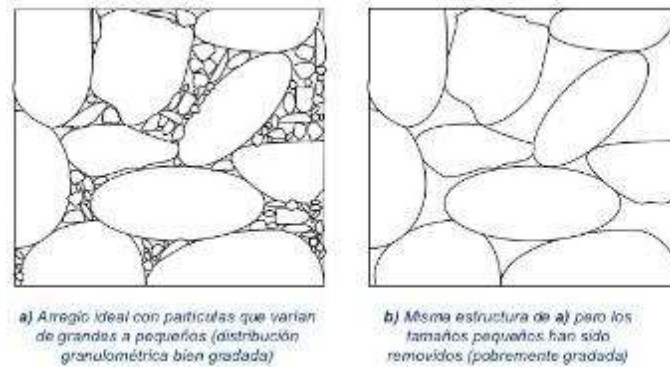
#### **1.1.3.13.1. Estabilización con Agregados**

La estabilidad de un suelo está relacionada con su gradación, es decir, la distribución de tamaños y formas de las partículas gruesas y finas que conforman el suelo; esta gradación natural del suelo no siempre cumple con las exigencias encontrándose en la necesidad de llevar a cabo una estabilización, la cual consiste en cambiar el tamaño de las partículas modificando así su granulometría ya sea por trituración o por lavado para disminuir la cantidad de finos y tener de esta forma una redosificación donde las propiedades geomecánicas se han mejorado. [28]

La resistencia de un suelo se ve influenciada por su granulometría es así que, un suelo sin finos consigue su solidez debido al roce entre sus partículas presentando una buena

permeabilidad, pero su trabajabilidad representa problemas en obra; por otro lado, un suelo con la cantidad adecuada de finos mejorará la repartición de esfuerzos, además su permeabilidad será menor y su resistencia al corte incrementará. Como último escenario tenemos un suelo con una cantidad excesiva de finos el cual es impermeable y presentará inestabilidad en presencia de la humedad. Por estas razones, es necesario dosificar los finos de acuerdo con su resistencia para llegar a una gradación donde el suelo tenga mayor resistencia con un volumen bajo de vacíos. [26]

**Figura 5:** Gradación del suelo con finos y sin finos



Fuente: Mecánica de Suelos, Lisandro Alvarado

### 1.1.3.13.2. Estabilización con Cloruro de Sodio

El cloruro de sodio se trata de una sal que actúa como estabilizante que al ser de uso común es bastante accesible y económico. Para fines estabilizantes puede ser de cualquier procedencia y debe pasar el tamiz N°4 en su totalidad para que el tamaño de sus partículas sea homogéneo ya que al ser soluble ocasiona cambios en la densidad máxima del suelo a estabilizarse teniendo un material con una resistencia mayor para el mismo esfuerzo de compactación. [29]

La sal diluida presenta además una mayor capacidad para retener el agua durante un periodo de tiempo prolongado lo que favorece al proceso de compactación; este método de estabilización se lo puede realizar in situ con motoconformadoras, mezcladoras, o en plantas estacionarias donde el estado de la sal puede ser seca o diluida; la dosificación es de 150gr de cloruro de sodio por  $m^2$  y por centímetro de espesor en los primeros 8cm, se debe rociar  $\frac{1}{2}$  kg de cloruro de sodio por el camino cuando se aprecie que la sal ha sido arrastrada por las lluvias o el flujo de tránsito pero, si se emplea esta mezcla para base o subbase no es necesario adicionarla por esta razón, se recomienda su uso para la estabilización de materiales de base y subbase. [29]

**Figura 6:** Estabilización con Cloruro de Sodio



Fuente: La estabilización de suelos, Víctor Yepes.

### **1.1.3.13.3. Estabilización con Cemento**

Esta técnica es una de las más comunes ya que son varios los tipos de suelos que pueden ser estabilizados con cemento; los suelos estabilizados con cemento mejoran su capacidad portante y son más estables ante la acción del agua. En este método de estabilización el tipo de conglomerante tiene mayor importancia que la cantidad a añadirse y se recomiendan aquellos cementos que presentan un tiempo largo en su inicio y final del

proceso de fraguado. A continuación, se presenta una tabla de proporciones recomendadas de cemento de acuerdo con el tipo de suelo: [30]

**Tabla 7:** Proporciones recomendadas de cemento según el tipo de suelo

Clase de suelo AASTHO	% en peso	Proporciones a ensayar
A-1-a	3-5	3-5-7
A-1-b	5-8	4-6-8
A-2	5-9	5-7-9
A-3	7-11	7-9-11
A-4	7-12	8-10-12
A-5	8-13	8-10-12
A-6	9-15	10-12-14
A-7	10-16	11-13-15

Fuente: Ingeniería de Vías, Fernando Herráez

Una correcta estabilización del suelo con cemento está sujeto a tres factores: que la cantidad de cemento a emplearse sea la apropiada, tener un contenido adecuado de humedad y tener una compactación apropiada. Para realizar la mezcla suelo-cemento es necesario que se lo pulverice completamente, debe ser colocado y compactado antes que inicie su fraguado y protegerlo con una carpeta asfáltica debido a su susceptibilidad al desgaste. [29]

#### **1.1.3.13.4. Estabilización con Cal**

La cal es uno de los materiales más antiguos y comunes en la estabilización de suelos debido al cambio evidente que se aprecia en las propiedades de los suelos, se puede emplear cal hidratada para estabilizar suelos arcillosos ya que disminuye su plasticidad y adopta un comportamiento como suelo granular al disminuir la cohesión entre sus partículas o cal viva para disminuir el contenido de agua en suelos húmedos. [31]



Comúnmente, la cal no solo modifica las propiedades del suelo, sino que, incrementa su resistencia debido a los efectos aglutinantes que ésta presenta; se debe tomar en cuenta que la cantidad de cal que debe añadirse está relacionada con las características que posee el suelo, pero de forma general la proporción de cal varía entre el 2% al 5% en relación al peso seco del suelo donde su pH al ser mezclado con arcillas debe ser de 12.4. [29]

En general, este tipo de estabilización no necesita abundantes cantidades de cal ya que con una pequeña adición las propiedades del suelo mejoran considerablemente tales como: incremento en su resistencia, aumento en la capacidad de soporte, estabilidad al cambio volumétrico, disminución de la sensibilidad al agua, etc. [29]

**Figura 7:** Estabilización con cal.



Fuente: Beneficios de la cal en la industria de la construcción, Cal Noreste.

#### **1.1.3.13.5. Estabilización con Asfalto**

En este tipo de estabilización el objetivo está direccionado a proporcionar una adecuada cohesión y fricción interna al suelo ya que éstas son las propiedades esenciales de los materiales que se emplean en vías y caminos. El asfalto, al ser una sustancia pegajosa permite la cohesión entre sus partículas y presenta propiedades impermeabilizantes

siempre y cuando las cantidades empleadas sean las adecuadas y se mezcle uniformemente. [29]

Un aspecto importante a tomar en cuenta en este tipo de estabilización es la afinidad suelo – asfalto que se tenga debido a la variedad de suelos existentes y las propiedades de cada uno, por esta razón es esencial conocer la granulometría del suelo ya que en suelos granulares el efecto ligante, sus límites de consistencia y cambios volumétricos son mayores y de esta manera seleccionar el producto asfáltico más idóneo. [18]

Existen varios tipos de productos bituminosos que pueden aplicarse en esta estabilización como: asfaltos rebajados, emulsiones asfálticas o alquitrán; los asfaltos rebajados son adaptables a una amplia gama de suelos tomando en cuenta que con arenas muy finas la mezcla no se da de forma adecuada y pueden ser de fraguado rápido, medio o lento que dejan un residuo asfáltico de distinta fluidez. Comúnmente la cantidad de producto asfáltico a añadirse está en un rango de 3 al 10% en peso del material pétreo. [28]

**Figura 8:** Estabilización con asfalto.



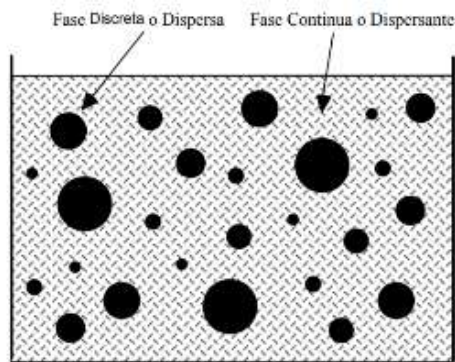
Fuente: La estabilización de suelos, Víctor Yepes.

#### 1.1.3.14. Emulsiones Asfálticas

Una emulsión asfáltica se la define como el producto de la mezcla de agua con cemento asfáltico y un agente emulsificante como jabón, aceite vegetal sulfatado, arcilla coloidal o silicatos; la cantidad de cemento asfáltico a incorporarse está entre el 55% al 70% del volumen en la emulsión la cual permite tender en frío las carpetas ahorrando significativamente la energía y maquinaria necesaria para fundir el asfalto. [32]

Las emulsiones asfálticas se forman por dos fases inmiscibles: una fase continua que se refiere al líquido no miscible y otra fase dispersa que se refiere al sólido o líquido en forma de pequeños glóbulos como se muestra en la **Figura 9**; estas dos fases deben mantenerse estables sin que se sedimenten o aglomeren. [5]

**Figura 9:** Diagrama esquemático de una emulsión



Fuente: Emulsiones Asfálticas, Instituto Mexicano de Transporte

Las emulsiones asfálticas permiten el uso de agregados, mejoran la trabajabilidad y distribución del ligante, es amigable con el ambiente ya que no contamina ni usa combustible, no se sobrecalienta y permite controlar el tiempo de rompimiento teniendo actualmente varios tipos de emulsiones. [33]

### 1.1.3.14.1. Tipos de mezclas con emulsiones asfálticas

Las emulsiones asfálticas según su agente emulsificador pueden ser: aniónicas que adquieren una carga negativa y las catiónicas que adquieren una carga positiva, las emulsiones de rompimiento rápido son usadas en tratamientos superficiales como riegos de liga y carpetas de asfalto; las de rompimiento medio se usan en mezclas abiertas en frío y procesos de conservación como bacheo; las de rompimiento lento, son más densas usadas generalmente en la estabilización de suelos y lechadas. Según la velocidad de rotura de las emulsiones y su tipo de carga de glóbulos asfálticos se tienen seis tipos: [33]

-Emulsión aniónica de rompimiento rápido, ARR

-Emulsión aniónica de rompimiento medio, ARM

-Emulsión aniónica de rompimiento lento, ARL

-Emulsión catiónica de rompimiento rápido, CRR

-Emulsión catiónica de rompimiento medio, CRM

-Emulsión catiónica de rompimiento lento, CRL

**Tabla 8:** Clasificación de las Emulsiones Asfálticas

Clasificación	Contenido de Asfalto (% en masa)	Tipo de Rompimiento	Polaridad
EAR-55	55	Rápido	Aniónica
FAR-60	60	Rápido	Aniónica
EAM-60	60	Medio	Aniónica
EAM-65	65	Medio	Aniónica
EAL-55	55	Lento	Aniónica
EAL-60	60	Lento	Aniónica
EAI-60	60	Para Impregnación	Aniónica
ECR-60	60	Rápido	Catiónica
ECR-65	65	Rápido	Catiónica
ECR-70	70	Rápido	Catiónica
ECM-65	65	Medio	Catiónica
ECL-65	65	Lento	Catiónica
ECL-60	60	Para Impregnación	Catiónica
ECS-60	60	Sobre-Estabilizada	Catiónica

Fuente: Emulsiones Asfálticas, Rogelio Rodríguez Talavera

#### **1.1.3.14.1.1. Mezclas asfálticas abiertas en frío**

El agregado pétreo que se emplea en este tipo de mezclas asfálticas debe poseer una mala gradación en su granulometría que en su mayoría se trate de partículas gruesas que como su nombre lo indica pueden ser mezcladas y compactadas a una temperatura ambiente (frío). Al tener una mala gradación los espacios vacíos van a prevalecer y pueden emplearse para trabajos de bacheos o colocarse en la superficie de rodadura. [32]

De acuerdo a la MOP [10], previo al uso de mezclas asfálticas abiertas recomienda basarse en una ecuación que relacione la superficie específica con los agregados ya combinados para de esta forma conocer el contenido de asfalto a incorporarse. El Método Marshall Modificado permite conocer la estabilidad y el flujo en el caso de mezclas asfálticas con material que se retiene en el tamiz de 25.4mm. [10]

#### **1.1.3.14.1.2. Mezclas asfálticas abiertas en caliente**

Esta mezcla se identifica primordialmente por el uso de cemento asfáltico como emulsificante que debe ser colocado y compactado a temperaturas altas (110°C – 120°C) que pueden ser empleadas así mismo en trabajos de bacheo o superficies de rodadura. [32]

Según las especificaciones de la MOP [10], las mezclas asfálticas en caliente deben ser ensayadas a una temperatura de 60°C donde deben cumplir con ciertas especificaciones de estabilidad, relación de vacíos, flujo, etc. que varían según el tipo de tráfico que se tenga (muy pesado, pesado, medio o liviano).

### 1.1.3.14.1.3. Mezclas asfálticas densas

Este tipo de mezclas asfálticas se caracterizan porque sus agregados pétreos presentan una buena gradación donde se incluye una pequeña cantidad de finos, lo cual reduce significativamente los espacios vacíos y la permeabilidad del pavimento permitiendo además tener una mayor rigidez y resistencia por lo que se emplean como capa de rodadura o base asfáltica. Las emulsiones que se utilizan como ligante asfáltico son las catiónicas de rompimiento lento (CRL) donde su diseño debe cumplir con especificaciones y normativas al igual que las anteriores mezclas asfálticas. [32]

A continuación, se presenta en la **Tabla 9** las especificaciones que deben cumplir este tipo de mezclas asfálticas bajo el criterio del Método Marshall: [10]

**Tabla 9:** Criterios Marshall para mezclas asfálticas según el tipo de tráfico.

TIPO DE TRAFICO CRITERIOS MARSHALL	Muy Pesado		Pesado		Medio		Liviano	
	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
No. De Golpes/Cara	75		75		50		50	
Estabilidad (libras)	2200	----	1800	----	1200	----	1000	2400
Flujo (pulgada/100)	8	14	8	14	8	16	8	16
% de vacios en mezcla								
- Capa de Rodadura	3	5	3	5	3	5	3	5
- Capa Intermedia	3	8	3	8	3	8	3	8
- Capa de Base	3	9	3	9	3	9	3	9
% Vacios agregados	VER TABLA 405-5.5							
Relación filler/betón	0.8	1.2	0.8	1.2				
% Estabilidad retenida luego 7 días en agua temperatura ambiente								
- Capa de Rodadura	70	----	70	----				
- Intermedia o base	60	----	60	----				

Fuente: Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes, MOP

#### **1.1.3.14.1.4. Mezclas asfálticas densas en caliente**

Llamadas también mezclas asfálticas densas o semidensas con concreto asfáltico la cual se caracteriza por tener partículas sólidas de distintos materiales y tamaños bien gradados las cuales son combinadas con cemento asfáltico a temperaturas que oscilan entre los 140°C y 180°; al tener distintos materiales sus espacios vacíos son minúsculos que al tener una adecuada calidad se emplean para cualquier capa de la estructura del pavimento siempre y cuando cumplan con las especificaciones de granulometría y ensayos para diseñarse por el Método Marshall para conocer su resistencia y estabilidad. [32]

#### **1.1.3.14.1.5. Mezclas asfálticas drenantes**

Estas mezclas asfálticas se usan comúnmente en lugares donde existen precipitaciones de lluvia constantes para evitar inundaciones caracterizándose por tener un contenido de vacíos bastante alto comprendido entre el 20% al 25%, siendo su objetivo evitar el hidropneumático y conducir el agua que se filtra de la superficie a las obras de drenaje evitando además accidentes viales.

Se aplican en las superficies de rodadura haciéndolas bastante rugosas donde los polímeros se empelan como cemento asfáltico diseñada bajo el criterio y ensayo cántabro teniendo un control constante de la calidad del cemento asfáltico y material pétreo. [32]

### **1.1.3.15. Pavimento**

Se define como pavimento a la estructura vial constituida por un conjunto de capas relativamente horizontales superpuestas que están apoyadas sobre la subrasante (terreno de fundación), cuyo objetivo primordial es el de soportar las cargas de tránsito transmitidas y permitir el flujo de los vehículos de forma cómoda y segura. [33]

Las características que debe presentar un pavimento son:

- Absorber adecuadamente los esfuerzos transmitidos por el tránsito.
- Presentar una superficie cómoda y regular para el tránsito de los usuarios de forma segura que se mantenga en el tiempo.
- Ser económico y resistente al desgaste por las llantas y a los esfuerzos horizontales.
- Proporcionar comunicación entre dos puntos bajo distintas condiciones climáticas y temporales.
- Cumplir con los requerimientos estéticos, de seguridad y ambientales. [33]

### **1.1.3.16. Tipos de Pavimentos**

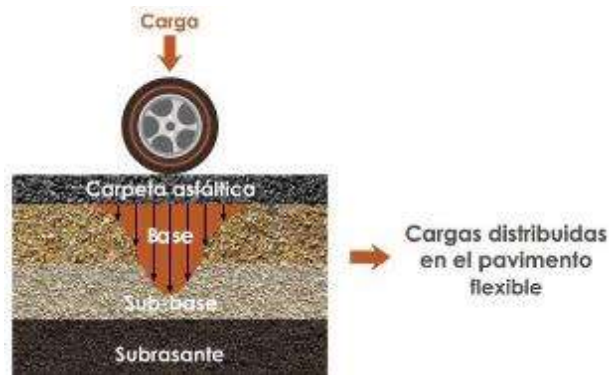
#### **-Pavimentos Flexibles**

Son aquellos pavimentos que están conformados por una capa asfáltica apoyada en capas de menor rigidez donde el agregado está simplemente compactado a la máxima capacidad sin tratarlo y como aglomerante se tiene al agua; en este tipo de pavimentos no se generan tensiones adicionales ya que se adaptan a las deformaciones del suelo siendo capaz de



resistir los esfuerzos. Los pavimentos flexibles, están compuestos por una carpeta asfáltica, la base y subbase que se apoyan sobre el suelo de fundación como se muestra en la **Figura 10** que en ciertos casos pueden conformarse únicamente por la carpeta asfáltica si los niveles de tránsito son bajos. [32]

**Figura 10:** Estructura del Pavimento Flexible.

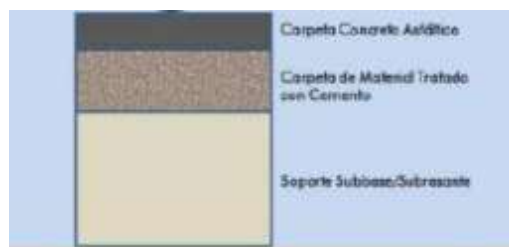


Fuente: Tipos de Pavimento, Luis Guillermo Loría.

### **-Pavimentos Semi – Rígidos**

Este tipo de pavimento difiere del flexible porque la capa granular (base) está modificada químicamente con ligantes hidráulicos (cal, cemento, asfalto, etc.) que se apoyan sobre capas granulares de subbase y subrasante no tratadas cuyo objetivo es el de rigidizar su base artificialmente para mejorar las propiedades mecánicas de los materiales. [32]

**Figura 11:** Estructura del Pavimento Semirrígido.



Fuente: Diseño de Pavimentos, Víctor Escalante.

### 1.1.3.17. Estructura del pavimento

#### 1.1.3.17.1. Subrasante

La subrasante está conformada por varias líneas rectas que tienen pendientes y están unidas de una pendiente a otra por curvas verticales tangentes a ellas siendo la subrasante lo más paralela posible a la superficie del terreno con su respectiva altura de manera que permita el drenaje superficial; además, se la denomina como la fundación de la estructura del pavimento que generalmente se trata del terreno natural. [34]

La capacidad de soporte y calidad de la subrasante es un parámetro primordial a la hora de definir los espesores de las distintas capas que constituyen el pavimento, siendo el CBR (Relación de Soporte de California) uno de los ensayos que nos permite conocer dicha capacidad. Las subrasantes se las clasifica por medio de su valor de CBR en porcentaje como se muestra en la **Tabla 10**, donde es necesario realizar una estabilización si su valor de CBR es inferior al 2%. [33]

**Tabla 10:** Clasificación de los Suelos de Subrasante.

Clasificación de la subrasante	CBR en %
S 1	2
S 2	3 - 5
S 3	6 - 10
S 4	11 - 20
S 5	>20

Fuente: Ingeniería de Pavimentos, Alfonso Montejo.

Al conocer la capacidad de la subrasante se determinará la necesidad o no de estabilizarla ya sea con la mezcla de otros agregados o aditivos como se mencionó anteriormente con el fin de mejorar sus propiedades y la capacidad de soportar los esfuerzos a ser transmitidos por el pavimento siendo su sustento. [1]

### **-Mejoramiento de la Subrasante**

En casos donde sea necesario o el fiscalizador lo autorice la subrasante deberá ser estabilizada ya sea con cal, membranas sintéticas, material pétreo, empalizada u otros materiales debidamente aprobados. Cuando se mejore la subrasante con otro suelo éste deberá ser granular donde todas sus partículas pasen el tamiz 4" y no más del 20% pase el tamiz N°200. [10]

Cuando se emplee la cal para estabilizarla, las partículas de los suelos no deben tener un tamaño mayor a 80mm y la cal deberá estar seca; para el caso de estabilización con material pétreo, deberán tener un tamaño de 10 a 30cm donde no más del 20% de las partículas pasen el tamiz 2" y no más del 5% pase el tamiz N°4. [10]

#### **1.1.3.17.2. Sub-base**

Esta capa está constituida por material granular que debe cumplir con ciertas especificaciones para su uso, está colocada entre la base y la subrasante que en comparación con la base tiene menor calidad y presenta un ahorro económico lo cual permite tener una reducción en el espesor de la base. [35]

Los materiales que componen esta capa son materiales tratados con el fin de soportar y proteger a la base evitando deformaciones debido a cambios volumétricos que se den en

la subrasante. Su función, además, es obstruir el bombeo en los extremos del pavimento y juntas actuando como soporte del pavimento que debido a sus propiedades sirve además como dren evitando la ascensión capilar y la acumulación de agua bajo las capas del pavimento. [33]

### **1.1.3.17.3. Base**

Es la capa conformada por material granular triturado ubicada por debajo de la carpeta asfáltica o losa de concreto en el caso de un pavimento rígido y por encima de la subbase; esta capa en ciertos casos puede ser colocada directamente sobre la subrasante si ésta presenta las características adecuadas. [35]

La función principal de la base es la de transmitir las cargas que se dan en la superficie debido al tránsito a las capas inferiores en forma e intensidad adecuada, ayuda al drenaje, presenta resistencia antes los cambios volumétricos y reduce el espesor de la capa de rodadura. Su espesor va de 10cm a 25cm en el caso de un pavimento flexible y de 10cm a 30cm en un pavimento rígido. [32]

Según el MTOP [10], existen cuatro tipos de bases de agregados las cuales son:

- Base clase 1, constituidas por agregados finos y gruesos que deben ser triturados en su totalidad (100%).
- Base clase 2, al menos el 50% de la fracción gruesa (fragmentos de roca o grava) debe ser triturado.
- Base clase 3, al menos el 25% de la fracción gruesa debe ser triturada.
- Base clase 4, el 100% del agregado puede ser simplemente cribado.

#### 1.1.3.17.4. Superficie de rodadura

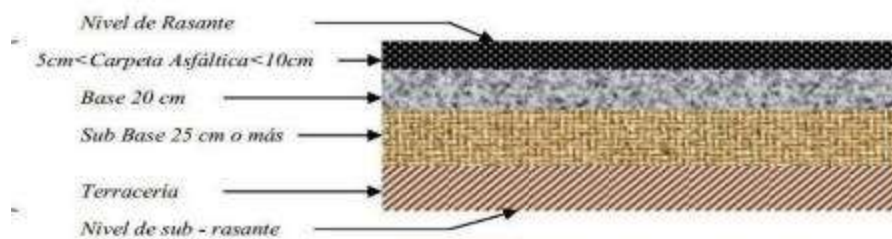
Se refiere a la capa situada en la parte superior que tiene mayor rigidez, resistencia y calidad; su espesor es el menor con respecto a las distintas capas del pavimento, pero debe presentar buenas características de modo que permita la rodabilidad adecuada del tránsito, impermeabilidad evitando filtraciones y una textura uniforme para eludir el desgaste debido al tráfico; en ciertos casos sirve también para incrementar la capacidad de soporte del pavimento. [35]

La MTOP [10], define a la superficie de rodadura o capa de desgaste como la capa superior de la calzada constituida por materiales determinados la cual debe prestar comodidad al tránsito y ser antideslizante, impermeable y resistente a la abrasión por efectos del clima y del tráfico.

#### 1.1.3.17.5. Rasante

Corresponde a la superficie de rodamiento e indica la línea de gradiente a nivel de la superficie de rodadura. [10] Las pendientes deben ajustarse a nivel de la rasante después del proceso de compactación. [33]

**Figura 12:** Estructura básica de los pavimentos asfálticos



Fuente: Diagnóstico de falla de la estructura de pavimentos, Hernán Zambrano.

## **1.2. Hipótesis**

- 1.2.1.** La adición de emulsiones asfálticas en el suelo granular de subrasante modificará las propiedades físico - mecánicas mejorándolas e incrementando el valor de resistencia al esfuerzo cortante CBR de este suelo.
  
- 1.2.2.** En el diseño de un pavimento flexible al emplearse un suelo granular de subrasante estabilizado con emulsiones asfálticas ocasionará que los espesores de las capas suprayacentes a ésta sean menores en relación con un diseño realizado con suelo sin modificaciones en sus propiedades físico – mecánicas.
  
- 1.2.3.** Al reducirse los espesores de la estructura de pavimento debido al uso de emulsiones asfálticas se tendrá un ahorro económico en la construcción de caminos y carreteras.

### **1.3. Objetivos:**

#### **1.3.1. General:**

- Analizar el efecto de la adición de emulsión asfáltica en las propiedades físico – mecánicas de suelos granulares provenientes del cantón Ambato.

#### **1.3.2. Específicos:**

- Realizar la extracción de muestras alteradas de suelos granulares de tres lugares distintos del cantón Ambato, provincia de Tungurahua.
- Determinar las propiedades físico-mecánicas de los suelos granulares mediante ensayos de laboratorio como: Humedad natural, Densidad de Campo, Gravedad específica, Límites de Atterberg, Granulometría, Proctor modificado y Relación de Soporte California CBR.
- Analizar los valores obtenidos de Humedad Óptima, Densidad Seca Máxima, Capacidad de soporte CBR de las muestras adicionadas con diferentes porcentajes de emulsión asfáltica (0%, 1%, 3%, 5%, 8%).
- Diseñar la estructura de un pavimento flexible con y sin adición de emulsión asfáltica en el suelo de subrasante.

## CAPÍTULO II

### 2. METODOLOGÍA

#### 2.1. Materiales y Equipos

**Tabla 11:** Materiales y Equipos

ENSAYO	NORMA	MATERIALES	EQUIPO
<b>Pozo a cielo abierto</b>	AASHTO T87-04	Muestra alterada de suelo in-situ 25kg aproximadamente.	Pala Pico Palustre Flexómetro Quintales de lona
<b>Densidad de campo por el método de Cono y Arena de Ottawa</b>	AASHTO T-205 ASTM D2167	Muestra de suelo in-situ  Arena de Ottawa	Cono Placa metálica Cuchara Cinzel Clavos Martillo Brocha Fundas plásticas Balanza
<b>Contenido de Humedad</b>	AASHTO T265 ASTM S2216-71 INEN 690	Muestra de suelo	Recipientes metálicos Balanza Horno Guantes Rotuladores
<b>Gravedad específica de los sólidos del suelo</b>	AASHTO T100-70 ASTM D854-48 INEN 856-1 INEN 857	Muestra de suelo que pase el tamiz N°4  Agua destilada	Recipientes metálicos Tamiz N°4 Balanza Picnómetro m Termómetro Embudo plástico Pipeta Franela Horno Máquina de baño María Guantes

Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo



**Tabla 12: Materiales y Equipos**

<b>ENSAYO</b>	<b>NORMA</b>	<b>MATERIALES</b>	<b>EQUIPO</b>
<b>Granulometría</b>	AASHTO T87-70 ASTM D421-58 INEN 696	Muestra de suelo cuarteada y lavada 1000 gr aproximadamente.  Agua	Tamices (#4-#8-#10-#16-#30-#40-#50-#60-#100-#200) Tamizadora Tapa Fuente Balanza Recipientes Brocha Horno Guantes
<b>Límite Líquido</b>	AASHTO T90-70 ASTM D424-71 INEN 691	Muestra de suelo que pase el tamiz N°40  Agua	Tamiz N°40 Copa Casagrande Ranurador Espátula de punta redonda Probeta Mortero de porcelana Pistillo de caucho Recipientes metálicos Balanza Horno Guantes
<b>Límite Plástico</b>	ASSHTO T90-20 ASTM D424-59-74 INEN 691	Muestra de suelo que pase el tamiz N°40  Agua	Tamiz N°40 Placa de vidrio templado Probeta Espátula de punta redonda Mortero de porcelana Pistillo de goma Calibrador pie de rey Recipientes metálicos Balanza Horno Guantes

Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo

**Tabla 13:** Materiales y Equipos

<b>ENSAYO</b>	<b>NORMA</b>	<b>MATERIALES</b>	<b>EQUIPO</b>
<b>Próctor Modificado tipo D</b>	AASHTO T180-20 2018 ASTM D1557-12	Muestra de suelo  Agua  Emulsión asfáltica	Tamiz N°4 Palustre Bandeja metálica Flexómetro Probeta graduada Brocha Molde 6” Base Collarín Martillo de 10 lb Recipientes metálicos Balanza Horno Guantes
<b>Relación de Soporte California CBR</b>	AASHTO T193-13 ASTM D1883	Muestra de suelo  Agua  Emulsión asfáltica	Tamiz N°4 Molde 6” Martillo 10 lb Enrazador Palustre Máquina de compresión Probeta Flexómetro Bandejas metálicas Brocha Recipientes metálicos Horno Guantes

Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo

**Figura 13:** Pozo a cielo abierto



Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo

**Figura 14:** Densidad en campo por el método de Cono y Arena de Ottawa



Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo

**Figura 15:** Contenido de Humedad



Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo

**Figura 16:** Gravedad específica de sólidos



Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo

**Figura 17:** Calibración del picnómetro



Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo

**Figura 18:** Granulometría



Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo

**Figura 19: Límite líquido**



Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo

**Figura 20: Límite plástico**



Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo

**Figura 21:** Próctor Modificado



Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo

**Figura 22:** Relación de Soporte California CBR



Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo

## **2.2.Métodos**

La metodología empleada en el presente trabajo es la investigación experimental la cual se constituye por los niveles que se detallan a continuación:

### **2.2.1. Nivel Exploratorio**

Esta investigación se encuentra fundamentada en libros, ensayos, manuales de laboratorio, normas para los distintos ensayos y tesis a fines al tema de investigación que permitan tener un conocimiento más amplio, claro y conciso del tema con el fin de conocer distintos criterios y conceptos que faciliten y guíen el desarrollo de la investigación de forma fiable y acertada.

Esta investigación es de tipo exploratorio ya que una vez determinadas las parroquias del Cantón Ambato (Juan Benigno Vela, Montalvo e Izamba) donde se tomarán las muestras de suelo se realiza una inspección, ubicación y reconocimiento de dichos lugares para establecer el grado de factibilidad para la extracción de muestras en las cantidades necesarias para los ensayos a realizarse posteriormente.

En lo que se refiere a las emulsiones asfálticas es necesario establecer sitios o productores de donde se puedan obtener dichas emulsiones ya que existen varios fabricantes por lo que se contactó con la empresa química Impetk - Chova del Ecuador S.A. y sus técnicos para tener información detallada del producto requerido.



### **2.2.2. Nivel Descriptivo**

La presente investigación es de tipo descriptiva ya que se deben tabular, detallar, analizar e interpretar todos los datos que se obtienen de los distintos ensayos de campo y laboratorio principalmente, así como detallar las características y propiedades de cada muestra tomada de suelo una vez que se ha delimitado la población y muestra que son los suelos granulares provenientes de las tres parroquias rurales de Ambato.

Las emulsiones asfálticas deben ser añadidas en distintos porcentajes en las muestras de suelo natural con relación a su peso seco para los ensayos de Próctor Modificado y CBR.

### **2.2.3. Nivel Explicativo**

Se requiere concluir si la hipótesis planteada será tomada como verdadera o falsa para lo cual se deberá partir de los estudios de las propiedades físicas básicas del suelo como contenido de humedad, gravedad específica, límite líquido, límite plástico y granulometría donde dichos ensayos nos permiten además clasificar a los suelos en estudio.

Con los resultados que se obtienen de dichos ensayos se prosigue a determinar la densidad máxima del suelo y su contenido de humedad óptimo al ser mezclada con emulsiones asfálticas mediante un ensayo de Próctor Modificado siendo éste un dato primordial para el diseño de pavimentos flexibles al igual que el CBR y así llegar a una conclusión gracias al análisis e interpretación de los resultados obtenidos.

### 2.3.Población

La población para el presente trabajo experimental está determinada por suelos granulares de subrasante de las parroquias rurales del cantón Ambato perteneciente a la provincia de Tungurahua.

### 2.4.Muestra

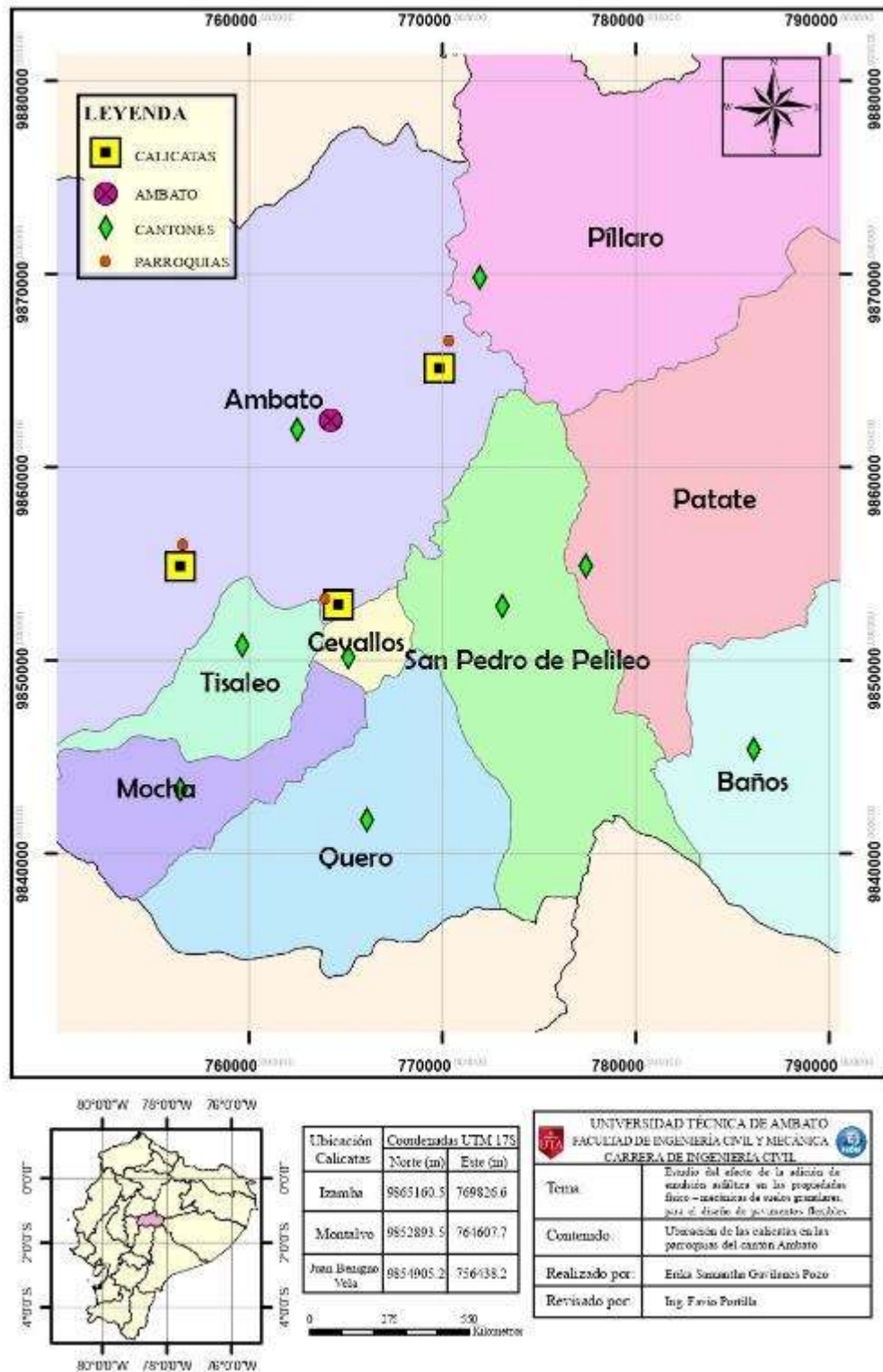
Las muestras son extraídas de tres distintas parroquias rurales del cantón Ambato, dichas parroquias son: Izamba al norte de Ambato, Montalvo y Juan Benigno Vela situadas al sur del cantón Ambato. En cada punto se llevó a cabo una calicata para extraer 5 muestras de suelo alterada de aproximadamente 25 kg cada una, las mismas que serán empleadas para conocer sus propiedades físicas y mecánicas mediante ensayos de campo y laboratorio descritos anteriormente.

**Tabla 14:** Coordenadas de las calicatas

N° Calicata	Ubicación			N° Muestras	Coordenadas UTM 17M	
	Provincia	Cantón	Parroquia		Norte (m)	Este (m)
1	Tungurahua	Ambato	Izamba	5	9865160.5	769826.6
2	Tungurahua	Ambato	Montalvo	5	9852893.5	764607.7
3	Tungurahua	Ambato	Juan Benigno Vela	5	9854905.2	756438.2

Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo

Figura 23: Mapa de Ubicación de Calicatas



Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo

## **2.5. Plan de Recolección de Datos**

Como paso inicial tenemos el reconocimiento in situ de los puntos en las parroquias rurales en donde se recolectarán las muestras de suelo de subrasante las cuales como se mencionó anteriormente se trata de las parroquias de Izamba, Montalvo y Juan Benigno Vela ubicándonos en dichos puntos según las coordenadas con el uso del GPS.

Una vez ubicados los puntos en cada parroquia se procedió con el desbroce y limpieza del terreno lo cual consiste en retirar la capa vegetal y orgánica que se encuentra en la superficie, con el empleo del flexómetro se procedió a determinar el área de excavación de cada calicata y teniendo las dimensiones se excava el pozo a cielo abierto de 1.10m x 1.20m y 0.60 m de profundidad con el uso del pico y pala.

Una vez que se tiene el pozo a cielo abierto con las dimensiones requeridas se procede a obtener la densidad en campo mediante el método de Cono y Arena de Ottawa según el procedimiento que dictamina la normativa AASHTO T-205 y ASTM D2167, para ello se enraza la superficie con ayuda de la placa, se limpia su superficie con la brocha y se fija la placa con dos clavos y el martillo; luego, procedemos a excavar con el cincel una profundidad de 10cm donde el suelo que se tiene de esta pequeña excavación se la recoge en fundas plásticas para determinar su contenido de humedad en laboratorio, finalmente se coloca en dicho hueco el cono y se abre la manilla para dejar caer la arena de Ottawa hasta la superficie del hueco la cual será pesada posteriormente.

Una vez realizado el ensayo de contenido de humedad en campo se toman muestras alteradas de suelo (25kg aproximadamente) del pozo a cielo abierto colocándolas en

sacos de lona adecuadamente sellados para almacenarlos en un lugar libre de los agentes atmosféricos que pudiesen alterar las propiedades de estos suelos.

Ahora, se procede con los ensayos de laboratorio partiendo del contenido de humedad según el procedimiento dictado por la normativa AASHTO T 265 del suelo extraído in situ; luego se procede a determinar la gravedad específica del suelo que pasa el tamiz N°4 según la norma AASHTO T100-70 a una temperatura de 21°C que se obtiene de la calibración del picnómetro a distintas temperaturas.

El siguiente ensayo que se lleva a cabo es de granulometría según la norma AASHTO T87-70 utilizando los tamices #4, #8, #10, #16, #30, #40, #50, #60, #100, #200 con la muestra de suelo previamente lavada y secada al horno dejándola en la tamizadora por 10min.

Para determinar las demás propiedades básicas de suelo es necesario conocer sus límites de consistencia para lo cual con el suelo que pasa el tamiz N°40 según el ensayo de Copa Casagrande se determina el límite líquido siguiendo los procedimientos dados por la norma AASHTO T-90-70 y la norma AASHTO T-90-20 para conocer el límite plástico.

Una vez que se conocen las propiedades básicas de los tres tipos de suelo, se debe llevar a cabo el ensayo de Próctor Modificado tipo D, para este ensayo las muestras de suelo que pasen el tamiz N°4 deben ser previamente modificadas con diferentes porcentajes de emulsión asfáltica (0%, 1%, 3%, 5%, 8%) siguiendo lo que dictamina la norma AASHTO T180-20 para cuatro porcentajes distintos de humedad (9%, 12%, 15% y 18%) por cada próctor, este proceso debe ser reiterativo para cada muestra de suelo.

Finalmente, el ensayo que debe ejecutarse es el de Relación de Soporte California (CBR) conforme a la norma AASHTO T-193-13 empleando el suelo modificado con diferentes porcentajes de emulsión asfáltica (0%, 1%, 3%, 5%, 8%), teniendo 5 CBR por cada muestra de suelo de las distintas parroquias.

### **2.5.1. Obtención de las emulsiones asfálticas**

Las emulsiones asfálticas se obtuvieron gracias a la colaboración de la fábrica química Impetk-Chova del Ecuador S.A. la cual se dedica a la modificación del asfalto que oferta artículos de asfalto y similares ubicada en la ciudad de Quito, la cual donó la cantidad de 25 litros de emulsiones asfálticas catiónicas de rompimiento lento denominadas como CSS-1h debido al apoyo que brindan en temas investigativos y afines.

Este tipo de emulsión asfáltica está compuesta principalmente por betún asfáltico, tenso activos y agua. Contiene entre un 57-64% de cemento asfáltico y un 36-46% de agua. Puede ser aplicada a temperatura ambiente y se disuelve en contacto con el agua, esta emulsión asfáltica catiónica es empleada generalmente como imprimante asfáltico o como aglutinante de agregados pétreos la cual no contiene solventes.

## **2.6. Plan de Procesamiento y Análisis de la Información**

### **2.6.1. Plan de Procesamiento**

- Toma de muestras de suelo granular de subrasante in situ de las parroquias rurales Izamba, Juan Benigno Vela e Izamba ubicadas en el Cantón Ambato, provincia de Tungurahua.
- Ejecución de ensayos de campo y laboratorio para determinar y analizar las propiedades físico – mecánicas de los suelos de las parroquias antes mencionadas.
- Tabulación y graficación de los resultados de los ensayos de campo y laboratorio por medio de programas software como Word, ArcGIS, Google Earth, Excel, AutoCAD para detallar los datos e información mejorando la presentación e interpretación de dichos resultados.

### **2.6.2. Plan de Análisis de la Información**

- Establecer el contenido de humedad óptimo para el suelo natural y modificado con distintos porcentajes de emulsión asfáltica mediante la ejecución del ensayo de Próctor Modificado tipo “D”.
- Determinar el valor de Relación de Soporte California más idóneo al igual que el porcentaje óptimo de emulsión asfáltica que se debe añadir al suelo para con estos valores partir con el diseño de un pavimento flexible.

- Diseñar un pavimento flexible basado en los valores obtenidos de los ensayos antes mencionados y según lo que dictamina el Ministerio de Transporte y Obras Públicas MTOP determinando los espesores de las capas que conforman dicho pavimento.
  
- Llevar a cabo un análisis económico entre el diseño de un pavimento con suelo de subrasante en estado natural y con suelo de subrasante modificado al ser añadido emulsión asfáltica.
  
- Concluir si la hipótesis planteada se toma como verdadera o falsa una vez que se han analizado todas las propiedades físico – mecánicas del suelo, sus valores de CBR, su diseño y el valor estimado al ser estabilizado con emulsión asfáltica.



## **CAPÍTULO III**

### **3. RESULTADOS Y DISCUSIONES**

#### **3.1. Análisis y discusión de los resultados**

En el presente capítulo se muestra la tabulación y graficación resumida de los resultados obtenidos de los ensayos de campo y laboratorio que se han llevado a cabo de cada muestra tomada de suelo tales como: densidad de campo, contenidos de humedad, gravedad específica, granulometría, límite líquido, límite plástico, próctor modificado y CBR , los mismos que sirven para determinar las propiedades físico – mecánicas y clasificación de los suelos tomados de cada parroquia (Juan Benigno Vela, Montalvo e Izamba), tomando en cuenta que los ensayos de próctor modificado y CBR se han ejecutado tanto con el suelo en estado natural como con adición de emulsión asfáltica a distintos porcentajes (0%, 1%, 3%, 5%, 8%).

Se muestra además, el diseño de un pavimento flexible y todos los datos requeridos para el mismo donde para mayor información detallada de estos datos y de los resultados de los ensayos mencionados anteriormente de cada parroquia se los puede visualizar en la sección de anexos.

### 3.1.1. Análisis de las Propiedades Básicas del Suelo

**Tabla 15:** Propiedades Básicas del Suelo

Parroquia	Humedad Natural (%)	Gravedad Específica Gs	Relación de Vacíos e	Porosidad n (%)	Grado de Saturación del agua Gw (%)	Grado de Saturación del aire Ga (%)
Izamba	2,67	2,50	0,71	41,53	10,22	89,78
Montalvo	21,15	2,60	1,08	52,00	51,72	48,28
Juan Benigno Vela	9,33	2,56	0,93	48,29	26,46	73,54

Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo

Por medio de los ensayos se determinó las propiedades básicas del suelo como su contenido de humedad donde según los valores obtenidos se aprecia que el suelo proveniente de la parroquia de Montalvo (21.15%) tiene mayor capacidad de absorción y retención del agua a diferencia de los suelos de Izamba y Juan Benigno Vela los cuales poseen un contenido de humedad relativamente bajo por lo que el volumen de estos suelos no varía significativamente.

Los valores de la gravedad específica de estos suelos se encuentran en un rango de 2,50 a 2,60 lo cual nos indica que se trata de suelos de grano grueso con presencia de materia orgánica según Quindori Quispe [36].

En lo que se refiere a la relación de vacíos y porosidad se tiene para el suelo de la parroquia de Izamba  $e=0.71$  y  $n\%=41.53$  lo que nos señala que se trata de una arena suelta; el suelo de Montalvo al igual que el de Juan Benigno Vela son suelos blandos ya que sus valores de porosidad y relación de vacíos son mayores.

Por otro lado, el grado de saturación del agua Gw% para el suelo proveniente de Izamba es de 10.22% por lo que este suelo es seco en su estado natural a diferencia del suelo de Montalvo que presenta un grado de saturación del agua de 51.72% encontrándose en estado parcialmente saturado lo cual guarda una estrecha relación con su contenido de humedad que es mayor.

Finalmente, en los que se refiere a las propiedades índice tenemos que el suelo de Izamba presenta un alto grado de saturación del aire Ga% del 89.78% ya que al estar en estado seco el aire ocupa mayor volumen que el agua teniendo así también, un contenido de humedad bajo.

### 3.1.2. Análisis de la Caracterización del Suelo

**Tabla 16:** Caracterización del Suelo

Parroquia	Límite Líquido (%)	Límite Plástico (%)	Índice Plástico	Clasificación de Suelos		Granulometría		
						Grava %	Arena %	Limo/Arcilla%
Izamba	21,59	20,44	1,15	SUCS	SM	0	70	30
				AASHTO	A-2-4	2	68	30
Montalvo	21,15	19,17	1,98	SUCS	SM	0	80	20
				AASHTO	A-2-4	2	78	20
Juan Benigno Vela	22,00	19,72	2,28	SUCS	SM	0	82	18
				AASHTO	A-2-4	2	80	18

Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo

En lo que se refiere a las propiedades de caracterización o clasificación tenemos que el suelo proveniente de la parroquia de Izamba presenta un índice plástico de 1.15% lo cual nos indica que se trata de un suelo de baja plasticidad que en presencia de la humedad se

puede apreciar cambios significativos en su consistencia, pasando de estado plástico a semisólido fácilmente.

De igual manera tenemos para los suelos de las parroquias de Montalvo y Juan Benigno Vela que sus índices plásticos son de 1.98% y 2.28% respectivamente por lo que se tratan también de suelos de baja comprensibilidad, plasticidad y consistencia al tener índices plásticos comprendidos entre 1% y 3% que, según las cartas de plasticidad de la SUCS y la AASHTO clasifican a estos suelos como arenas limosas de baja plasticidad.

En lo que se refiere a la granulometría tenemos que el suelo de Izamba presenta un coeficiente de uniformidad (Cu) de 3.50 lo cual a ser mayor a 3.00 nos indica que posee una buena distribución de sus partículas y se tiene un coeficiente de curvatura (Cc) de 1.00 que al ser un valor entre 1 y 3 nos indica también que su granulometría es adecuada; comprobando de esta manera que es un suelo granular con un 30% de limo.

Así también, de acuerdo a su granulometría se tiene que el suelo de Montalvo presenta un Cu de 4.00 y un Cc de 1.00; en lo que se refiere al suelo proveniente de Juan Benigno Vela tenemos un Cu 3.64 y un Cc de 1.00 por lo que son suelos granulares con una buena graduación con presencia del 20% de limo para el suelo de Montalvo y un 20% de limo en el suelo de Juan Benigno Vela.

De acuerdo con la SUCS estos suelos son Arenas limosas (SM) cumpliendo que más del 50% del total de la muestra es retenido por el tamiz #200 y más del 50% pasa el tamiz #4; por otro lado, según la AASHTO se tiene que se tratan de suelos del subgrupo A-2-4 correspondiendo a gravas y arenas limosas al cumplirse que más del 35% es retenido por el tamiz #200.

### 3.1.3. Análisis de las Propiedades Mecánicas de los Suelos

**Tabla 17:** Propiedades Mecánicas de los Suelos

Parroquia	Densidad de Campo (γd)	Nº Muestras	Porcentaje de Emulsión Asfáltica	COMPACTACIÓN PRÓCTOR			RELACIÓN SOPORTE CALIFORNIA			
				Densidad Máxima γdmáx (gr/cm3)	Humedad Óptima (%)	Grado de Compactación Natural (%)	95%			
							Densidad Seca	0,1"	0,2"	CBR
Izamba	1,549	1	0%	1,600	15,90	96,81	1,520	17,50	20,00	20,00
		2	1%	1,629	16,20	95,09	1,548	25,80	29,50	29,50
		3	3%	1,634	15,50	94,80	1,552	33,20	36,50	36,50
		4	5%	1,611	15,40	96	1,530	22,50	24,20	24,20
		5	8%	1,547	14,40	100,13	1,470	15,60	17,60	17,60
Montalvo	1,272	1	0%	1,607	14,70	79,15	1,527	13,90	14,70	14,70
		2	1%	1,645	16,20	77,33	1,563	19,00	21,60	21,60
		3	3%	1,656	15,20	76,81	1,573	30,00	32,50	32,50
		4	5%	1,611	14,20	78,96	1,530	18,40	19,00	19,00
		5	8%	1,580	13,50	80,51	1,501	9,90	10,10	10,10
Juan Benigno Vela	1,370	1	0%	1,663	14,90	82,38	1,580	18,00	19,50	19,50
		2	1%	1,672	17,10	81,94	1,588	19,50	23,70	23,70
		3	3%	1,685	16,80	81,31	1,601	20,00	24,70	24,70
		4	5%	1,598	16,50	85,73	1,518	16,20	17,00	17,00
		5	8%	1,590	16,40	86,16	1,511	14,40	15,00	15,00

Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo

En la Tabla 17 de propiedades mecánicas de los suelos de las parroquias de Izamba, Montalvo y Juan Benigno Vela se muestra de forma resumida los resultados obtenidos de los ensayos tanto de Próctor como de CBR con los distintos porcentajes de emulsión asfáltica añadidos a estos suelos, así como de las densidades obtenidas en campo. Los datos mostrados en dicha tabla se tienen de forma detallada en el apartado de anexos de cada ensayo con sus respectivas gráficas para mayor claridad y entendimiento.

A continuación, se muestran tres gráficas resumen por cada uno de los suelos provenientes de las parroquias de Izamba, Montalvo y Juan Benigno Vela donde se tiene de forma gráfica la relación existente entre los distintos porcentajes de emulsión asfáltica añadido en los suelos de subrasante en un 0%, 1%, 3%, 5%, y 8% con los valores obtenidos en el ensayo Próctor Modificado B y el ensayo California Bearing Ratio (CBR) para una mejor comprensión del comportamiento de los suelos en estudio.

En la gráfica inicial se muestra la relación entre el porcentaje de emulsión asfáltica añadido con las densidades secas máximas obtenidas en laboratorio por medio del ensayo Próctor y sus humedades óptimas respectivamente. Como segundo gráfico tenemos la relación entre el porcentaje de emulsión asfáltica añadido a los suelos y los valores extraídos del ensayo CBR.

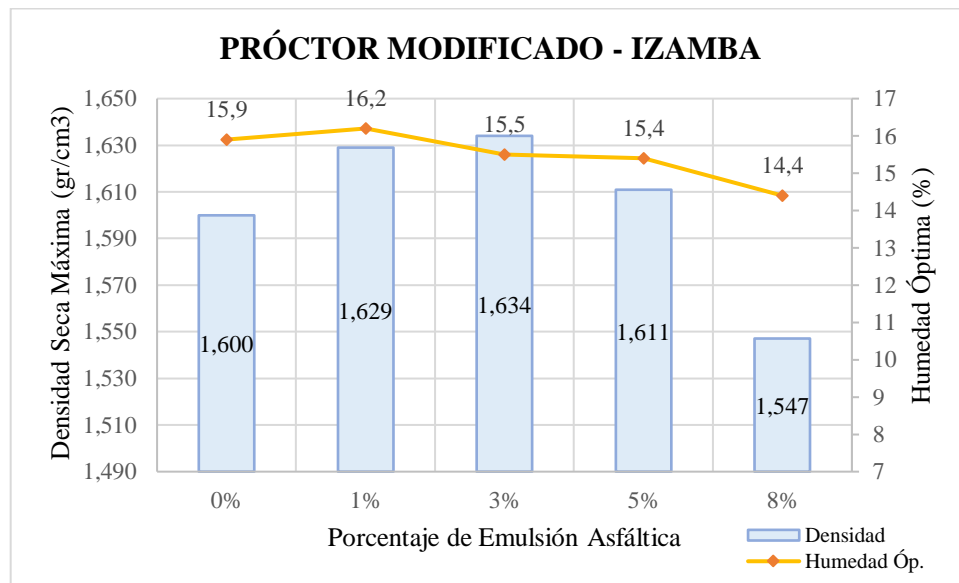
Como tercer gráfico de análisis de resultados se tiene una comparación entre los valores alcanzados del ensayo CBR, las densidades secas máximas resultado del ensayo de Próctor con sus respectivos contenidos de humedad óptimos con el fin de establecer el valor máximo de CBR con su respectiva densidad seca al 100%.

### 3.1.3.1. Análisis de resultados del Próctor Modificado y CBR del suelo de subrasante de la parroquia Izamba

#### a) Próctor Modificado

Análisis gráfico de las densidades secas máximas obtenidos del ensayo Próctor Modificado con sus respectivos porcentajes de humedad óptima vs el porcentaje de emulsión asfáltica añadido.

Figura 24: Próctor Modificado Izamba



Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo

En la gráfica podemos observar cómo a medida que se va incorporando un determinado porcentaje de emulsión asfáltica al suelo de la parroquia de Izamba (hasta en un 3%) su densidad seca máxima va incrementando y una vez superado este porcentaje de adición de emulsión la densidad seca máxima empieza a decrecer teniendo que, el suelo en estado natural (0%) tiene una densidad seca máxima inicial de 1.600 gr/cm<sup>3</sup> y su densidad máxima seca al incorporar un 3% de emulsión asfáltica tiene un valor de 1.634 gr/cm<sup>3</sup> lo cual representa un incremento en un 2.13% .

En la gráfica se puede apreciar además que, a medida que se añade emulsión asfáltica en el suelo su humedad óptima primero aumenta y luego va decreciendo, teniendo que el suelo en estado natural (0%) presenta una humedad óptima de 15.9% y al añadirse un porcentaje del 8% de emulsión asfáltica la humedad óptima es de 14.4% por lo que se estima gráfica y numéricamente que la reducción de la humedad óptima es del 1.50%.

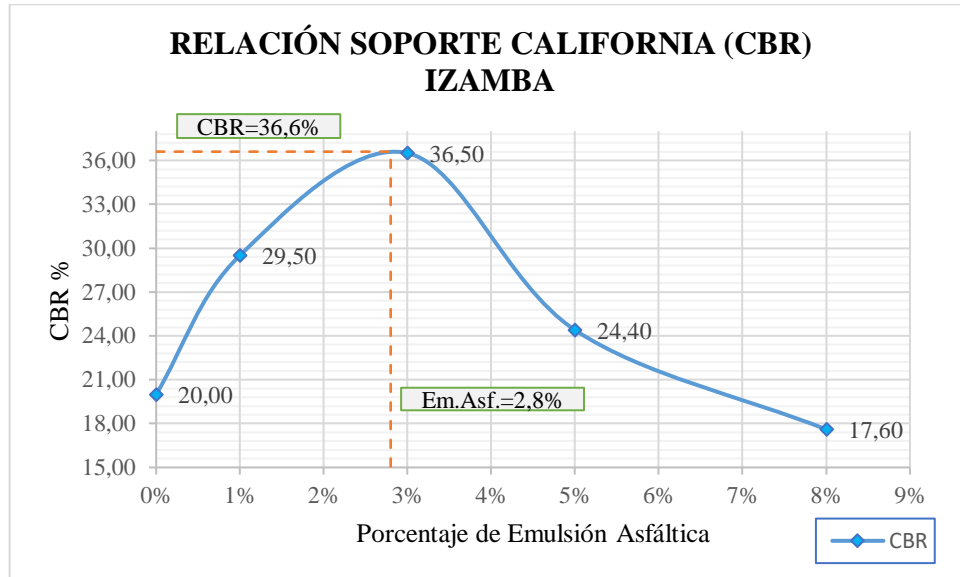
Tenemos que la densidad máxima seca se va incrementando en principio al igual que la humedad óptima para luego descender como resultado e influencia de la presencia del agua que contiene la emulsión mezclada con asfalto, ya que ésta reemplaza a el agua neta ocasionando el descenso de la humedad óptima y pérdida de la densidad del suelo cuando se tiene un mayor porcentaje de adición.

#### **b) Análisis de CBR**

Análisis gráfico de la Relación de Soporte California (CBR) vs el porcentaje de emulsión asfáltica añadido del suelo de la parroquia de Izamba.



**Figura 25:** Relación de Soporte California (CBR) Izamba



Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo

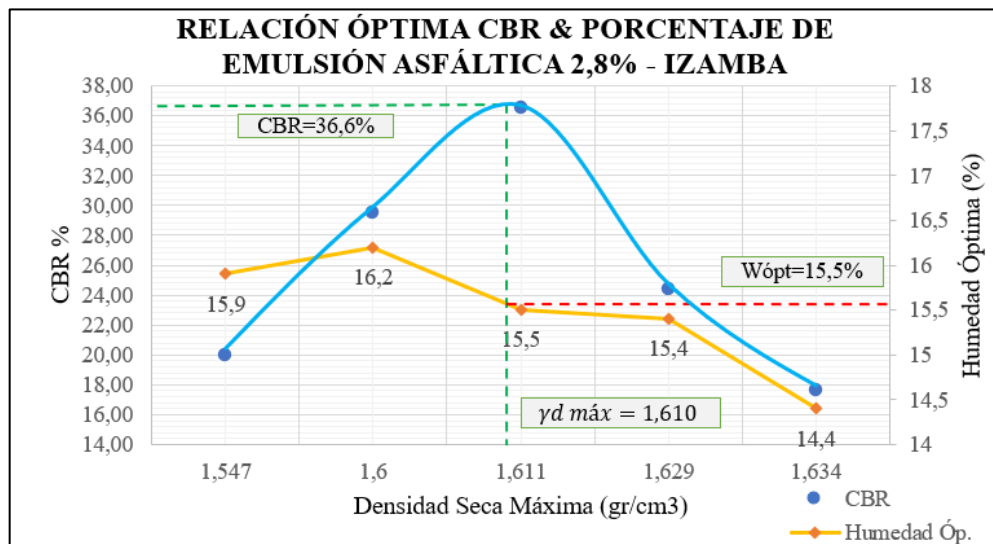
Mediante esta gráfica podemos observar cómo los valores de CBR van incrementándose en tanto que se va agregando emulsión asfáltica hasta en un 3% en el suelo de subrasante de la parroquia de Izamba donde una vez superado este porcentaje los valores de CBR empiezan a disminuir. Tenemos un valor inicial de 20.00% de CBR del suelo en estado natural (0%) el cual se eleva a un CBR de 29.50% y posteriormente a 36.50% al incorporarse 1% y 3% de emulsión asfáltica respectivamente; mientras que, el CBR desciende a 24.40% al añadir 5% y un CBR de 17.60% al incorporar 8% de emulsión asfáltica.

Además, podemos observar que el valor óptimo de CBR es 36.60% el cual se encuentran en el rango de adición del 1% al 3%, específicamente al añadirse 2.80% de emulsión asfáltica teniendo así una subrasante muy buena de tipo S5 según la clasificación de Montejó [33]. Finalmente, se aprecia que al ser 20.00% el valor inicial de CBR y 36.60% el CBR óptimo encontrado existe un aumento del CBR en un 16.60%.

c) Análisis de CBR óptimo modificado

Análisis gráfico de la relación óptima para un CBR de 36.60% obtenido al incorporar un 2.8% de emulsión asfáltica con sus respectivos porcentajes de humedad óptimas vs las densidades secas máximas al 100% del suelo de subrasante de la parroquia Izamba.

Figura 26: Relación óptima CBR de la parroquia Izamba



Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo

Mediante esta gráfica podemos analizar el valor óptimo de CBR (36.60%) el cual nos facilita encontrar los valores de la densidad seca máxima y el porcentaje de humedad óptima gracias al vínculo existente entre la densidad seca máxima y la humedad óptima y valor de CBR al 95%.

Conforme a los datos obtenidos y resultados graficados podemos conocer que para llegar a un CBR óptimo de 36.60% al añadir 2.8% de emulsión asfáltica en el suelo en estudio,

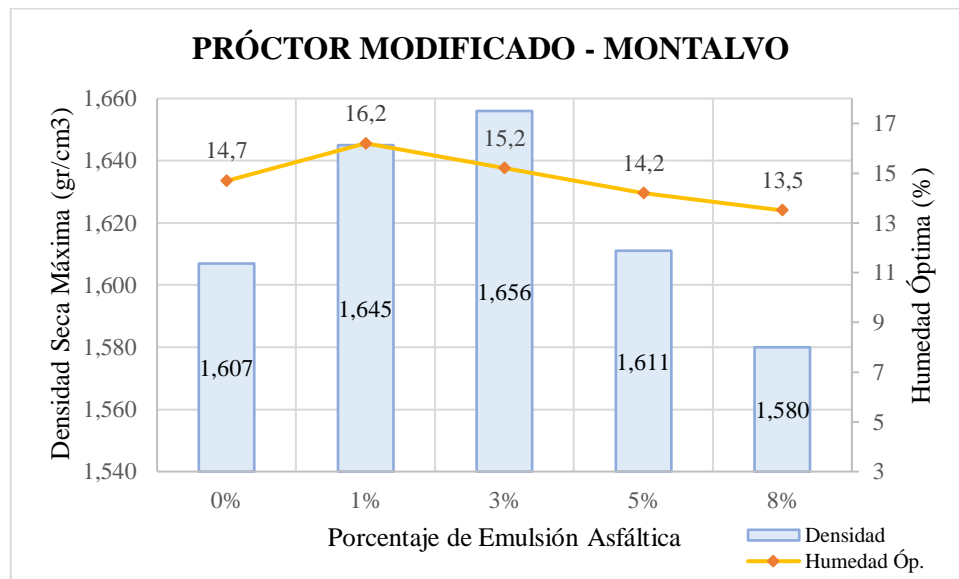
es conveniente agregar agua en un 15.5% para el ensayo Próctor y de esta forma obtener una densidad seca máxima de 1.610 gr/cm<sup>3</sup>.

### 3.1.3.2. Análisis de resultados del Próctor Modificado y CBR del suelo de subrasante de la parroquia Montalvo

#### a) Próctor Modificado

Análisis gráfico de las densidades secas máximas obtenidos del ensayo Próctor Modificado con sus respectivos porcentajes de humedad óptimas vs el porcentaje de emulsión asfáltica añadido en el suelo de subrasante de la parroquia Montalvo.

**Figura 27:** Relación óptima CBR de la parroquia Montalvo



Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo

De acuerdo con la gráfica en análisis podemos apreciar claramente cómo las densidades secas máximas van incrementando al igual que el porcentaje de adición de emulsión

asfáltica hasta en un 3% donde una vez superado este porcentaje de emulsión asfáltica las densidades empiezan a disminuir su valor. Tenemos una densidad seca máxima de 1.607 gr/cm<sup>3</sup> para el suelo en estado natural y una densidad de 1.656 gr/cm<sup>3</sup> cuando se incorpora 3% de emulsión asfáltica por lo que la densidad seca máxima presenta un incremento en un 3.05%; por el contrario, tenemos que al añadir 8% de emulsión asfáltica la densidad seca máxima desciende a 1.580 gr/cm<sup>3</sup> teniendo un decrecimiento en un 1.68% con respecto al suelo natural.

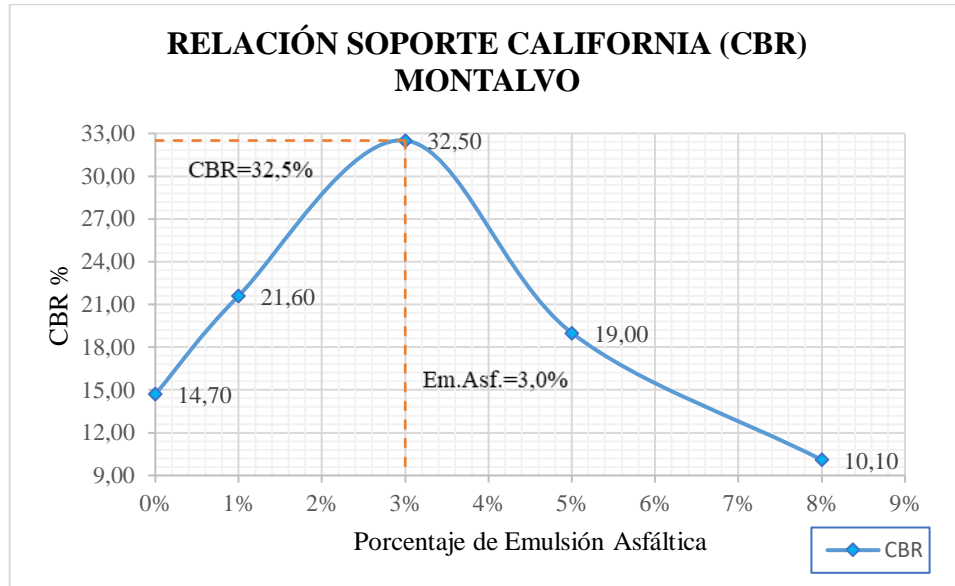
Podemos analizar además que, en forma general a medida que se agrega emulsión asfáltica en el suelo su humedad óptima va disminuyendo, teniendo que el suelo en estado natural (0%) presenta una humedad óptima de 14.7% y al adicionar un porcentaje del 8% de emulsión asfáltica la humedad óptima baja a 13.5% por lo que se tiene una reducción en la cantidad de agua requerida del 1.2%.

Por otro lado, tenemos una similitud en cuanto al comportamiento de las densidades secas y las humedades óptimas cuando se tiene un porcentaje mayor de emulsión asfáltica añadida con el suelo ya que el agua contenida en la mezcla asfáltica reemplaza al agua neta y ocasiona esta disminución en la humedad y que las partículas pierdan su densificación también.

## **b) Análisis de CBR**

Análisis gráfico de la Relación de Soporte California (CBR) vs el porcentaje de emulsión asfáltica añadido en el suelo de subrasante de la parroquia Montalvo.

**Figura 28:** Relación de Soporte California (CBR), Montalvo



Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo

Observando la gráfica podemos evaluar cómo el CBR va incrementándose dado que el suelo en estado natural de Montalvo presenta un CBR de 14.7% el cual incrementa a 21.60% al añadirse 1% de emulsión asfáltica que seguidamente asciende a 32.50% al tener 3% de emulsión asfáltica. Podemos apreciar también que, una vez superado este porcentaje de adición (3%) los valores de CBR para el 5% y 8% de adición descienden a 19% y 10.10% respectivamente.

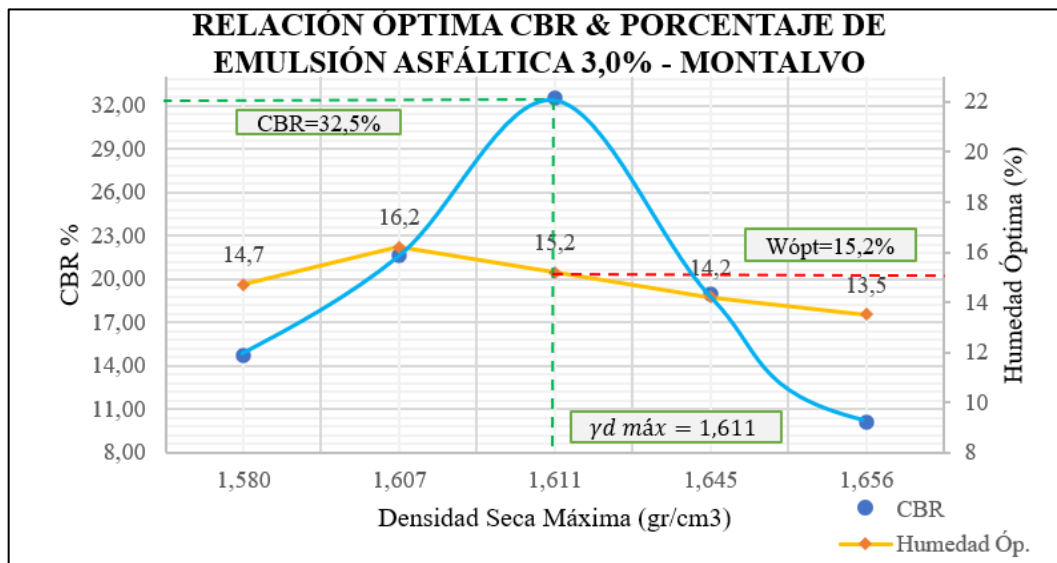
La gráfica nos muestra además que el valor óptimo de CBR es 32.50% el cual se obtiene al incorporar 3% de emulsión asfáltica al suelo en estudio, teniendo un incremento del 17.8% en el valor del CBR con respecto al valor del suelo en estado natural (14.7%).

Al ser el CBR mayor al 20% se clasifica como suelo de subrasante muy bueno de tipo S5 según la clasificación de Montejó [33].

c) **Análisis de CBR óptimo modificado**

Análisis gráfico de la relación óptima para un CBR de 32.50% obtenido al incorporar el 3% de emulsión asfáltica con sus respectivos porcentajes de humedad óptimas vs las densidades secas máximas al 100% del suelo de subrasante de la parroquia Montalvo.

**Figura 29:** Relación óptima CBR de la parroquia Montalvo



Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo

En función de la gráfica presentada podemos analizar el valor óptimo de CBR encontrado (32.50%) el cual nos permite hallar tanto los valores de la densidad seca máxima como el porcentaje de humedad óptima debido a la relación existente entre la densidad seca máxima empleada en la obtención del CBR al 95%.

De acuerdo con los datos alcanzados logramos establecer que para llegar a un CBR óptimo de 32.50% es necesario adicionar un 3% de emulsión asfáltica en el suelo proveniente de

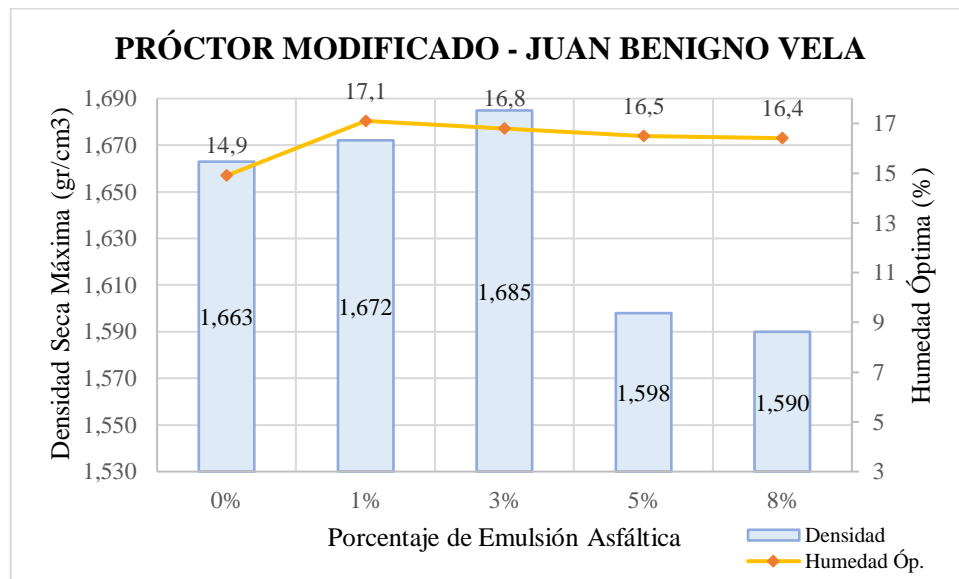
dicha parroquia con una humedad óptima de 15.2% para el ensayo Próctor obteniendo así una densidad seca máxima de 1.611 gr/cm<sup>3</sup>.

### 3.1.3.3. Análisis de resultados del Próctor Modificado y CBR del suelo de subrasante de la parroquia Juan Benigno Vela

#### a) Próctor Modificado

Análisis gráfico de las densidades secas máximas obtenidos del ensayo Próctor Modificado con sus respectivos porcentajes de humedad óptimas vs el porcentaje de emulsión asfáltica añadido en el suelo de subrasante de Juan Benigno Vela.

**Figura 30:** Relación óptima CBR de la parroquia Juan Benigno Vela



Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo

Al analizar la gráfica podemos ver que la densidad seca máxima del suelo en estado natural es de 1.663 gr/cm<sup>3</sup> la cual se incrementa al añadir 1% de emulsión asfáltica teniendo un

valor de 1.672 gr/cm<sup>3</sup> y vuelve a subir al añadir 3% de emulsión teniendo una densidad seca máxima de 1.685 gr/cm<sup>3</sup>, de esta forma podemos ver que existe un incremento de 1.32% en la densidad al añadir 3% con respecto al suelo natural; se aprecia además, cómo al exceder el 3% de adición la densidad seca máxima va disminuyendo teniendo así 1.598 gr/cm<sup>3</sup> y 1.590 gr/cm<sup>3</sup> al incorporar 5% y 8% de emulsión asfáltica respectivamente teniendo una disminución del 4.39% entre el suelo natural y al adicionar 8%.

Con respecto a la gráfica podemos analizar también cómo al añadir 1% de emulsión asfáltica la humedad óptima sube con respecto a la del suelo normal de 14.9% a 17.1% teniendo un incremento de 2.2% para luego empezar a descender a medida que se va incluyendo la emulsión asfáltica en el suelo teniendo de esta forma humedades óptimas de 16.8%, 16.5% y 16.4% para un porcentaje de adición de 3%, 5% y 8 respectivamente.

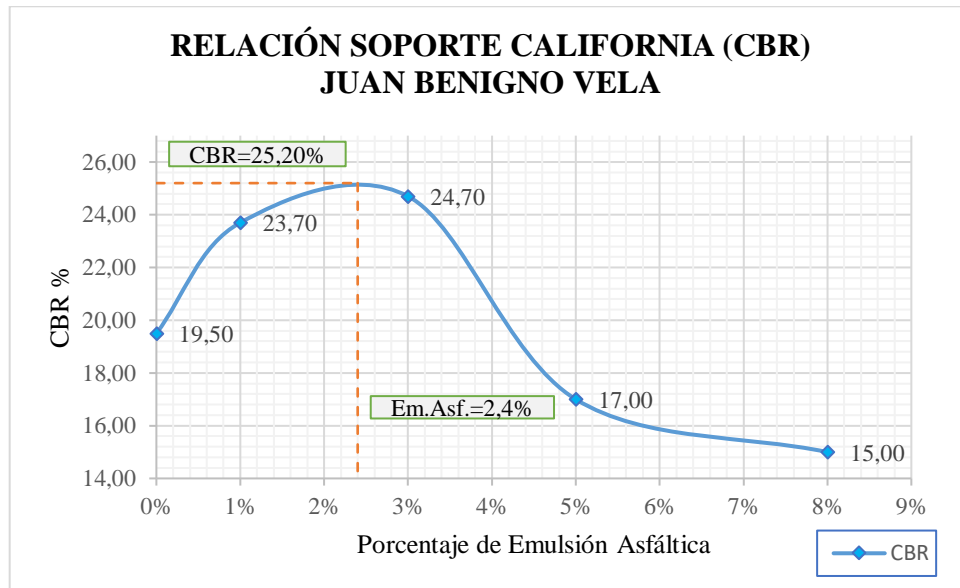
De acuerdo con lo graficado, obtenemos que las densidades secas máximas disminuyen su valor al tener porcentajes de adición de emulsión asfáltica mayores, ya que al incrementar la cantidad de emulsión con el suelo de subrasante el agua de la mezcla asfáltica también se incrementa sustituyendo al agua neta originando un descenso en las densidades secas y humedades óptimas.

## **b) Análisis de CBR**

Análisis gráfico de la Relación de Soporte California (CBR) vs el porcentaje de emulsión asfáltica añadido en el suelo de subrasante de la parroquia Juan Benigno Vela.



**Figura 31:** Relación de Soporte California (CBR), Juan Benigno Vela



Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo

Al analizar el gráfico se aprecia que el valor de CBR del suelo sin adición (0%) es de 19.50% mismo que incrementa su valor a 23.70% con el 1% de adición y con un 3% de emulsión asfáltica en el suelo el CBR se eleva a 24.70% pero, al exceder de esta cantidad de adición los CBR empiezan a disminuir su valor teniendo un CBR de 17.0% para el 5% de adición y 15.0% para el 8%.

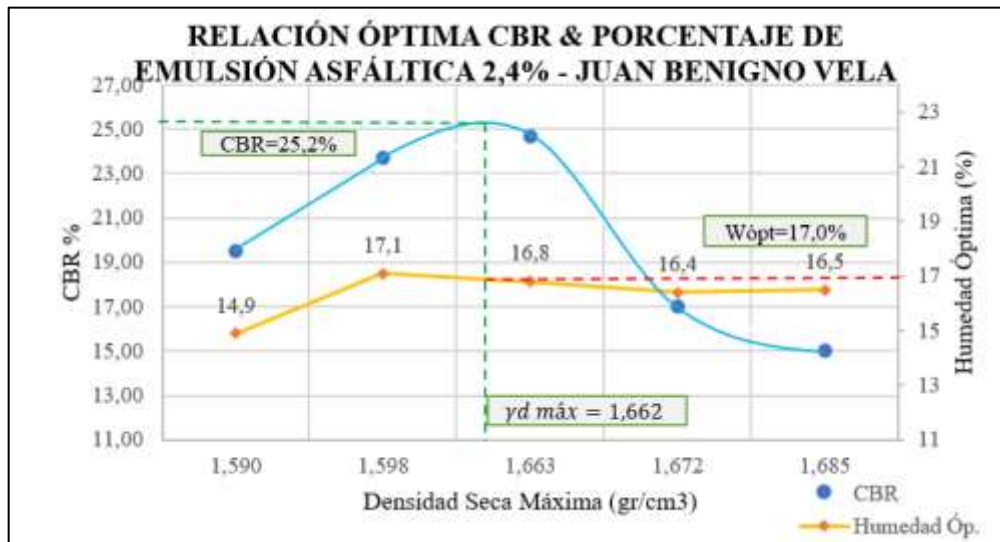
Además, según los datos graficados podemos observar que el valor óptimo de CBR encontrado es de 25.20% el cual se alcanza al agregar 2.4% de emulsión asfáltica en el suelo de subrasante, teniendo un incremento del 5.7% en el valor del CBR con respecto al valor del suelo en estado natural (19.50%).

Al ser el valor del CBR óptimo mayor al 20% (25.20%) se clasifica el suelo en cuestión como suelo de subrasante muy bueno de tipo S5 según la clasificación de Montejó [33].

### c) Análisis de CBR óptimo modificado

Análisis gráfico de la relación óptima para un CBR de 25.20% obtenido al incorporar el 2.4% de emulsión asfáltica con sus respectivos porcentajes de humedad óptimas vs las densidades secas máximas al 100% del suelo de subrasante proveniente de Juan Benigno Vela.

**Figura 32:** Relación óptima CBR de la parroquia Juan Benigno Vela



Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo

Al observar los datos graficados podemos determinar el valor óptimo de CBR (25.20%) el cual nos posibilita hallar los valores tanto de la densidad seca máxima como del porcentaje de humedad óptima debido a la relación que hay entre la densidad seca máxima y la humedad óptima y valor de CBR al 95%.

Por otro lado, la gráfica nos posibilita establecer que para alcanzar a un CBR óptimo de 25.20% al incorporar 2.4% de emulsión asfáltica al suelo de subrasante, es necesario

añadir agua en un 17.0% para llevar a cabo el ensayo Próctor y de esta manera alcanzar una densidad seca máxima de 1.662 gr/cm<sup>3</sup>.

#### **3.1.4. Análisis de los cambios en las Propiedades Mecánicas de la Subrasante de acuerdo con el valor de CBR**

Con los suelos de subrasante provenientes de las parroquias rurales del cantón Ambato como Izamba, Montalvo y Juan Benigno Vela se llevó a cabo estudios de sus propiedades mecánicas mediante ensayos CBR tanto del suelo en estado natural como del suelo modificado al añadirse distintos porcentajes de emulsión asfáltica.

De acuerdo con los datos obtenidos y el análisis de las gráficas tenemos que para el suelo de la parroquia Izamba al añadirse un 2.80% de emulsión asfáltica se alcanza un CBR de 36.60% teniendo de esta forma un incremento del 16.60% con respecto a su CBR del suelo en estado natural (20.00%) alcanzando una estabilidad en este suelo del 83%.

Por otro lado, para el caso del suelo de la parroquia Montalvo se tiene que, al añadirse 3.0% de emulsión asfáltica su CBR incrementa notablemente de un valor inicial de 14.70% a 32.50% lo cual representa una mejora en sus propiedades del 121%, teniendo para este suelo el mayor porcentaje de estabilización con respecto a las otras muestras de suelo.

Finalmente, con los datos obtenidos del CBR para el suelo de subrasante de Juan Benigno Vela el porcentaje de estabilización alcanzado es de 29.0% ya que el CBR del suelo natural es de 19.50% y se incrementa a 25.20% al incorporarse 2.40% de emulsión asfáltica representando de esta forma una estabilización del 29% siendo el suelo con menor

porcentaje de estabilización con respecto a los demás suelos en estudio como se muestra de manera resumida en la tabla presentada a continuación:

**Tabla 18:** Estabilización del suelo de subrasante

<b>Parroquia</b>	<b>CBR Natural</b>	<b>CBR Modificado</b>	<b>Emulsión Asfáltica</b>	<b>Incremento CBR</b>	<b>Estabilización</b>
Izamba	20,00%	36,60%	2,80%	16,60%	83%
Montalvo	14,70%	32,50%	3,00%	17,80%	121%
Juan Benigno Vela	19,50%	25,20%	2,40%	5,70%	29%

Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo

### 3.1.5. Análisis del Tráfico

Conocer el volumen de tránsito que circula por un espacio específico en un tiempo determinado es de suma importancia tanto para el diseño geométrico de una vía como para un proyecto vial, en este caso para el diseño de un pavimento que parte de datos reales obtenidos de la observación del tráfico en un punto específico de análisis.

Para determinar dicho volumen de tránsito se llevó a cabo un conteo de forma manual desde el día lunes 4 de Octubre al 10 de Octubre del 2021 en la carretera rural de conexión entre la parroquia Montalvo y el cantón Cevallos de la provincia de Tungurahua ya que de la parroquia Montalvo se extrajo la segunda muestra de suelo de subrasante. El conteo se llevó a cabo durante 7 días consecutivos a lo largo de 12 horas, desde las 6:00am hasta las 6:00pm en intervalos de 15 minutos en los dos sentidos, para de esta manera conocer la hora de mayor tránsito (hora pico). Los valores del conteo vehicular se los tiene en el apartado de Anexos C.5 Tráfico.

### 3.1.5.1. Tipos de Vehículos

Para el conteo vehicular se clasifica a los vehículos como livianos, buses y pesados en donde la MTOP clasifica a los pesados según sus dimensiones y pesos como se muestra en la tabla a continuación:

**Tabla 19:** Tipos de vehículos de carga pesada

TIPO	DISTRIBUCIÓN MÁXIMA DE CARGA POR EJE	DESCRIPCIÓN	PESOS MÁXIMOS PERMITIDOS (1)	LONGITUDES MÁXIMAS PERMITIDAS (m)		
				LARGO	ANCHO	ALTO
2DA			10	7,50	2,60	3,50
2DB			17	12,00	2,60	4,10
3-A			26	12,20	2,60	4,10
4-C			30	12,20	2,60	4,10
4-0 octopus			32	12,00	2,60	4,10
2S1			28	18,50	2,60	4,10
2S2			37	18,50	2,60	4,10
2S3			41	18,50	2,60	4,10
3S1			37	18,50	2,60	4,10
3S2			46	18,50	2,60	4,10
3S3			48	18,50	2,60	4,10
2R2			39	18,50	2,60	4,10
2R3			48	18,50	2,60	4,10

Fuente: Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTOP)

### 3.1.5.2. Cálculo del Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA)

Para obtener el TPDA se aplicó el método de la 30va hora por lo que se tiene que dividir el número de vehículos en la hora de mayor tránsito para un porcentaje que depende del tipo de vía que se tenga, para el caso de una vía urbana el porcentaje va de 8% a 12% y en el caso de una vía rural el porcentaje va de 12% a 18%. En este caso el conteo vehicular se llevó a cabo en una vía rural por lo que se tomará el valor de 15% como promedio del rango.

$$TPDA = \frac{VHP}{k}$$

Donde:

*TPDA = Tráfico Promedio Diario Anual*

*VHP = Volumen de vehículos durante la hora pico*

*k = Porcentaje de la 30va hora de diseño según el tipo de vía*

En la tabla a continuación se muestra el volumen de tráfico durante la hora de mayor tránsito (hora pico) del día de mayor tránsito determinando que el día de mayor tránsito es el jueves de 7:15 – 8:15 con un total de 666 vehículos.

**Tabla 20:** Volumen de tránsito durante la hora pico

HORA	LIVIANOS	BUSES	PESADOS						TOT. PESADOS	TOTAL
			2DA	2DB	3A	4C	3S2	3S3		
07:15-07:30	148	6	8	1	1	0	0	0	10	164
07:30-07:45	160	4	5	5	0	0	0	0	10	174
07:45-08:00	170	8	3	3	1	0	1	0	8	186
08:00-08:15	129	7	2	1	0	1	0	2	6	142
<b>Parcial</b>	<b>607</b>	<b>25</b>	<b>18</b>	<b>10</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>34</b>	<b>666</b>
<b>%30va Hora</b>	<b>15%</b>	<b>15%</b>	<b>15%</b>	<b>15%</b>	<b>15%</b>	<b>15%</b>	<b>15%</b>	<b>15%</b>	<b>15%</b>	<b>15%</b>
<b>TPDA</b>	<b>4047</b>	<b>167</b>	<b>120</b>	<b>67</b>	<b>13</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>13</b>	<b>227</b>	<b>4440</b>

Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo

- **Livianos**

$$TPDA_{actual} = \frac{\Sigma Parcial}{15\%} = \frac{607}{0.15}$$

$$TPDA_{actual} = 4047 \text{ veh\u00edculos/d\u00eda}$$

- **Buses**

$$TPDA_{actual} = \frac{\Sigma Parcial}{15\%} = \frac{25}{0.15}$$

$$TPDA_{actual} = 167 \text{ veh\u00edculos/d\u00eda}$$

- **Pesados**

$$TPDA_{actual} = \frac{\Sigma Parcial}{15\%} = \frac{34}{0.15}$$

$$TPDA_{actual} = 227 \text{ veh\u00edculos/d\u00eda}$$

### 3.1.5.3. C\u00e1lculo de Tr\u00e1fico Futuro – Tf

Para proyectar una v\u00eda es importante no hacerlo s\u00f3lo de acuerdo al tr\u00e1fico que se tiene actualmente, sino se lo debe hacer tomando en cuenta el incremento del tr\u00e1fico que se dar\u00e1 a futuro, este tiempo de proyecci\u00f3n puede ser de 10 a 20 a\u00f1os dependiendo la vida \u00fatil de la v\u00eda para la que se est\u00e1 proyectando. [35]

### **-Proyección de Tráfico Futuro (n)**

La proyección de tráfico futuro seleccionada es de 20 años ya que el análisis de tráfico se llevó a cabo en una carretera existente.

$$n = 20$$

### **-Cálculo del Tráfico Atraído - $T_a$**

Es el volumen de tráfico que puede transitar por la vía a futuro como vía alterna una vez que ésta sea pavimentada. [32] Se lo toma como el diez por ciento del tráfico promedio diario actual (TPDA).

$$T_a = 10\% * TPDA$$

#### **Livianos:**

$$T_{a_{livianos}} = 10\% * 4047$$

$$T_{a_{livianos}} = 405 \text{ veh\u00edculos/d\u00eda}$$

#### **Buses:**

$$T_{a_{buses}} = 10\% * 167$$

$$T_{a_{buses}} = 17 \text{ veh\u00edculos/d\u00eda}$$

#### **Pesados:**

$$T_{a_{pesados}} = 10\% * 227$$

$$T_{a_{pesados}} = 23 \text{ veh\u00edculos/d\u00eda}$$



### **-Cálculo del Tráfico Generado – Tg**

Se refiere al volumen de tráfico nuevo que se da debido al crecimiento social y económico en el sector cercano a la nueva vía al ser pavimentada. [32] El tránsito generado está comprendido entre el 5% y 25% del tránsito actual contemplado en 1 o 2 años después de la habilitación de la vía.

$$Tg = 25\% * TPDA$$

#### **Livianos:**

$$Tg_{livianos} = 25\% * 4047$$

$$Tg_{livianos} = 1012 \text{ veh\u00edculos/d\u00eda}$$

#### **Buses:**

$$Tg_{buses} = 25\% * 167$$

$$Tg_{buses} = 42 \text{ veh\u00edculos/d\u00eda}$$

#### **Pesados:**

$$Tg_{pesados} = 25\% * 227$$

$$Tg_{pesados} = 57 \text{ veh\u00edculos/d\u00eda}$$

### **-Cálculo del Tráfico por Desarrollo – Td**

Es el tráfico resultado de la implementación de zonas de explotación situadas en el territorio de la influencia de la vía como al incrementarse la producción de las tierras aledañas, implementación de vías, industrias y población en general. [32] Se calcula tomando el 5% del tráfico existente.

$$Td = 5\% * TPDA$$

#### **Livianos:**

$$Td_{livianos} = 5\% * 4047$$

$$Td_{livianos} = 202 \text{ veh\u00edculos/d\u00eda}$$

#### **Buses:**

$$Td_{buses} = 5\% * 167$$

$$Td_{buses} = 8 \text{ veh\u00edculos/d\u00eda}$$

#### **Pesados:**

$$Td_{pesados} = 5\% * 227$$

$$Td_{pesados} = 11 \text{ veh\u00edculos/d\u00eda}$$

### -Cálculo del Tráfico Actual - Tac

Este tráfico actual es el resultado que se obtiene al sumar el tráfico promedio diario actual, el tráfico atraído, el tráfico generado y el tráfico por desarrollo como se muestra en la tabla a continuación con los datos obtenidos.

**Tabla 21:** Tráfico Actual

TRÁFICO ACTUAL									
TRÁFICO	LIVIANOS	BUSES	PESADOS						TOT. PESADOS
			2DA	2DB	3A	4C	3S2	3S3	
TPDA	4047	167	120	67	13	7	7	13	227
Tráfico Atraído	405	17	12	7	1	1	1	1	23
Tráfico Generado	1012	42	30	17	3	2	2	3	57
Tráfico Desarrollo	202	8	6	3	1	0	0	1	11
<b>Tráfico Actual</b>	<b>5666</b>	<b>234</b>	168	94	18	10	10	18	<b>317</b>

Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo

$$T_{ac} = TPDA + T_a + T_g + T_d$$

### -Proyección del tráfico o Tráfico Futuro – Tf

Para calcular este tráfico es necesario fundamentarse en el volumen de tráfico actual, así como también en el crecimiento de tránsito que se pronostica de acuerdo a las tasas de crecimiento poblacional en un período de proyección determinado (n), para lo cual se expresa la siguiente ecuación: [7]

$$T_f = T_{ac} * (1 + i)^n$$

$Tf$  = tráfico futuro o proyectado

$Tac$  = tráfico actual

$i$  = índice de crecimiento vehicular

$n$  = período de proyección en años

**Tabla 22:** Índice de Crecimiento Vehicular

PERÍODO	TIPOS DE VEHÍCULOS		
	LIVIANOS %	BUSES %	PESADOS %
2015-2020	3,44	1,17	2,90
2020-2025	3,1	1,05	2,61
2025-2030	2,82	0,96	2,38
2030-2035	2,82	0,96	2,38
2035-2040	2,82	0,96	2,38
2040-2045	2,82	0,96	2,38

Fuente: Ministerio de Transporte y Obras Públicas, MTOP 2015

**Livianos:**

$$Tf_{livianos} = 5666 * (1 + 0.0282)^{20}$$

$$Tf_{livianos} = 9882 \text{ veh\u00edculos/d\u00eda}$$

**Buses:**

$$Tf_{buses} = 234 * (1 + 0.0096)^{20}$$

$$Tf_{buses} = 283 \text{ veh\u00edculos/d\u00eda}$$

**Pesados:**

$$Tf_{pesados} = 318 * (1 + 0.0238)^{20}$$

$$Tf_{pesados} = 516 \text{ veh\u00edculos/d\u00eda}$$

**Tráfico Futuro Total:**

$$Tf_{total} = (9882 + 283 + 516)vehículos/día$$

$$Tf_{total} = 10681 vehículos/día$$

**3.1.5.4. Factor de Daño – FD**

El factor de daño o de equivalencia nos permite cuantificar los efectos que se producen en el pavimento debido a las cargas de los vehículos pesados que transitan sobre éste tomando en cuenta cada eje del vehículo.

**Tabla 23:** Factor de Daño

FACTOR DE DAÑO SEGÚN EL TIPO DE CAMIÓN									
TIPO	SIMPLE		SIMPLE DOBLE		TANDEM		TRIDEM		FACTOR DE DAÑO
	P (Tons)	(P/6.6)^4	P (Tons)	(P/6.6)^4	P (Tons)	(P/6.6)^4	P (Tons)	(P/6.6)^4	
BUS	4	0,13	8	0,91					1,04
2D	3	0,04							0,17
	4	0,13							
2DA	3	0,04	7	0,53					0,57
2DB	7	1,27	11	3,24					4,51
3A	7	1,27			20	3,16			4,43
4C	7	1,27					24	1,19	2,46
3S2	7	1,27			20	6,32			7,59
3S3	7	1,27			20	3,16	24	1,19	5,62

Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo

**3.1.5.5. Ejes Equivalentes**

Definir el número total de ejes equivalentes que requerirá el pavimento en diseño, así como conocer el factor de daño nos permite conocer la susceptibilidad ante posibles

sobrecargas o variaciones de carga que se puedan presentar, así como prever los impactos en los espesores de diseño. [37]

Se calcula el número de ejes equivalentes de 8.2 Ton (18kips) empleando la siguiente fórmula propuesta por la AASHTO-93:

$$W_{18} = TPDA_{final} * FD * 365$$

$W_{18}$  = Número de ejes equivalentes

$TPDA_{final}$  = Tránsito promedio diario anual (para el período de diseño)

$FD$  = Factor de daño

### **-Ejes Equivalentes Futuro W18**

$$W_{18-2040} = TPDA_{2040} * FD * 365$$

$$W_{18-2040} = (283 * 1.04 + 276 * 0.57 + 150 * 4.51 + 29 * 4.43 + 16 * 2.46 + 16 * 7.59 + 29 * 5.62) * 365$$

$$W_{18-2040} = 577029$$

$$W_{18-2041} = W_{18-2040} + W_{18-acumulado}$$

$$W_{18-2041} = 577029 + 9403446$$

$$W_{18-2041} = 9980475$$

### **-Factor de Distribución por Dirección**

Al tener dos direcciones en esta carretera (ida y regreso), se considera el 50% del  $W_{18}$  para cada dirección tanto de ida como de vuelta. [37]

### **-Factor de Distribución por Carril**

Una carretera puede tener varios carriles en una misma dirección, por lo que se debe tomar un porcentaje de vehículos por carril de la siguiente manera: [37]

para 1 carril se toma el 100%

para 2 carriles se toma del 80% al 100%

para 3 carriles se toma del 60% al 80%

para 4 o más carriles se toma del 50% al 75%

Para este caso, se tiene un carril para cada dirección por lo que se toma el 100% para el carril de diseño como se muestra a continuación:

**Tabla 24:** Ejes Equivalentes

AÑO	% CRECIMIENTO (i)			TRÁFICO FUTURO (veh/día)									EJES EQUIVALENTES		
	Livianos	Buses	Pesados	Livianos	Buses	2DA	2DB	3A	4C	3S2	3S3	TPDA TOT	Acumulado	Por Sentido	Carril de Diseño
2021	3,10	1,05	2,61	5666	234	168	94	18	10	10	18	6218	381228	190614	190614
2022	3,10	1,05	2,61	5842	236,5	172,4	96	18	10	10	18	6404	771020	385510	385510
2023	3,10	1,05	2,61	6023	238,9	182	102	19	11	11	19	6604	1174798	587399	587399
2024	3,10	1,05	2,61	6209	241,4	186	110	19	11	11	19	6807	1596772	798386	798386
2025	3,10	1,05	2,61	6402	244	191	122	20	11	11	20	7021	2043221	1021610	1021610
2026	2,82	0,96	2,38	6511	245	194	106	20	11	11	20	7119	2466313	1233157	1233157
2027	2,82	0,96	2,38	6695	248	199	108	21	12	12	21	7314	2898152	1449076	1449076
2028	2,82	0,96	2,38	6884	250	203	111	21	12	12	21	7514	3338933	1669466	1669466
2029	2,82	0,96	2,38	7078	253	208	113	22	12	12	22	7720	3788856	1894428	1894428
2030	2,82	0,96	2,38	7277	255	213	116	22	12	12	22	7931	4248125	2124063	2124063
2031	2,82	0,96	2,38	7483	257	218	119	23	13	13	23	8148	4716951	2358475	2358475
2032	2,82	0,96	2,38	7694	260	223	122	23	13	13	23	8371	5195546	2597773	2597773
2033	2,82	0,96	2,38	7911	262	229	125	24	13	13	24	8601	5684132	2842066	2842066
2034	2,82	0,96	2,38	8134	265	234	128	24	14	14	24	8836	6182931	3091465	3091465
2035	2,82	0,96	2,38	8363	267	240	131	25	14	14	25	9079	6692173	3346086	3346086
2036	2,82	0,96	2,38	8599	270	245	134	26	14	14	26	9328	7212093	3606047	3606047
2037	2,82	0,96	2,38	8841	273	251	137	26	15	15	26	9584	7742932	3871466	3871466
2038	2,82	0,96	2,38	9091	275	257	140	27	15	15	27	9847	8284935	4142468	4142468
2039	2,82	0,96	2,38	9347	278	263	144	27	15	15	27	10117	8838354	4419177	4419177
2040	2,82	0,96	2,38	9611	281	270	147	28	16	16	28	10395	9403446	4701723	4701723
2041	2,82	0,96	2,38	9882	283	276	150	29	16	16	29	<b>10681</b>	9980475	4990238	<b>4990238</b>

Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo



### 3.1.6. Diseño del Pavimento Flexible según el método AASHTO 93

A continuación, se llevará a cabo el diseño de dos pavimentos flexibles de acuerdo al método AASHTO 93, el primer diseño se lo desarrollará para el suelo en estado natural, es decir sin ningún porcentaje de adición de emulsión asfáltica y el segundo diseño corresponde para el suelo de subrasante modificado al contener un determinado porcentaje de emulsión asfáltica con el cual alcanza su mayor valor CBR.

El diseño se lo realizará para el suelo proveniente de la parroquia de Montalvo ya que es el suelo que mayor porcentaje de estabilización presentó al añadirse emulsión asfáltica en un 3.0% con respecto a las muestras de suelo de las distintas parroquias en estudio como de Izamba y Juan Benigno Vela.

El porcentaje de estabilización que se obtuvo es del 121% como se muestra a continuación los valores de CBR alcanzados en este suelo tanto en estado natural como al incorporarse emulsión asfáltica:

**Tabla 25:** CBR para el diseño del pavimento

N° DISEÑO	MUESTRA SUELO (Montalvo)	%CBR	% EMULSIÓN ASFÁLTICA
1	Natural	14.70	0%
2	Modificado	32.50	3%

Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo

### 3.1.6.1. Datos para el diseño del pavimento

#### -Fórmula de Diseño del pavimento según la AASHTO 93

La AASHTO propone una fórmula para determinar el espesor del pavimento flexible y sus capas tomando en cuenta no sólo datos sino algunos coeficientes que permiten diseñar el pavimento con un nivel adecuado en cuanto al riesgo teniendo así:

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R * S_o + 9.36 * \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10}(\Delta PSI)}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32$$
$$* \log_{10}(M_R) - 8.07$$

Donde:

$W_{18}$  = número de aplicaciones de cargas de 80KN

$Z_R$  = abcisa correspondiente a un área igual a la confiabilidad  $R$   
en la curva de distribución normalizada

$S_o$  = desvío estándar de las variables

$SN$  = número estructural

$\Delta PSI$  = pérdida de serviciabilidad prevista en el diseño

$M_R$  = módulo resiliente de la subrasante

### **-Período de Análisis**

El período de análisis que se ha tomado es de 20 años ya que el análisis se lleva a cabo en una carretera rural existente.

### **-Ejes Equivalentes**

De acuerdo al cálculo de ejes equivalentes según la AASHTO 93 se tiene para este proyecto un valor de 4990238 para el carril de diseño.

### **-Confiabilidad**

Es importante que en el diseño del pavimento se seleccione un nivel adecuado de confiabilidad de acuerdo al uso que se requiere del pavimento para tener una relación adecuada entre el costo inicial del pavimento, su serviciabilidad y los costos de reparación que éste requerirá. [37]

A continuación, se presentan las tablas propuestas por la AASHTO para determinar los niveles de confiabilidad según el tipo y funcionalidad de vía que se tenga, así como los datos seleccionados para el diseño de acuerdo a los datos para este proyecto:

**Tabla 26:** Nivel de Confiabilidad

TIPO DE CAMINO	CONFIABILIDAD RECOMENDADA	
	ZONA URBANA	ZONA RURAL
Rutas interestatales y autopistas	85-99.9	80-99.9
Arterias principales	80-99	75-99
Colectoras	80-95	75-95
Locales	50-80	50-80

Fuente: Guía de Diseño de Pavimentos 1993, AASHTO

**Tabla 27:** Desviación Estándar Normal

Nivel de confiabilidad R (%)	50	60	70	75	80	85	90	91	92
Desviación Estándar Normal Zr	0.000	-0.253	-0.524	-0.674	-0.841	-1.037	-1.282	-1.340	-1.405

Nivel de confiabilidad R (%)	93	94	95	96	97	98	99	99.9	99.99
Desviación Estándar Normal Zr	-1.476	-1.555	-1.645	-1.751	-1.881	-2.054	-2.327	-3.090	-3.750

Fuente: Guía de Diseño de Pavimentos 1993, AASHTO

**Tabla 28:** Desviación Estándar Global

Proyecto de Pavimento	So	
	Flexible	Rígido
	0.40-0.50	0.30-0.40
Construcción Nueva	0.45	0.35
Sobre capas existentes	0.50	0.40

Fuente: Guía de Diseño de Pavimentos 1993, AASHTO

De acuerdo con los datos seleccionados de la vía en cuestión para el diseño tenemos que:

**Tabla 29:** Factores seleccionados para el diseño

<b>Tipo de pavimento</b>	Flexible
<b>R (%)</b>	80
<b>Zr</b>	-0.841
<b>Zo</b>	0.45

Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo

### -Índice de Serviciabilidad

Este índice de serviciabilidad PSI, se refiere a la capacidad de utilidad que presenta el pavimento en diseño frente a la clase de tráfico esperado y puede ser un valor de 0 si no cumple con las condiciones requeridas o 5 si las cumple, teniendo una serviciabilidad tanto inicial como final. [37]

**Tabla 30:** Índice de Serviciabilidad

<b>Tipo de Pavimento</b>	<b>Serviciabilidad Inicial</b>	<b>Tipo de Camino</b>	<b>Serviciabilidad Final</b>
Rígido	4.5	Muy importantes	2.5
Flexible	4.2	De menor tránsito	2.0

Fuente: Guía de Diseño de Pavimentos 1993, AASHTO

$$\Delta PSI = P_o - P_f$$

$$\Delta PSI = \text{Serviciabilidad}$$

$$P_o = \text{Serviciabilidad Inicial}$$

$$P_f = \text{Serviciabilidad Final}$$

$$\Delta PSI = P_o - P_f$$

$$\Delta PSI = 4.2 - 2.5$$

$$\Delta PSI = 1.7$$

**-Coeficiente de Drenaje, m<sub>2</sub>, m<sub>3</sub>**

La guía de diseño de pavimentos recomienda tomar en cuenta el tiempo al que el pavimento se ve expuesto a la humedad y la pérdida de serviciabilidad debido al hielo y deshielo, así como la probabilidad de la expansión que puede darse en la subrasante. [37]

Para el diseño se considera que al año en Ambato llueve un total de 72 días, donde el agua de las capas granulares es eliminada en 7 días aproximadamente por lo que se tienen los siguientes datos:

**Tabla 31:** Calidad de drenaje

Calidad del drenaje	Agua eliminada en
Excelente	2 horas
Buena	1 día
<b>Regular</b>	<b>1 semana</b>
Pobre	1 mes
Deficiente	agua no drenada

Fuente: Guía de Diseño de Pavimentos 1993, AASHTO

$$\% \text{ días de lluvia} = \frac{\# \text{ días}}{365 \text{ días}} \times 100 = \frac{72 \text{ días}}{365 \text{ días}} \times 100 = 20\%$$

**Tabla 32:** Coeficientes de drenaje (m<sub>2</sub>, m<sub>3</sub>)

Calidad de drenaje	% de tiempo en que la estructura del pavimento está expuesta a niveles de humedad cercanos a la saturación			
	menos 1%	1-5%	5-25%	más 25%
Excelente	1,40-1,35	1,35-1,30	1,30-1,20	1,2
Buena	1,35-1,25	1,25-1,15	1,15-1,00	1
<b>Regular</b>	1,25-1,15	1,15-1,05	<b>1,00-0,80</b>	0,8
Pobre	1,15-1,05	1,05-0,80	0,80-0,60	0,6
Deficiente	1,05-0,95	0,95-0,75	0,75-0,40	0,4

Fuente: Guía de Diseño de Pavimentos 1993, AASHTO

\*Se toma como coeficientes de drenaje el valor intermedio de 0.90

### **-Módulo de Resiliencia, Mr**

Según la correlación con el CBR propuesta por la AASHTO, tenemos las siguientes ecuaciones:

$$Mr_{(psi)} = 1500 \times CBR \text{ para } CBR < 10\% \text{ (sugerida por AASHTO)}$$

$$Mr_{(psi)} =$$

$$3000 \times CBR^{0.65} \text{ para } CBR \text{ de } 10\% \text{ a } 20\% \text{ (ecuación desarrollada en Sudáfrica)}$$

$$Mr_{(psi)} = 4326 \times \ln CBR + 241 \text{ (empleada para suelos granulares, guía AASHTO)}$$

### **-Diseño 1: Suelo en estado natural**

El valor de CBR obtenido para el suelo de subrasante en estado natural es de 14.70% y el módulo resiliente se obtiene con la segunda ecuación:

$$Mr_{(psi)} = 3000 \times CBR^{0.65}$$

$$Mr_{(psi)} = 3000 \times (14.70)^{0.65}$$

$$Mr_{(psi)} = 17214psi = 17.214 ksi$$

### **-Diseño 2: Suelo con adición de emulsión asfáltica**

El valor de CBR obtenido para el suelo de subrasante con adición de emulsión asfáltica es de 32.50% y el módulo resiliente se obtiene con la ecuación presentada a continuación:

$$Mr_{(psi)} = 3000 \times CBR^{0.65}$$

$$Mr_{(psi)} = 3000 \times (32.50)^{0.65}$$

$$Mr_{(psi)} = 28831psi = 28.831 ksi$$

### -Coeficiente estructural de la carpeta asfáltica (a1)

Para determinar el coeficiente estructural de la carpeta asfáltica a1, emplearemos la Estabilidad Marshall en libras tomando en cuenta los criterios de diseño para mezclas que se muestran a continuación:

Al tener un TPDA del proyecto de 10681 de acuerdo con el tipo de vías según el TPDA establecido por la MTOP se lo clasifica como tráfico pesado por lo que se toma una estabilidad mínima de 1800 lb.

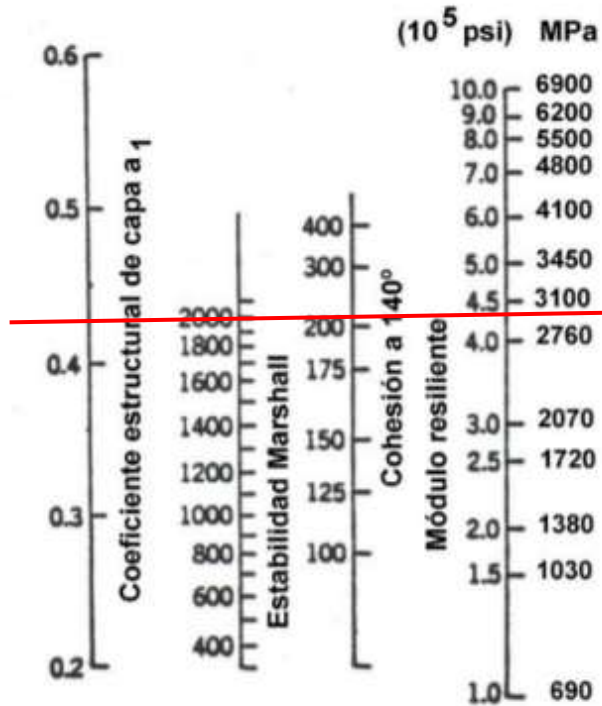
**Tabla 33:** Criterios de diseño para mezclas Marshall

Criterio de Mezcla	Tráfico ligero		Tráfico medio		Tráfico pesado		Muy pesado	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Min.	Máx	Min.	Máx
Número de golpes en cada cara de la probeta	35		50		75		75	
Estabilidad en libras	750		1200		1800		2200	
Flujo en centésimas de pulgada	8	28	8	16	8	16	8	14
Porcentaje de vacíos	3	5	3	5	3	5	3	5
Porcentaje de vacíos rellenos de asfalto	70	80	65	78	65	75	65	75
Relación Filler/Betun					0,8	1,2	0,8	1,2
Porcentaje de vacíos en agregados minerales	Ver tabla							

Fuente: Manual (MS-2), The Asphalt Institute's



**Figura 33:** Coeficientes estructurales para la carpeta asfáltica relacionada con varios ensayos



Fuente: Guía de Diseño de Pavimentos 1993, AASHTO

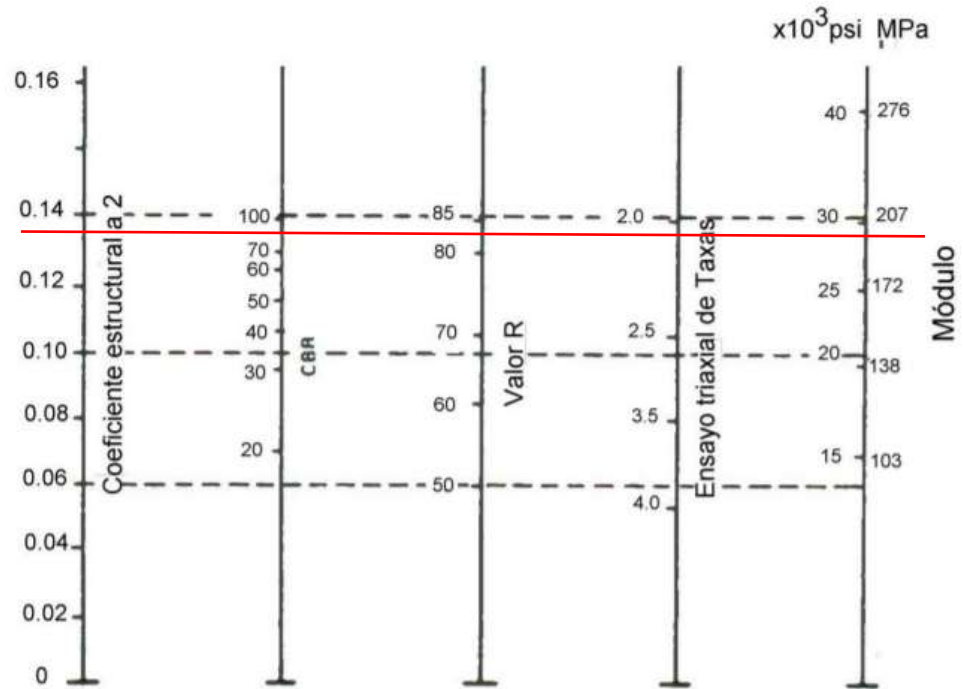
La Estabilidad Marshall que se tiene es de 2000 lb, obteniendo un coeficiente estructural  $a_1$  de 0.42 y un módulo resiliente de 430000 psi (430 ksi).

**-Coeficiente estructural de la base granular (a<sub>2</sub>)**

De acuerdo con la MTOP y sus especificaciones, recomienda que el CBR mínimo para base es 80%, en este caso se toma una base de clase 2 (50% del material cribado) al tener un valor de TPDA de 10681 (entre 8000 y 50000) y se estima un valor de CBR de 90%.

[10]

**Figura 34:** Coeficiente estructural para la base relacionada con varios ensayos



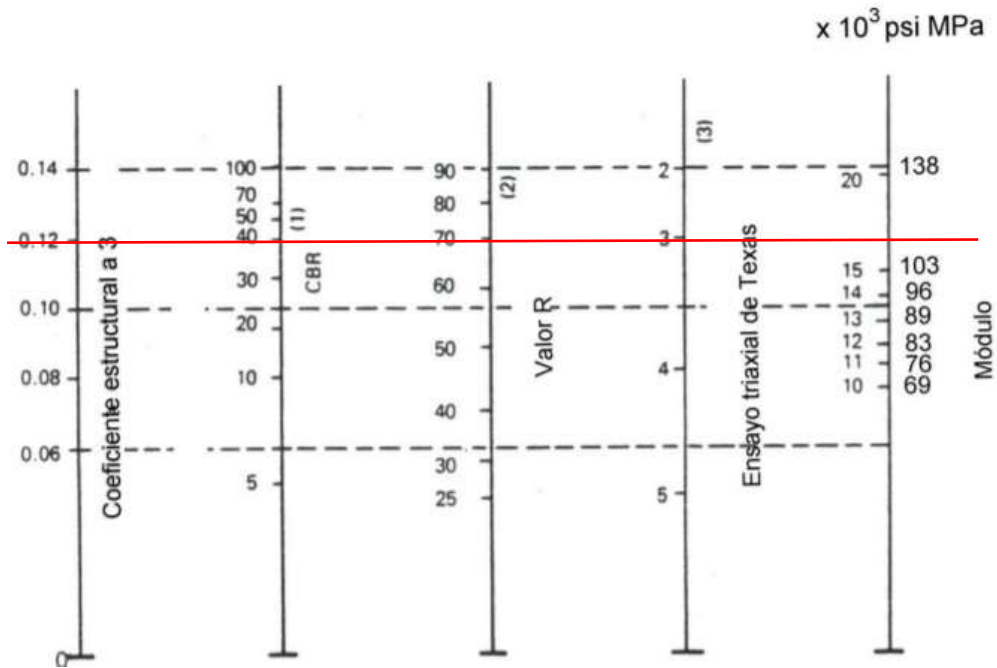
Fuente: Guía de Diseño de Pavimentos 1993, AASHTO

El coeficiente estructural  $a_2$  es de 0.135 y su módulo resiliente es de 29000 psi (29 ksi).

### -Coeficiente estructural de la subbase granular ( $a_3$ )

De acuerdo con la MTOP y sus especificaciones [10], recomienda que el CBR mínimo para subbase sea de 30%, en este caso tomamos un CBR de 40% tomando en cuenta el TPDA del proyecto.

**Figura 35:** Coeficiente estructural para la subbase granular relacionada con distintos parámetros resistentes



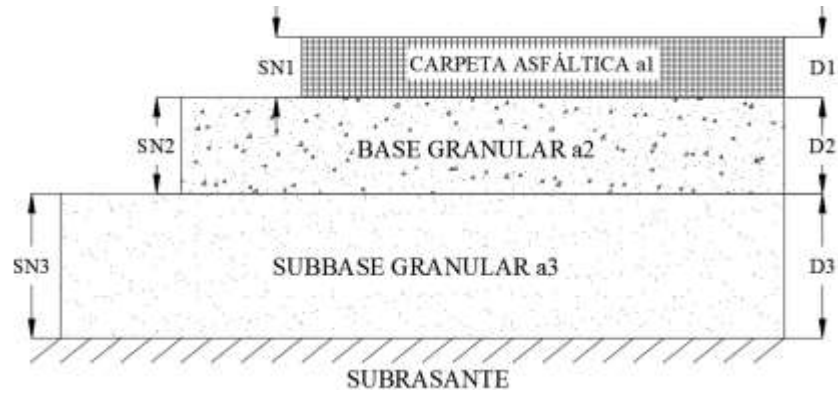
Fuente: Guía de Diseño de Pavimentos 1993, AASHTO

El coeficiente estructural  $a_3$  es de 0.12 y su módulo resiliente es de 17000 psi (17 ksi).

### -Número Estructural (SN)

El número estructural se refiere al valor del espesor total que requiere la estructura del pavimento para soportar las cargas y sollicitaciones requeridas tomando en cuenta los parámetros encontrados anteriormente como el tránsito, módulo de resiliencia, la confiabilidad, la desviación estándar y el índice de serviciabilidad aplicados en la siguiente fórmula propuesta por la AASHTO 93 [37] determinando así los espesores de cada capa:

**Figura 36:** Estructura del pavimento flexible



Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo

$$SN = SN_1 + SN_2 + SN_3$$

$$SN = a_1 * D_1 + a_2 * D_2 * m_2 + a_3 * D_3 * m_3$$

Donde:

$a_1, a_2$  y  $a_3$  = Coeficientes de la carpeta, base y subbase respectivamente.

$D_1, D_2$  y  $D_3$  = Espesor de la carpeta, base y subbase respectivamente.

$m_2$  y  $m_3$  = Coeficientes de drenaje para base y subbase respectivamente.

Para el cálculo de los espesores  $D_1$  y  $D_2$  en plg, se sugiere tomar en cuenta los valores mínimos que se presentan en la tabla a continuación en base al valor de ejes equivalentes sencillos acumulados  $W_{18}$ . En el presente proyecto se tiene un valor para  $W_{18}$  de 4990238.

**Tabla 34:** Espesores mínimos en base al tráfico

Tráfico, $W_{18}$	Concreto asfáltico, $D_1$	Base granular, $D_2$
< 50,000	2,5 cm	10 cm
50,000-15,000	5,0 cm	10 cm
150,000-500,000	6,5 cm	10 cm
500,000-2'000,000	7,5 cm	15 cm
2'000,000-7'000,000	9,0 cm	15 cm
> 7'000,000	10,0 cm	15 cm

Fuente: Guía de Diseño de Pavimentos 1993, AASHTO

Al tener un valor de  $W_{18}$  entre 2'000.000 y 7'000.000 se tiene un espesor mínimo para la carpeta asfáltica  $D_1$  de 9.0 cm y para la base granular un espesor mínimo  $D_2$  de 15 cm.

### 3.1.6.2. Diseño del pavimento flexible 1, Subrasante en estado natural

El valor de CBR obtenido para el suelo de subrasante en estado natural proveniente de la parroquia Montalvo es de 14.70%. Para el primer diseño del pavimento flexible se empleará una hoja de Excel en base al diseño de pavimentos flexibles por el método AASHTO-93 y un programa en base a la ecuación propuesta por la AASHTO-93 para encontrar el valor del número estructural.

**Tabla 35:** Parámetros para el Diseño 1

<b>DISEÑO 1</b>	
<b>PARÁMETROS DE DISEÑO</b>	<b>VALORES</b>
Período de análisis (n)	20 años
Ejes Equivalentes ( $W_{18}$ )	4990238
Nivel de Confiabilidad (R)	85%
Desviación Estándar Normal ( $Z_r$ )	-1,037
Desviación Estándar Global ( $S_o$ )	0,45
Serviciabilidad Inicial ( $P_o$ )	4,2
Serviciabilidad Final ( $P_f$ )	2,5
Coeficiente de drenaje base ( $m_2$ )	0,9
Coeficiente de drenaje subbase ( $m_3$ )	0,9
<b>CBR de la Subrasante</b>	<b>14,70%</b>
Módulo Resiliente de la Subrasante ( $M_r$ )	17,214 ksi
Coeficiente Estructural de la Carpeta Asfáltica ( $a_1$ )	0,42
Módulo de Elasticidad de la Carpeta Asfáltica	430 ksi
Coeficiente Estructural de la Base ( $a_2$ )	0,135
Módulo de Elasticidad de la Base	29 ksi
Coeficiente Estructural de la Subbase ( $a_3$ )	0,12
Módulo de Elasticidad de la Subbase	17 ksi

Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo

**Figura 37:** Diseño de Pavimento 1, programa AASHTO-93

Ecuación AASHTO 93

Tipo de Pavimento  
 Pavimento flexible  Pavimento rígido

Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)  
85 % Zr=-1.037 So 0.45

Serviciabilidad inicial y final  
PSI inicial 4.2 PSI final 2.5

Módulo resiliente de la subrasante  
Mr 17214 psi

Información adicional para pavimentos rígidos  
Módulo de elasticidad del concreto - Ec (psi) Coeficiente de transmisión de carga - (J)  
Módulo de rotura del concreto - Sc (psi) Coeficiente de drenaje - (Cd)

Tipo de Análisis  
 Calcular SN **W18 = 4990238**  
 Calcular W18

Número Estructural  
**SN = 3.17**

Calcular Salir

Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo

El programa nos da un valor de 3.17 para el número estructural (SN).

**Tabla 36:** Diseño de Pavimento Flexible 1 - AASHTO 93

<b>DATOS DE ENTRADA :</b>			
<b>1. CARACTERISTICAS DE MATERIALES</b>			<b>DATOS</b>
A. MODULO DE ELASTICIDAD DE LA MEZCLA ASFALTICA (ksi)			430,00
B. MODULO DE ELASTICIDAD DE LA BASE GRANULAR (ksi)			29,00
C. MODULO DE ELASTICIDAD DE LA SUB-BASE (ksi)			17,00
<b>2. DATOS DE TRAFICO Y PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE</b>			
A. NUMERO DE EJES EQUIVALENTES TOTAL (W18)			4.990.238
B. FACTOR DE CONFIABILIDAD (R)			85%
DESVIACION ESTANDAR NORMAL (Zr)			-1,037
DESVIACION ESTANDAR GLOBAL (So)			0,45
C. MODULO DE RESILIENCIA DE LA SUBRASANTE (Mr, ksi)			17,21
D. SERVICIABILIDAD INICIAL (pi)			4,2
E. SERVICIABILIDAD FINAL (pt)			2,5
F. PERIODO DE DISEÑO (Años)			20
<b>3. DATOS PARA ESTRUCTURACION DEL REFUERZO</b>			
A. COEFICIENTES ESTRUCTURALES DE CAPA			
Concreto Asfáltico Convencional (a <sub>1</sub> )			0,420
Base granular (a <sub>2</sub> )			0,135
Subbase (a <sub>3</sub> )			0,120
B. COEFICIENTES DE DRENAJE DE CAPA			
Base granular (m <sub>2</sub> )			0,900
Subbase (m <sub>3</sub> )			0,900
<b>DATOS DE SALIDA :</b>			
NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO TOTAL (SN <sub>REQ</sub> )	<b>3,16</b>		
NUMERO ESTRUCTURAL CARPETA ASFALTICA (SN <sub>CA</sub> )	<b>2,59</b>		
NUMERO ESTRUCTURAL BASE GRANULAR (SN <sub>BG</sub> )	<b>0,59</b>		
NUMERO ESTRUCTURAL SUB BASE (SN <sub>SB</sub> )	<b>-0,02</b>		
<b>ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO</b>			
		<b>PROPUESTA</b>	
	TEORICO	ESPESOR	SN*
ESPESOR CARPETA ASFALTICA (cm)	15,7 cm	<b>10,0 cm</b>	1,65
ESPESOR BASE GRANULAR (cm)	12,3 cm	<b>15,0 cm</b>	0,72
ESPESOR SUB BASE GRANULAR (cm)	-0,5 cm	<b>20,0 cm</b>	0,85
ESPESOR TOTAL (cm)		<b>45,0 cm</b>	<b>3,22</b>
DISEÑADO POR : <i>Erika Samantha Gavilanes Pozo</i>			<i>fm</i>

Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo

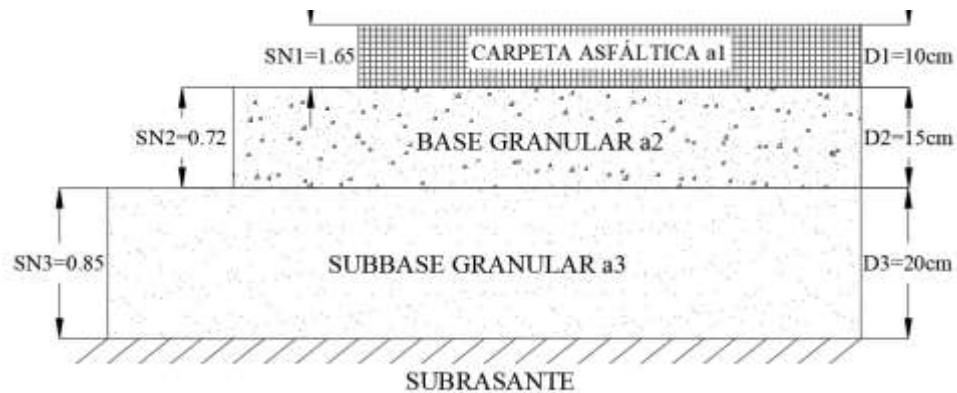
Los espesores calculados de cada capa de la estructura del pavimento para el suelo de subrasante en estado natural de la parroquia Montalvo con un CBR de 14.70% son:

-Carpeta Asfáltica: 10 cm

-Base Granular: 15 cm

-Subbase Granular: 20 cm

**Figura 38:** Diseño de Pavimento Flexible 1



Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo

### **3.1.6.3. Diseño del pavimento flexible 2, Subrasante con adición de emulsión asfáltica**

El valor de CBR obtenido para el suelo de subrasante modificado con emulsión asfáltica proveniente de la parroquia Montalvo es de 32.50%. Para el segundo diseño del pavimento flexible se empleará una hoja de Excel en base al diseño de pavimentos flexibles por el método AASHTO-93 y un programa en base a la ecuación propuesta por la AASHTO-93 para encontrar el valor del número estructural.



**Tabla 37:** Parámetros para el Diseño 2

<b>DISEÑO 2</b>	
<b>PARÁMETROS DE DISEÑO</b>	<b>VALORES</b>
Período de análisis (n)	20 años
Ejes Equivalentes (W18)	4990238
Nivel de Confiabilidad (R)	85%
Desviación Estándar Normal (Zr)	-1,037
Desviación Estándar Global (So)	0,45
Serviciabilidad Inicial (Po)	4,2
Serviciabilidad Final (Pf)	2,5
Coeficiente de drenaje base (m2)	0,9
Coeficiente de drenaje subbase (m3)	0,9
<b>CBR de la Subrasante</b>	<b>32,50%</b>
Módulo Resiliente de la Subrasante (Mr)	28,831
Coeficiente Estructural de la Carpeta Asfáltica (a1)	0,42
Módulo de Elasticidad de la Carpeta Asfáltica	430 ksi
Coeficiente Estructural de la Base (a2)	0,135
Módulo de Elasticidad de la Base	29 ksi
Coeficiente Estructural de la Subbase (a3)	0,12
Módulo de Elasticidad de la Subbase	17 ksi

Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo

**Figura 39:** Diseño de Pavimento 2, programa AASHTO-93

The screenshot shows the 'Ecuación AASHTO 93' software interface. It is configured for flexible pavement design with the following parameters:

- Tipo de Pavimento:** Pavimento flexible (selected).
- Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So):** 85% (Zr=-1.037) and So = 0.45.
- Serviciabilidad inicial y final:** PSI inicial = 4.2, PSI final = 2.5.
- Módulo resiliente de la subrasante:** Mr = 28831 psi.
- Información adicional para pavimentos rígidos:** Empty input fields for concrete modulus and drainage coefficient.
- Tipo de Análisis:** Calcular SN (selected).
- Número Estructural:** SN = 2.60.
- W18:** 4990238.

Buttons for 'Calcular' and 'Salir' are visible at the bottom.

Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo

**Tabla 38:** Diseño de Pavimento Flexible 2 - AASHTO 93

<b>DATOS DE ENTRADA :</b>			
<b>1. CARACTERISTICAS DE MATERIALES</b>			<b>DATOS</b>
A. MODULO DE ELASTICIDAD DE LA MEZCLA ASFALTICA (ksi)			430,00
B. MODULO DE ELASTICIDAD DE LA BASE GRANULAR (ksi)			29,00
C. MODULO DE ELASTICIDAD DE LA SUB-BASE (ksi)			17,00
<b>2. DATOS DE TRAFICO Y PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE</b>			
A. NUMERO DE EJES EQUIVALENTES TOTAL (W18)			4.990.238
B. FACTOR DE CONFIABILIDAD (R)			85%
DESVIACION ESTANDAR NORMAL (Zr)			-1,037
DESVIACION ESTANDAR GLOBAL (So)			0,45
C. MODULO DE RESILIENCIA DE LA SUBRASANTE (Mr, ksi)			28,83
D. SERVICIABILIDAD INICIAL (pi)			4,2
E. SERVICIABILIDAD FINAL (pt)			2,5
F. PERIODO DE DISEÑO (Años)			20
<b>3. DATOS PARA ESTRUCTURACION DEL REFUERZO</b>			
A. COEFICIENTES ESTRUCTURALES DE CAPA			
Concreto Asfáltico Convencional (a <sub>1</sub> )			0,420
Base granular (a <sub>2</sub> )			0,135
Subbase (a <sub>3</sub> )			0,120
B. COEFICIENTES DE DRENAJE DE CAPA			
Base granular (m <sub>2</sub> )			0,900
Subbase (m <sub>3</sub> )			0,900
<b>DATOS DE SALIDA :</b>			
NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO TOTAL (SN <sub>REQ</sub> )	<b>2,59</b>		
NUMERO ESTRUCTURAL CARPETA ASFALTICA (SN <sub>CA</sub> )	<b>2,59</b>		
NUMERO ESTRUCTURAL BASE GRANULAR (SN <sub>BG</sub> )	<b>0,59</b>		
NUMERO ESTRUCTURAL SUB BASE (SN <sub>SB</sub> )	<b>-0,59</b>		
<b>ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO</b>			
		<b>PROPUESTA</b>	
	TEORICO	ESPESOR	SN*
ESPESOR CARPETA ASFALTICA (cm)	15,7 cm	<b>10,0 cm</b>	1,65
ESPESOR BASE GRANULAR (cm)	12,3 cm	<b>15,0 cm</b>	0,72
ESPESOR SUB BASE GRANULAR (cm)	-13,9 cm	<b>15,0 cm</b>	0,64
ESPESOR TOTAL (cm)		<b>40,0 cm</b>	<b>3,01</b>
DISEÑADO POR : Erika Samantha Gavilanes Pozo			<i>fm</i>

Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo

La subrasante al ser modificada y contener emulsión asfáltica tendrá un espesor el cual se lo calcula mediante la diferencia de los números estructurales encontrados anteriormente; para encontrar este número estructural, se conserva el valor de drenaje utilizado para los diseños anteriores y el coeficiente estructural se selecciona en base a la condición de la subrasante a modificar como se muestra en la tabla a continuación [37]:

**Tabla 39:** Coeficientes recomendados para subrasante mejorada

Coeficiente estructural de la capa subrasante mejorada	Condición para reemplazar
0,024	Subrasante muy pobre y pobre, por una subrasante regular con CBR 6-10%
0,03	Subrasante muy pobre y pobre, por una subrasante buena con CBR 11-19%
0,037	Subrasante muy pobre y pobre, por una subrasante muy buena con CBR $\geq 20\%$
0,035	subrasante regular, con adición mínima de 3% de cal en peso de suelo

Fuente: Diseño estructural de pavimentos hidráulicos y asfálticos, MSc Ing. Marco Montalvo Farfán

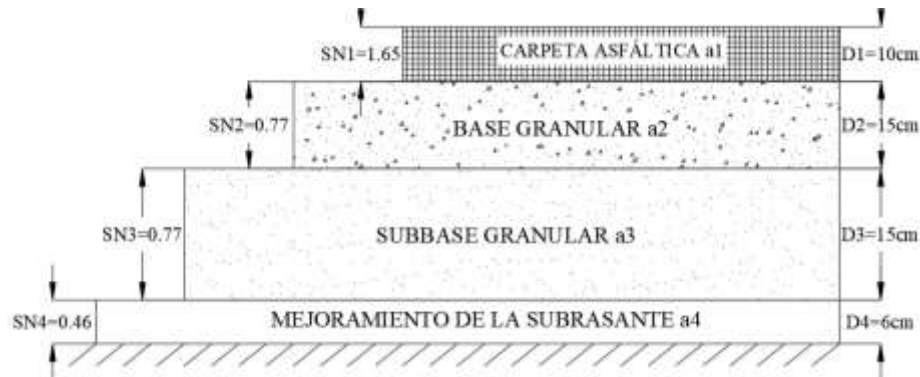
$$E = \frac{\Delta SN}{a_4 * m_4} = \frac{SN_{DISEÑO 1} - SN_{DISEÑO 2}}{0.037 * 0.9}$$

$$E = \frac{3.22 - 3.01}{0.037 * 0.9} = 5.11cm \cong 6cm$$

El suelo de subrasante modificado al incorporarse un 3% de emulsión asfáltica alcanza un CBR de 32.50% teniendo de esta forma los siguientes espesores para las capas que conforman el pavimento:

- Carpeta asfáltica: 10 cm
- Base granular: 15 cm
- Subbase granular: 15 cm
- Mejoramiento de subrasante: 6 cm

**Figura 40:** Diseño de Pavimento Flexible 2



Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo

### 3.1.6.4. Análisis del Diseño del Pavimento Flexible 1 y 2

Con los datos obtenidos de diseño y con los valores de CBR tanto para el suelo de subrasante como para el suelo modificado al añadirse emulsión asfáltica, tenemos una diferencia entre los espesores de las subbases granulares como se muestra a continuación:

**Tabla 40:** Espesores de las capas del pavimento

Capas del Pavimento	Diseño 1	Diseño 2
Carpeta asfáltica	10 cm	10 cm
Base granular	15 cm	15 cm
Subbase granular	20 cm	15 cm
Espesor total	<b>45 cm</b>	<b>40 cm</b>

Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo

Con los espesores obtenidos de cada capa de la estructura del pavimento flexible tanto para el diseño 1 que se trata del suelo de subrasante en estado natural, como para el diseño 2 con suelo de subrasante modificada al incorporarse emulsiones asfálticas, se aprecia una reducción en el espesor de la subbase granular, donde se tiene una disminución total de 5cm de espesor de la estructura del pavimento con respecto al primer diseño.

### 3.1.7. Análisis Económico

Para el análisis económico se ha considerado los rubros de la carpeta asfáltica, base clase II, subbase clase III y el mejoramiento de la subrasante para los dos diseños de pavimento flexible y de esta forma establecer una comparación entre los costes de estos diseños tomando en cuenta que los espesores de la subbase difieren en cada diseño y cómo esta diferencia a su vez repercute en el coste total.

Para realizar el análisis de precios unitarios se ha tomado como referencia los APUs del proyecto “Diseño Geométrico de la Vía Nuevo Porvenir, perteneciente a la parroquia Moraspungo, cantón Cotopaxi” donde en el apartado de anexos se puede visualizar de forma detallada cada uno de los rubros que se han considerado para el análisis.

A continuación, se tabula el presupuesto para cada diseño de pavimento flexible considerando una carretera de mediana capacidad con un ancho de la vía de 7.30 m (3.65m por carril) para una distancia de 1 km. En el primer diseño se toma la subrasante en estado natural debidamente compactada presentando un CBR de 14.7% el cual se obtuvo en laboratorio; por otro lado, para el segundo diseño se considera el mejoramiento de la subrasante empleando emulsión asfáltica para de esta forma elevar el valor de CBR a 32.50%.

**Tabla 41: Presupuesto – Diseño 1**

<b>DISEÑO 1 -PRESUPUESTO</b>					
<b>RUBRO N°</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECIO UNITARIO</b>	<b>TOTAL</b>
1	Capa de rodadura de hormigón asfáltico mezclado en planta de e=10 cm	m2	7300	10,05	73365,00
2	Base clase II	m3	1095	17,93	19633,35
3	Subbase clase III	m3	1460	15,21	22206,60
				<b>TOTAL</b>	<b>115204,95</b>

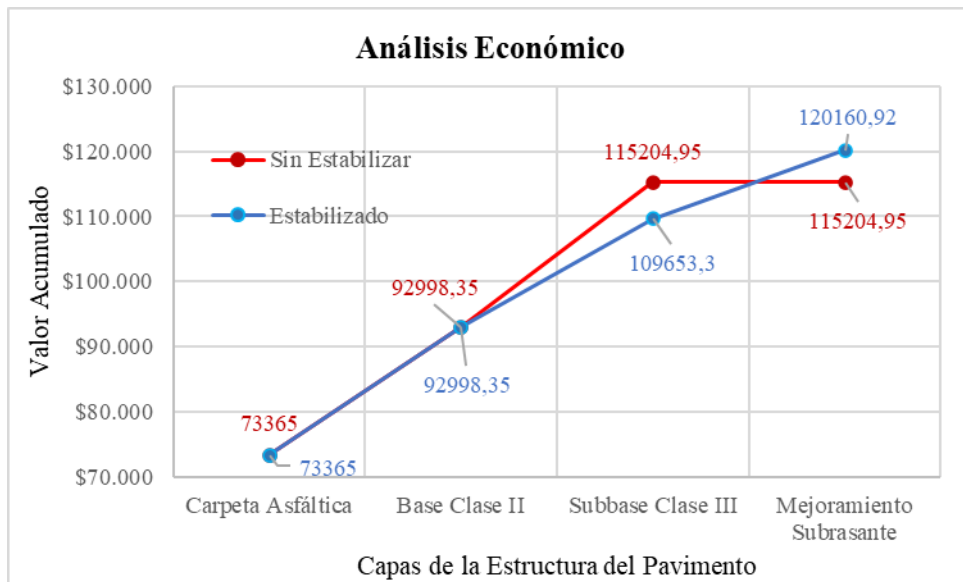
Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo

**Tabla 42:** Presupuesto – Diseño 2

DISEÑO 2 -PRESUPUESTO					
RUBRO N°	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
1	Capa de rodadura de hormigón asfáltico mezclado en planta de e=10cm	m2	7300	10,05	73365,00
2	Base clase II	m3	1095	17,93	19633,35
3	Subbase clase III	m3	1095	15,21	16654,95
				<b>TOTAL</b>	109653,30
4	Mejoramiento de la subrasante con emulsión asfáltica	m3	438	23,99	10507,62
				<b>TOTAL</b>	120160,92

Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo

**Figura 41:** Análisis Económico



Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo

Mediante la gráfica podemos apreciar la diferencia de costos existente entre los diseños de pavimento los cuales difieren además en los espesores de la subbase y la subrasante mejorada; tenemos el diseño 1 que se trata del suelo en estado natural y el diseño 2 con suelo estabilizado.

Para el primer diseño no se considera el mejoramiento de la subrasante sino únicamente los precios de la carpeta asfáltica que tiene un costo de \$73,365.00 para los dos diseños al tener el mismo espesor; de igual forma, para la base clase II al tener el mismo espesor en los dos casos el costo es de \$92,998.35 ; sin embargo, para la subbase clase III la diferencia económica es de \$5,551.65 siendo el diseño 2 (subrasante modificada) más económico que el diseño 1 ya que el espesor de la capa de subbase es menor siendo directamente proporcional con el costo del diseño.

Sin embargo, en lo que se refiere a la estabilización de la subrasante el diseño 2 ahora se tiene un incremento económico en relación con el diseño 1 ya que el material empleado para modificar la subrasante (emulsión asfáltica) representa un costo adicional por m<sup>3</sup> que se emplee, este incremento de costo es de \$4,955.97 con respecto al costo del diseño 1.

Con el análisis y comparación económica ejecutada tanto numérica como gráficamente, se estima que el diseño 2 resulta más económico con respecto al diseño 1 siempre y cuando se considere únicamente la carpeta asfáltica, la base clase II y subbase case III ya que, al incorporar emulsión asfáltica en la subrasante con fines estabilizantes, el diseño 1 resulta más económico, pero se mantendrían las propiedades físicas- mecánicas del suelo natural.

### **3.2.Verificación de la Hipótesis**

**3.2.1.** De acuerdo con los resultados obtenidos en laboratorio en la ejecución del ensayo California Bearing Ratio (CBR) para los suelos de subrasante provenientes de las parroquias de Izamba, Montalvo y Juan Benigno Vela se toma como verdadera la hipótesis que la adición de emulsión asfáltica en estos suelos ocasiona un aumento en su valor de CBR y por ende su capacidad de carga y resistencia al esfuerzo de corte es superior.

- Izamba, 20.00% de CBR inicial a 36.60%
- Montalvo, 14.70% de CBR inicial a 32.50%
- Juan Benigno Vela, 19.50% de CBR inicial a 25.20%

**3.2.2.** Al diseñar los pavimentos flexibles para los dos escenarios planteados, el primero para el suelo en estado natural y el segundo escenario para el suelo de subrasante modificado, se certifica que al adicionarse emulsión asfáltica los espesores de las capas que conforman el pavimento reducen sus espesores.

- Carpeta asfáltica se mantiene en 10 cm
- Base granular clase II se mantiene en 15cm
- Subbase clase III de 20 cm a 15 cm

**3.2.3.** En función del análisis económico ejecutado para los dos diseños de pavimento flexible tanto con una subrasante natural como para la subrasante modificada con fines estabilizantes, se exhibe un ahorro económico como resultado directo de la disminución de los espesores de las capas del pavimento (subbase), pero el empleo de emulsión asfáltica representa un incremento en el presupuesto por lo cual se rechaza la hipótesis al no tener un ahorro monetario.

- Ahorro económico como resultado de la disminución de espesor de la subbase: \$5,551.65
- Aumento económico al emplearse emulsión asfáltica con fines estabilizantes de la subrasante: \$4,955.97



## CAPÍTULO IV

### 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1. Conclusiones

- 4.1.1 Se concluyó en laboratorio que el contenido de humedad natural que presentan los suelos para Izamba (2.67%), Montalvo (21.15%) y Juan Benigno Vela (9.33%) siendo el suelo proveniente de la parroquia de Montalvo el que posee una alta capacidad de absorción y retención del agua en comparación con los otros suelos donde su humedad natural es relativamente baja.
- 4.1.2 La gravedad específica para los suelos de Izamba, Montalvo y Juan Benigno vela presentan valores de 2.50, 2.60 y 2.56 respectivamente permitiéndonos establecer que se tratan de suelos granulares con presencia de materia orgánica al tener una gravedad específica en un rango de 2.50 a 2.60.
- 4.1.3 De acuerdo con las densidades secas y húmedas obtenidas in situ con el método del cono y arena de Ottawa se tiene para el suelo de Izamba una densidad seca de 1.549 gr/cm<sup>3</sup> y una densidad húmeda de 1.591 gr/cm<sup>3</sup>. Para el suelo de Montalvo se obtuvo una densidad seca de 1.272 gr/cm<sup>3</sup> y una densidad húmeda de 1.541 gr/cm<sup>3</sup> y en lo que corresponde al suelo de Juan Benigno Vela, su densidad seca es 1.370 gr/cm<sup>3</sup> y su densidad húmeda de 1.498 gr/cm<sup>3</sup>.
- 4.1.4 Mediante el análisis granulométrico ejecutado para las tres muestras de suelo se clasifica según la AASHTO a estos suelos como gravas con presencia de arena limosa del subgrupo A-2-4, los cuales presentan una adecuada distribución de sus partículas ya que se tiene unos coeficientes de uniformidad mayor a 3.0

demostrado además que, son suelos granulares al tener más del 35% de la muestra retenido en el tamiz #200.

- 4.1.5 Se determinó mediante el análisis granulométrico según la SUCS que las tres muestras de suelo se clasifican como arenas limosas (SM) cumpliendo que más del 50% de la muestra total de los suelos es retenido por el tamiz #200.
- 4.1.6 De acuerdo con los resultados obtenidos en laboratorio con el ensayo Próctor, así como de las densidades in situ, se estableció que los grados de compactación natural se encuentran en los rangos de 94-100% para el suelo de Izamba, 76-80% para el suelo de Montalvo y 81-86% para el suelo de la parroquia Juan Benigno Vela.
- 4.1.7 Según los resultados obtenidos de la ejecución de los ensayos Próctor, se tiene para las tres muestras de suelo ensayadas que las humedades óptimas aumentan para el 1% de adición de emulsión asfáltica pero luego disminuyen debido a la presencia de agua que forma parte de la mezcla la cual reemplaza ligeramente al agua neta añadida para el ensayo.
- 4.1.8 Se concluyó que, al incorporar emulsión asfáltica al suelo de subrasante, se tiene efectos estabilizantes y un incremento significativo en lo que se refiere a los valores de CBR teniendo un CBR de 20% para el suelo natural y un CBR de 36.60% para el suelo estabilizado alcanzando un incremento de 16.60% para el suelo de Izamba. Para el suelo de Montalvo, se tiene un CBR de 14.70% inicial y un CBR de 32.50% al incorporarse emulsión asfáltica teniendo un incremento en el valor de CBR del 17.80%. Así mismo, para el suelo de Juan Benigno Vela, su CBR es 19.50% sin estabilizar y al estabilizar el CBR es 25.20%, teniendo un incremento del 5.70%.

- 4.1.9 Se determinó que el porcentaje óptimo de emulsión asfáltica a ser adicionado es aproximadamente 3% para las muestras analizadas, para alcanzar los máximos valores CBR. Además, se observa que para el 3% de emulsión en cada una de las muestras se obtiene la mayor densidad seca máxima en el ensayo de Proctor Modificado.
- 4.1.10 Según el diseño de pavimentos ejecutado en base al método AASHTO 93 se tiene para el suelo en estado natural un espesor total de 45cm, 10cm de carpeta asfáltica, 15cm de base granular y 20cm de subbase granular. Por otro lado, para el diseño con suelo de subrasante estabilizada se tiene un espesor de pavimento total de 40cm, 10cm de carpeta asfáltica, 15cm de base granular y 15cm de subbase tomando en cuenta los valores de TPDA y CBR del proyecto.
- 4.1.11 De acuerdo con el diseño de pavimentos flexibles ejecutados para los dos escenarios, se determinó que existe una reducción en los espesores de la capa de subbase que forma parte de la estructura del pavimento al tener una subrasante estabilizada con emulsión asfáltica, alcanzando una disminución total de 5cm del espesor del pavimento con respecto al diseño con suelo natural.
- 4.1.12 Se concluyó que la estabilización de subrasante empleando emulsión asfáltica representa un incremento de \$4,955.97 el cual representa el 4.3% del costo total del pavimento sin estabilizar. Este incremento se justifica con el aumento de resistencia y durabilidad del pavimento que se obtiene al estabilizar su subrasante.

## **4.2.Recomendaciones**

- 4.2.1.** Se recomienda leer y examinar las normativas de los ensayos previo a su ejecución para asegurarse de cumplir con los materiales, equipos, requerimientos y procesos evitando errores en la práctica y resultados.
- 4.2.2.** Al momento de recolectar las muestras de las distintas calicatas se recomienda almacenarlas en sacos de lona correctamente identificados y en un lugar libre de los agentes atmosféricos para evitar que su humedad se altere y tomar una pequeña muestra en fundas plásticas para obtener la humedad natural del suelo.
- 4.2.3.** Para el ensayo de gravedad específica y granulometría se recomienda lavar y secar la muestra preliminarmente para que el suelo se encuentre libre de materia orgánica y los resultados y pesos no se vean influenciados por este tipo de material.
- 4.2.4.** Se recomienda que el suelo esté totalmente seco previo a los ensayos de Próctor para obtener la humedad óptima real de cada muestra del suelo, así como también previo a los ensayos de CBR para que la cantidad de agua contenida no sea mayor a la humedad óptima calculada.
- 4.2.5.** Se recomienda incorporar la emulsión asfáltica en el suelo y removerla manualmente por un tiempo considerable para asegurarse que el material se encuentre distribuido de forma homogénea en toda la muestra de suelo y no se adhiera al recipiente.
- 4.2.6.** Al incorporar la emulsión asfáltica en el suelo se recomienda dejar reposar la mezcla de suelo más emulsión asfáltica mínimo 5 horas previo a los ensayos ya que la emulsión empleada es de rompimiento lento y el agua contenida en la emulsión debe fraguar.

**4.2.7.** Se recomienda el uso de emulsiones asfálticas en suelos granulares que tengan características similares a los de las muestras de estudio, considerando que, aunque el costo incrementa un 4.3% se obtendrá un mejor comportamiento en resistencia y durabilidad.

## Bibliografía

- [1] A. M. Fonseca, A. Montejo Piratova y A. Montejo Piratova, Estabilización de Suelos, Bogotá: Ediciones de la U, 2018.
- [2] A. I. T. García, «Propuesta metodológica para la evaluación y mejoramiento con emulsión asfáltica de los materiales granulares existentes en las vías terciarias.,» 29 Julio 2014. [En línea]. Available: <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/12229/PROPUESTA%20METODOL%20GICA%20PARA%20LA%20EVALUACION%20Y%20MEJORAMIENTO%20CON%20EMULSION%20ASFALTICA%20Y%20CEMENTO%20DE%20LOS%20MATERIALES%20GRANULARES%20EXISTENTES>. [Último acceso: Junio 2021].
- [3] F. R. A. Rezza y C. E. Soriano Ochoa, Análisis Comparativo de Estabilización con Cemento Portland y Emulsión Asfáltica en Bases Granulares, Lima, Perú: Universidad Ricardo Palma , 2019.
- [4] E. A. D. Hidalgo, Estabilización de Suelos con Emulsión Asfáltica para el empleo en Subbases y Bases, Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, 2018.
- [5] R. R. Talavera, V. M. Castaño Meneses y M. Martínez Madrid, Emulsiones Asfálticas, Safandila: U.N.A.M, 2001.
- [6] F. D. R. Alvarado, Bases Estabilizadas con Emulsión Asfáltica para Pavimentos, Quito: UCE , 2013.
- [7] J. M. Campana, Mantenimiento Vial, Informe Sectorial, CAF, 2010.
- [8] E. J. Badillo, Mecánica de Suelos I, LIMUSA, 1978.

- [9] W. F. Quiroz, "Comparación entre la estabilización de suelos con emulsión asfáltica y la estabilización de suelos con diésel para determinar cuál estabilización proporciona mayor densidad aparente y relación de soporte CBR", Ambato: UTA, 2017.
- [10] M. d. O. P. MOP, Especificaciones Generales, Quito, 2002.
- [11] W. A. L. Rivas, Suelo, Guía de prácticas simplificadas en campo y laboratorio, Colombia: Universidad Piloto de Colombia, 2018.
- [12] Anónimo, «GPL,» 19 Noviembre 2011. [En línea]. Available: [https://www.um.es/sabio/docs-cmsweb/materias-may25-45/tema\\_6.pdf](https://www.um.es/sabio/docs-cmsweb/materias-may25-45/tema_6.pdf). [Último acceso: Junio 2021].
- [13] J. A. P. Madrazo, S. D. Cavia y C. T. García, La Tierra como material de construcción, Santander: Universidad de Cantabria, 2010.
- [14] J. J. S. Llano, Mecánica de Suelos, Barcelona: Edición de Técnicos Asociados, 1975.
- [15] C. Villalaz, Mecánica de Suelos y Cimentaciones, Monterrey: LIMUSA, 1980.
- [16] A. A. o. S. H. a. T. Officials, Clasificación de Suelos, Estados Unidos: AASHTO, 1928.
- [17] M. G. Caballero, El Terreno, Barcelona: Ediciones UPC, 2001.
- [18] C. Kraemer, J. Pardillo, S. Rocci, M. Romana, V. Sánchez Blanco y M. Á. del Val, Ingeniería de Carreteras Volumen II, Madrid: Mc Graw Hill, 2004.
- [19] P. A. Y. S. Delgado, Propiedades Físicas y Mecánicas de los Suelos, Villavicencio: Corporación Universitaria del Meta, 2014.
- [20] A. d. I. Civil, «Apuntes de Ingeniería Civil,» Blogger.com, 7 Marzo 2011. [En línea]. Available: <https://apuntesingenierocivil.blogspot.com/2011/03/iii-analisis-granulometrico-curva-y.html>. [Último acceso: Junio 2021].

- [21] J. C. Z. Cardona, «Universidad Nacional de Colombia,» 22 Julio 2008. [En línea]. Available:  
<http://gfnun.unal.edu.co/fileadmin/content/gruposdeinvestigacion/fisicanuclear/Tesis/JCZamoraTG08.pdf>. [Último acceso: Julio 2021].
- [22] Geologiaweb, «Ingeniería Geológica,» GeologiaWeb, 2015. [En línea]. Available:  
<https://geologiaweb.com/ingenieria-geologica/resistencia-corte-suelos/>. [Último acceso: Julio 2021].
- [23] D. Graux, Fundamentos de Mecánica del Suelo, Barcelona: Editores Técnicos Asociados , 1975.
- [24] C. C. Cahuaya, «Densidad de Campo,» Slideshare, 17 Septiembre 2013. [En línea]. Available:  
<https://es.slideshare.net/kriscclementecahuaya/densidad-de-campo-todo-del-cono-de-arena>. [Último acceso: Julio 2021].
- [25] W. A. B. Díaz, Manual de procedimientos de ensayos de suelos y memoria de cálculo, Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada, 2015.
- [26] A. R. Rodríguez, La Ingeniería de los Suelos, México: LIMUSA, 2005.
- [27] G. D. Escobar, Geomecánica, Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2016.
- [28] A. M. Fonseca, A. Montejo Piratova y A. Montejo Piratova, Estabilización de Suelos, Colombia: Ediciones de la U, 2018.
- [29] C. C. Villalaz, Vías de Comunicación 3° edición, México: LIMUSA, 2004.
- [30] F. H. Garrido y A. Moreno Vega, Ingeniería de Vías, España: Mundi-Prensa, 2019.
- [31] G. Makusa, State of the Art Review Soil Stabilization Methods and Materials in Engineering Practice, Suiza: Lulea University of Technology, 2013.
- [32] H. A. R. Quintana y F. A. Reyes Lizcano, Pavimentos, Bogotá: Ecoe Ediciones, 2015.





- [33] A. M. Fonseca, Ingeniería de Pavimentos, Colombia: Universidad Católica de Colombia, 2002.
- [34] F. G. Márquez, El Topógrafo Descalzo, México: PAX México, 2005.
- [35] M. A. F. Jalca, B. S. Bravo Mera, V. E. Guachisaca Contento y E. A. Jaramillo Pintado, Elementos Originales en el Diseño Geométrico de Carreteras, España: Área de Innovación y Desarrollo S.L, 2017.
- [36] B. M. C. Quispe, Gravedad Específica de los Sólidos, Perú: UNCP, 2014.
- [37] A. A. o. S. H. a. Transportation, Diseño de Pavimentos AASHTO-93, Estados Unidos: NHI, 2006.
- [38] R. R. Talavera, V. M. Castaño Meneses y M. Martínez Madrid, Emulsiones Asfálticas, Sanfandila: Instituto Mexicano de Transporte, 2001.

# **Anexos**

# **Anexos**



## **C.1 Ensayos de la Parroquia Izamba**

## Anexo 1: Contenido de Humedad

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO EXPERIMENTAL DE TITULACIÓN 			
<b>TEMA:</b>	"Estudio del efecto de la adición de emulsión asfáltica en las propiedades físico - mecánicas de suelos granulares, para el diseño de pavimentos flexibles"		
<b>ENSAYO:</b>	CONTENIDO DE HUEMDAD Y RELACIONES FUNDAMENTALES DEL SUELO		
	<b>NORMATIVA:</b> AASHTO T265 , ASTM S2216-71, INEN 690		
<b>DATOS DE LA MUESTRA:</b>			
<b>Provincia:</b>	Tungurahua	<b>Coordenada X:</b>	9865160.5 UTM 17S
<b>Cantón:</b>	Ambato	<b>Coordenada Y:</b>	769826.6
<b>Parroquia:</b>	Izamba	<b>Profundidad:</b>	60 cm
<b>Fecha:</b>	jul-21	<b>ID Muestra:</b>	M1
<b>DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD (W%)</b>			
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>VALOR</b>	
Muestra N°		<b>1</b>	<b>2</b>
Peso muestra húmeda + recipiente	gr	184,90	185,20
Peso muestra seca + recipiente	gr	180,80	181,30
Peso del recipiente	gr	31,10	31,70
Peso del agua (Ww)	gr	4,10	3,90
Peso de la muestra seca (Ws)	gr	149,70	149,60
Contenido de humedad (W%)	%	2,74	2,61
Promedio del contenido de humedad (W%)	%	<b>2,67</b>	
<b>DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN DE VACÍOS e</b>			
Volumen del agua (Vw)	cm <sup>3</sup>	4,10	
Volumen del suelo (Vs)	cm <sup>3</sup>	56,47	
Volumen del aire (Va)	cm <sup>3</sup>	36,00	
Volumen de la masa (Vm)	cm <sup>3</sup>	96,57	
Volumen de vacíos (Vv)	cm <sup>3</sup>	40,10	
Relación de vacíos		<b>0,71</b>	
<b>DETERMINACIÓN DE LA POROSIDAD (n%)</b>			
Porosidad	%	<b>41,53</b>	
<b>DETERMINACIÓN DEL GRADO DE SATURACIÓN DEL AGUA (Gw%)</b>			
Grado de saturación del agua	%	<b>10,22</b>	
<b>DETERMINACIÓN DEL GRADO DE SATURACIÓN DEL AIRE (Ga%)</b>			
Grado de saturación del aire	%	<b>89,78</b>	
<b>DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO</b>			
El contenido de humedad natural obtenido para esta muestra es de 2,67%			
<b>Realizado por:</b>	<b>Revisado por:</b>		
Samantha Gavilanes	Ing. Favio Portilla		



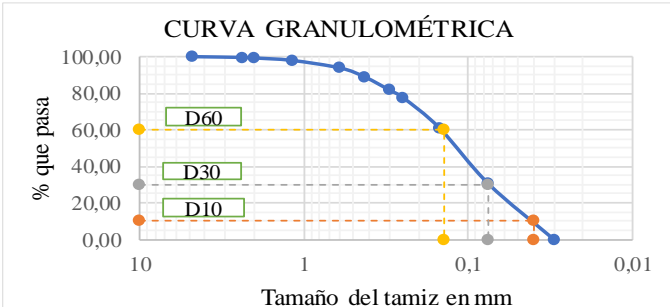
Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo

## Anexo 2: Densidad in situ – Cono y Arena

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO EXPERIMENTAL DE TITULACIÓN		
<b>TEMA:</b> “Estudio del efecto de la adición de emulsión asfáltica en las propiedades físico - mecánicas de suelos granulares, para el diseño de pavimentos flexibles”			
<b>ENSAYO:</b> DENSIDAD EN CAMPO, MÉTODO DE CONO Y ARENA DE OTTAWA			
<b>NORMATIVA:</b> AASHTO T-205, ASTM D2167			
<b>DATOS DE LA MUESTRA:</b>			
<b>Provincia:</b>	Tungurahua	<b>Coordenada X:</b> 9865160.5 UTM 17S	
<b>Cantón:</b>	Ambato	<b>Coordenada Y:</b> 769826.6	
<b>Parroquia:</b>	Izamba	<b>Profundidad:</b> 60 cm	
<b>Fecha:</b>	jul-21	<b>ID Muestra:</b> M1	
<b>DETERMINACIÓN DEL PESO DEL SUELO EXTRAÍDO</b>			
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>VALOR</b>	
Peso del suelo + recipiente	gr	1054	
Peso del recipiente	gr	3,30	
Peso de la masa de suelo (Wm)	gr	1050,70	
<b>DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DEL HUECO EN EL SUELO</b>			
Lectura inicial del frasco + cono + arena	gr	7193	
Lectura final frasco + cono + arena	gr	5747	
Peso arena en el cono	gr	401	
Peso arena en el hueco	gr	1045	
Calibración de la arena de Ottawa	gr/cm <sup>3</sup>	1,582	
Volumen del hueco (Vm)	cm <sup>3</sup>	660,56	
<b>DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD (W%)</b>			
Muestra N°		<b>1</b>	<b>2</b>
Peso muestra húmeda + recipiente	gr	184,90	185,20
Peso muestra seca + recipiente	gr	180,80	181,30
Peso del recipiente	gr	31,10	31,70
Peso del agua	gr	4,10	3,90
Peso de la muestra seca	gr	149,70	149,60
Contenido de humedad (W%)	%	2,74	2,61
Promedio del contenido de humedad (W%)	%	<b>2,67</b>	
<b>DETERMINACIÓN DEL PESO VOLUMÉTRICO DE LA MASA DE SUELO</b>			
Peso volumétrico de la masa húmeda	gr/cm <sup>3</sup>	<b>1,591</b>	
<b>DETERMINACIÓN DEL PESO VOLUMÉTRICO SECO</b>			
Peso volumétrico seco	gr/cm <sup>3</sup>	<b>1,549</b>	
<b>DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO</b>			
La densidad seca obtenida in situ es de 1,549 gr/cm <sup>3</sup> y su densidad húmeda corresponde a un valor de 1,591 gr/cm <sup>3</sup>			
<b>Realizado por:</b>	<b>Revisado por:</b>		
Samantha Gavilanes	Ing. Favio Portilla		



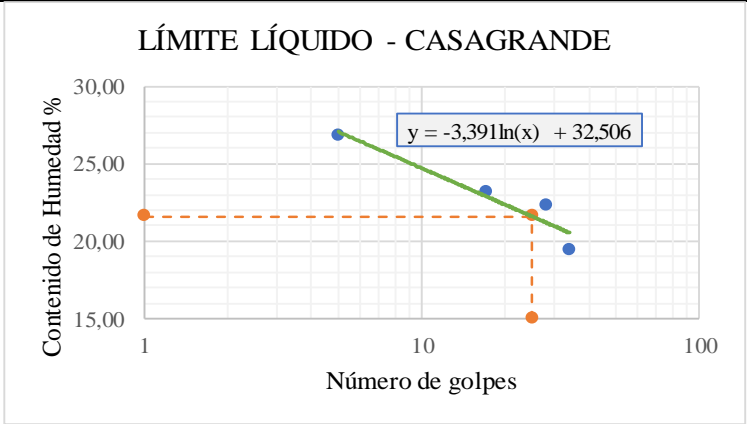
Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo

### Anexo 3: Granulometría

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO EXPERIMENTAL DE TITULACIÓN					
<b>TEMA:</b> "Estudio del efecto de la adición de emulsión asfáltica en las propiedades físico - mecánicas de suelos granulares, para el diseño de pavimentos flexibles"					
<b>ENSAYO:</b> GRANULOMETRÍA					
<b>NORMATIVA:</b> ASTM: D421-58 D-422-63, AASHTO: 7-87-70 7-88-70					
<b>DATOS DE LA MUESTRA:</b>					
<b>Provincia:</b> Tungurahua		<b>Coordenada X:</b> 9865160.5 17 S			
<b>Cantón:</b> Ambato		<b>Coordenada Y:</b> 769826.6			
<b>Parroquia:</b> Izamba		<b>Profundidad:</b> 60 cm			
<b>Fecha:</b> jul-21		<b>ID Muestra:</b> M1			
<b>Peso Inicial (gr):</b>			1000		
<b>TAMIZ N°</b>	<b>ABERTURA (mm)</b>	<b>PESO RETENIDO (gr)</b>	<b>PESO RETENIDO ACUMULADO (gr)</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>% QUE PASA</b>
#4	4,75	0,4	0,4	0,04	99,96
#8	2,36	4,3	4,7	0,47	99,53
#10	2,00	3,0	7,7	0,77	99,23
#16	1,18	13,2	20,9	2,10	97,90
#30	0,60	41,5	62,4	6,26	93,74
#40	0,425	49,2	111,6	11,20	88,80
#50	0,30	71,9	183,5	18,41	81,59
#60	0,25	39,5	223	22,38	77,62
#100	0,15	165,5	388,5	38,98	61,02
#200	0,075	306,3	694,8	69,72	30,28
Fuente	0,030	301,8	996,6	100,00	0,00
<b>RESULTADOS</b>					
<b>T.N.M</b>	0,425	<b>Diámetro Dimensional (D60)</b>		0,14	
<b>Diámetro Efectivo (D10)</b>	0,04	<b>Coefficiente de Uniformidad (Cu)</b>		3,50	
<b>Diámetro Equiparable (D30)</b>	0,075	<b>Coefficiente de Curvatura (Cc)</b>		1,00	
<b>PORCENTAJE DE MATERIAL</b>					
	Grava (G%)	Arena (S%)	Limo y Arcilla (Finos %)		
SUCS	0	70%	30%		
AASHTO	2%	68%	30%		
					
<b>Realizado por:</b>			<b>Revisado por:</b>		
Samantha Gavilanes			Ing. Favio Portilla		



Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo

### Anexo 4: Límite Líquido

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL		PROYECTO EXPERIMENTAL DE TITULACIÓN			
									
<b>TEMA:</b>	"Estudio del efecto de la adición de emulsión asfáltica en las propiedades físico-mecánicas de suelos granulares, para el diseño de pavimentos flexibles"								
<b>ENSAYO:</b>		<b>LÍMITE LÍQUIDO</b>							
		<b>NORMATIVA:</b> AASHTO T90-70, ASTM D424-71, INEN 691							
<b>DATOS DE LA MUESTRA:</b>		<b>Provincia:</b> Tungurahua		<b>Coordenada X</b> 9865160.5		17S			
		<b>Cantón:</b> Ambato		<b>Coordenada Y</b> 769826.6					
		<b>Parroquia:</b> Izamba		<b>Profundidad:</b> 60cm					
		<b>Fecha:</b> jul-21		<b>ID Muestra:</b> M1					
MUESTRA N°	Unidad	1		2		3		4	
Peso muestra húmeda + recipiente	gr	32,90	33,60	28,70	29,00	29,70	27,40	28,30	24,70
Peso muestra seca + recipiente	gr	28,30	29,00	25,40	25,60	26,20	24,40	25,60	22,40
Peso Agua [Ww]	gr	4,60	4,60	3,30	3,40	3,50	3,00	2,70	2,30
Peso Recipiente [Wr]	gr	11,50	11,50	11,10	11,00	10,90	10,60	11,20	10,90
Peso Muestra Seca [Ws]	gr	16,80	17,50	14,30	14,60	15,30	13,80	14,40	11,50
Contenido de Humedad W%	%	27,38	26,29	23,08	23,29	22,88	21,74	18,75	20,00
Contenido de Humedad Promedio PW%	%	26,83		23,18		22,31		19,38	
Número de golpes		5		17		28		34	
Límite Líquido LL%	%	<b>21,59</b>							
<p style="text-align: center;"><b>LÍMITE LÍQUIDO - CASAGRANDE</b></p> 									
<b>Realizado por:</b>					<b>Revisado por:</b>				
Samantha Gavilanes					Ing. Favio Portilla				

Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo



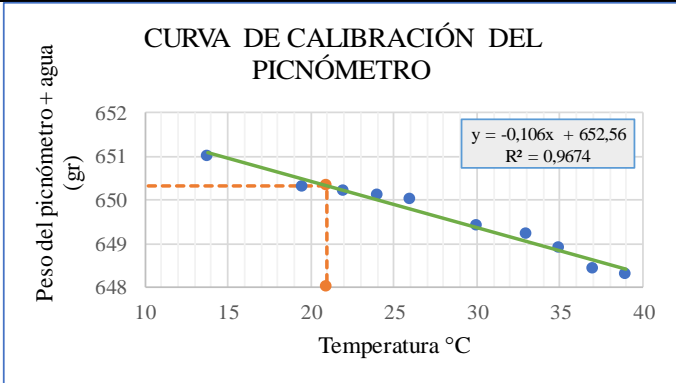
**Anexo 5: Límite Plástico**

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> <b>PROYECTO EXPERIMENTAL DE TITULACIÓN</b>	
<b>TEMA:</b> "Estudio del efecto de la adición de emulsión asfáltica en las propiedades físico - mecánicas de suelos granulares, para el diseño de pavimentos flexibles"		
<b>ENSAYO:</b> <b>LÍMITE PLÁSTICO</b>		
<b>NORMATIVA:</b> ASSHTO T90-20, ASTM D424-59-74, INEN 691		
<b>DATOS DE LA MUESTRA:</b>		
<b>Provincia:</b> Tungurahua	<b>Coordenada X:</b> 9865160.5	<b>17S</b>
<b>Cantón:</b> Ambato	<b>Coordenada Y:</b> 769826.6	
<b>Parroquia:</b> Izamba	<b>Profundidad:</b> 60cm	
<b>Fecha:</b> jul-21	<b>ID Muestra:</b> M1	
<b>MUESTRA N°</b>	<b>Unidad</b>	<b>1</b>
<b>MUESTRA N°</b>	<b>Unidad</b>	<b>2</b>
<b>MUESTRA N°</b>	<b>Unidad</b>	<b>3</b>
<b>MUESTRA N°</b>	<b>Unidad</b>	<b>4</b>
<b>MUESTRA N°</b>	<b>Unidad</b>	<b>5</b>
<b>Peso muestra húmeda + recipiente</b>	gr	11,60
<b>Peso muestra seca + recipiente</b>	gr	11,30
<b>Peso Agua [Ww]</b>	gr	0,20
<b>Peso Recipiente [Wr]</b>	gr	10,60
<b>Peso Muestra Seca [Ws]</b>	gr	0,80
<b>Contenido de Humedad W%</b>	%	25,00
<b>Límite Plástico LP%</b>	%	20,44
<b>Límite Líquido LL%</b>	%	21,59
<b>Índice Plástico IP</b>		1,15
<b>CLASIFICACIÓN DE SUELO ANALIZADO</b>		
<b>SISTEMA</b>	<b>AASHTO</b>	<b>A-2-4</b>
<b>SISTEMA</b>	<b>SUCS</b>	<b>SM</b>
<b>Realizado por:</b>	<b>Revisado por:</b>	
Samantha Gavilanes	Ing. Favio Portilla	

Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo



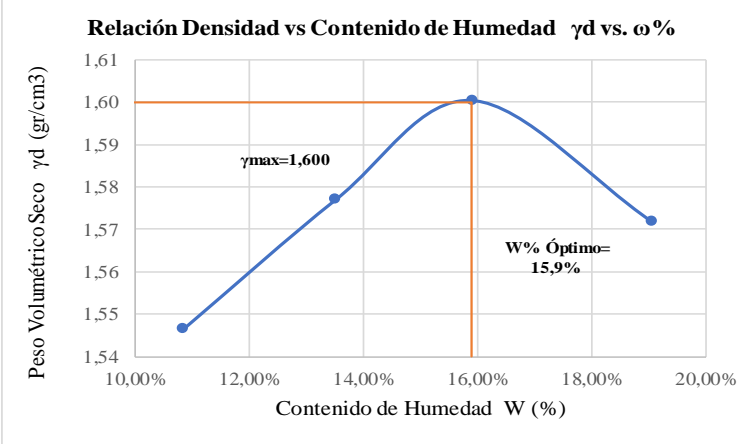


## Anexo 6: Gravedad Específica

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO EXPERIMENTAL DE TITULACIÓN	
<b>TEMA:</b> "Estudio del efecto de la adición de emulsión asfáltica en las propiedades físico - mecánicas de suelos granulares, para el diseño de pavimentos flexibles"		
<b>ENSAYO:</b> <b>GRAVEDAD ESPECÍFICA</b>		
<b>NORMATIVA:</b> AASHTO T100-70, ASTM D854-48, INEN 856-1		
<b>DATOS DE LA MUESTRA:</b>		
<b>Provincia:</b>	Tungurahua	<b>Coordenada X:</b> 9865160.5 UTM 17S
<b>Cantón:</b>	Ambato	<b>Coordenada Y:</b> 769826.6
<b>Parroquia:</b>	Izamba	<b>Profundidad:</b> 60 cm
<b>Fecha:</b>	jul-21	<b>ID Muestra:</b> M1
<b>DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD (W%)</b>		
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>VALOR</b>
Ensayo N°		<b>1</b>
Temperatura del agua + suelo	°C	21,00
Peso del recipiente	gr	256,20
Peso del recipiente + peso del suelo seco	gr	306,20
Peso del picnómetro + agua (Wbw)	gr	650,30
Peso del suelo seco W <sub>s</sub>	gr	50,00
W <sub>s</sub> +W <sub>bw</sub>	gr	700,30
Peso del picnómetro + agua + suelo sumergido (W <sub>bws</sub> )	gr	680,30
Desplazamiento del agua	gr	20,00
Factor de corrección por temperatura	K	0,9980
Gravedad Específica (G <sub>s</sub> )		<b>2,50</b>
<b>CURVA DE CALIBRACIÓN DEL PICNÓMETRO</b>		
		
<b>DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO</b>		
La gravedad específica obtenida para esta muestra de suelo es de 2,50.		
A una temperatura de 21°C el peso del picnómetro más agua es de 650,30 gr.		
<b>Realizado por:</b>	<b>Revisado por:</b>	
Samantha Gavilanes	Ing. Favio Portilla	



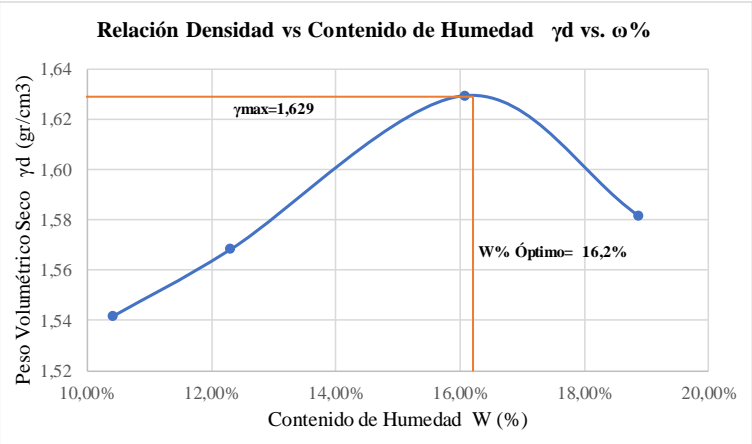
Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo

## Anexo 7: Proctor Modificado con 0% de Emulsión Asfáltica

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> <b>ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO "B"</b>								
<b>0% de Emulsión Asfáltica</b>								
<b>REALIZADO POR:</b>	Samantha Gavilanes							
<b>PROYECTO:</b>	"Estudio del efecto de la adición de emulsión asfáltica en las propiedades físico - mecánicas de suelos granulares, para el diseño de pavimentos flexibles"							
<b>UBICACIÓN:</b>	Izamba		<b>REVISADO POR:</b> Ing. Favio Portilla					
<b>ID. DE MUESTRA:</b>	M1							
<b>FECHA:</b>	30/06/2021		<b>NORMA:</b> AASHTO T- 180					
<b>ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO</b>								
Nº de Golpes:	56	Nº capas:	5	P. martillo:	10	lb		
Altura de caída:	18' o 1.5ft	P. molde:	13297	gr	Vol. molde:	2316,56	cm <sup>3</sup>	
Energía de compactación:	55986	lb/ft <sup>3</sup>	Diámetro	15,18	cm	Altura:	12,8	cm
<b>1. PROCESO DE COMPACTACIÓN</b>								
Ensayo número	1	2	3	4				
Peso inicial deseado	6000	6000	6000	6000				
Humedad inicial añadida	9	12	15	18				
P. molde + suelo húmedo	17268	17444	17594	17632				
Peso suelo húmedo	3971	4147	4297	4335				
Peso unitario húmedo $\gamma_m$	1,714	1,790	1,855	1,871				
<b>2. CONTENIDO DE HUMEDAD</b>								
# Recipiente	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G</b>	<b>H</b>
R. + Suelo húmedo	190,1	159,7	179,6	166,6	188,1	171,5	212,2	207,5
R. + Suelo seco	174,6	147,1	162,7	150,2	167,3	151,8	183,1	180,1
Peso agua	15,5	12,6	16,9	16,4	20,8	19,7	29,1	27,4
Peso recipiente	30,8	31,6	34,4	31,9	31,7	32,3	33,6	33,2
Peso suelo seco	143,8	115,5	128,3	118,3	135,6	119,5	149,5	146,9
Contenido humedad $\omega\%$	10,78%	10,91%	13,17%	13,86%	15,34%	16,49%	19,46%	18,65%
Cont. Humedad prom. $\omega\%$	10,84%		13,52%		15,91%		19,06%	
Densidad seca $\gamma_d$	1,546		1,577		1,600		1,572	
<b>3. DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA</b>								
								
<b>4. DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO</b>								
La densidad máxima ( $\gamma_d$ máx) alcanzada según la gráfica corresponde a 1.600 gr/cm <sup>3</sup> , la cual corresponde a un contenido de humedad óptimo ( $W$ ópt) de 15,9%, sin embargo los parámetros pueden variar ligeramente cuando se traza la gráfica.								



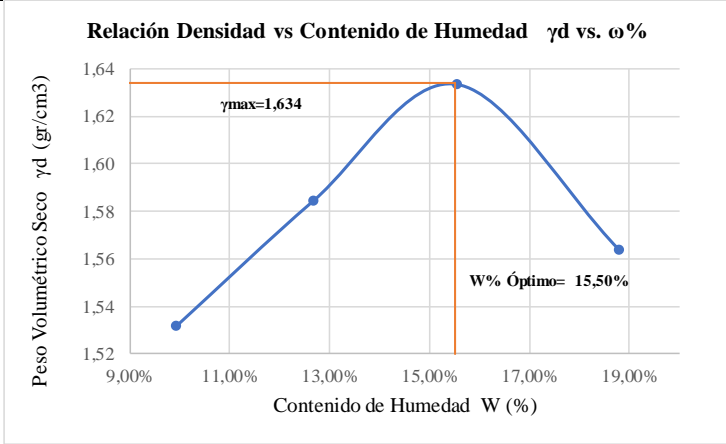
Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo

## Anexo 8: Proctor Modificado con 1% de Emulsión Asfáltica

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> <b>ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO "B"</b>								
<b>1% de Emulsión Asfáltica</b>								
<b>REALIZADO POR:</b>	Samantha Gavilanes							
<b>PROYECTO:</b>	"Estudio del efecto de la adición de emulsión asfáltica en las propiedades físico - mecánicas de suelos granulares, para el diseño de pavimentos flexibles"							
<b>UBICACIÓN:</b>	Izamba		<b>REVISADO POR:</b> Ing. Favio Portilla					
<b>ID. DE MUESTRA:</b>	M1							
<b>FECHA:</b>	30/06/2021		<b>NORMA:</b> AASHTO T- 180					
<b>ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO</b>								
Nº de Golpes:	56	Nº capas:	5	P.martillo:	10	lb		
Altura de caída:	18' o 1.5ft	P. molde:	13297	gr	Vol. molde:	2316,56	cm <sup>3</sup>	
Energía de compactación:	55986	lb/ft/ft <sup>3</sup>	Diámetro:	15,18	cm	Altura:	12,8	cm
<b>1. PROCESO DE COMPACTACIÓN</b>								
Ensayo número	1	2	3	4				
Peso inicial deseado	6000	6000	6000	6000				
Humedad inicial añadida	9	12	15	18				
P. molde + suelo húmedo	17240	17377	17678	17652				
Peso suelo húmedo	3943	4080	4381	4355				
Peso unitario húmedo $\gamma_m$	1,702	1,761	1,891	1,880				
<b>2. CONTENIDO DE HUMEDAD</b>								
# Recipiente	A	B	C	D	E	F	G	H
R. + Suelo húmedo	191,2	170,3	171,6	172,2	219,4	174,0	223,5	205,7
R. + Suelo seco	176	157,3	156,5	156,6	193,6	153,8	193,2	178,3
Peso agua	15,2	13	15,1	15,6	25,8	20,2	30,3	27,4
Peso recipiente	30,8	31,6	32,5	31,1	30,3	30,3	32,5	33,2
Peso suelo seco	145,2	125,7	124	125,5	163,3	123,5	160,7	145,1
Contenido húmeda $\omega\%$	10,47%	10,34%	12,18%	12,43%	15,80%	16,36%	18,86%	18,88%
Cont. Humedad prom. $\omega\%$	10,41%		12,30%		16,08%		18,87%	
Densidad seca $\gamma_d$	1,542		1,568		1,629		1,582	
<b>3. DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA</b>								
<p><b>Relación Densidad vs Contenido de Humedad <math>\gamma_d</math> vs. <math>\omega\%</math></b></p>  <p style="text-align: center;">Peso Volumétrico Seco <math>\gamma_d</math> (gr/cm<sup>3</sup>)</p> <p style="text-align: center;">Contenido de Humedad W (%)</p> <p style="text-align: center;"><math>\gamma_{max}=1,629</math></p> <p style="text-align: center;">W% Óptimo= 16,2%</p>								
<b>4. DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO</b>								
La densidad máxima ( $\gamma_d$ máx) alcanzada según la gráfica corresponde a 1.629 gr/cm <sup>3</sup> , la cual corresponde a un contenido de humedad óptimo (W ópt) de 16,2%, sin embargo los parámetros pueden variar ligeramente cuando se traza la gráfica.								



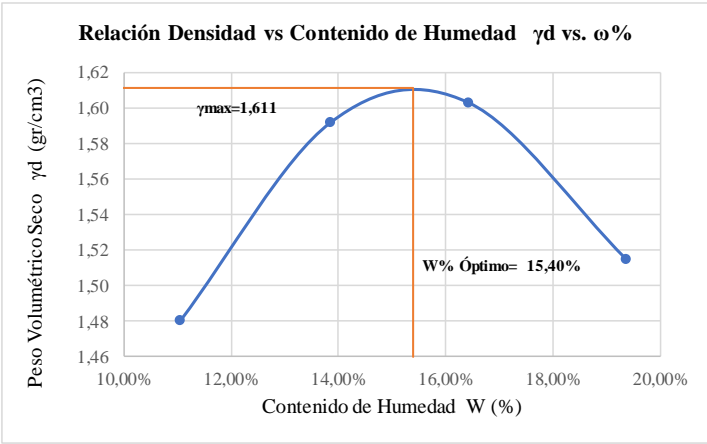
Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo

## Anexo 9: Proctor Modificado con 3% de Emulsión Asfáltica

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> <b>ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO "B"</b>								
<b>3% de Emulsión Asfáltica</b>								
<b>REALIZADO POR:</b>	Samantha Gavilanes							
<b>PROYECTO:</b>	"Estudio del efecto de la adición de emulsión asfáltica en las propiedades físico - mecánicas de suelos granulares, para el diseño de pavimentos flexibles"							
<b>UBICACIÓN:</b>	Izamba	<b>REVISADO POR:</b>	Ing. Favio Portilla					
<b>ID. DE MUESTRA:</b>	M1	<b>NORMA:</b>	AASHTO T- 180					
<b>FECHA:</b>	30/06/2021							
<b>ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO</b>								
N° de Golpes:	56	N°capas:	5					
Altura de caída:	18' o 1.5ft	P. molde:	13297 gr					
Energía de compactación:	55986 lb/ft <sup>3</sup>	Diámetro:	15,18 cm					
		P.martillo:	10 lb					
		Vol. molde:	2316,56 cm <sup>3</sup>					
		Altura:	12,8 cm					
<b>1. PROCESO DE COMPACTACIÓN</b>								
Ensayo número	1	2	3	4				
Peso inicial deseado	6000	6000	6000	6000				
Humedad inicial añadida	9	12	15	18				
P. molde + suelo húmedo	17197	17433	17669	17600				
Peso suelo húmedo	3900	4136	4372	4303				
Peso unitario húmedo $\gamma_m$	1,684	1,785	1,887	1,857				
<b>2. CONTENIDO DE HUMEDAD</b>								
# Recipiente	A	B	C	D	E	F	G	H
R. + Suelo húmedo	169,0	163,1	191,1	174,3	206,3	198,5	162,6	152,6
R. + Suelo seco	157,1	151,0	173,4	158,1	182,2	177,1	141,4	133,7
Peso agua	11,9	12,1	17,7	16,2	24,1	21,4	21,2	18,9
Peso recipiente	34,4	32,0	31,7	32,3	33,6	33,2	30,9	30,9
Peso suelo seco	122,7	119	141,7	125,8	148,6	143,9	110,5	102,8
Contenido humeda $\omega\%$	9,70%	10,17%	12,49%	12,88%	16,22%	14,87%	19,19%	18,39%
Cont. Humedad prom. $\omega\%$	9,93%		12,68%		15,54%		18,79%	
Densidad seca $\gamma_d$	1,531		1,584		1,633		1,564	
<b>3. DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA</b>								
								
<b>4. DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO</b>								
La densidad máxima ( $\gamma_d$ máx) alcanzada según la gráfica corresponde a 1.634 gr/cm <sup>3</sup> , la cual corresponde a un contenido de humedad óptimo ( $W$ ópt) de 15,5%, sin embargo los parámetros pueden variar ligeramente cuando se traza la gráfica.								



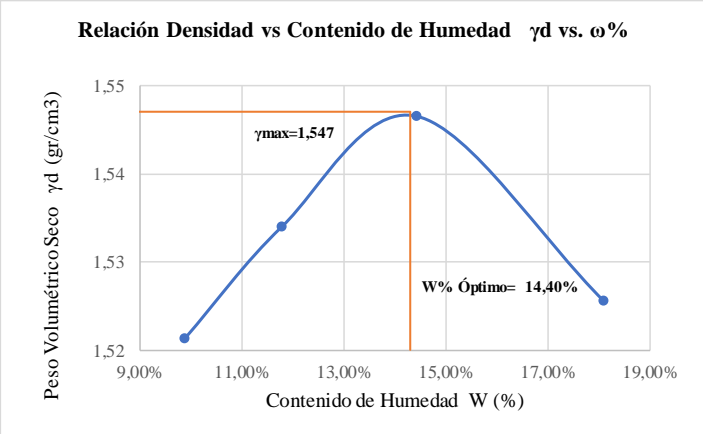
Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo

## Anexo 10: Proctor Modificado con 5% de Emulsión Asfáltica

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> <b>ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO "B"</b>								
<b>5% de Emulsión Asfáltica</b>								
<b>REALIZADO POR:</b>	Samantha Gavilanes							
<b>PROYECTO:</b>	"Estudio del efecto de la adición de emulsión asfáltica en las propiedades físico-mecánicas de suelos granulares, para el diseño de pavimentos flexibles"							
<b>UBICACIÓN:</b>	Izamba	<b>REVISADO POR:</b>	Ing. Favio Portilla					
<b>ID. DE MUESTRA:</b>	M1							
<b>FECHA:</b>	30/06/2021	<b>NORMA:</b>	AASHTO T- 180					
<b>ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO</b>								
Nº de Golpes:	56	Nº capas:	5					
Altura de caída:	18' o 1.5ft	P. molde:	13297 gr					
Energía de compactación:	55986 lb/ft <sup>3</sup>	Diámetro:	15,18 cm					
		P. martillo:	10 lb					
		Vol. molde:	2316,56 cm <sup>3</sup>					
		Altura:	12,8 cm					
<b>1. PROCESO DE COMPACTACIÓN</b>								
Ensayo número	1	2	3	4				
Peso inicial deseado	6000	6000	6000	6000				
Humedad inicial añadida	9	12	15	18				
P. molde + suelo húmedo	17105	17495	17620	17486				
Peso suelo húmedo	3808	4198	4323	4189				
Peso unitario húmedo γ <sub>m</sub>	1,644	1,812	1,866	1,808				
<b>2. CONTENIDO DE HUMEDAD</b>								
# Recipiente	A	B	C	D	E	F	G	H
R. + Suelo húmedo	187,6	182,2	183,2	184,8	203,0	204,8	162,4	168,1
R. + Suelo seco	172,1	167,5	165,2	165,8	177,8	181,9	141,0	145,9
Peso agua	15,5	14,7	18	19	25,2	22,9	21,4	22,2
Peso recipiente	34,4	32,0	31,7	32,3	33,6	33,2	31,0	30,9
Peso suelo seco	137,7	135,5	133,5	133,5	144,2	148,7	110	115
Contenido humedad ω%	11,26%	10,85%	13,48%	14,23%	17,48%	15,40%	19,45%	19,30%
Cont. Humedad prom. ω%	11,05%		13,86%		16,44%		19,38%	
Densidad seca γ <sub>d</sub>	1,480		1,592		1,603		1,515	
<b>3. DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA</b>								
								
<b>4. DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO</b>								
La densidad máxima (γ <sub>d</sub> máx) alcanzada según la gráfica corresponde a 1.611 gr/cm <sup>3</sup> , la cual corresponde a un contenido de humedad óptimo (W ópt) de 15,4%, sin embargo los parámetros pueden variar ligeramente cuando se traza la gráfica.								



Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo

## Anexo 11: Proctor Modificado con 8% de Emulsión Asfáltica

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> <b>ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO "B"</b>			
<b>8% de Emulsión Asfáltica</b>			
<b>REALIZADO POR:</b>	Samantha Gavilanes		
<b>PROYECTO:</b>	"Estudio del efecto de la adición de emulsión asfáltica en las propiedades físico - mecánicas de suelos granulares, para el diseño de pavimentos flexibles"		
<b>UBICACIÓN:</b>	Izamba	<b>REVISADO POR:</b>	Ing. Favio Portilla
<b>ID. DE MUESTRA:</b>	M1		
<b>FECHA:</b>	30/06/2021	<b>NORMA:</b>	AASHTO T- 180
<b>ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO</b>			
N° de Golpes:	56	N° capas:	5
Altura de caída:	18' o 1.5ft	P. molde:	13297 gr
Energía de compactación:	55986 lb/ft/ft3	Diámetro:	15,18 cm
		P.martillo:	10 lb
		Vol. molde:	2316,56 cm3
		Altura:	12,8 cm
<b>1. PROCESO DE COMPACTACIÓN</b>			
Ensayo número	1	2	3
Peso inicial deseado	6000	6000	6000
Humedad inicial añadida	9	12	15
P. molde + suelo húmedo	17170	17270	17397
Peso suelo húmedo	3873	3973	4100
Peso unitario húmedo $\gamma_m$	1,672	1,715	1,770
<b>2. CONTENIDO DE HUMEDAD</b>			
# Recipiente	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
R. + Suelo húmedo	186,1	180,3	180,6
R. + Suelo seco	172,5	166,9	165,7
Peso agua	13,6	13,4	14,9
Peso recipiente	34,4	32,0	31,7
Peso suelo seco	138,1	134,9	134
Contenido húmeda $\omega\%$	9,85%	9,93%	11,12%
Cont. Humedad prom. $\omega\%$	9,89%		11,80%
Densidad seca $\gamma_d$	1,521		1,534
			1,547
			1,526
<b>3. DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA</b>			
<b>Relación Densidad vs Contenido de Humedad <math>\gamma_d</math> vs. <math>\omega\%</math></b>			
			
<b>4. DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO</b>			
La densidad máxima ( $\gamma_d$ máx) alcanzada según la gráfica corresponde a 1.547 gr/cm3, la cual corresponde a un contenido de humedad óptimo ( $W$ ópt) de 14,40%, sin embargo los parámetros pueden variar ligeramente cuando se traza la gráfica.			

Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo

## Anexo 12: CBR con 0% de Emulsión Asfáltica

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> <b>ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)</b> 						
0% de Emulsión Asfáltica						
<b>REALIZADO POR:</b>	Samantha Gavilanes					
<b>TEMA:</b>	"Estudio del efecto de la adición de emulsión asfáltica en las propiedades físico - mecánicas de suelos granulares, para el diseño de pavimentos flexibles"					
<b>UBICACIÓN:</b>	Izamba			<b>REVISADO:</b>	Ing. Favio Portilla	
<b>ID. DE MUESTRA:</b>	M1			<b>NORMA:</b>	ASTM D-1883	
<b>FECHA:</b>	01/09/2021			<b>Wópt:</b>	15,90	
<b>MOLDE</b>	<b>A</b>		<b>B</b>		<b>C</b>	
<b>DIMENSIONES</b>	Diámetro	15,18	Diámetro	15,13	Diámetro	15,16
	Altura	12,80	Altura	12,85	Altura	12,70
N° de golpes	11		27		56	
Muestra húmeda + molde (gr)	10176		11032		11041	
Masa Molde (gr)	6273		6997		6928	
Masa muestra húmeda (gr)	3903		4035		4113	
Volumen muestra (cm <sup>3</sup> )	2316,49		2310,25		2292,34	
Peso unitario húmedo (gr/cm <sup>3</sup> )	1,685		1,747		1,794	
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>	<b>Bandeja</b>	<b>Molde</b>	<b>Bandeja</b>	<b>Molde</b>	<b>Bandeja</b>	<b>Molde</b>
N° Recipiente	A	B	C	D	E	F
Masa del recipiente	32,5	33,8	32,5	34,4	31,9	31,7
Masa suelo hum+recip. (gr)	210,3	218,3	195,4	184,5	215,2	196,9
Masa suelo seco+recip. (gr)	184,8	192,1	172,6	164	189,2	173,8
Masa de agua (gr)	25,5	26,2	22,8	20,5	26	23,1
Masa suelo seco (gr)	152,3	158,3	140,1	129,6	157,3	142,1
Contenido de humedad W%	16,74%	16,55%	16,27%	15,82%	16,53%	16,26%
Promedio W%	16,65%		16,05%		16,39%	
Peso unitario seco (gr/cm <sup>3</sup> )	1,444		1,505		1,542	
<b>DESPÚES DE LA SATURACIÓN</b>						
Muestra húmeda + molde (gr)	10410		11182		11104	
Masa Molde (gr)	6273		6997		6928	
Masa muestra húmeda (gr)	4137		4185		4176	
Volumen muestra (cm <sup>3</sup> )	2316,49		2310,25		2292,34	
Peso unitario húmedo (gr/cm <sup>3</sup> )	1,786		1,811		1,822	
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>	<b>Superior</b>	<b>Inferior</b>	<b>Superior</b>	<b>Inferior</b>	<b>Superior</b>	<b>Inferior</b>
N° Recipiente	A	B	C	D	E	F
Masa del recipiente	31,1	30,3	31	30,9	33,3	33,3
Masa suelo hum+recip. (gr)	201,3	220,1	127,3	133,5	174,9	195,6
Masa suelo seco+recip. (gr)	165,7	180,7	108	115	148	167,4
Masa de agua (gr)	35,6	39,4	19,3	18,5	26,9	28,2
Masa suelo seco (gr)	134,6	150,4	77	84,1	114,7	134,1
Contenido de humedad W%	26,45%	26,20%	25,06%	22,00%	23,45%	21,03%
Promedio W%	26,32%		23,53%		22,24%	

ENSAYO DE CARGA - PENETRACIÓN						
Máquina de compresión simple	Área Pistón = 3 plg <sup>2</sup>		Vel.Carga = 1,27 mm/min (0,05 pulg/min)			
Nº MOLDE	A		B		C	
Penetración (plg)	dial	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	dial	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	dial	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )
0,000	0	0,00	0	0,00	0	0,00
0,025	93	31,00	163	54,33	196	65,33
0,050	140	46,67	263	87,67	362	120,67
0,075	176	58,67	358	119,33	513	171,00
0,100	209	69,67	429	143,00	658	219,33
0,200	329	109,67	703	234,33	1173	391,00
0,300	440	146,67	923	307,67	1579	526,33
0,400	540	180,00	1113	371,00	1823	607,67
0,500	638	212,67	1269	423,00	2052	684,00
PORCENTAJES CBR (Corregidos)						
Nº MOLDE	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	CBR 0,1 plg	Densidad seca	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	CBR 0,2 plg	Densidad seca
A	69,67	6,97%	1,444	109,67	7,31%	1,444
B	143,00	14,30%	1,505	234,33	15,62%	1,505
C	219,33	21,93%	1,542	391,00	26,07%	1,542
Densidad Seca Máxima	1,600					
DSM		%CBR 0.1plg	%CBR 0.2plg	%CBR MAYOR		
95%		1,520	17,50%	20,00%	20,00%	

Penetración (plg)	11 golpes (lb/plg²)	27 golpes (lb/plg²)	56 golpes (lb/plg²)
0,000	0	0	0
0,025	~40	~60	~80
0,050	~60	~100	~140
0,100	~80	~150	~220
0,200	~110	~230	~390
0,300	~140	~300	~520
0,400	~180	~370	~600
0,500	~220	~420	~680

Densidad Seca (gr/cm³)	CBR 0,1 plg (%)	CBR 0,2 plg (%)
1,44	~7	~7
1,45	~8	~9
1,46	~10	~12
1,48	~13	~15
1,50	~15	~18
1,52	~18	~21
1,54	~22	~26



**DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO**

El CBR para el diseño del pavimento es 20,00%

Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo



### Anexo 13: CBR con 1% de Emulsión Asfáltica

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> <b>ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)</b> 						
1% de Emulsión Asfáltica						
<b>REALIZADO POR:</b>	Samantha Gavilanes					
<b>TEMA:</b>	"Estudio del efecto de la adición de emulsión asfáltica en las propiedades físico - mecánicas de suelos granulares, para el diseño de pavimentos flexibles"					
<b>UBICACIÓN:</b>	Izamba			<b>REVISADO:</b>	Ing. Favio Portilla	
<b>ID. DE MUESTRA:</b>	M1			<b>NORMA:</b>	ASTM D-1883	
<b>FECHA:</b>	01/09/2021			<b>Wópt:</b>	16,20	
<b>MOLDE</b>	<b>A</b>		<b>B</b>		<b>C</b>	
<b>DIMENSIONES</b>	Diámetro	15,18	Diámetro	15,13	Diámetro	15,16
	Altura	12,80	Altura	12,85	Altura	12,70
N° de golpes	11		27		56	
Muestra húmeda + molde (gr)	9809		10762		11112	
Masa Molde (gr)	6273		6997		6928	
Masa muestra húmeda (gr)	3536		3765		4184	
Volumen muestra (cm <sup>3</sup> )	2316,49		2310,25		2292,34	
Peso unitario húmedo (gr/cm <sup>3</sup> )	1,526		1,630		1,825	
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>	<b>Bandeja</b>	<b>Molde</b>	<b>Bandeja</b>	<b>Molde</b>	<b>Bandeja</b>	<b>Molde</b>
N° Recipiente	A	B	C	D	E	F
Masa del recipiente	31,2	30,3	31,2	31	32,5	33,8
Masa suelo hum+recip. (gr)	198,2	186,5	135,8	135	194,2	196,1
Masa suelo seco+recip. (gr)	174,4	164,3	121,3	120,6	169,4	172,6
Masa de agua (gr)	23,8	22,2	14,5	14,4	24,8	23,5
Masa suelo seco (gr)	143,2	134	90,1	89,6	136,9	138,8
Contenido de humedad W%	16,62%	16,57%	16,09%	16,07%	18,12%	16,93%
Promedio W%	16,59%		16,08%		17,52%	
Peso unitario seco (gr/cm <sup>3</sup> )	1,309		1,404		1,553	
<b>DESPÚES DE LA SATURACIÓN</b>						
Muestra húmeda + molde (gr)	10210		11065		11087	
Masa Molde (gr)	6273		6997		6928	
Masa muestra húmeda (gr)	3937		4068		4159	
Volumen muestra (cm <sup>3</sup> )	2316,49		2310,25		2292,34	
Peso unitario húmedo (gr/cm <sup>3</sup> )	1,700		1,761		1,814	
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>	<b>Superior</b>	<b>Inferior</b>	<b>Superior</b>	<b>Inferior</b>	<b>Superior</b>	<b>Inferior</b>
N° Recipiente	A	B	C	D	E	F
Masa del recipiente	31,2	30,4	31	30,9	32,4	31,9
Masa suelo hum+recip. (gr)	219	204,3	132,9	138,8	197,5	199,7
Masa suelo seco+recip. (gr)	176,3	169,4	112,4	118,4	167,5	171,7
Masa de agua (gr)	42,7	34,9	20,5	20,4	30	28
Masa suelo seco (gr)	145,1	139	81,4	87,5	135,1	139,8
Contenido de humedad W%	29,43%	25,11%	25,18%	23,31%	22,21%	20,03%
Promedio W%	27,27%		24,25%		21,12%	

ENSAYO DE CARGA - PENETRACIÓN						
Máquina de compresión simple	Área Pistón = 3 plg <sup>2</sup>		Vel.Carga = 1,27 mm/min (0,05 pulg/min)			
Nº MOLDE	A		B		C	
Penetración (plg)	dial	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	dial	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	dial	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )
0,000	0	0,00	0	0,00	0	0,00
0,025	78	26,00	136	45,33	218	72,67
0,050	97	32,33	195	65,00	398	132,67
0,075	110	36,67	249	83,00	596	198,67
0,100	121	40,33	297	99,00	793	264,33
0,200	156	52,00	429	143,00	1355	451,67
0,300	186	62,00	536	178,67	1623	541,00
0,400	215	71,67	628	209,33	1685	561,67
0,500	239	79,67	703	234,33	1654	551,33
PORCENTAJES CBR (Corregidos)						
Nº MOLDE	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	CBR 0,1 plg	Densidad seca	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	CBR 0,2 plg	Densidad seca
A	40,33	4,03%	1,309	52,00	3,47%	1,309
B	99,00	9,90%	1,404	143,00	9,53%	1,404
C	264,33	26,43%	1,553	451,67	30,11%	1,553
<b>Densidad Seca Máxima</b>	1,629					
<b>DSM</b>			<b>%CBR 0.1plg</b>	<b>%CBR 0.2plg</b>	<b>%CBR MAYOR</b>	
95%	1,548		25,80%	29,50%	29,50%	

### ESFUERZO vs. PENETRACIÓN

Penetración (plg)	11 golpes (Lb/plg <sup>2</sup> )	27 golpes (Lb/plg <sup>2</sup> )	56 golpes (Lb/plg <sup>2</sup> )
0,000	0	0	0
0,025	~30	~50	~80
0,050	~40	~80	~130
0,075	~45	~100	~200
0,100	~50	~110	~270
0,200	~60	~140	~450
0,300	~70	~180	~540
0,400	~80	~210	~560
0,500	~90	~230	~550

### %CBR vs. DENSIDAD SECA



Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	CBR 0,1 plg (%)	CBR 0,2 plg (%)
1,309	4,03%	3,47%
1,404	9,90%	9,53%
1,553	26,43%	30,11%
1,548 (DSM)	~25,80%	29,50%

DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO
El CBR para el diseño del pavimento es 29,50%

Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo

### Anexo 14: CBR con 3% de Emulsión Asfáltica

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> <b>ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)</b> 						
3% de Emulsión Asfáltica						
<b>REALIZADO POR:</b>	Samantha Gavilanes					
<b>TEMA:</b>	"Estudio del efecto de la adición de emulsión asfáltica en las propiedades físico - mecánicas de suelos granulares, para el diseño de pavimentos flexibles"					
<b>UBICACIÓN:</b>	Izamba			<b>REVISADO:</b>	Ing. Favio Portilla	
<b>ID. DE MUESTRA:</b>	M1			<b>NORMA:</b>	ASTM D-1883	
<b>FECHA:</b>	01/09/2021			<b>Wópt:</b>	15,50	
<b>MOLDE</b>	<b>A</b>		<b>B</b>		<b>C</b>	
<b>DIMENSIONES</b>	Diámetro	15,18	Diámetro	15,13	Diámetro	15,16
	Altura	12,80	Altura	12,85	Altura	12,70
N° de golpes	11		27		56	
Muestra húmeda + molde (gr)	10368		11178		11175	
Masa Molde (gr)	6273		6997		6928	
Masa muestra húmeda (gr)	4095		4181		4247	
Volumen muestra (cm <sup>3</sup> )	2316,49		2310,25		2292,34	
Peso unitario húmedo (gr/cm <sup>3</sup> )	1,768		1,810		1,853	
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>	<b>Bandeja</b>	<b>Molde</b>	<b>Bandeja</b>	<b>Molde</b>	<b>Bandeja</b>	<b>Molde</b>
N° Recipiente	A	B	C	D	E	F
Masa del recipiente	33,3	33,4	30,5	32,4	32,5	33,7
Masa suelo hum+recip. (gr)	183,8	182,5	184,7	196,8	207,5	190,2
Masa suelo seco+recip. (gr)	163,1	162,1	164	174,6	184,1	169,3
Masa de agua (gr)	20,7	20,4	20,7	22,2	23,4	20,9
Masa suelo seco (gr)	129,8	128,7	133,5	142,2	151,6	135,6
Contenido de humedad W%	15,95%	15,85%	15,51%	15,61%	15,44%	15,41%
Promedio W%	15,90%		15,56%		15,42%	
Peso unitario seco (gr/cm <sup>3</sup> )	1,525		1,566		1,605	
<b>DESPÚES DE LA SATURACIÓN</b>						
Muestra húmeda + molde (gr)	10575		11402		11195	
Masa Molde (gr)	6273		6997		6928	
Masa muestra húmeda (gr)	4302		4405		4267	
Volumen muestra (cm <sup>3</sup> )	2316,49		2310,25		2292,34	
Peso unitario húmedo (gr/cm <sup>3</sup> )	1,857		1,907		1,861	
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>	<b>Superior</b>	<b>Inferior</b>	<b>Superior</b>	<b>Inferior</b>	<b>Superior</b>	<b>Inferior</b>
N° Recipiente	A	B	C	D	E	F
Masa del recipiente	32,5	34,4	32	31,8	31,1	31,7
Masa suelo hum+recip. (gr)	244,6	237,9	203,5	187,7	194,2	189,4
Masa suelo seco+recip. (gr)	204,7	200,8	174,4	163,4	163,4	163,8
Masa de agua (gr)	39,9	37,1	29,1	24,3	30,8	25,6
Masa suelo seco (gr)	172,2	166,4	142,4	131,6	132,3	132,1
Contenido de humedad W%	23,17%	22,30%	20,44%	18,47%	23,28%	19,38%
Promedio W%	22,73%		19,45%		21,33%	

ENSAYO DE CARGA - PENETRACIÓN						
Máquina de compresión simple	Área Pistón = 3 plg <sup>2</sup>		Vel.Carga = 1,27 mm/min (0,05 pulg/min)			
Nº MOLDE	A		B		C	
Penetración (plg)	dial	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	dial	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	dial	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )
0,000	0	0,00	0	0,00	0	0,00
0,025	196	65,33	342	114,00	441	147,00
0,050	369	123,00	713	237,67	821	273,67
0,075	540	180,00	979	326,33	1106	368,67
0,100	648	216,00	1196	398,67	1313	437,67
0,200	1016	338,67	1983	661,00	2153	717,67
0,300	1245	415,00	2501	833,67	2703	901,00
0,400	1273	424,33	2933	977,67	3150	1050,00
0,500	1323	441,00	3205	1068,33	3456	1152,00
PORCENTAJES CBR (Corregidos)						
Nº MOLDE	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	CBR 0,1 plg	Densidad seca	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	CBR 0,2 plg	Densidad seca
A	216,00	21,60%	1,525	338,67	22,58%	1,525
B	398,67	39,87%	1,566	661,00	44,07%	1,566
C	437,67	43,77%	1,605	717,67	47,84%	1,605
<b>Densidad Seca Máxima DSM</b>	1,634					
95%	1,552	%CBR 0.1plg	%CBR 0.2plg	%CBR MAYOR		
		33,20%	36,50%	36,50%		

Penetración (plg)	11 golpes (lb/plg²)	27 golpes (lb/plg²)	56 golpes (lb/plg²)
0,000	0	0	0
0,025	~100	~150	~200
0,050	~180	~250	~350
0,100	~220	~400	~450
0,200	~350	~650	~750
0,300	~420	~800	~900
0,400	~430	~950	~1050
0,500	~440	~1050	~1150



Densidad Seca (gr/cm³)	CBR 0,1plg (%)	CBR 0,2plg (%)
1,525	21,60%	22,58%
1,566	39,87%	44,07%
1,605	43,77%	47,84%
1,552 (DSM 95%)	33,20%	36,50%

**DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO**  
El CBR para el diseño del pavimento es 36,50%

Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo

### Anexo 15: CBR con 5% de Emulsión Asfáltica

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> <b>ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)</b> 						
5% de Emulsión Asfáltica						
<b>REALIZADO POR:</b>	Samantha Gavilanes					
<b>TEMA:</b>	"Estudio del efecto de la adición de emulsión asfáltica en las propiedades físico - mecánicas de suelos granulares, para el diseño de pavimentos flexibles"					
<b>UBICACIÓN:</b>	Izamba			<b>REVISADO:</b>	Ing. Favio Portilla	
<b>ID. DE MUESTRA:</b>	M1			<b>NORMA:</b>	ASTM D-1883	
<b>FECHA:</b>	01/09/2021			<b>Wópt:</b>	15,40	
<b>MOLDE</b>	<b>A</b>		<b>B</b>		<b>C</b>	
<b>DIMENSIONES</b>	Diámetro	15,18	Diámetro	15,13	Diámetro	15,16
	Altura	12,80	Altura	12,85	Altura	12,70
N° de golpes	11		27		56	
Muestra húmeda + molde (gr)	10008		10993		11278	
Masa Molde (gr)	6273		6997		6928	
Masa muestra húmeda (gr)	3735		3996		4350	
Volumen muestra (cm <sup>3</sup> )	2316,49		2310,25		2292,34	
Peso unitario húmedo (gr/cm <sup>3</sup> )	1,612		1,730		1,898	
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>	<b>Bandeja</b>	<b>Molde</b>	<b>Bandeja</b>	<b>Molde</b>	<b>Bandeja</b>	<b>Molde</b>
N° Recipiente	A	B	C	D	E	F
Masa del recipiente	30,8	31,8	32,6	34,4	32,5	33,8
Masa suelo hum+recip. (gr)	193,7	193,8	212,8	220,3	179,6	212,1
Masa suelo seco+recip. (gr)	172,2	171,9	188,6	195,3	160	187,4
Masa de agua (gr)	21,5	21,9	24,2	25	19,6	24,7
Masa suelo seco (gr)	141,4	140,1	156	160,9	127,5	153,6
Contenido de humedad W%	15,21%	15,63%	15,51%	15,54%	15,37%	16,08%
Promedio W%	15,42%		15,53%		15,73%	
Peso unitario seco (gr/cm <sup>3</sup> )	1,397		1,497		1,640	
<b>DESPÚES DE LA SATURACIÓN</b>						
Muestra húmeda + molde (gr)	10322		11180		11090	
Masa Molde (gr)	6273		6997		6928	
Masa muestra húmeda (gr)	4049		4183		4162	
Volumen muestra (cm <sup>3</sup> )	2316,49		2310,25		2292,34	
Peso unitario húmedo (gr/cm <sup>3</sup> )	1,748		1,811		1,816	
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>	<b>Superior</b>	<b>Inferior</b>	<b>Superior</b>	<b>Inferior</b>	<b>Superior</b>	<b>Inferior</b>
N° Recipiente	A	B	C	D	E	F
Masa del recipiente	32	31,7	30,4	32,3	32,5	33,8
Masa suelo hum+recip. (gr)	245,5	223,2	196,8	188,1	204,3	193,5
Masa suelo seco+recip. (gr)	197,5	183,4	164,2	159,5	170,3	167
Masa de agua (gr)	48	39,8	32,6	28,6	34	26,5
Masa suelo seco (gr)	165,5	151,7	133,8	127,2	137,8	133,2
Contenido de humedad W%	29,00%	26,24%	24,36%	22,48%	24,67%	19,89%
Promedio W%	27,62%		23,42%		22,28%	

ENSAYO DE CARGA - PENETRACIÓN						
Máquina de compresión simple	Área Pistón = 3 plg <sup>2</sup>		Vel.Carga = 1,27 mm/min (0,05 pulg/min)			
Nº MOLDE	A		B		C	
Penetración (plg)	dial	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	dial	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	dial	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )
0,000	0	0,00	0	0,00	0	0,00
0,025	81	27,00	196	65,33	202	67,33
0,050	119	39,67	333	111,00	399	133,00
0,075	156	52,00	476	158,67	619	206,33
0,100	179	59,67	629	209,67	812	270,67
0,200	264	88,00	1023	341,00	1296	432,00
0,300	332	110,67	1169	389,67	1423	474,33
0,400	393	131,00	1232	410,67	1499	499,67
0,500	403	134,33	1308	436,00	1578	526,00
PORCENTAJES CBR (Corregidos)						
Nº MOLDE	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	CBR 0,1 plg	Densidad seca	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	CBR 0,2 plg	Densidad seca
A	59,67	5,97%	1,397	88,00	5,87%	1,397
B	209,67	20,97%	1,497	341,00	22,73%	1,497
C	270,67	27,07%	1,640	432,00	28,80%	1,640
Densidad Seca Máxima DSM	1,611					
95%	1,530	%CBR 0.1plg	%CBR 0.2plg	%CBR MAYOR		
		22,50%	24,20%	24,20%		

Penetración (plg)	11 golpes (lb/plg²)	27 golpes (lb/plg²)	56 golpes (lb/plg²)
0,000	0	0	0
0,025	~30	~80	~120
0,050	~50	~150	~220
0,100	~70	~220	~300
0,200	~90	~350	~450
0,300	~110	~400	~480
0,400	~120	~420	~500
0,500	~130	~440	~520



Densidad Seca (gr/cm³)	CBR 0,1 plg (%)	CBR 0,2 plg (%)
1,39	~5	~6
1,41	~10	~12
1,43	~15	~18
1,45	~20	~24
1,49	~22	~26
1,51	~23	~27
1,53	~24	~28
1,55	~25	~29
1,57	~26	~30
1,59	~27	~31
1,61	~28	~32
1,63	~29	~33
1,65	~30	~34

**DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO**

El CBR para el diseño del pavimento es 24,20%

Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo

### Anexo 16: CBR con 8% de Emulsión Asfáltica

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> <b>ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)</b> 						
8% de Emulsión Asfáltica						
<b>REALIZADO POR:</b>	Samantha Gavilanes					
<b>TEMA:</b>	"Estudio del efecto de la adición de emulsión asfáltica en las propiedades físico - mecánicas de suelos granulares, para el diseño de pavimentos flexibles"					
<b>UBICACIÓN:</b>	Izamba			<b>REVISADO:</b>	Ing. Favio Portilla	
<b>ID. DE MUESTRA:</b>	M1			<b>NORMA:</b>	ASTM D-1883	
<b>FECHA:</b>	01/09/2021			<b>Wópt:</b>	14,40	
<b>MOLDE</b>	<b>A</b>		<b>B</b>		<b>C</b>	
<b>DIMENSIONES</b>	Diámetro	15,18	Diámetro	15,13	Diámetro	15,16
	Altura	12,80	Altura	12,85	Altura	12,70
N° de golpes	11		27		56	
Muestra húmeda + molde (gr)	10213		11087		11012	
Masa Molde (gr)	6273		6997		6928	
Masa muestra húmeda (gr)	3940		4090		4084	
Volumen muestra (cm <sup>3</sup> )	2316,49		2310,25		2292,34	
Peso unitario húmedo (gr/cm <sup>3</sup> )	1,701		1,770		1,782	
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>	<b>Bandeja</b>	<b>Molde</b>	<b>Bandeja</b>	<b>Molde</b>	<b>Bandeja</b>	<b>Molde</b>
N° Recipiente	A	B	C	D	E	F
Masa del recipiente	32,5	33,8	32,5	34,4	31,9	31,7
Masa suelo hum+recip. (gr)	210,3	218,3	195,4	184,5	215,2	196,9
Masa suelo seco+recip. (gr)	184,8	192,1	172,6	164	189,2	173,8
Masa de agua (gr)	25,5	26,2	22,8	20,5	26	23,1
Masa suelo seco (gr)	152,3	158,3	140,1	129,6	157,3	142,1
Contenido de humedad W%	16,74%	16,55%	16,27%	15,82%	16,53%	16,26%
Promedio W%	16,65%		16,05%		16,39%	
Peso unitario seco (gr/cm <sup>3</sup> )	1,458		1,526		1,531	
<b>DESPÚES DE LA SATURACIÓN</b>						
Muestra húmeda + molde (gr)	10638		11436		11310	
Masa Molde (gr)	6273		6997		6928	
Masa muestra húmeda (gr)	4365		4439		4382	
Volumen muestra (cm <sup>3</sup> )	2316,49		2310,25		2292,34	
Peso unitario húmedo (gr/cm <sup>3</sup> )	1,884		1,921		1,912	
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>	<b>Superior</b>	<b>Inferior</b>	<b>Superior</b>	<b>Inferior</b>	<b>Superior</b>	<b>Inferior</b>
N° Recipiente	A	B	C	D	E	F
Masa del recipiente	30,8	31,8	33,3	33,2	30,4	32,4
Masa suelo hum+recip. (gr)	253,87	237,78	204,08	200,15	189,8	205,56
Masa suelo seco+recip. (gr)	209,4	200,1	174,6	174	162	178,9
Masa de agua (gr)	44,47	37,68	29,48	26,15	27,8	26,66
Masa suelo seco (gr)	178,6	168,3	141,3	140,8	131,6	146,5
Contenido de humedad W%	24,90%	22,39%	20,86%	18,57%	21,12%	18,20%
Promedio W%	23,64%		19,72%		19,66%	

ENSAYO DE CARGA - PENETRACIÓN						
Máquina de compresión simple	Área Pistón = 3 plg <sup>2</sup>		Vel.Carga = 1,27 mm/min (0,05 pulg/min)			
Nº MOLDE	A		B		C	
Penetración (plg)	dial	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	dial	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	dial	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )
0,000	0	0,00	0	0,00	0	0,00
0,025	184	61,33	267	89,00	442	147,33
0,050	292	97,33	463	154,33	763	254,33
0,075	366	122,00	662	220,67	1083	361,00
0,100	406	135,33	830	276,67	1453	484,33
0,200	663	221,00	1413	471,00	2895	965,00
0,300	923	307,67	1864	621,33	4139	1379,67
0,400	1073	357,67	2223	741,00	5292	1764,00
0,500	1203	401,00	2594	864,67	6426	2142,00
PORCENTAJES CBR (Corregidos)						
Nº MOLDE	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	CBR 0,1 plg	Densidad seca	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	CBR 0,2 plg	Densidad seca
A	135,33	13,53%	1,458	221,00	14,73%	1,458
B	276,67	27,67%	1,526	471,00	31,40%	1,526
C	484,33	48,43%	1,531	965,00	64,33%	1,531
Densidad Seca Máxima	1,547					
DSM		%CBR 0.1plg	%CBR 0.2plg	%CBR MAYOR		
95%		1,470	15,60%	17,60%	17,60%	

**ESFUERZO vs. PENETRACIÓN**

Penetración (plg)	11 golpes (lb/plg <sup>2</sup> )	27 golpes (lb/plg <sup>2</sup> )	56 golpes (lb/plg <sup>2</sup> )
0,000	0	0	0
0,050	~100	~150	~250
0,100	~150	~250	~400
0,200	~250	~450	~950
0,300	~300	~600	~1400
0,400	~350	~750	~1800
0,500	~400	~850	~2150

**%CBR vs. DENSIDAD SECA**

Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	CBR 0.1plg (%)	CBR 0.2plg (%)
1,46	~15	~15
1,47	~18	~18
1,52	~30	~30
1,53	~48	~65

**DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO**

El CBR para el diseño del pavimento es 17,60%



Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo



# **Anexos**



## **C.2 Ensayos de la Parroquia Montalvo**

## Anexo 17: Contenido de Humedad

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO EXPERIMENTAL DE TITULACIÓN			
<b>TEMA:</b>	"Estudio del efecto de la adición de emulsión asfáltica en las propiedades físico - mecánicas de suelos granulares, para el diseño de pavimentos flexibles"			
<b>ENSAYO:</b>	CONTENIDO DE HUEMDAD Y RELACIONES FUNDAMENTALES DEL SUELO			
	<b>NORMATIVA:</b> AASHTO T265 , ASTM S2216-71, INEN 690			
<b>DATOS DE LA MUESTRA:</b>				
<b>Provincia:</b>	Tungurahua	<b>Coordenada X:</b>	9852893,5	17S
<b>Cantón:</b>	Ambato	<b>Coordenada Y:</b>	764607,7	
<b>Parroquia:</b>	Montalvo	<b>Profundidad:</b>	60 cm	
<b>Fecha:</b>	jul-21	<b>ID Muestra:</b>	M2	
<b>DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD (W%)</b>				
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>VALOR</b>		
Muestra N°		<b>1</b>	<b>2</b>	
Peso muestra húmeda + recipiente	gr	166,10	153,40	
Peso muestra seca + recipiente	gr	142,90	132,50	
Peso del recipiente	gr	32,50	34,30	
Peso del agua (Ww)	gr	23,20	20,90	
Peso de la muestra seca (Ws)	gr	110,40	98,20	
Contenido de humedad (W%)	%	21,01	21,28	
Promedio del contenido de humedad (W%)	%	<b>21,15</b>		
<b>DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN DE VACÍOS e</b>				
Volumen del agua (Vw)	cm <sup>3</sup>	22,05		
Volumen del suelo (Vs)	cm <sup>3</sup>	39,36		
Volumen del aire (Va)	cm <sup>3</sup>	20,58		
Volumen de la masa (Vm)	cm <sup>3</sup>	81,99		
Volumen de vacíos (Vv)	cm <sup>3</sup>	42,63		
Relación de vacíos		<b>1,08</b>		
<b>DETERMINACIÓN DE LA POROSIDAD (n%)</b>				
Porosidad	%	<b>52,00</b>		
<b>DETERMINACIÓN DEL GRADO DE SATURACIÓN DEL AGUA (Gw%)</b>				
Grado de saturación del agua	%	<b>51,72</b>		
<b>DETERMINACIÓN DEL GRADO DE SATURACIÓN DEL AIRE (Ga%)</b>				
Grado de saturación del aire	%	<b>48,28</b>		
<b>DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO</b>				
El contenido de humedad natural obtenido para esta muestra es de 21,15%.				
<b>Realizado por:</b>	<b>Revisado por:</b>			
Samantha Gavilanes	Ing. Favio Portilla			



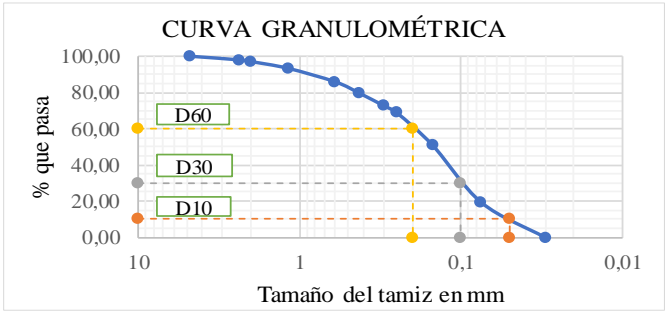
Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo

### Anexo 18: Densidad in situ – Cono y Arena de Ottawa

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
<b>PROYECTO EXPERIMENTAL DE TITULACIÓN</b> *Estudio del efecto de la adición de emulsión asfáltica en las propiedades físico - mecánicas de suelos granulares, para el diseño de pavimentos flexibles*			
<b>TEMA:</b>	DENSIDAD EN CAMPO, MÉTODO DE CONO Y ARENA DE OTTAWA		
<b>ENSAYO:</b>	<b>NORMATIVA:</b> AASHTO T-205, ASTM D2167		
<b>DATOS DE LA MUESTRA:</b>			
<b>Provincia:</b>	Tungurahua		
<b>Cantón:</b>	Ambato		
<b>Parroquia:</b>	Montalvo		
<b>Fecha:</b>	jul-21		
<b>Coordenada X:</b>	9852893,5 17S		
<b>Coordenada Y:</b>	764607,7		
<b>Profundidad:</b>	60 cm		
<b>ID Muestra:</b>	M2		
<b>DETERMINACIÓN DEL PESO DEL SUELO EXTRAÍDO</b>			
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>VALOR</b>	
Peso del suelo + recipiente	gr	2629	
Peso del recipiente	gr	6,6	
Peso de la masa de suelo (Wm)	gr	2622,4	
<b>DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DEL HUECO EN EL SUELO</b>			
Lectura inicial del frasco + cono + arena	gr	7273	
Lectura final frasco + cono + arena	gr	3054	
Peso arena en el cono	gr	1526	
Peso arena en el hueco	gr	2693	
Calibración de la arena de Ottawa	gr/cm <sup>3</sup>	1,582	
Volumen del hueco (Vm)	cm <sup>3</sup>	1702,28	
<b>DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD (W%)</b>			
Muestra N°		<b>1</b>	<b>2</b>
Peso muestra húmeda + recipiente	gr	166,10	153,40
Peso muestra seca + recipiente	gr	142,90	132,50
Peso del recipiente	gr	32,50	34,30
Peso del agua	gr	23,20	20,90
Peso de la muestra seca	gr	110,40	98,20
Contenido de humedad (W%)	%	21,01	21,28
Promedio del contenido de humedad (W%)	%	<b>21,15</b>	
<b>DETERMINACIÓN DEL PESO VOLUMÉTRICO DE LA MASA DE SUELO</b>			
Peso volumétrico de la masa	gr/cm <sup>3</sup>	<b>1,541</b>	
<b>DETERMINACIÓN DEL PESO VOLUMÉTRICO SECO</b>			
Peso volumétrico seco	gr/cm <sup>3</sup>	<b>1,272</b>	
<b>DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO</b>			
La densidad seca obtenida in situ es de 1,272 gr/cm <sup>3</sup> y su densidad húmeda corresponde a un valor de 1,541 gr/cm <sup>3</sup> .			
<b>Realizado por:</b>		<b>Revisado por:</b>	
Samantha Gavilanes		Ing. Favio Portilla	



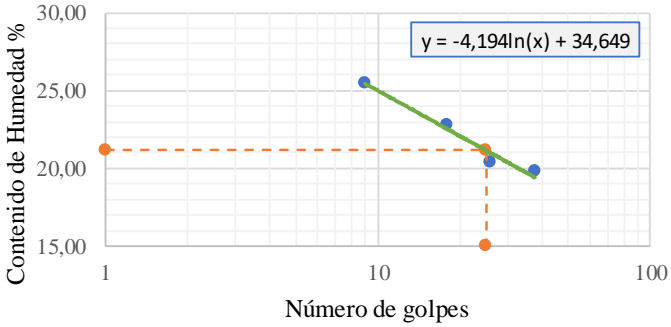
Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo

## Anexo 19: Granulometría

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO EXPERIMENTAL DE TITULACIÓN				
<b>TEMA:</b> "Estudio del efecto de la adición de emulsión asfáltica en las propiedades físico - mecánicas de suelos granulares, para el diseño de pavimentos flexibles"					
<b>ENSAYO:</b> GRANULOMETRÍA					
<b>NORMATIVA:</b> ASTM: D421-58 D-422-63, AASHTO: 7-87-70 7-88-70					
<b>DATOS DE LA MUESTRA:</b>					
<b>Provincia:</b>	Tungurahua	<b>Coordenada X:</b> 9852893,5 17 S			
<b>Cantón:</b>	Ambato	<b>Coordenada Y:</b> 764607,7			
<b>Parroquia:</b>	Montalvo	<b>Profundidad:</b> 60 cm			
<b>Fecha:</b>	jul-21	<b>ID Muestra:</b> M2			
<b>Peso Inicial (gr):</b>		1000			
<b>TAMIZ N°</b>	<b>ABERTURA (mm)</b>	<b>PESO RETENIDO (gr)</b>	<b>PESO RETENIDO ACUMULADO (gr)</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>% QUE PASA</b>
#4	4,75	0	0	0,00	100,00
#8	2,36	20,0	20	2,00	98,00
#10	2,00	9,4	29,4	2,95	97,05
#16	1,18	36,9	66,3	6,64	93,36
#30	0,60	75,0	141,3	14,16	85,84
#40	0,425	62,5	203,8	20,42	79,58
#50	0,30	69,6	273,4	27,39	72,61
#60	0,25	38,2	311,6	31,22	68,78
#100	0,15	179,2	490,8	49,17	50,83
#200	0,075	313,9	804,7	80,62	19,38
Fuente	0,030	193,5	998,2	100,00	0,00
<b>RESULTADOS</b>					
<b>T.N.M</b>	0,60	<b>Diámetro Dimensional (D60)</b>		0,20	
<b>Diámetro Efectivo (D10)</b>	0,05	<b>Coefficiente de Uniformidad (Cu)</b>		4,00	
<b>Diámetro Equiparable (D30)</b>	0,10	<b>Coefficiente de Curvatura (Cc)</b>		1,00	
<b>PORCENTAJE DE MATERIAL</b>					
	Grava (G%)	Arena (S%)	Limo y Arcilla (Finos %)		
SUCS	0	80%	20%		
AASHTO	2%	78%	20%		
					
<b>Realizado por:</b>			<b>Revisado por:</b>		
Samantha Gavilanes			Ing. Favio Portilla		



Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo

## Anexo 20: Límite Líquido

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b>  <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b>  <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>  <b>PROYECTO EXPERIMENTAL DE TITULACIÓN</b> </div>  </div>									
<b>TEMA:</b> "Estudio del efecto de la adición de emulsión asfáltica en las propiedades físico-mecánicas de suelos granulares, para el diseño de pavimentos flexibles"									
<b>ENSAYO: LÍMITE LÍQUIDO</b>									
<b>NORMATIVA: AASHTO T90-70, ASTM D424-71, INEN 691</b>									
<b>DATOS DE LA MUESTRA:</b>									
<b>Provincia:</b> Tungurahua			<b>Coordenada X</b> 9852893,5 17S						
<b>Cantón:</b> Ambato			<b>Coordenada Y</b> 764607,7						
<b>Parroquia:</b> Montalvo			<b>Profundidad:</b> 60cm						
<b>Fecha:</b> jul-21			<b>ID Muestra:</b> M2						
MUESTRA N°	Unidad	1		2		3		4	
Peso muestra húmeda + recipiente	gr	27,80	26,70	23,80	22,70	26,60	25,60	32,60	33,10
Peso muestra seca + recipiente	gr	24,40	23,50	21,50	20,50	24,30	23,10	29,30	29,20
Peso Agua [Ww]	gr	3,40	3,20	2,30	2,20	2,30	2,50	3,30	3,90
Peso Recipiente [Wr]	gr	11,00	11,00	11,10	11,10	12,80	11,00	11,30	10,80
Peso Muestra Seca [Ws]	gr	13,40	12,50	10,40	9,40	11,50	12,10	18,00	18,40
Contenido de Humedad W%	%	25,37	25,60	22,12	23,40	20,00	20,66	18,33	21,20
Contenido de Humedad Promedio PW%	%	25,49		22,76		20,33		19,76	
Número de golpes		9		18		26		38	
Límite Líquido LL%	%	<b>21,15</b>							
<div style="border: 1px solid black; padding: 10px;"> <p style="text-align: center;"><b>LÍMITE LÍQUIDO - CASAGRANDE</b></p>  </div>									
<b>Realizado por:</b>					<b>Revisado por:</b>				
Samantha Gavilanes					Ing. Favio Portilla				



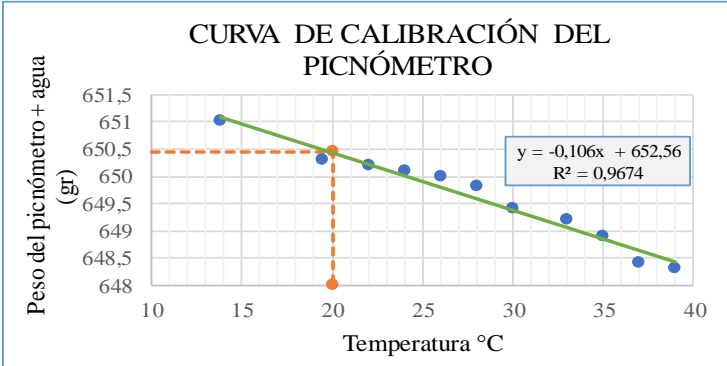
Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo

### Anexo 21: Límite Plástico

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> <b>PROYECTO EXPERIMENTAL DE TITULACIÓN</b> 						
<b>TEMA:</b> "Estudio del efecto de la adición de emulsión asfáltica en las propiedades físico - mecánicas de suelos granulares, para el diseño de pavimentos flexibles"						
<b>ENSAYO:</b> <b>LÍMITE PLÁSTICO</b>						
<b>NORMATIVA:</b> ASSHTO T90-20, ASTM D424-59-74, INEN 691						
<b>DATOS DE LA MUESTRA:</b>						
<b>Provincia:</b>	Tungurahua	<b>Coordenada X:</b>	9852893,5	17S		
<b>Cantón:</b>	Ambato	<b>Coordenada Y:</b>	764607,7			
<b>Parroquia:</b>	Montalvo	<b>Profundidad:</b>	60cm			
<b>Fecha:</b>	jul-21	<b>ID Muestra:</b>	M2			
<b>MUESTRA N°</b>	<b>Unidad</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
<b>Peso muestra húmeda + recipiente</b>	gr	11,6	11,5	11,7	11,6	11,6
<b>Peso muestra seca + recipiente</b>	gr	11,5	11,3	11,5	11,5	11,5
<b>Peso Agua [Ww]</b>	gr	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1
<b>Peso Recipiente [Wr]</b>	gr	10,7	10,7	10,7	10,7	10,7
<b>Peso Muestra Seca [Ws]</b>	gr	0,8	0,6	0,8	0,8	0,8
<b>Contenido de Humedad W%</b>	%	12,5	33,33	25	12,5	12,5
<b>Límite Plástico LP%</b>	%	19,17				
<b>Límite Líquido LL%</b>	%	21,15				
<b>Índice Plástico IP</b>		<b>1,98</b>				
<b>CLASIFICACIÓN DE SUELO ANALIZADO</b>						
<b>SISTEMA</b>	AASHTO	A-2-4				
	SUCS	SM				
<b>Realizado por:</b>			<b>Revisado por:</b>			
Samantha Gavilanes			Ing. Favio Portilla			

Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo

## Anexo 22: Gravedad Específica



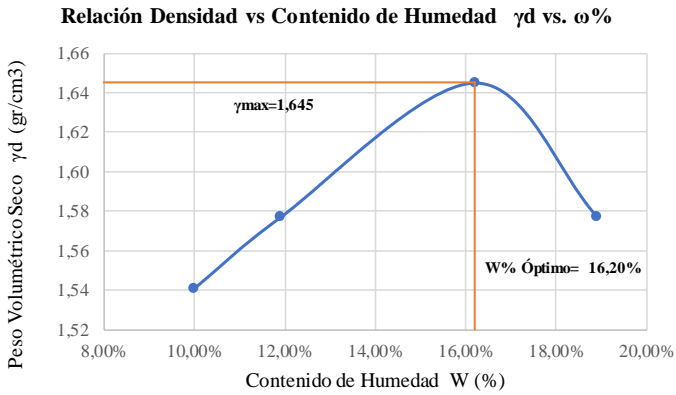
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO EXPERIMENTAL DE TITULACIÓN		
		
<b>TEMA:</b>	"Estudio del efecto de la adición de emulsión asfáltica en las propiedades físico - mecánicas de suelos granulares, para el diseño de pavimentos flexibles"	
<b>ENSAYO:</b>	<b>GRAVEDAD ESPECÍFICA</b>	
	<b>NORMATIVA:</b> AASHTO T100-70, ASTM D854-48, INEN 856-1	
<b>DATOS DE LA MUESTRA:</b>		
<b>Provincia:</b>	Tungurahua	<b>Coordenada X:</b> 9852893,5 17S
<b>Cantón:</b>	Ambato	<b>Coordenada Y:</b> 764607,7
<b>Parroquia:</b>	Montalvo	<b>Profundidad:</b> 60 cm
<b>Fecha:</b>	jul-21	<b>ID Muestra:</b> M2
<b>DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD (W%)</b>		
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>VALOR</b>
Ensayo N°		<b>1</b>
Temperatura del agua + suelo	°C	20
Recipiente N°		71 M
Peso del recipiente	gr	256,2
Peso del recipiente + peso del suelo seco	gr	306,2
Peso del picnómetro + agua (Wbw)	gr	650,4
Peso del suelo seco W <sub>s</sub>	gr	50,0
W <sub>s</sub> +W <sub>bw</sub>	gr	700,4
Peso del picnómetro + agua + suelo sumergido (W <sub>bws</sub> )	gr	681,2
Desplazamiento del agua	gr	19,2
Factor de corrección por temperatura	K	0,9982
Gravedad Específica (G <sub>s</sub> )		<b>2,60</b>
<b>CURVA DE CALIBRACIÓN DEL PICNÓMETRO</b>		
		
<b>DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO</b>		
La gravedad específica obtenida para esta muestra de suelo es de 2,60.		
A una temperatura de 20°C el peso del picnómetro más agua es de 650,40 gr.		
<b>Realizado por:</b>	<b>Revisado por:</b>	
Samantha Gavilanes	Ing. Favio Portilla	

Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo





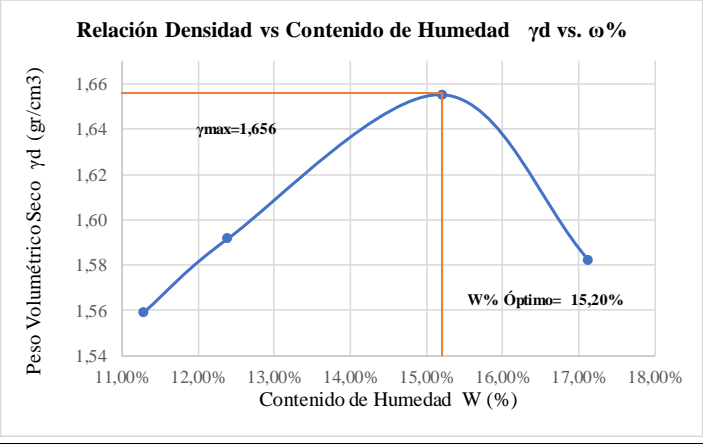


## Anexo 24: Proctor Modificado con 1% de Emulsión Asfáltica

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> <b>ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO "B"</b> 								
<b>1% de Emulsión Asfáltica</b>								
<b>REALIZADO POR:</b>	Samantha Gavilanes							
<b>PROYECTO:</b>	“Estudio del efecto de la adición de emulsión asfáltica en las propiedades físico - mecánicas de suelos granulares, para el diseño de pavimentos flexibles”							
<b>UBICACIÓN:</b>	Montalvo							
<b>ID. DE MUESTRA:</b>	M2							
<b>FECHA:</b>	30/06/2021							
<b>REVISADO POR:</b>	Ing. Favio Portilla							
<b>NORMA:</b>	AASHTO T- 180							
<b>ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO</b>								
N° de Golpes:	56	N° capas:	5	P. martillo:	10	lb		
Altura de caída:	18' o 1.5ft	P. molde:	13297	gr	Vol. molde:	2316,56	cm <sup>3</sup>	
Energía de compactación:	55986	lb/ft <sup>3</sup>	Diámetro:	15,18	cm	Altura:	12,8	cm
<b>1. PROCESO DE COMPACTACIÓN</b>								
Ensayo número	1	2	3	4				
Peso inicial deseado	6000	6000	6000	6000				
Humedad inicial añadida	9	12	15	18				
P. molde + suelo húmedo	17223	17385	17725	17641				
Peso suelo húmedo	3926	4088	4428	4344				
Peso unitario húmedo $\gamma_m$	1,695	1,765	1,911	1,875				
<b>2. CONTENIDO DE HUMEDAD</b>								
# Recipiente	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G</b>	<b>H</b>
R. + Suelo húmedo	187,8	180,5	240,1	214,6	240,1	206,9	225,3	240,5
	173,7	166,9	218,3	194,7	210,3	183,5	193,5	208,4
Peso agua	14,1	13,6	21,8	19,9	29,8	23,4	31,8	32,1
Peso recipiente	32,6	31,1	30,8	31,6	34,4	32,3	30,3	33,1
Peso suelo seco	141,1	135,8	187,5	163,1	175,9	151,2	163,2	175,3
Contenido humedad $\omega\%$	9,99%	10,01%	11,63%	12,20%	16,94%	15,48%	19,49%	18,31%
Cont. Humedad prom. $\omega\%$	10,00%		11,91%		16,21%		18,90%	
Densidad seca $\gamma_d$	1,541		1,577		1,645		1,577	
<b>3. DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA</b>								
 <p style="text-align: center;"><b>Relación Densidad vs Contenido de Humedad <math>\gamma_d</math> vs. <math>\omega\%</math></b></p>								
<b>4. DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO</b>								
La densidad máxima ( $\gamma_d$ máx) alcanzada según la gráfica corresponde a 1.645 gr/cm <sup>3</sup> , la cual corresponde a un contenido de humedad óptimo ( $W$ ópt) de 16,20%, sin embargo los parámetros pueden variar ligeramente cuando se traza la gráfica.								



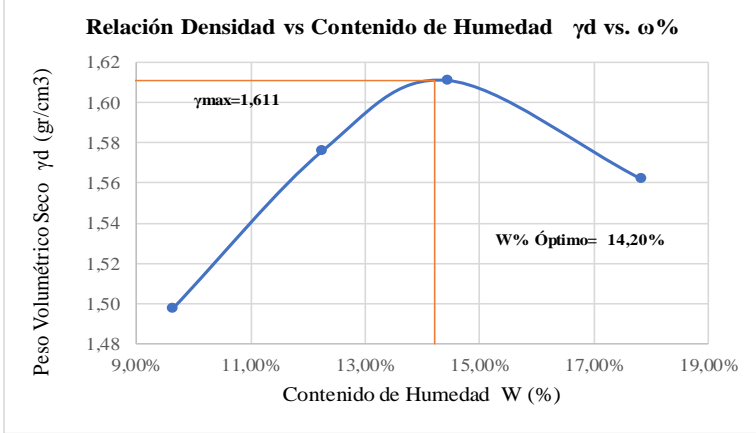
Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo

## Anexo 25: Proctor Modificado con 3% de Emulsión Asfáltica

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> <b>ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO "B"</b>			
<b>3% de Emulsión Asfáltica</b>			
<b>REALIZADO POR:</b>	Samantha Gavilanes		
<b>PROYECTO:</b>	"Estudio del efecto de la adición de emulsión asfáltica en las propiedades físico - mecánicas de suelos granulares, para el diseño de pavimentos flexibles"		
<b>UBICACIÓN:</b>	Montalvo	<b>REVISADO POR:</b>	Ing. Favio Portilla
<b>ID. DE MUESTRA:</b>	M2	<b>NORMA:</b>	AASHTO T- 180
<b>FECHA:</b>	30/06/2021		
<b>ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO</b>			
N° de Golpes:	56	N° capas:	5
P.martillo:	10 lb		
Altura de caída:	18' o 1.5ft	P. molde:	13297 gr
Vol. molde:	2316,56 cm <sup>3</sup>		
Energía de compactación:	55986 lb/ft/ft <sup>3</sup>	Diámetro:	15,18 cm
Altura:	12,8 cm		
<b>1. PROCESO DE COMPACTACIÓN</b>			
Ensayo número	1	2	3
Peso inicial deseado	6000	6000	6000
Humedad inicial añadida	9	12	15
P. molde + suelo húmedo	17316	17441	17715
Peso suelo húmedo	4019	4144	4418
Peso unitario húmedo $\gamma_m$	1,735	1,789	1,907
<b>2. CONTENIDO DE HUMEDAD</b>			
# Recipiente	A	B	C
R. + Suelo húmedo	233,0	239,7	206,2
R. + Suelo seco	212,8	218,4	187,1
Peso agua	20,2	21,3	19,1
Peso recipiente	31,1	32,4	30,8
Peso suelo seco	181,7	186	156,3
Contenido humeda $\omega\%$	11,12%	11,45%	12,22%
Cont. Humedad prom. $\omega\%$	11,28%	12,39%	15,21%
Densidad seca $\gamma_d$	1,559	1,592	1,655
<b>3. DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA</b>			
			
<b>4. DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO</b>			
La densidad máxima ( $\gamma_d$ máx) alcanzada según la gráfica corresponde a 1.656 gr/cm <sup>3</sup> , la cual corresponde a un contenido de humedad óptimo (W ópt) de 15,20%, sin embargo los parámetros pueden variar ligeramente cuando se traza la gráfica.			



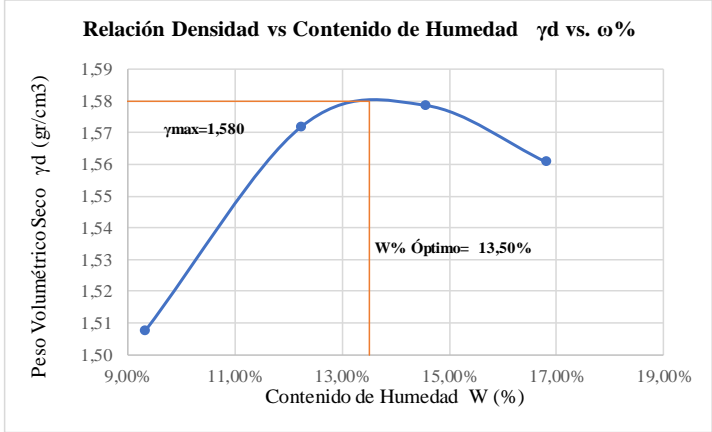
Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo

## Anexo 26: Proctor Modificado con 5% de Emulsión Asfáltica

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> <b>ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO "B"</b>			
<b>5% de Emulsión Asfáltica</b>			
<b>REALIZADO POR:</b>	Samantha Gavilanes		
<b>PROYECTO:</b>	"Estudio del efecto de la adición de emulsión asfáltica en las propiedades físico - mecánicas de suelos granulares, para el diseño de pavimentos flexibles"		
<b>UBICACIÓN:</b>	Montalvo	<b>REVISADO POR:</b>	Ing. Favio Portilla
<b>ID. DE MUESTRA:</b>	M2		
<b>FECHA:</b>	30/06/2021	<b>NORMA:</b>	AASHTO T- 180
<b>ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO</b>			
N° de Golpes:	56	N°capas:	5
Altura de caída:	18' o 1.5ft	P. molde:	13297 gr
Energía de compactación:	55986 lb/ft/ft3	Diámetro:	15,18 cm
		P.martillo:	10 lb
		Vol. molde:	2316,56 cm3
		Altura:	12,8 cm
<b>1. PROCESO DE COMPACTACIÓN</b>			
Ensayo número	1	2	3
Peso inicial deseado	6000	6000	6000
Humedad inicial añadida	9	12	15
P. molde + suelo húmedo	17100	17395	17567
Peso suelo húmedo	3803	4098	4270
Peso unitario húmedo $\gamma_m$	1,642	1,769	1,843
<b>2. CONTENIDO DE HUMEDAD</b>			
# Recipiente	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
R. + Suelo húmedo	186,0	188,2	199,1
R. + Suelo seco	172,5	174,3	180,8
Peso agua	13,5	13,9	18,3
Peso recipiente	31,8	30,3	31,1
Peso suelo seco	140,7	144	149,7
Contenido humedad $\omega\%$	9,59%	9,65%	12,22%
Cont. Humedad prom. $\omega\%$	9,62%		12,25%
Densidad seca $\gamma_d$	1,498		1,576
			14,43%
			17,83%
			1,562
<b>3. DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA</b>			
			
<b>4. DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO</b>			
La densidad máxima ( $\gamma_d$ máx) alcanzada según la gráfica corresponde a 1.611 gr/cm <sup>3</sup> , la cual corresponde a un contenido de humedad óptimo ( $W$ ópt) de 14,20%, sin embargo los parámetros pueden variar ligeramente cuando se traza la gráfica.			



Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo

## Anexo 27: Proctor Modificado con 8% de Emulsión Asfáltica

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> <b>ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO "B"</b> 								
8% de Emulsión Asfáltica								
<b>REALIZADO POR:</b>	Samantha Gavilanes							
<b>PROYECTO:</b>	“Estudio del efecto de la adición de emulsión asfáltica en las propiedades físico - mecánicas de suelos granulares, para el diseño de pavimentos flexibles”							
<b>UBICACIÓN:</b>	Montalvo							
<b>ID. DE MUESTRA:</b>	M2							
<b>FECHA:</b>	30/06/2021							
<b>REVISADO POR:</b>	Ing. Favio Portilla							
<b>NORMA:</b>	AASHTO T- 180							
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO								
Nº de Golpes:	56							
Altura de caída:	18' o 1.5ft							
Energía de compactación:	55986 lb/ft/ft3							
Nº capas:	5							
P. molde:	13297 gr							
Diámetro:	15,18 cm							
P.martillo:	10 lb							
Vol. molde:	2316,56 cm3							
Altura:	12,8 cm							
1. PROCESO DE COMPACTACIÓN								
Ensayo número	1							
Peso inicial deseado	6000							
Humedad inicial añadida	9							
P. molde + suelo húmedo	17114							
Peso suelo húmedo	3817							
Peso unitario húmedo $\gamma_m$	1,648							
Ensayo número	2							
Peso inicial deseado	6000							
Humedad inicial añadida	12							
P. molde + suelo húmedo	17383							
Peso suelo húmedo	4086							
Peso unitario húmedo $\gamma_m$	1,764							
Ensayo número	3							
Peso inicial deseado	6000							
Humedad inicial añadida	15							
P. molde + suelo húmedo	17486							
Peso suelo húmedo	4189							
Peso unitario húmedo $\gamma_m$	1,808							
Ensayo número	4							
Peso inicial deseado	6000							
Humedad inicial añadida	18							
P. molde + suelo húmedo	17520							
Peso suelo húmedo	4223							
Peso unitario húmedo $\gamma_m$	1,823							
2. CONTENIDO DE HUMEDAD								
# Recipiente	A	B	C	D	E	F	G	H
R. + Suelo húmedo	212,3	205,6	223,3	212,6	225,8	225,8	260,9	230,9
R. + Suelo seco	196,9	191,1	202,5	192,9	201,0	201,7	225,8	204,1
Peso agua	15,4	14,5	20,8	19,7	24,8	24,1	35,1	26,8
Peso recipiente	32,6	34,4	31,9	32,3	33,7	33,2	30,3	33,1
Peso suelo seco	164,3	156,7	170,6	160,6	167,3	168,5	195,5	171
Contenido humedad $\omega\%$	9,37%	9,25%	12,19%	12,27%	14,82%	14,30%	17,95%	15,67%
Cont. Humedad prom. $\omega\%$	9,31%		12,23%		14,56%		16,81%	
Densidad seca $\gamma_d$	1,507		1,572		1,578		1,561	
3. DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA								
 <p style="text-align: center;"><b>Relación Densidad vs Contenido de Humedad <math>\gamma_d</math> vs. <math>\omega\%</math></b></p>								
4. DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO								
La densidad máxima ( $\gamma_d$ máx) alcanzada según la gráfica corresponde a 1.580 gr/cm <sup>3</sup> , la cual corresponde a un contenido de humedad óptimo ( $W$ ópt) de 13,50%, sin embargo los parámetros pueden variar ligeramente cuando se traza la gráfica.								

Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo

**Anexo 28: CBR con 0% de Emulsión Asfáltica**

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> <b>ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)</b> 						
0% de Emulsión Asfáltica						
<b>REALIZADO POR:</b>	Samantha Gavilanes					
<b>TEMA:</b>	"Estudio del efecto de la adición de emulsión asfáltica en las propiedades físico - mecánicas de suelos granulares, para el diseño de pavimentos flexibles"					
<b>UBICACIÓN:</b>	Montalvo			<b>REVISADO:</b>	Ing. Favio Portilla	
<b>ID. DE MUESTRA:</b>	M2			<b>NORMA:</b>	ASTM D-1883	
<b>FECHA:</b>	01/09/2021			<b>Wópt:</b>	14,70	
<b>MOLDE</b>	<b>A</b>		<b>B</b>		<b>C</b>	
<b>DIMENSIONES</b>	Diámetro	15,18	Diámetro	15,13	Diámetro	15,16
	Altura	12,80	Altura	12,85	Altura	12,70
N° de golpes	11		27		56	
Muestra húmeda + molde (gr)	10285		11150		11087	
Masa Molde (gr)	6273		6997		6928	
Masa muestra húmeda (gr)	4012		4153		4159	
Volumen muestra (cm <sup>3</sup> )	2316,49		2310,25		2292,34	
Peso unitario húmedo (gr/cm <sup>3</sup> )	1,732		1,798		1,814	
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>	<b>Bandeja</b>	<b>Molde</b>	<b>Bandeja</b>	<b>Molde</b>	<b>Bandeja</b>	<b>Molde</b>
N° Recipiente	A	B	C	D	E	F
Masa del recipiente	31,5	30,4	33,4	33,4	30,8	31,8
Masa suelo hum+recip. (gr)	210,7	208,7	195,3	220,3	202	222,8
Masa suelo seco+recip. (gr)	188	186,2	174,6	196,5	180,3	198,9
Masa de agua (gr)	22,7	22,5	20,7	23,8	21,7	23,9
Masa suelo seco (gr)	156,5	155,8	141,2	163,1	149,5	167,1
Contenido de humedad W%	14,50%	14,44%	14,66%	14,59%	14,52%	14,30%
Promedio W%	14,47%		14,63%		14,41%	
Peso unitario seco (gr/cm <sup>3</sup> )	1,513		1,568		1,586	
<b>DESPÚES DE LA SATURACIÓN</b>						
Muestra húmeda + molde (gr)	10591		11392		11351	
Masa Molde (gr)	6273		6997		6928	
Masa muestra húmeda (gr)	4318		4395		4423	
Volumen muestra (cm <sup>3</sup> )	2316,49		2310,25		2292,34	
Peso unitario húmedo (gr/cm <sup>3</sup> )	1,864		1,902		1,929	
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>	<b>Superior</b>	<b>Inferior</b>	<b>Superior</b>	<b>Inferior</b>	<b>Superior</b>	<b>Inferior</b>
N° Recipiente	A	B	C	D	E	F
Masa del recipiente	32,3	31,8	30,9	30,9	30,8	31,8
Masa suelo hum+recip. (gr)	226,3	244,4	161,9	159,9	218,6	235,5
Masa suelo seco+recip. (gr)	189,5	205,4	138,4	137,2	188,5	202,5
Masa de agua (gr)	36,8	39	23,5	22,7	30,1	33
Masa suelo seco (gr)	157,2	173,6	107,5	106,3	157,7	170,7
Contenido de humedad W%	23,41%	22,47%	21,86%	21,35%	19,09%	19,33%
Promedio W%	22,94%		21,61%		19,21%	

ENSAYO DE CARGA - PENETRACIÓN						
Máquina de compresión simple	Área Pistón = 3 plg <sup>2</sup>		Vel.Carga = 1,27 mm/min (0,05 pulg/min)			
Nº MOLDE	A		B		C	
Penetración (plg)	dial	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	dial	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	dial	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )
0,000	0	0,00	0	0,00	0	0,00
0,025	142	47,33	184	61,33	393	131,00
0,050	225	75,00	326	108,67	780	260,00
0,075	296	98,67	463	154,33	1136	378,67
0,100	351	117,00	601	200,33	1459	486,33
0,200	523	174,33	1009	336,33	2369	789,67
0,300	673	224,33	1352	450,67	3028	1009,33
0,400	802	267,33	1677	559,00	3178	1059,33
0,500	917	305,67	1976	658,67	3051	1017,00
PORCENTAJES CBR (Corregidos)						
Nº MOLDE	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	CBR 0,1 plg	Densidad seca	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	CBR 0,2 plg	Densidad seca
A	117,00	11,70%	1,513	174,33	11,62%	1,513
B	200,33	20,03%	1,568	336,33	22,42%	1,568
C	486,33	48,63%	1,586	789,67	52,64%	1,586
Densidad Seca Máxima	1,607					
DSM		%CBR 0.1plg	%CBR 0.2plg	%CBR MAYOR		
95%		13,90%	14,70%	14,70%		

### ESFUERZO vs. PENETRACIÓN

Penetración (plg)	11 golpes (Lb/plg <sup>2</sup> )	27 golpes (Lb/plg <sup>2</sup> )	56 golpes (Lb/plg <sup>2</sup> )
0,000	0	0	0
0,025	~50	~100	~150
0,050	~100	~200	~300
0,075	~150	~300	~450
0,100	~200	~400	~600
0,200	~300	~550	~800
0,300	~350	~650	~1000
0,400	~380	~700	~1050
0,500	~400	~750	~1000

### %CBR vs. DENSIDAD SECA

Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	CBR 0,1plg (%)	CBR 0,2plg (%)	0.1 plg (%)	0.2 (%)
1,513	11,70	11,62	14,70	14,70
1,568	20,03	22,42	14,70	14,70
1,586	48,63	52,64	14,70	14,70



  

### DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

El CBR para el diseño del pavimento es 14,70%

Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo

### Anexo 29: CBR con 1% de Emulsión Asfáltica

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> <b>ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)</b> 						
1% de Emulsión Asfáltica						
<b>REALIZADO POR:</b>	Samantha Gavilanes					
<b>TEMA:</b>	"Estudio del efecto de la adición de emulsión asfáltica en las propiedades físico - mecánicas de suelos granulares, para el diseño de pavimentos flexibles"					
<b>UBICACIÓN:</b>	Montalvo			<b>REVISADO:</b>	Ing. Favio Portilla	
<b>ID. DE MUESTRA:</b>	M2			<b>NORMA:</b>	ASTM D-1883	
<b>FECHA:</b>	01/09/2021			<b>Wópt:</b>	16,20	
<b>MOLDE</b>	<b>A</b>		<b>B</b>		<b>C</b>	
<b>DIMENSIONES</b>	Diámetro	15,18	Diámetro	15,13	Diámetro	15,16
	Altura	12,80	Altura	12,85	Altura	12,70
N° de golpes	11		27		56	
Muestra húmeda + molde (gr)	10405		11296		11255	
Masa Molde (gr)	6273		6997		6928	
Masa muestra húmeda (gr)	4132		4299		4327	
Volumen muestra (cm <sup>3</sup> )	2316,49		2310,25		2292,34	
Peso unitario húmedo (gr/cm <sup>3</sup> )	1,784		1,861		1,888	
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>	<b>Bandeja</b>	<b>Molde</b>	<b>Bandeja</b>	<b>Molde</b>	<b>Bandeja</b>	<b>Molde</b>
N° Recipiente	A	B	C	D	E	F
Masa del recipiente	32,6	34,5	30,8	31,8	33,3	33,2
Masa suelo hum+recip. (gr)	228,3	217,8	189	183,9	195,7	238,6
Masa suelo seco+recip. (gr)	200,6	191,9	167,1	162,7	172,6	208,6
Masa de agua (gr)	27,7	25,9	21,9	21,2	23,1	30
Masa suelo seco (gr)	168	157,4	136,3	130,9	139,3	175,4
Contenido de humedad W%	16,49%	16,45%	16,07%	16,20%	16,58%	17,10%
Promedio W%	16,47%		16,13%		16,84%	
Peso unitario seco (gr/cm <sup>3</sup> )	1,531		1,602		1,615	
<b>DESPÚES DE LA SATURACIÓN</b>						
Muestra húmeda + molde (gr)	10600		11413		11334	
Masa Molde (gr)	6273		6997		6928	
Masa muestra húmeda (gr)	4327		4416		4406	
Volumen muestra (cm <sup>3</sup> )	2316,49		2310,25		2292,34	
Peso unitario húmedo (gr/cm <sup>3</sup> )	1,868		1,911		1,922	
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>	<b>Superior</b>	<b>Inferior</b>	<b>Superior</b>	<b>Inferior</b>	<b>Superior</b>	<b>Inferior</b>
N° Recipiente	A	B	C	D	E	F
Masa del recipiente	30,4	32,4	32,6	33,8	32,6	34,5
Masa suelo hum+recip. (gr)	229	229	220,9	237,5	232,2	234,3
Masa suelo seco+recip. (gr)	192,6	194,4	190	204,2	201,6	203,6
Masa de agua (gr)	36,4	34,6	30,9	33,3	30,6	30,7
Masa suelo seco (gr)	162,2	162	157,4	170,4	169	169,1
Contenido de humedad W%	22,44%	21,36%	19,63%	19,54%	18,11%	18,15%
Promedio W%	21,90%		19,59%		18,13%	

ENSAYO DE CARGA - PENETRACIÓN						
Máquina de compresión simple	Área Pistón = 3 plg <sup>2</sup>		Vel.Carga = 1,27 mm/min (0,05 pulg/min)			
Nº MOLDE	A		B		C	
Penetración (plg)	dial	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	dial	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	dial	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )
0,000	0	0,00	0	0,00	0	0,00
0,025	174	58,00	192	64,00	228	76,00
0,050	271	90,33	366	122,00	396	132,00
0,075	353	117,67	549	183,00	594	198,00
0,100	436	145,33	732	244,00	833	277,67
0,200	689	229,67	1326	442,00	1692	564,00
0,300	888	296,00	1793	597,67	2429	809,67
0,400	1056	352,00	2193	731,00	3048	1016,00
0,500	1203	401,00	2459	819,67	3525	1175,00
PORCENTAJES CBR (Corregidos)						
Nº MOLDE	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	CBR 0,1 plg	Densidad seca	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	CBR 0,2 plg	Densidad seca
A	145,33	14,53%	1,531	229,67	15,31%	1,531
B	244,00	24,40%	1,602	442,00	29,47%	1,602
C	277,67	27,77%	1,615	564,00	37,60%	1,615
Densidad Seca Máxima DSM	1,645					
95%	1,563	%CBR 0.1plg	%CBR 0.2plg	%CBR MAYOR		
		19,00%	21,60%	21,60%		

Penetración (plg)	11 golpes (lb/plg²)	27 golpes (lb/plg²)	56 golpes (lb/plg²)
0,000	0	0	0
0,025	~100	~150	~200
0,050	~150	~250	~350
0,100	~200	~350	~500
0,200	~250	~450	~600
0,300	~300	~550	~800
0,400	~350	~700	~1000
0,500	~400	~800	~1200

Densidad Seca (gr/cm³)	CBR 0,1 plg (%)	CBR 0,2 plg (%)
1,53	~15	~15
1,54	~17	~18
1,55	~19	~20
1,56	~21	~22
1,60	~24	~28
1,615	~28	~37



  

DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO	
El CBR para el diseño del pavimento es 21,60%	

Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo



### Anexo 30: CBR con 3% de Emulsión Asfáltica

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> <b>ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)</b> 						
3% de Emulsión Asfáltica						
<b>REALIZADO POR:</b>	Samantha Gavilanes					
<b>TEMA:</b>	"Estudio del efecto de la adición de emulsión asfáltica en las propiedades físico - mecánicas de suelos granulares, para el diseño de pavimentos flexibles"					
<b>UBICACIÓN:</b>	Montalvo			<b>REVISADO:</b>	Ing. Favio Portilla	
<b>ID. DE MUESTRA:</b>	M2			<b>NORMA:</b>	ASTM D-1883	
<b>FECHA:</b>	01/09/2021			<b>Wópt:</b>	15,20	
<b>MOLDE</b>	<b>A</b>		<b>B</b>		<b>C</b>	
<b>DIMENSIONES</b>	Diámetro	15,18	Diámetro	15,13	Diámetro	15,16
	Altura	12,80	Altura	12,85	Altura	12,70
N° de golpes	11		27		56	
Muestra húmeda + molde (gr)	10236		11124		11160	
Masa Molde (gr)	6273		6997		6928	
Masa muestra húmeda (gr)	3963		4127		4232	
Volumen muestra (cm <sup>3</sup> )	2316,49		2310,25		2292,34	
Peso unitario húmedo (gr/cm <sup>3</sup> )	1,711		1,786		1,846	
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>	<b>Bandeja</b>	<b>Molde</b>	<b>Bandeja</b>	<b>Molde</b>	<b>Bandeja</b>	<b>Molde</b>
N° Recipiente	A	B	C	D	E	F
Masa del recipiente	30,8	31,8	30,4	32,4	32,5	33,8
Masa suelo hum+recip. (gr)	209,2	213,3	201,8	219,6	218,4	235,2
Masa suelo seco+recip. (gr)	185,6	189,3	179	194,7	193,4	208
Masa de agua (gr)	23,6	24	22,8	24,9	25	27,2
Masa suelo seco (gr)	154,8	157,5	148,6	162,3	160,9	174,2
Contenido de humedad W%	15,25%	15,24%	15,34%	15,34%	15,54%	15,61%
Promedio W%	15,24%		15,34%		15,58%	
Peso unitario seco (gr/cm <sup>3</sup> )	1,485		1,549		1,597	
<b>DESPÚES DE LA SATURACIÓN</b>						
Muestra húmeda + molde (gr)	10514		11299		11293	
Masa Molde (gr)	6273		6997		6928	
Masa muestra húmeda (gr)	4241		4302		4365	
Volumen muestra (cm <sup>3</sup> )	2316,49		2310,25		2292,34	
Peso unitario húmedo (gr/cm <sup>3</sup> )	1,831		1,862		1,904	
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>	<b>Superior</b>	<b>Inferior</b>	<b>Superior</b>	<b>Inferior</b>	<b>Superior</b>	<b>Inferior</b>
N° Recipiente	A	B	C	D	E	F
Masa del recipiente	31,5	30,4	33,4	33,3	32,6	34,5
Masa suelo hum+recip. (gr)	228,7	223,5	225,2	213,7	221	217,6
Masa suelo seco+recip. (gr)	193,2	187,7	193,6	184,5	191,5	189,7
Masa de agua (gr)	35,5	35,8	31,6	29,2	29,5	27,9
Masa suelo seco (gr)	161,7	157,3	160,2	151,2	158,9	155,2
Contenido de humedad W%	21,95%	22,76%	19,73%	19,31%	18,57%	17,98%
Promedio W%	22,36%		19,52%		18,27%	

ENSAYO DE CARGA - PENETRACIÓN						
Máquina de compresión simple	Área Pistón = 3 plg <sup>2</sup>		Vel.Carga = 1,27 mm/min (0,05 pulg/min)			
Nº MOLDE	A		B		C	
Penetración (plg)	dial	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	dial	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	dial	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )
0,000	0	0,00	0	0,00	0	0,00
0,025	129	43,00	283	94,33	290	96,67
0,050	173	57,67	526	175,33	565	188,33
0,075	209	69,67	662	220,67	833	277,67
0,100	243	81,00	773	257,67	1036	345,33
0,200	379	126,33	1136	378,67	1803	601,00
0,300	495	165,00	1438	479,33	2443	814,33
0,400	602	200,67	1663	554,33	2764	921,33
0,500	698	232,67	1819	606,33	3083	1027,67
PORCENTAJES CBR (Corregidos)						
Nº MOLDE	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	CBR 0,1 plg	Densidad seca	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	CBR 0,2 plg	Densidad seca
A	81,00	8,10%	1,485	126,33	8,42%	1,485
B	257,67	25,77%	1,549	378,67	25,24%	1,549
C	345,33	34,53%	1,597	601,00	40,07%	1,597
Densidad Seca Máxima	1,656					
DSM		%CBR 0.1plg	%CBR 0.2plg	%CBR MAYOR		
95%		1,573	30,00%	32,50%	32,50%	

### ESFUERZO vs. PENETRACIÓN

Penetración (plg)	11 golpes (lb/plg²)	27 golpes (lb/plg²)	56 golpes (lb/plg²)
0,000	0	0	0
0,050	~50	~100	~150
0,100	~80	~200	~300
0,200	~120	~350	~600
0,300	~150	~450	~800
0,400	~180	~550	~900
0,500	~220	~600	~1000

### %CBR vs. DENSIDAD SECA



Densidad Seca (gr/cm³)	CBR 0,1 plg (%)	CBR 0,2 plg (%)
1,485	8,10%	8,42%
1,549	25,77%	25,24%
1,597	34,53%	40,07%
1,573	-	30,00%

DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO	
El CBR para el diseño del pavimento es 32,50%	

Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo

### Anexo 31: CBR con 5% de Emulsión Asfáltica

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> <b>ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)</b> 						
5% de Emulsión Asfáltica						
<b>REALIZADO POR:</b>	Samantha Gavilanes					
<b>TEMA:</b>	"Estudio del efecto de la adición de emulsión asfáltica en las propiedades físico - mecánicas de suelos granulares, para el diseño de pavimentos flexibles"					
<b>UBICACIÓN:</b>	Montalvo			<b>REVISADO:</b>	Ing. Favio Portilla	
<b>ID. DE MUESTRA:</b>	M2			<b>NORMA:</b>	ASTM D-1883	
<b>FECHA:</b>	01/09/2021			<b>Wópt:</b>	14,20	
<b>MOLDE</b>	<b>A</b>		<b>B</b>		<b>C</b>	
<b>DIMENSIONES</b>	Diámetro	15,18	Diámetro	15,13	Diámetro	15,16
	Altura	12,80	Altura	12,85	Altura	12,70
N° de golpes	11		27		56	
Muestra húmeda + molde (gr)	10215		11227		11175	
Masa Molde (gr)	6273		6997		6928	
Masa muestra húmeda (gr)	3942		4230		4247	
Volumen muestra (cm <sup>3</sup> )	2316,49		2310,25		2292,34	
Peso unitario húmedo (gr/cm <sup>3</sup> )	1,702		1,831		1,853	
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>	<b>Bandeja</b>	<b>Molde</b>	<b>Bandeja</b>	<b>Molde</b>	<b>Bandeja</b>	<b>Molde</b>
N° Recipiente	A	B	C	D	E	F
Masa del recipiente	32,6	34,4	30,4	32,4	32,6	33,8
Masa suelo hum+recip. (gr)	207,6	213,8	199,8	213,6	215,6	235,9
Masa suelo seco+recip. (gr)	185,3	191,2	178	190,4	192	209,5
Masa de agua (gr)	22,3	22,6	21,8	23,2	23,6	26,4
Masa suelo seco (gr)	152,7	156,8	147,6	158	159,4	175,7
Contenido de humedad W%	14,60%	14,41%	14,77%	14,68%	14,81%	15,03%
Promedio W%	14,51%		14,73%		14,92%	
Peso unitario seco (gr/cm <sup>3</sup> )	1,486		1,596		1,612	
<b>DESPÚES DE LA SATURACIÓN</b>						
Muestra húmeda + molde (gr)	10477		11358		11279	
Masa Molde (gr)	6273		6997		6928	
Masa muestra húmeda (gr)	4204		4361		4351	
Volumen muestra (cm <sup>3</sup> )	2316,49		2310,25		2292,34	
Peso unitario húmedo (gr/cm <sup>3</sup> )	1,815		1,888		1,898	
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>	<b>Superior</b>	<b>Inferior</b>	<b>Superior</b>	<b>Inferior</b>	<b>Superior</b>	<b>Inferior</b>
N° Recipiente	A	B	C	D	E	F
Masa del recipiente	32,3	31,8	31	31	32,6	34,4
Masa suelo hum+recip. (gr)	249,1	244,6	171,4	153,8	247	220,8
Masa suelo seco+recip. (gr)	209,4	206,1	148,5	135,8	212,9	194
Masa de agua (gr)	39,7	38,5	22,9	18	34,1	26,8
Masa suelo seco (gr)	177,1	174,3	117,5	104,8	180,3	159,6
Contenido de humedad W%	22,42%	22,09%	19,49%	17,18%	18,91%	16,79%
Promedio W%	22,25%		18,33%		17,85%	

ENSAYO DE CARGA - PENETRACIÓN						
Máquina de compresión simple	Área Pistón = 3 plg <sup>2</sup>		Vel.Carga = 1,27 mm/min (0,05 pulg/min)			
Nº MOLDE	A		B		C	
Penetración (plg)	dial	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	dial	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	dial	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )
0,000	0	0,00	0	0,00	0	0,00
0,025	213	71,00	333	111,00	335	111,67
0,050	269	89,67	543	181,00	633	211,00
0,075	309	103,00	722	240,67	967	322,33
0,100	335	111,67	876	292,00	1269	423,00
0,200	503	167,67	1363	454,33	2092	697,33
0,300	586	195,33	1738	579,33	2590	863,33
0,400	695	231,67	1923	641,00	2928	976,00
0,500	795	265,00	1937	645,67	2943	981,00
PORCENTAJES CBR (Corregidos)						
Nº MOLDE	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	CBR 0,1 plg	Densidad seca	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	CBR 0,2 plg	Densidad seca
A	111,67	11,17%	1,486	167,67	11,18%	1,486
B	292,00	29,20%	1,596	454,33	30,29%	1,596
C	423,00	42,30%	1,612	697,33	46,49%	1,612
Densidad Seca Máxima	1,611					
DSM		%CBR 0.1plg	%CBR 0.2plg	%CBR MAYOR		
95%		1,530	18,40%	19,00%	19,00%	

### ESFUERZO vs. PENETRACIÓN

Penetración (plg)	11 golpes (lb/plg²)	27 golpes (lb/plg²)	56 golpes (lb/plg²)
0,000	0	0	0
0,025	~10	~15	~20
0,050	~15	~25	~35
0,100	~20	~30	~45
0,200	~25	~45	~70
0,300	~28	~55	~85
0,400	~30	~60	~95
0,500	~32	~65	~98

### %CBR vs. DENSIDAD SECA

Densidad Seca (gr/cm³)	CBR 0,1 plg (%)	CBR 0,2 plg (%)
1,48	~10	~12
1,49	~12	~14
1,51	~16	~18
1,53	19	~20
1,59	~28	~30
1,61	~42	~46



  

### DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

El CBR para el diseño del pavimento es 19,00 %

Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo

### Anexo 32: CBR con 8% de Emulsión Asfáltica

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> <b>ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)</b> 						
8% de Emulsión Asfáltica						
<b>REALIZADO POR:</b>	Samantha Gavilanes					
<b>TEMA:</b>	"Estudio del efecto de la adición de emulsión asfáltica en las propiedades físico - mecánicas de suelos granulares, para el diseño de pavimentos flexibles"					
<b>UBICACIÓN:</b>	Montalvo			<b>REVISADO:</b>	Ing. Favio Portilla	
<b>ID. DE MUESTRA:</b>	M2			<b>NORMA:</b>	ASTM D-1883	
<b>FECHA:</b>	01/09/2021			<b>Wópt:</b>	13,50	
<b>MOLDE</b>	<b>A</b>		<b>B</b>		<b>C</b>	
<b>DIMENSIONES</b>	Diámetro	15,18	Diámetro	15,13	Diámetro	15,16
	Altura	12,80	Altura	12,85	Altura	12,70
N° de golpes	11		27		56	
Muestra húmeda + molde (gr)	10224		11158		11097	
Masa Molde (gr)	6273		6997		6928	
Masa muestra húmeda (gr)	3951		4161		4169	
Volumen muestra (cm <sup>3</sup> )	2316,49		2310,25		2292,34	
Peso unitario húmedo (gr/cm <sup>3</sup> )	1,706		1,801		1,819	
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>	<b>Bandeja</b>	<b>Molde</b>	<b>Bandeja</b>	<b>Molde</b>	<b>Bandeja</b>	<b>Molde</b>
N° Recipiente	A	B	C	D	E	F
Masa del recipiente	30,9	31,8	30,4	32,4	33,4	33,2
Masa suelo hum+recip. (gr)	203	198,8	203,2	205,6	216,1	217,6
Masa suelo seco+recip. (gr)	182	178,3	182,1	184,1	192,8	194,3
Masa de agua (gr)	21	20,5	21,1	21,5	23,3	23,3
Masa suelo seco (gr)	151,1	146,5	151,7	151,7	159,4	161,1
Contenido de humedad W%	13,90%	13,99%	13,91%	14,17%	14,62%	14,46%
Promedio W%	13,95%		14,04%		14,54%	
Peso unitario seco (gr/cm <sup>3</sup> )	1,497		1,579		1,588	
<b>DESPÚES DE LA SATURACIÓN</b>						
Muestra húmeda + molde (gr)	10533		11340		11165	
Masa Molde (gr)	6273		6997		6928	
Masa muestra húmeda (gr)	4260		4343		4237	
Volumen muestra (cm <sup>3</sup> )	2316,49		2310,25		2292,34	
Peso unitario húmedo (gr/cm <sup>3</sup> )	1,839		1,880		1,848	
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>	<b>Superior</b>	<b>Inferior</b>	<b>Superior</b>	<b>Inferior</b>	<b>Superior</b>	<b>Inferior</b>
N° Recipiente	A	B	C	D	E	F
Masa del recipiente	31,5	30,5	32,6	33,8	30,8	31,8
Masa suelo hum+recip. (gr)	242,1	232	233,6	227,3	256,9	211,1
Masa suelo seco+recip. (gr)	203,9	195,4	200,4	197,5	218,8	183,5
Masa de agua (gr)	38,2	36,6	33,2	29,8	38,1	27,6
Masa suelo seco (gr)	172,4	164,9	167,8	163,7	188	151,7
Contenido de humedad W%	22,16%	22,20%	19,79%	18,20%	20,27%	18,19%
Promedio W%	22,18%		18,99%		19,23%	

ENSAYO DE CARGA - PENETRACIÓN						
Máquina de compresión simple	Área Pistón = 3 plg <sup>2</sup>		Vel.Carga = 1,27 mm/min (0,05 pulg/min)			
Nº MOLDE	A		B			
Penetración (plg)	dial	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	dial	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	dial	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )
0,000	0	0,00	0	0,00	0	0,00
0,025	124	41,33	303	101,00	363	121,00
0,050	186	62,00	509	169,67	556	185,33
0,075	232	77,33	642	214,00	692	230,67
0,100	275	91,67	803	267,67	833	277,67
0,200	416	138,67	1213	404,33	1263	421,00
0,300	536	178,67	1499	499,67	1613	537,67
0,400	632	210,67	1739	579,67	1894	631,33
0,500	728	242,67	1878	626,00	2103	701,00
PORCENTAJES CBR (Corregidos)						
Nº MOLDE	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	CBR 0,1 plg	Densidad seca	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	CBR 0,2 plg	Densidad seca
A	91,67	9,17%	1,497	138,67	9,24%	1,497
B	267,67	26,77%	1,579	404,33	26,96%	1,579
C	277,67	27,77%	1,588	421,00	28,07%	1,588
Densidad Seca Máxima	1,580					
DSM		%CBR 0.1plg	%CBR 0.2plg	%CBR MAYOR		
95%		1,501	9,90%	10,10%	10,10%	

**ESFUERZO vs. PENETRACIÓN**

Penetración (plg)	11 golpes (lb/plg²)	27 golpes (lb/plg²)	56 golpes (lb/plg²)
0,000	0	0	0
0,025	~50	~100	~150
0,050	~80	~180	~250
0,100	~100	~280	~350
0,200	~140	~420	~500
0,300	~180	~500	~580
0,400	~210	~580	~650
0,500	~240	~630	~700

**%CBR vs. DENSIDAD SECA**

Densidad Seca (gr/cm³)	CBR 0.1 plg (%)	CBR 0.2 plg (%)
1,49	~9	~9
1,50	~9	~9
1,51	~11	~11
1,52	~13	~13
1,53	~15	~15
1,54	~17	~17
1,55	~19	~19
1,56	~21	~21
1,57	~23	~23
1,58	~25	~25
1,59	~27	~27



DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO	
El CBR para el diseño del pavimento es 10,10 %	

Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo

# **Anexos**

## **C.3 Ensayos de la Parroquia Juan Benigno Vela**



### Anexo 33: Contenido de Humedad

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO EXPERIMENTAL DE TITULACIÓN			
<b>TEMA:</b>	"Estudio del efecto de la adición de emulsión asfáltica en las propiedades físico-mecánicas de suelos granulares, para el diseño de pavimentos flexibles"		
<b>ENSAYO:</b>	CONTENIDO DE HUEMDAD Y RELACIONES FUNDAMENTALES DEL SUELO		
<b>NORMATIVA:</b>	AASHTO T265 , ASTM S2216-71, INEN 690		
<b>DATOS DE LA MUESTRA:</b>			
<b>Provincia:</b>	Tungurahua	<b>Coordenada X:</b>	9854905,2      17 S
<b>Cantón:</b>	Ambato	<b>Coordenada Y:</b>	756438,2
<b>Parroquia:</b>	Juan B. Vela	<b>Profundidad:</b>	60 cm
<b>Fecha:</b>	jul-21	<b>ID Muestra:</b>	M3
<b>DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD (W%)</b>			
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>VALOR</b>	
Muestra N°		<b>1</b>	<b>2</b>
Peso muestra húmeda + recipiente	gr	154,40	149,90
Peso muestra seca + recipiente	gr	143,90	139,90
Peso del recipiente	gr	31,70	32,30
Peso del agua (Ww)	gr	10,50	10,00
Peso de la muestra seca (Ws)	gr	112,20	107,60
Contenido de humedad (W%)	%	9,36	9,29
Promedio del contenido de humedad (W%)	%	<b>9,33</b>	
<b>DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN DE VACÍOS e</b>			
Volumen del agua (Vw)	cm <sup>3</sup>	10,25	
Volumen del suelo (Vs)	cm <sup>3</sup>	41,47	
Volumen del aire (Va)	cm <sup>3</sup>	28,49	
Volumen de la masa (Vm)	cm <sup>3</sup>	80,21	
Volumen de vacíos (Vv)	cm <sup>3</sup>	38,74	
Relación de vacíos		<b>0,93</b>	
<b>DETERMINACIÓN DE LA POROSIDAD (n%)</b>			
Porosidad	%	<b>48,29</b>	
<b>DETERMINACIÓN DEL GRADO DE SATURACIÓN DEL AGUA (Gw%)</b>			
Grado de saturación del agua	%	<b>26,46</b>	
<b>DETERMINACIÓN DEL GRADO DE SATURACIÓN DEL AIRE (Ga%)</b>			
Grado de saturación del aire	%	<b>73,54</b>	
<b>DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO</b>			
El contenido de humedad natural obtenido para esta muestra es de 9,33%.			
<b>Realizado por:</b>	<b>Revisado por:</b>		
Samantha Gavilanes	Ing. Favio Portilla		

Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo



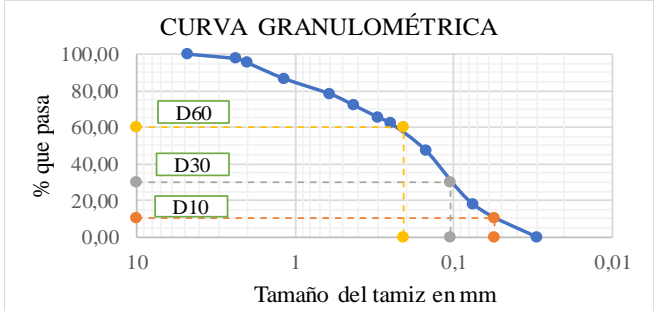


### Anexo 34: Densidad in situ – Cono y Arena de Ottawa

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO EXPERIMENTAL DE TITULACIÓN			
<b>TEMA:</b>	"Estudio del efecto de la adición de emulsión asfáltica en las propiedades físico - mecánicas de suelos granulares, para el diseño de pavimentos flexibles"		
<b>ENSAYO:</b>	DENSIDAD EN CAMPO, MÉTODO DE CONO Y ARENA DE OTTAWA		
	<b>NORMATIVA:</b> AASHTO T-205, ASTM D2167		
<b>DATOS DE LA MUESTRA:</b>			
<b>Provincia:</b>	Tungurahua	<b>Coordenada X:</b>	9854905,2 17 S
<b>Cantón:</b>	Ambato	<b>Coordenada Y:</b>	756438,2
<b>Parroquia:</b>	Juan B. Vela	<b>Profundidad:</b>	60 cm
<b>Fecha:</b>	jul-21	<b>ID Muestra:</b>	M3
<b>DETERMINACIÓN DEL PESO DEL SUELO EXTRAÍDO</b>			
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>VALOR</b>	
Peso del suelo + recipiente	gr	949	
Peso del recipiente	gr	3,3	
Peso de la masa de suelo (Wm)	gr	945,7	
<b>DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DEL HUECO EN EL SUELO</b>			
Lectura inicial del frasco + cono + arena	gr	8033	
Lectura final frasco + cono + arena	gr	6637	
Peso arena en el cono	gr	397	
Peso arena en el hueco	gr	999	
Calibración de la arena de Ottawa	gr/cm3	1,582	
Volumen del hueco (Vm)	cm3	631,48	
<b>DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD (W%)</b>			
Muestra N°		<b>1</b>	<b>2</b>
Peso muestra húmeda + recipiente	gr	154,40	149,90
Peso muestra seca + recipiente	gr	143,90	139,90
Peso del recipiente	gr	31,70	32,30
Peso del agua	gr	10,50	10,00
Peso de la muestra seca	gr	112,20	107,60
Contenido de humedad (W%)	%	9,36	9,29
Promedio del contenido de humedad (W%)	%	<b>9,33</b>	
<b>DETERMINACIÓN DEL PESO VOLUMÉTRICO DE LA MASA DE SUELO</b>			
Peso volumétrico de la masa	gr/cm3	<b>1,498</b>	
<b>DETERMINACIÓN DEL PESO VOLUMÉTRICO SECO</b>			
Peso volumétrico seco	gr/cm3	<b>1,370</b>	
<b>DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO</b>			
La densidad seca obtenida in situ es de 1,370 gr/cm3 y su densidad húmeda corresponde a un valor de 1,498 gr/cm3.			
<b>Realizado por:</b>		<b>Revisado por:</b>	
Samantha Gavilanes		Ing. Favio Portilla	



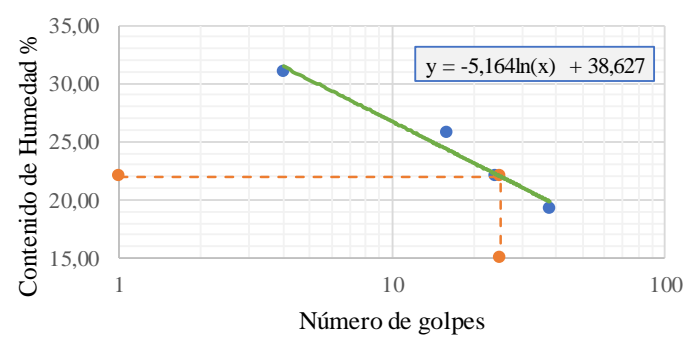
Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo

## Anexo 35: Granulometría

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO EXPERIMENTAL DE TITULACIÓN				
<b>TEMA:</b> "Estudio del efecto de la adición de emulsión asfáltica en las propiedades físico - mecánicas de suelos granulares, para el diseño de pavimentos flexibles"					
<b>ENSAYO:</b> GRANULOMETRÍA					
<b>NORMATIVA:</b> ASTM: D421-58 D-422-63, AASHTO: 7-87-70 7-88-70					
<b>DATOS DE LA MUESTRA:</b>					
<b>Provincia:</b>	Tungurahua	<b>Coordenada X:</b> 9854905,2 17 S			
<b>Cantón:</b>	Ambato	<b>Coordenada Y:</b> 756438,2			
<b>Parroquia:</b>	Juan B. Vela	<b>Profundidad:</b> 60 cm			
<b>Fecha:</b>	jul-21	<b>ID Muestra:</b> M3			
<b>Peso Inicial (gr):</b>		1000			
<b>TAMIZ N°</b>	<b>ABERTURA (mm)</b>	<b>PESO RETENIDO (gr)</b>	<b>PESO RETENIDO ACUMULADO (gr)</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>% QUE PASA</b>
#4	4,75	0	0	0,00	100,00
#8	2,36	25,0	25	2,50	97,50
#10	2,00	22,6	47,6	4,77	95,23
#16	1,18	85,0	132,6	13,28	86,72
#30	0,60	85,3	217,9	21,82	78,18
#40	0,425	62,0	279,9	28,03	71,97
#50	0,30	64,9	344,8	34,54	65,46
#60	0,25	33,2	378	37,86	62,14
#100	0,15	148,6	526,6	52,74	47,26
#200	0,075	294,5	821,1	82,24	17,76
Fuente	0,030	177,3	998,4	100,00	0,00
<b>RESULTADOS</b>					
<b>T.N.M</b>	1,18	<b>Diámetro Dimensional (D60)</b>		0,20	
<b>Diámetro Efectivo (D10)</b>	0,055	<b>Coefficiente de Uniformidad (Cu)</b>		3,64	
<b>Diámetro Equiparable (D30)</b>	0,105	<b>Coefficiente de Curvatura (Cc)</b>		1,00	
<b>PORCENTAJE DE MATERIAL</b>					
	Grava (G%)	Arena (S%)	Limo y Arcilla (Finos %)		
SUCS	0	82%	18%		
AASHTO	2%	80%	18%		
					
<b>Realizado por:</b>			<b>Revisado por:</b>		
Samantha Gavilanes			Ing. Favio Portilla		



Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo

### Anexo 36: Límite Líquido

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> <b>PROYECTO EXPERIMENTAL DE TITULACIÓN</b> 									
<b>TEMA:</b> "Estudio del efecto de la adición de emulsión asfáltica en las propiedades físico-mecánicas de suelos granulares, para el diseño de pavimentos flexibles"									
<b>ENSAYO:</b> <b>LÍMITE LÍQUIDO</b>									
<b>NORMATIVA:</b> AASHTO T90-70, ASTM D424-71, INEN 691									
<b>DATOS DE LA MUESTRA:</b>									
<b>Provincia:</b> Tungurahua			<b>Coordenada X</b> 9854905,2 17S						
<b>Cantón:</b> Ambato			<b>Coordenada Y</b> 756438,2						
<b>Parroquia:</b> Juan B. Vela			<b>Profundidad:</b> 60cm						
<b>Fecha:</b> jul-21			<b>ID Muestra:</b> M3						
MUESTRA N°	Unidad	1		2		3		4	
Peso muestra húmeda + recipiente	gr	47,4	45,5	29,8	37,5	25,3	26	24,9	26,5
Peso muestra seca + recipiente	gr	38,8	37,4	26,1	31,9	22,7	23,3	22,7	24
Peso Agua [Ww]	gr	8,6	8,1	3,7	5,6	2,6	2,7	2,2	2,5
Peso Recipiente [Wr]	gr	11	11,3	11,2	10,8	10,9	11	11,1	11,1
Peso Muestra Seca [Ws]	gr	27,8	26,1	14,9	21,1	11,8	12,3	11,6	12,9
Contenido de Humedad W%	%	30,94	31,03	24,83	26,54	22,03	21,95	18,97	19,38
Contenido de Humedad Promedio PW%	%	30,98		25,69		21,99		19,17	
Número de golpes		4		16		24		38	
Límite Líquido LL%	%	<b>22,00</b>							
<p style="text-align: center;"><b>LÍMITE LÍQUIDO - CASAGRANDE</b></p> 									
<b>Realizado por:</b>					<b>Revisado por:</b>				
Samantha Gavilanes					Ing. Favio Portilla				



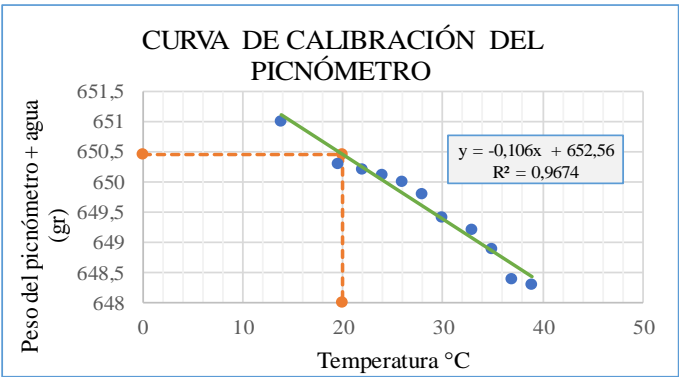
Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo

**Anexo 37: Límite Plástico**

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> <b>PROYECTO EXPERIMENTAL DE TITULACIÓN</b>					
<b>TEMA:</b> "Estudio del efecto de la adición de emulsión asfáltica en las propiedades físico - mecánicas de suelos granulares, para el diseño de pavimentos flexibles"						
<b>ENSAYO:</b> <b>LÍMITE PLÁSTICO</b>						
<b>NORMATIVA:</b> ASSHTO T90-20, ASTM D424-59-74, INEN 691						
<b>DATOS DE LA MUESTRA:</b>						
<b>Provincia:</b>	Tungurahua	<b>Coordenada X:</b> 9854905,2      17S				
<b>Cantón:</b>	Ambato	<b>Coordenada Y:</b> 756438,2				
<b>Parroquia:</b>	Juan B. Vela	<b>Profundidad:</b> 60cm				
<b>Fecha:</b>	jul-21	<b>ID Muestra:</b> M3				
<b>MUESTRA N°</b>	<b>Unidad</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
<b>Peso muestra húmeda + recipiente</b>	gr	11,6	11,5	11,7	11,6	11,7
<b>Peso muestra seca + recipiente</b>	gr	11,4	11,4	11,6	11,4	11,5
<b>Peso Agua [Ww]</b>	gr	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2
<b>Peso Recipiente [Wr]</b>	gr	10,6	10,6	10,7	10,6	10,7
<b>Peso Muestra Seca [Ws]</b>	gr	0,8	0,8	0,9	0,8	0,8
<b>Contenido de Humedad W%</b>	%	25	12,5	11,11	25	25
<b>Límite Plástico LP%</b>	%	19,72				
<b>Límite Líquido LL%</b>	%	22,00				
<b>Índice Plástico IP</b>		<b>2,28</b>				
<b>CLASIFICACIÓN DE SUELO ANALIZADO</b>						
<b>SISTEMA</b>	AASHTO	A-2-4				
	SUCS	SM				
<b>Realizado por:</b>			<b>Revisado por:</b>			
Samantha Gavilanes			Ing. Favio Portilla			



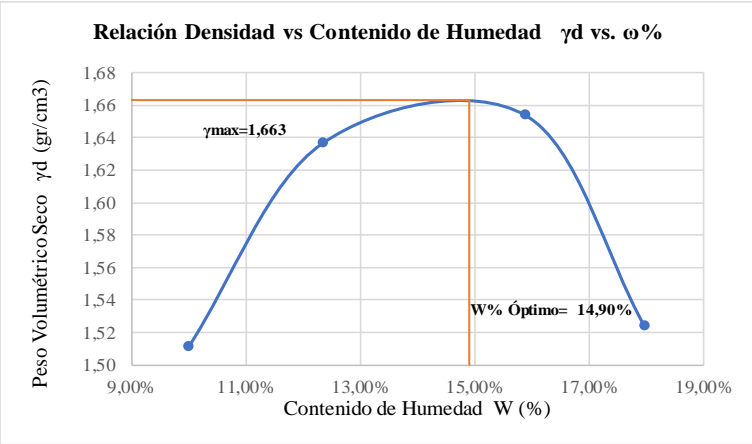
Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo

### Anexo 38: Gravedad Específica

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO EXPERIMENTAL DE TITULACIÓN			
<b>TEMA:</b> “Estudio del efecto de la adición de emulsión asfáltica en las propiedades físico - mecánicas de suelos granulares, para el diseño de pavimentos flexibles”			
<b>ENSAYO:</b> <b>GRAVEDAD ESPECÍFICA</b>			
<b>NORMATIVA:</b> AASHTO T100-70, ASTM D854-48, INEN 856-1			
<b>DATOS DE LA MUESTRA:</b>			
<b>Provincia:</b>	Tungurahua	<b>Coordenada X:</b>	9854905,2 17 S
<b>Cantón:</b>	Ambato	<b>Coordenada Y:</b>	756438,2
<b>Parroquia:</b>	Juan B. Vela	<b>Profundidad:</b>	60 cm
<b>Fecha:</b>	jul-21	<b>ID Muestra:</b>	M3
<b>DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD (W%)</b>			
<b>DESCRIPCIÓN</b>		<b>UNIDAD</b>	<b>VALOR</b>
Ensayo N°			<b>1</b>
Temperatura del agua + suelo		°C	20
Recipiente N°			70 J
Peso del recipiente		gr	252,40
Peso del recipiente + peso del suelo seco		gr	302,40
Peso del picnómetro + agua (Wbw)		gr	650,40
Peso del suelo seco W <sub>s</sub>		gr	50,00
W <sub>s</sub> +W <sub>bw</sub>		gr	700,40
Peso del picnómetro + agua + suelo sumergido (W <sub>bws</sub> )		gr	680,90
Desplazamiento del agua		gr	19,50
Factor de corrección por temperatura		K	0,9982
Gravedad Específica (G <sub>s</sub> )			<b>2,56</b>
<b>CURVA DE CALIBRACIÓN DEL PICNÓMETRO</b>			
			
<b>DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO</b>			
La gravedad específica obtenida para esta muestra de suelo es de 2,56.			
A una temperatura de 20°C el peso del picnómetro más agua es de 650,40 gr.			
<b>Realizado por:</b>		<b>Revisado por:</b>	
Samantha Gavilanes		Ing. Favio Portilla	

Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo

### Anexo 39: Proctor Modificado con 0% de Emulsión Asfáltica

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> <b>ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO "B"</b>			
<b>0% de Emulsión Asfáltica</b>			
<b>REALIZADO POR:</b>	Samantha Gavilanes		
<b>PROYECTO:</b>	"Estudio del efecto de la adición de emulsión asfáltica en las propiedades físico - mecánicas de suelos granulares, para el diseño de pavimentos flexibles"		
<b>UBICACIÓN:</b>	Juan Benigno Vela	<b>REVISADO POR:</b>	Ing. Favio Portilla
<b>ID. DE MUESTRA:</b>	M3	<b>NORMA:</b>	AASHTO T- 180
<b>FECHA:</b>	30/06/2021		
<b>ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO</b>			
Nº de Golpes:	56	Nºcapas:	5
Altura de caída:	18" o 1.5ft	P. molde:	13297 gr
Energía de compactación:	55986 lb/ft/ft3	Diámetro:	15,18 cm
		P.martillo:	10 lb
		Vol. molde:	2316,56 cm3
		Altura:	12,8 cm
<b>1. PROCESO DE COMPACTACIÓN</b>			
Ensayo número	1	2	3
Peso inicial deseado	6000	6000	6000
Humedad inicial añadida	9	12	15
P. molde + suelo húmedo	17147	17556	17737
Peso suelo húmedo	3850	4259	4440
Peso unitario húmedo $\gamma_m$	1,662	1,838	1,917
<b>2. CONTENIDO DE HUMEDAD</b>			
# Recipiente	A	B	C
R. + Suelo húmedo	189,5	189,8	213,9
R. + Suelo seco	174,7	175,8	193,8
Peso agua	14,8	14	20,1
Peso recipiente	30,8	31,7	32,6
Peso suelo seco	143,9	144,1	161,2
Contenido humeda $\omega\%$	10,28%	9,72%	12,47%
Cont. Humedad prom. $\omega\%$	10,00%		12,34%
Densidad seca $\gamma_d$	1,511	1,637	1,654
			15,60%
			16,17%
			18,21%
			17,73%
			15,89%
			17,97%
<b>3. DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA</b>			
			
<b>4. DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO</b>			
La densidad máxima ( $\gamma_d$ máx) alcanzada según la gráfica corresponde a 1.663 gr/cm <sup>3</sup> , la cual corresponde a un contenido de humedad óptimo ( $W$ ópt) de 14,9%, sin embargo los parámetros pueden variar ligeramente cuando se traza la gráfica.			



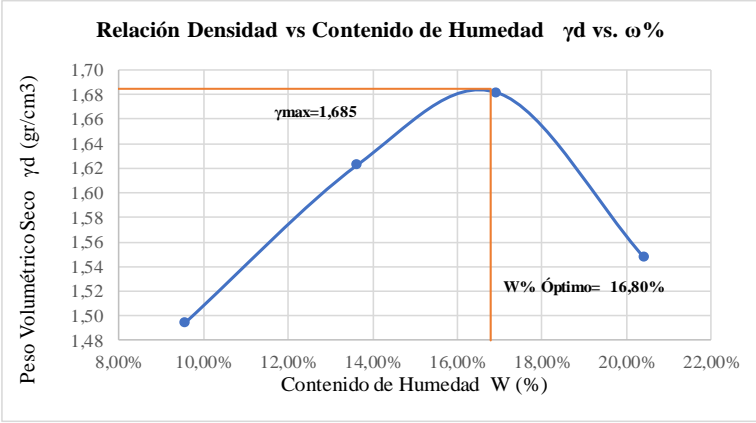
Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo

## Anexo 40: Proctor Modificado con 1% de Emulsión Asfáltica

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b>  <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b>  <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>  <b>ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO "B"</b> </div> </div>								
1% de Emulsión Asfáltica								
<b>REALIZADO POR:</b>	Samantha Gavilanes							
<b>PROYECTO:</b>	"Estudio del efecto de la adición de emulsión asfáltica en las propiedades físico - mecánicas de suelos granulares, para el diseño de pavimentos flexibles"							
<b>UBICACIÓN:</b>	Juan Benigno Vela			<b>REVISADO POR:</b>	Ing. Favio Portilla			
<b>ID. DE MUESTRA:</b>	M3			<b>FECHA:</b>	30/06/2021			
<b>FECHA:</b>	30/06/2021			<b>NORMA:</b>	AASHTO T- 180			
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO								
Nº de Golpes:	56		Nº capas:	5		P. martillo:	10 lb	
Altura de caída:	18' o 1.5ft		P. molde:	13297 gr		Vol. molde	2316,56 cm <sup>3</sup>	
Energía de compactación:	55986 lb/ft/ft <sup>3</sup>		Diámetro:	15,18 cm		Altura:	12,8 cm	
1. PROCESO DE COMPACTACIÓN								
Ensayo número	1		2		3		4	
Peso inicial deseado	6000		6000		6000		6000	
Humedad inicial añadida	9		12		15		18	
P. molde + suelo húmedo	17323		17569		17834		17764	
Peso suelo húmedo	4026		4272		4537		4467	
Peso unitario húmedo γ <sub>m</sub>	1,738		1,844		1,959		1,928	
2. CONTENIDO DE HUMEDAD								
# Recipiente	A	B	C	D	E	F	G	H
R. + Suelo húmedo	217,0	203,4	206,6	204,3	200,9	185,3	231,7	215,7
R. + Suelo seco	199	190,0	186,6	184,5	177,9	161,0	199,8	186,1
Peso agua	18	13,4	20	19,8	23	24,3	31,9	29,6
Peso recipiente	30,8	31,7	31,2	31,8	32,5	30,3	33,6	33,2
Peso suelo seco	168,2	158,3	155,4	152,7	145,4	130,7	166,2	152,9
Contenido humedad ω%	10,70%	8,46%	12,87%	12,97%	15,82%	18,59%	19,19%	19,36%
Cont. Humedad prom. ω%	9,58%		12,92%		17,21%		19,28%	
Densidad seca γ <sub>d</sub>	1,586		1,633		1,671		1,617	
3. DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA								
<p style="text-align: center;"><b>Relación Densidad vs Contenido de Humedad <math>\gamma_d</math> vs. <math>\omega\%</math></b></p>								
4. DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO								
La densidad máxima ( $\gamma_d$ máx) alcanzada según la gráfica corresponde a 1.672 gr/cm <sup>3</sup> , la cual corresponde a un contenido de humedad óptimo ( $W$ ópt) de 17,1%, sin embargo los parámetros pueden variar ligeramente cuando se traza la gráfica.								

Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo



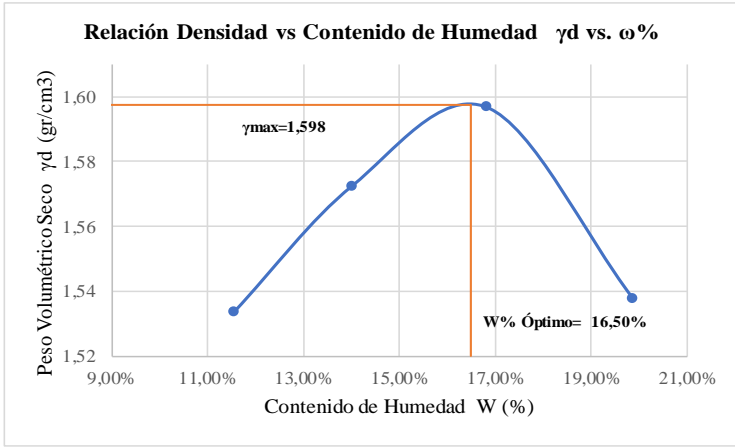
### Anexo 41: Proctor Modificado con 3% de Emulsión Asfáltica

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> <b>ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO "B"</b> 			
3% de Emulsión Asfáltica			
<b>REALIZADO POR:</b>	Samantha Gavilanes		
<b>PROYECTO:</b>	"Estudio del efecto de la adición de emulsión asfáltica en las propiedades físico - mecánicas de suelos granulares, para el diseño de pavimentos flexibles"		
<b>UBICACIÓN:</b>	Juan Benigno Vela	<b>REVISADO POR:</b>	Ing. Favio Portilla
<b>ID. DE MUESTRA:</b>	M3	<b>FECHA:</b>	30/06/2021
<b>FECHA:</b>	30/06/2021	<b>NORMA:</b>	AASHTO T- 180
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO			
N° de Golpes:	56	N° capas:	5
Altura de caída:	18' o 1.5ft	P. molde:	13297 gr
Energía de compactación:	55986 lb/ft/ft3	Diámetro:	15,18 cm
		P. martillo:	10 lb
		Vol. molde:	2316,56 cm3
		Altura:	12,8 cm
1. PROCESO DE COMPACTACIÓN			
Ensayo número	1	2	3
Peso inicial deseado	6000	6000	6000
Humedad inicial añadida	9	12	15
P. molde + suelo húmedo	17090	17568	17852
Peso suelo húmedo	3793	4271	4555
Peso unitario húmedo $\gamma_m$	1,637	1,844	1,966
			4
			6000
			18
			17613
			4316
			1,863
2. CONTENIDO DE HUMEDAD			
# Recipiente	A	B	C
R. + Suelo húmedo	183,3	177,3	197,3
R. + Suelo seco	170,1	164,6	177,3
Peso agua	13,2	12,7	20
Peso recipiente	30,3	33,2	32,6
Peso suelo seco	139,8	131,4	144,7
Contenido humedad $\omega\%$	9,44%	9,67%	13,82%
Cont. Humedad prom. $\omega\%$	9,55%	13,62%	16,93%
Densidad seca $\gamma_d$	1,495	1,623	1,682
			20,34%
			20,48%
3. DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA			
 <p style="text-align: center;"><b>Relación Densidad vs Contenido de Humedad <math>\gamma_d</math> vs. <math>\omega\%</math></b></p>			
4. DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO			
<p>La densidad máxima (<math>\gamma_d</math> máx) alcanzada según la gráfica corresponde a 1.685 gr/cm3, la cual corresponde a un contenido de humedad óptimo (W ópt) de 16,80%, sin embargo los parámetros pueden variar ligeramente cuando se traza la gráfica.</p>			

Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo



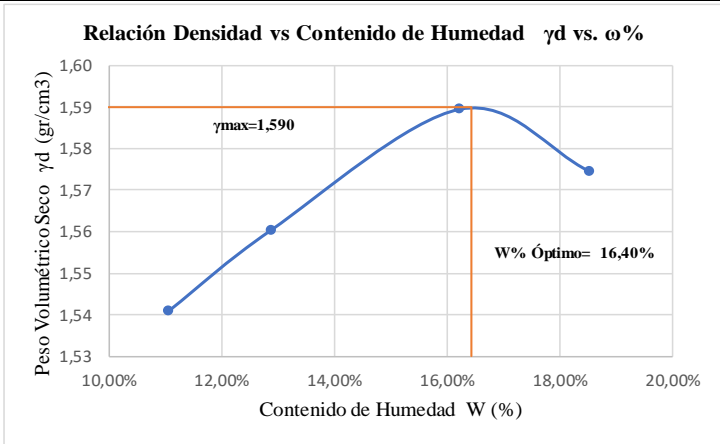


## Anexo 42: Proctor Modificado con 5% de Emulsión Asfáltica

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> <b>ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO "B"</b> 								
<b>5% de Emulsión Asfáltica</b>								
<b>REALIZADO POR:</b>	Samantha Gavilanes							
<b>PROYECTO:</b>	"Estudio del efecto de la adición de emulsión asfáltica en las propiedades físico - mecánicas de suelos granulares, para el diseño de pavimentos flexibles"							
<b>UBICACIÓN:</b>	Juan Benigno Vela							
<b>ID. DE MUESTRA:</b>	M3							
<b>FECHA:</b>	30/06/2021							
<b>REVISADO POR:</b>	Ing. Favio Portilla							
<b>NORMA:</b>	AASHTO T- 180							
<b>ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO</b>								
N° de Golpes:	56	N°capas:	5	P.martillo:	10	lb		
Altura de caída:	18' o 1.5ft	P. molde:	13297	gr	Vol. molde:	2316,56	cm3	
Energía de compactación:	55986	lb/ft <sup>3</sup>	Diámetro:	15,18	cm	Altura:	12,8	cm
<b>1. PROCESO DE COMPACTACIÓN</b>								
Ensayo número	1	2	3	4				
Peso inicial deseado	6000	6000	6000	6000				
Humedad inicial añadida	9	12	15	18				
P. molde + suelo húmedo	17260	17450	17618	17567				
Peso suelo húmedo	3963	4153	4321	4270				
Peso unitario húmedo $\gamma_m$	1,711	1,793	1,865	1,843				
<b>2. CONTENIDO DE HUMEDAD</b>								
# Recipiente	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G</b>	<b>H</b>
R. + Suelo húmedo	207,4	189,7	181,4	201,0	199,7	181,3	225,7	197,4
R. + Suelo seco	189,6	172,9	163,1	180,5	174,9	160,2	193,5	169,7
Peso agua	17,8	16,8	18,3	20,5	24,8	21,1	32,2	27,7
Peso recipiente	32,3	30,3	33,2	33,3	30,8	31,7	31,2	30,3
Peso suelo seco	157,3	142,6	129,9	147,2	144,1	128,5	162,3	139,4
Contenido húmeda $\omega\%$	11,32%	11,78%	14,09%	13,93%	17,21%	16,42%	19,84%	19,87%
Cont. Humedad prom. $\omega\%$	11,55%		14,01%		16,82%		19,86%	
Densidad seca $\gamma_d$	1,534		1,572		1,597		1,538	
<b>3. DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA</b>								
								
<b>4. DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO</b>								
La densidad máxima ( $\gamma_d$ máx) alcanzada según la gráfica corresponde a 1.598 gr/cm <sup>3</sup> , la cual corresponde a un contenido de humedad óptimo ( $W$ ópt) de 16,50%, sin embargo los parámetros pueden variar ligeramente cuando se traza la gráfica.								



Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo

### Anexo 43: Proctor Modificado con 8% de Emulsión Asfáltica

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> <b>ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO "B"</b>								
<b>8% de Emulsión Asfáltica</b>								
<b>REALIZADO POR:</b>	Samantha Gavilanes							
<b>PROYECTO:</b>	"Estudio del efecto de la adición de emulsión asfáltica en las propiedades físico - mecánicas de suelos granulares, para el diseño de pavimentos flexibles"							
<b>UBICACIÓN:</b>	Juan Benigno Vela	<b>REVISADO POR:</b>	Ing. Favio Portilla					
<b>ID. DE MUESTRA:</b>	M3							
<b>FECHA:</b>	30/06/2021	<b>NORMA:</b>	AASHTO T- 180					
<b>ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO</b>								
N° de Golpes:	56	N° capas:	5					
P. martillo:	10	lb						
Altura de caída:	18' o 1.5ft	P. molde:	13297 gr					
Vol. molde:	2316,56	cm <sup>3</sup>						
Energía de compactación:	55986 lb/ft <sup>3</sup>	Diámetro:	15,18 cm					
Altura:	12,8	cm						
<b>1. PROCESO DE COMPACTACIÓN</b>								
Ensayo número	1	2	3					
Peso inicial deseado	6000	6000	6000					
Humedad inicial añadida	9	12	15					
P. molde + suelo húmedo	17261	17377	17577					
Peso suelo húmedo	3964	4080	4280					
Peso unitario húmedo γ <sub>m</sub>	1,711	1,761	1,848					
<b>2. CONTENIDO DE HUMEDAD</b>								
# Recipiente	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G</b>	<b>H</b>
R. + Suelo húmedo	215,8	182,5	193,5	192,6	222,0	200,0	214,9	218,0
R. + Suelo seco	196,8	168,0	174,7	174,6	196,2	175,7	186,7	189,0
Peso agua	19	14,5	18,8	18	25,8	24,3	28,2	29
Peso recipiente	31,1	31,8	30,3	33,2	32,4	30,3	33,7	33,2
Peso suelo seco	165,7	136,2	144,4	141,4	163,8	145,4	153	155,8
Contenido humedad ω%	11,47%	10,65%	13,02%	12,73%	15,75%	16,71%	18,43%	18,61%
Cont. Humedad prom. ω%	11,06%		12,87%		16,23%		18,52%	
Densidad seca γ <sub>d</sub>	1,541		1,560		1,590		1,574	
<b>3. DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA</b>								
								
<b>4. DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO</b>								
La densidad máxima (γ <sub>d</sub> máx) alcanzada según la gráfica corresponde a 1.590 gr/cm <sup>3</sup> , la cual corresponde a un contenido de humedad óptimo (W ópt) de 16,40%, sin embargo los parámetros pueden variar ligeramente cuando se traza la gráfica.								

Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo

### Anexo 44: CBR con 0% de Emulsión Asfáltica

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> <b>ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)</b> 						
0% de Emulsión Asfáltica						
<b>REALIZADO POR:</b>	Samantha Gavilanes					
<b>TEMA:</b>	"Estudio del efecto de la adición de emulsión asfáltica en las propiedades físico - mecánicas de suelos granulares, para el diseño de pavimentos flexibles"					
<b>UBICACIÓN:</b>	Juan Benigno Vela			<b>REVISADO:</b>	Ing. Favio Portilla	
<b>ID. DE MUESTRA:</b>	M3			<b>NORMA:</b>	ASTM D-1883	
<b>FECHA:</b>	01/09/2021			<b>Wópt:</b>	14,90	
<b>MOLDE</b>	<b>A</b>		<b>B</b>		<b>C</b>	
<b>DIMENSIONES</b>	Diámetro	15,18	Diámetro	15,13	Diámetro	15,16
	Altura	12,80	Altura	12,85	Altura	12,70
N° de golpes	11		27		56	
Muestra húmeda + molde (gr)	10182		11258		11277	
Masa Molde (gr)	6273		6997		6928	
Masa muestra húmeda (gr)	3909		4261		4349	
Volumen muestra (cm <sup>3</sup> )	2316,49		2310,25		2292,34	
Peso unitario húmedo (gr/cm <sup>3</sup> )	1,687		1,844		1,897	
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>	<b>Bandeja</b>	<b>Molde</b>	<b>Bandeja</b>	<b>Molde</b>	<b>Bandeja</b>	<b>Molde</b>
N° Recipiente	A	B	C	D	E	F
Masa del recipiente	32,6	34,5	30,4	32,5	33,8	33,3
Masa suelo hum+recip. (gr)	202,9	200	193,1	211,5	213,8	238,3
Masa suelo seco+recip. (gr)	179,2	176,7	170,3	185,9	186,6	207,3
Masa de agua (gr)	23,7	23,3	22,8	25,6	27,2	31
Masa suelo seco (gr)	146,6	142,2	139,9	153,4	152,8	174
Contenido de humedad W%	16,17%	16,39%	16,30%	16,69%	17,80%	17,82%
Promedio W%	16,28%		16,49%		17,81%	
Peso unitario seco (gr/cm <sup>3</sup> )	1,451		1,583		1,610	
<b>DESPÚES DE LA SATURACIÓN</b>						
Muestra húmeda + molde (gr)	10480		11393		11347	
Masa Molde (gr)	6273		6997		6928	
Masa muestra húmeda (gr)	4207		4396		4419	
Volumen muestra (cm <sup>3</sup> )	2316,49		2310,25		2292,34	
Peso unitario húmedo (gr/cm <sup>3</sup> )	1,816		1,903		1,928	
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>	<b>Superior</b>	<b>Inferior</b>	<b>Superior</b>	<b>Inferior</b>	<b>Superior</b>	<b>Inferior</b>
N° Recipiente	A	B	C	D	E	F
Masa del recipiente	32,3	31,8	30,9	30,9	30,8	31,8
Masa suelo hum+recip. (gr)	242,7	236	161,7	153,6	235,6	238,7
Masa suelo seco+recip. (gr)	198,3	193,9	137,2	132,9	200	204,4
Masa de agua (gr)	44,4	42,1	24,5	20,7	35,6	34,3
Masa suelo seco (gr)	166	162,1	106,3	102	169,2	172,6
Contenido de humedad W%	26,75%	25,97%	23,05%	20,29%	21,04%	19,87%
Promedio W%	26,36%		21,67%		20,46%	

ENSAYO DE CARGA - PENETRACIÓN						
Máquina de compresión simple	Área Pistón = 3 plg <sup>2</sup>		Vel.Carga = 1,27 mm/min (0,05 pulg/min)			
Nº MOLDE	A		B			
Penetración (plg)	dial	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	dial	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	dial	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )
0,000	0	0,00	0	0,00	0	0,00
0,025	89	29,67	183	61,00	147	49,00
0,050	119	39,67	323	107,67	248	82,67
0,075	143	47,67	432	144,00	344	114,67
0,100	162	54,00	553	184,33	482	160,67
0,200	236	78,67	921	297,00	1013	337,67
0,300	297	99,00	1233	411,00	1543	514,33
0,400	353	117,67	1523	507,67	2073	691,00
0,500	409	136,33	1803	601,00	2693	897,67
PORCENTAJES CBR (Corregidos)						
Nº MOLDE	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	CBR 0,1 plg	Densidad seca	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	CBR 0,2 plg	Densidad seca
A	54,00	5,40%	1,451	78,67	5,24%	1,451
B	184,33	18,43%	1,583	297,00	19,80%	1,583
C	160,67	16,07%	1,610	337,67	22,51%	1,610
Densidad Seca Máxima	1,663					
DSM		%CBR 0.1plg	%CBR 0.2plg	%CBR MAYOR		
95%		1,580	18,00%	19,50%	19,50%	

**ESFUERZO vs. PENETRACIÓN**

Penetración (plg)	11 golpes (Lb/plg <sup>2</sup> )	27 golpes (Lb/plg <sup>2</sup> )	56 golpes (Lb/plg <sup>2</sup> )
0,000	0	0	0
0,050	~40	~100	~150
0,100	~60	~180	~250
0,200	~90	~300	~450
0,300	~110	~400	~550
0,400	~130	~500	~700
0,500	~150	~600	~900

**%CBR vs. DENSIDAD SECA**



Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	CBR 0,1 plg (%)	CBR 0,2 plg (%)
1,45	~5	~5
1,50	~10	~10
1,55	~15	~15
1,580	19,50	19,50
1,60	~16	~20
1,61	~15	~22

DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO	
El CBR para el diseño del pavimento es 19,50 %	

Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo

### Anexo 45: CBR con 1% de Emulsión Asfáltica

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> <b>ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)</b> 						
1% de Emulsión Asfáltica						
<b>REALIZADO POR:</b>	Samantha Gavilanes					
<b>TEMA:</b>	"Estudio del efecto de la adición de emulsión asfáltica en las propiedades físico - mecánicas de suelos granulares, para el diseño de pavimentos flexibles"					
<b>UBICACIÓN:</b>	Juan Benigno Vela			<b>REVISADO:</b>	Ing. Favio Portilla	
<b>ID. DE MUESTRA:</b>	M3			<b>NORMA:</b>	ASTM D-1883	
<b>FECHA:</b>	01/09/2021			<b>Wópt:</b>	17,10	
<b>MOLDE</b>	<b>A</b>		<b>B</b>		<b>C</b>	
<b>DIMENSIONES</b>	Diámetro	15,18	Diámetro	15,13	Diámetro	15,16
	Altura	12,80	Altura	12,85	Altura	12,70
N° de golpes	11		27		56	
Muestra húmeda + molde (gr)	10002		11177		11353	
Masa Molde (gr)	6273		6997		6928	
Masa muestra húmeda (gr)	3729		4180		4425	
Volumen muestra (cm <sup>3</sup> )	2316,49		2310,25		2292,34	
Peso unitario húmedo (gr/cm <sup>3</sup> )	1,610		1,809		1,930	
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>	<b>Bandeja</b>	<b>Molde</b>	<b>Bandeja</b>	<b>Molde</b>	<b>Bandeja</b>	<b>Molde</b>
N° Recipiente	A	B	C	D	E	F
Masa del recipiente	33,4	33,3	30,4	32,5	33,8	33,3
Masa suelo hum+recip. (gr)	242,2	222,4	194,1	212,8	212,3	237,5
Masa suelo seco+recip. (gr)	211,6	194,5	170,3	185,9	186,6	207,3
Masa de agua (gr)	30,6	27,9	23,8	26,9	25,7	30,2
Masa suelo seco (gr)	178,2	161,2	139,9	153,4	152,8	174
Contenido de humedad W%	17,17%	17,31%	17,01%	17,54%	16,82%	17,36%
Promedio W%	17,24%		17,27%		17,09%	
Peso unitario seco (gr/cm <sup>3</sup> )	1,373		1,543		1,649	
<b>DESPÚES DE LA SATURACIÓN</b>						
Muestra húmeda + molde (gr)	10414		11396		11401	
Masa Molde (gr)	6273		6997		6928	
Masa muestra húmeda (gr)	4141		4399		4473	
Volumen muestra (cm <sup>3</sup> )	2316,49		2310,25		2292,34	
Peso unitario húmedo (gr/cm <sup>3</sup> )	1,788		1,904		1,951	
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>	<b>Superior</b>	<b>Inferior</b>	<b>Superior</b>	<b>Inferior</b>	<b>Superior</b>	<b>Inferior</b>
N° Recipiente	A	B	C	D	E	F
Masa del recipiente	32,6	34,5	30,4	32,5	33,8	33,3
Masa suelo hum+recip. (gr)	260,1	234,8	236,1	239,4	249,9	249,2
Masa suelo seco+recip. (gr)	207,5	191,9	196,2	201,3	212,9	215,2
Masa de agua (gr)	52,6	42,9	39,9	38,1	37	34
Masa suelo seco (gr)	174,9	157,4	165,8	168,8	179,1	181,9
Contenido de humedad W%	30,07%	27,26%	24,07%	22,57%	20,66%	18,69%
Promedio W%	28,66%		23,32%		19,68%	

ENSAYO DE CARGA - PENETRACIÓN						
Máquina de compresión simple	Área Pistón = 3 plg <sup>2</sup>		Vel.Carga = 1,27 mm/min (0,05 pulg/min)			
Nº MOLDE	A		B			
Penetración (plg)	dial	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	dial	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	dial	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )
0,000	0	0,00	0	0,00	0	0,00
0,025	79	26,33	192	64,00	194	64,67
0,050	97	32,33	326	108,67	363	121,00
0,075	122	40,67	433	144,33	543	181,00
0,100	139	46,33	539	179,67	658	219,33
0,200	192	64,00	836	278,67	1383	461,00
0,300	237	79,00	1093	364,33	2146	715,33
0,400	275	91,67	1328	442,67	2813	937,67
0,500	317	105,67	1553	517,67	3493	1164,33
PORCENTAJES CBR (Corregidos)						
Nº MOLDE	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	CBR 0,1 plg	Densidad seca	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	CBR 0,2 plg	Densidad seca
A	46,33	4,63%	1,373	64,00	4,27%	1,373
B	179,67	17,97%	1,543	278,67	18,58%	1,543
C	219,33	21,93%	1,649	461,00	30,73%	1,649
Densidad Seca Máxima	1,672					
DSM		%CBR 0.1plg	%CBR 0.2plg	%CBR MAYOR		
95%		1,588	19,50%	23,70%	23,70%	

### ESFUERZO vs. PENETRACIÓN

Penetración (plg)	11 golpes (Lb/plg <sup>2</sup> )	27 golpes (Lb/plg <sup>2</sup> )	56 golpes (Lb/plg <sup>2</sup> )
0,000	0	0	0
0,025	~10	~20	~30
0,050	~20	~40	~60
0,075	~30	~60	~90
0,100	~40	~80	~120
0,200	~60	~150	~250
0,300	~80	~220	~380
0,400	~100	~280	~520
0,500	~120	~350	~680

### %CBR vs. DENSIDAD SECA

Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	0.1 plg (%CBR)	0.2 plg (%CBR)
1,37	~4	~4
1,39	~6	~6
1,41	~8	~8
1,43	~10	~10
1,45	~12	~12
1,47	~14	~14
1,49	~16	~16
1,51	~18	~18
1,53	~20	~20
1,55	~22	~22
1,57	~24	~24
1,59	~26	~26
1,61	~28	~28
1,63	~30	~30
1,65	~32	~32



  

### DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

El CBR para el diseño del pavimento es 23,70 %

Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo

**Anexo 46: CBR con 3% de Emulsión Asfáltica**

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> <b>ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)</b> 						
3% de Emulsión Asfáltica						
<b>REALIZADO POR:</b>	Samantha Gavilanes					
<b>TEMA:</b>	"Estudio del efecto de la adición de emulsión asfáltica en las propiedades físico - mecánicas de suelos granulares, para el diseño de pavimentos flexibles"					
<b>UBICACIÓN:</b>	Juan Benigno Vela			<b>REVISADO:</b>	Ing. Favio Portilla	
<b>ID. DE MUESTRA:</b>	M3			<b>NORMA:</b>	ASTM D-1883	
<b>FECHA:</b>	01/09/2021			<b>Wópt:</b>	16,80	
<b>MOLDE</b>	<b>A</b>		<b>B</b>		<b>C</b>	
<b>DIMENSIONES</b>	Diámetro	15,18	Diámetro	15,13	Diámetro	15,16
	Altura	12,80	Altura	12,85	Altura	12,70
N° de golpes	11		27		56	
Muestra húmeda + molde (gr)	10217		11159		11247	
Masa Molde (gr)	6273		6997		6928	
Masa muestra húmeda (gr)	3944		4162		4319	
Volumen muestra (cm <sup>3</sup> )	2316,49		2310,25		2292,34	
Peso unitario húmedo (gr/cm <sup>3</sup> )	1,703		1,802		1,884	
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>	<b>Bandeja</b>	<b>Molde</b>	<b>Bandeja</b>	<b>Molde</b>	<b>Bandeja</b>	<b>Molde</b>
N° Recipiente	A	B	C	D	E	F
Masa del recipiente	32,6	34,5	30,4	32,4	33,8	33,3
Masa suelo hum+recip. (gr)	203,4	216,1	209	203,9	235,3	225,4
Masa suelo seco+recip. (gr)	177,8	189,3	182,3	178,5	205,1	196,2
Masa de agua (gr)	25,6	26,8	26,7	25,4	30,2	29,2
Masa suelo seco (gr)	145,2	154,8	151,9	146,1	171,3	162,9
Contenido de humedad W%	17,63%	17,31%	17,58%	17,39%	17,63%	17,93%
Promedio W%	17,47%		17,48%		17,78%	
Peso unitario seco (gr/cm <sup>3</sup> )	1,449		1,533		1,600	
<b>DESPÚES DE LA SATURACIÓN</b>						
Muestra húmeda + molde (gr)	10481		11309		11280	
Masa Molde (gr)	6273		6997		6928	
Masa muestra húmeda (gr)	4208		4312		4352	
Volumen muestra (cm <sup>3</sup> )	2316,49		2310,25		2292,34	
Peso unitario húmedo (gr/cm <sup>3</sup> )	1,817		1,866		1,898	
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>	<b>Superior</b>	<b>Inferior</b>	<b>Superior</b>	<b>Inferior</b>	<b>Superior</b>	<b>Inferior</b>
N° Recipiente	A	B	C	D	E	F
Masa del recipiente	31,5	30,4	32,5	33,4	30,9	31,8
Masa suelo hum+recip. (gr)	215,8	196,5	223,2	218,3	209,7	222,7
Masa suelo seco+recip. (gr)	177,5	164,3	186,4	184,4	178,7	190,7
Masa de agua (gr)	38,3	32,2	36,8	33,9	31	32
Masa suelo seco (gr)	146	133,9	153,9	151	147,8	158,9
Contenido de humedad W%	26,23%	24,05%	23,91%	22,45%	20,97%	20,14%
Promedio W%	25,14%		23,18%		20,56%	

ENSAYO DE CARGA - PENETRACIÓN						
Máquina de compresión simple	Área Pistón = 3 plg <sup>2</sup>		Vel.Carga = 1,27 mm/min (0,05 pulg/min)			
Nº MOLDE	A		B			
Penetración (plg)	dial	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	dial	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	dial	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )
0,000	0	0,00	0	0,00	0	0,00
0,025	96	32,00	176	58,67	133	44,33
0,050	132	44,00	282	94,00	251	83,67
0,075	159	53,00	379	126,33	373	124,33
0,100	185	61,67	479	159,67	598	199,33
0,200	273	91,00	786	262,00	1113	371,00
0,300	349	116,33	1035	345,00	1613	537,67
0,400	423	141,00	1272	424,00	2056	685,33
0,500	489	163,00	1483	494,33	2453	817,67
PORCENTAJES CBR (Corregidos)						
Nº MOLDE	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	CBR 0,1 plg	Densidad seca	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	CBR 0,2 plg	Densidad seca
A	61,67	6,17%	1,449	91,00	6,07%	1,449
B	159,67	15,97%	1,533	262,00	17,47%	1,533
C	199,33	19,93%	1,600	371,00	24,73%	1,600
Densidad Seca Máxima	1,685					
DSM		%CBR 0.1plg		%CBR 0.2plg	%CBR MAYOR	
95%	1,601	17,9%		24,7%	24,7%	

Penetración (plg)	11 golpes (lb/plg²)	27 golpes (lb/plg²)	56 golpes (lb/plg²)
0,000	0	0	0
0,025	~40	~60	~80
0,050	~60	~100	~130
0,100	~80	~150	~200
0,200	~100	~250	~380
0,300	~120	~350	~550
0,400	~140	~420	~700
0,500	~160	~480	~820

Densidad Seca (gr/cm³)	CBR 0,1 plg (%)	CBR 0,2 plg (%)
1,449	~6	~6
1,533	~16	~18
1,600	~20	~25



  

DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO	
El CBR para el diseño del pavimento es 24,70 %	

Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo



### Anexo 47: CBR con 5% de Emulsión Asfáltica

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> <b>ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)</b> 						
5% de Emulsión Asfáltica						
<b>REALIZADO POR:</b>	Samantha Gavilanes					
<b>TEMA:</b>	"Estudio del efecto de la adición de emulsión asfáltica en las propiedades físico - mecánicas de suelos granulares, para el diseño de pavimentos flexibles"					
<b>UBICACIÓN:</b>	Juan Benigno Vela			<b>REVISADO:</b>	Ing. Favio Portilla	
<b>ID. DE MUESTRA:</b>	M3			<b>NORMA:</b>	ASTM D-1883	
<b>FECHA:</b>	01/09/2021			<b>Wópt:</b>	16,50	
<b>MOLDE</b>	<b>A</b>		<b>B</b>		<b>C</b>	
<b>DIMENSIONES</b>	Diámetro	15,18	Diámetro	15,13	Diámetro	15,16
	Altura	12,80	Altura	12,85	Altura	12,70
N° de golpes	11		27		56	
Muestra húmeda + molde (gr)	10170		11154		11197	
Masa Molde (gr)	6273		6997		6928	
Masa muestra húmeda (gr)	3897		4157		4269	
Volumen muestra (cm <sup>3</sup> )	2316,49		2310,25		2292,34	
Peso unitario húmedo (gr/cm <sup>3</sup> )	1,682		1,799		1,862	
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>	<b>Bandeja</b>	<b>Molde</b>	<b>Bandeja</b>	<b>Molde</b>	<b>Bandeja</b>	<b>Molde</b>
N° Recipiente	A	B	C	D	E	F
Masa del recipiente	32,6	34,5	30,4	32,4	33,9	33,3
Masa suelo hum+recip. (gr)	216	190,3	220,7	212,1	239,3	243,6
Masa suelo seco+recip. (gr)	187,4	166,5	193	186,1	207,3	210,8
Masa de agua (gr)	28,6	23,8	27,7	26	32	32,8
Masa suelo seco (gr)	154,8	132	162,6	153,7	173,4	177,5
Contenido de humedad W%	18,48%	18,03%	17,04%	16,92%	18,45%	18,48%
Promedio W%	18,25%		16,98%		18,47%	
Peso unitario seco (gr/cm <sup>3</sup> )	1,423		1,538		1,572	
<b>DESPÚES DE LA SATURACIÓN</b>						
Muestra húmeda + molde (gr)	10413		11293		11246	
Masa Molde (gr)	6273		6997		6928	
Masa muestra húmeda (gr)	4140		4296		4318	
Volumen muestra (cm <sup>3</sup> )	2316,49		2310,25		2292,34	
Peso unitario húmedo (gr/cm <sup>3</sup> )	1,787		1,860		1,884	
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>	<b>Superior</b>	<b>Inferior</b>	<b>Superior</b>	<b>Inferior</b>	<b>Superior</b>	<b>Inferior</b>
N° Recipiente	A	B	C	D	E	F
Masa del recipiente	32,3	31,8	30,9	30,9	30,8	31,8
Masa suelo hum+recip. (gr)	244,9	228,1	148,1	155,1	231,8	217,6
Masa suelo seco+recip. (gr)	202,4	189	126,7	132,4	197,5	186,4
Masa de agua (gr)	42,5	39,1	21,4	22,7	34,3	31,2
Masa suelo seco (gr)	170,1	157,2	95,8	101,5	166,7	154,6
Contenido de humedad W%	24,99%	24,87%	22,34%	22,36%	20,58%	20,18%
Promedio W%	24,93%		22,35%		20,38%	

ENSAYO DE CARGA - PENETRACIÓN						
Máquina de compresión simple	Área Pistón = 3 plg <sup>2</sup>		Vel.Carga = 1,27 mm/min (0,05 pulg/min)			
Nº MOLDE	A		B			
Penetración (plg)	dial	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	dial	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	dial	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )
0,000	0	0,00	0	0,00	0	0,00
0,025	95	31,67	223	74,33	123	41,00
0,050	132	44,00	353	117,67	219	73,00
0,075	163	54,33	462	154,00	318	106,00
0,100	186	62,00	583	194,33	419	139,67
0,200	269	89,67	913	304,33	829	276,33
0,300	329	109,67	1163	387,67	1223	407,67
0,400	377	125,67	1376	458,67	1592	530,67
0,500	418	139,33	1546	515,33	1923	641,00
PORCENTAJES CBR (Corregidos)						
Nº MOLDE	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	CBR 0,1 plg	Densidad seca	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	CBR 0,2 plg	Densidad seca
A	62,00	6,20%	1,423	89,67	5,98%	1,423
B	194,33	19,43%	1,538	304,33	20,29%	1,538
C	139,67	13,97%	1,572	276,33	18,42%	1,572
Densidad Seca Máxima	1,590					
DSM	%CBR 0.1plg		%CBR 0.2plg		%CBR MAYOR	
95%	1,511	16,20%	17,00%	17,00%		

### ESFUERZO vs. PENETRACIÓN

Penetración (plg)	11 golpes (Lb/plg <sup>2</sup> )	27 golpes (Lb/plg <sup>2</sup> )	56 golpes (Lb/plg <sup>2</sup> )
0,000	0	0	0
0,025	~10	~50	~80
0,050	~20	~100	~150
0,100	~40	~200	~300
0,200	~80	~300	~450
0,300	~100	~400	~550
0,400	~120	~480	~620
0,500	~140	~510	~640

### %CBR vs. DENSIDAD SECA

Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	CBR 0,1plg (%)	CBR 0,2plg (%)
1,42	~6	~6
1,43	~8	~8
1,44	~10	~10
1,45	~12	~12
1,46	~14	~14
1,47	~16	~16
1,48	~17	~17
1,49	~17	~17
1,51	~17	~17
1,52	~17	~17
1,53	~17	~17
1,54	~18	~20
1,55	~17	~19
1,56	~16	~18
1,57	~14	~17
1,58	~13	~16



  

### DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

El CBR para el diseño del pavimento es 17,00%

Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo

### Anexo 48: CBR con 8% de Emulsión Asfáltica

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> <b>ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)</b> 						
8% de Emulsión Asfáltica						
<b>REALIZADO POR:</b>	Samantha Gavilanes					
<b>TEMA:</b>	"Estudio del efecto de la adición de emulsión asfáltica en las propiedades físico - mecánicas de suelos granulares, para el diseño de pavimentos flexibles"					
<b>UBICACIÓN:</b>	Juan Benigno Vela			<b>REVISADO:</b>	Ing. Favio Portilla	
<b>ID. DE MUESTRA:</b>	M3			<b>NORMA:</b>	ASTM D-1883	
<b>FECHA:</b>	01/09/2021			<b>Wópt:</b>	16,40	
<b>MOLDE</b>	<b>A</b>		<b>B</b>		<b>C</b>	
<b>DIMENSIONES</b>	Diámetro	15,18	Diámetro	15,13	Diámetro	15,16
	Altura	12,80	Altura	12,85	Altura	12,70
N° de golpes	11		27		56	
Muestra húmeda + molde (gr)	10106		11100		11104	
Masa Molde (gr)	6273		6997		6928	
Masa muestra húmeda (gr)	3833		4103		4176	
Volumen muestra (cm <sup>3</sup> )	2316,49		2310,25		2292,34	
Peso unitario húmedo (gr/cm <sup>3</sup> )	1,655		1,776		1,822	
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>	<b>Bandeja</b>	<b>Molde</b>	<b>Bandeja</b>	<b>Molde</b>	<b>Bandeja</b>	<b>Molde</b>
N° Recipiente	A	B	C	D	E	F
Masa del recipiente	32,6	34,5	30,4	32,5	33,8	33,4
Masa suelo hum+recip. (gr)	241	220,4	210	213,5	214,1	203,5
Masa suelo seco+recip. (gr)	210,8	193,1	183,3	186,5	187,5	177,9
Masa de agua (gr)	30,2	27,3	26,7	27	26,6	25,6
Masa suelo seco (gr)	178,2	158,6	152,9	154	153,7	144,5
Contenido de humedad W%	16,95%	17,21%	17,46%	17,53%	17,31%	17,72%
Promedio W%	17,08%		17,50%		17,51%	
Peso unitario seco (gr/cm <sup>3</sup> )	1,413		1,512		1,550	
<b>DESPÚES DE LA SATURACIÓN</b>						
Muestra húmeda + molde (gr)	10377		11253		11166	
Masa Molde (gr)	6273		6997		6928	
Masa muestra húmeda (gr)	4104		4256		4238	
Volumen muestra (cm <sup>3</sup> )	2316,49		2310,25		2292,34	
Peso unitario húmedo (gr/cm <sup>3</sup> )	1,772		1,842		1,849	
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>	<b>Superior</b>	<b>Inferior</b>	<b>Superior</b>	<b>Inferior</b>	<b>Superior</b>	<b>Inferior</b>
N° Recipiente	A	B	C	D	E	F
Masa del recipiente	31,4	30,4	32,6	33,4	30,8	31,8
Masa suelo hum+recip. (gr)	242	219	226,6	212,3	229,3	226,8
Masa suelo seco+recip. (gr)	200,1	181,8	190	181,4	195,5	194,6
Masa de agua (gr)	41,9	37,2	36,6	30,9	33,8	32,2
Masa suelo seco (gr)	168,7	151,4	157,4	148	164,7	162,8
Contenido de humedad W%	24,84%	24,57%	23,25%	20,88%	20,52%	19,78%
Promedio W%	24,70%		22,07%		20,15%	

ENSAYO DE CARGA - PENETRACIÓN						
Máquina de compresión simple	Área Pistón = 3 plg <sup>2</sup>		Vel.Carga = 1,27 mm/min (0,05 pulg/min)			
Nº MOLDE	A		B			
Penetración (plg)	dial	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	dial	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	dial	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )
0,000	0	0,00	0	0,00	0	0,00
0,025	93	31,00	166	55,33	153	51,00
0,050	117	39,00	262	87,33	263	87,67
0,075	139	46,33	349	116,33	363	121,00
0,100	157	52,33	423	141,00	473	157,67
0,200	216	72,00	636	212,00	844	281,33
0,300	266	88,67	796	265,33	1153	384,33
0,400	309	103,00	929	309,67	1434	478,00
0,500	349	116,33	1046	348,67	1692	564,00
PORCENTAJES CBR (Corregidos)						
Nº MOLDE	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	CBR 0,1 plg	Densidad seca	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	CBR 0,2 plg	Densidad seca
A	52,33	5,23%	1,413	72,00	4,80%	1,413
B	141,00	14,10%	1,512	212,00	14,13%	1,512
C	157,67	15,77%	1,550	281,33	18,76%	1,550
Densidad Seca Máxima	1,598					
DSM		%CBR 0.1plg	%CBR 0.2plg	%CBR MAYOR		
95%		1,518	14,40%	15,00%	15,00%	

Penetración (plg)	11 golpes (lb/plg <sup>2</sup> )	27 golpes (lb/plg <sup>2</sup> )	56 golpes (lb/plg <sup>2</sup> )
0,000	0	0	0
0,025	~30	~50	~80
0,050	~40	~80	~120
0,100	~50	~120	~180
0,200	~70	~200	~280
0,300	~90	~260	~380
0,400	~100	~300	~480
0,500	~110	~340	~560

Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	CBR 0,1plg (%)	CBR 0,2plg (%)
1,41	~5	~5
1,42	~6	~6
1,43	~7	~7
1,44	~8	~8
1,45	~9	~9
1,46	~10	~10
1,47	~11	~11
1,48	~12	~12
1,49	~13	~13
1,50	~13,5	~14
1,51	~14	~14,5
1,518 (DSM)	14,40%	15,00%
1,52	~14,5	~15,5
1,53	~15	~16
1,54	~15,5	~17
1,55	~16	~18

**DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO**

El CBR para el diseño del pavimento es 15,00%

Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo

# **Anexos**

## **C.4 Especificaciones Técnicas de la Emulsión Asfáltica**

## Ficha Técnica

### Emulsión Asfáltica CSS-1h

#### Normas Técnicas de Referencia:

-Ecuatoriana NTE-INEN-2062:96

-Americana ASTM-D244

#### Anexo 49: Ficha técnica de Emulsión Asfáltica

<b>Emulsión Asfáltica Catiónica CSS-1h. Emulsión de curado lento</b>		
<b>Propiedad</b>	<b>Unidad</b>	<b>Especificación</b>
Densidad Relativa a 25°C	gr/cm <sup>3</sup>	0.90-1.10
Contenido de Asfalto	% Peso	57-64
Penetración en el Residuo	1/10 mm	40-90
Peso por Galón	kg/gl	3.4-4.2
Contenido de Agua	% Peso	36-46
pH	-	1.5-2.5
Asentamiento en 24 h	%	0-1
Estabilidad en el Almacenamiento	%	Máx. 5
Prueba del Tamiz N°20	%	Máx. 0.1
Viscosidad Saybolt - Furol a 23°C	sSF	20-100
Mezcla con Cemento	%	Máx. 2.0
Carga de Partículas	-	Positiva

Fuente: Ficha Técnica - Productos Viales. Chova, Imptek

# **Anexos**

## **C.5 Tráfico**

### Anexo 50: Conteo vehicular en ambos sentidos

<b>CONTEO VEHICULAR EN AMBOS SENTIDOS</b>											
<b>NOMBRE DE LA CARRETERA: Av. 24 de Mayo</b>											
HORA	LIVIANOS	BUSES	PESADOS							TOTAL	ACUMULADO POR HORA
			2DA	2DB	3A	4C	3S2	3S3	TOT. PESADOS		
06:00-06:15	74	4	1	1	0	0	1	0	3	81	
06:15-06:30	67	4	4	1	0	0	0	0	5	76	
06:30-06:45	87	4	1	1	1	1	0	0	4	95	
06:45-07:00	88	4	3	1	0	1	1	0	6	98	350
07:00-07:15	102	4	1	1	0	0	0	1	3	109	378
07:15-07:30	148	6	8	1	1	0	0	0	10	164	466
07:30-07:45	160	4	5	5	0	0	0	0	10	174	545
07:45-08:00	170	8	3	3	1	1	1	0	9	187	634
08:00-08:15	129	7	2	1	0	0	0	2	5	141	666
08:15-08:30	110	7	5	4	0	1	0	0	10	127	629
08:30-08:45	128	7	2	4	1	0	1	0	8	143	598
08:45-09:00	110	5	9	6	1	0	0	1	17	132	543
09:00-09:15	118	9	2	1	0	0	0	0	3	130	532
09:15-09:30	123	4	2	5	0	0	0	0	7	134	539
09:30-09:45	93	4	2	6	1	0	0	0	9	106	502
09:45-10:00	90	7	2	1	2	0	1	1	7	104	474
10:00-10:15	125	4	5	5	0	1	0	0	11	140	484
10:15-10:30	121	6	7	1	0	0	0	0	8	135	485
10:30-10:45	98	6	3	5	0	0	0	1	9	113	492
10:45-11:00	101	6	7	1	2	0	0	0	10	117	505
11:00-11:15	105	6	4	1	0	1	0	1	7	118	483
11:15-11:30	105	9	1	1	0	0	1	0	3	117	465
11:30-11:45	111	6	5	1	0	1	0	0	7	124	476
11:45-12:00	96	5	4	2	2	0	1	0	9	110	469
12:00-12:15	84	8	4	2	0	1	0	0	7	99	450
12:15-12:30	100	9	4	2	0	0	0	0	6	115	448
12:30-12:45	102	6	2	2	1	1	0	0	6	114	438
12:45-13:00	104	9	6	5	0	1	0	0	12	125	453
13:00-13:15	136	5	2	4	0	1	1	0	8	149	503
13:15-13:30	108	9	7	4	0	2	0	0	13	130	518
13:30-13:45	128	6	5	5	0	0	0	0	10	144	548
13:45-14:00	136	6	2	4	0	0	1	0	7	149	572
14:00-14:15	127	7	1	2	0	0	0	0	3	137	560
14:15-14:30	136	5	4	1	1	0	1	1	8	149	579
14:30-14:45	146	6	2	1	0	0	0	0	3	155	590
14:45-15:00	170	6	1	1	0	0	0	0	2	178	619
15:00-15:15	166	5	1	1	0	0	0	0	2	173	655
15:15-15:30	135	5	4	2	1	0	0	0	7	147	653
15:30-15:45	149	6	2	2	0	0	0	0	4	159	657
15:45-16:00	146	5	2	4	0	1	0	0	7	158	637
16:00-16:15	147	5	1	1	0	0	0	1	3	155	619
16:15-16:30	137	5	2	2	1	0	0	0	5	147	619
16:30-16:45	135	5	2	3	1	0	0	0	6	146	606
16:45-17:00	115	5	1	1	0	0	0	0	2	122	570
17:00-17:15	143	5	1	1	0	1	0	0	3	151	566
17:15-17:30	169	5	3	4	1	0	0	0	8	182	601
17:30-17:45	154	9	2	5	0	0	0	0	7	170	625
17:45-18:00	149	6	2	2	0	0	0	0	4	159	662

Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo



**Anexo 51:Conteo vehicular sentido Este - Oeste**

<b>CONTEO VEHICULAR SENTIDO ESTE - OESTE</b>												
<b>NOMBRE DE LA CARRETERA: Av. 24 de Mayo</b>												
<b>HORA</b>	<b>LIVIANOS</b>	<b>BUSES</b>	<b>PESADOS</b>							<b>TOT. PESADOS</b>	<b>TOTAL</b>	<b>ACUMULADO POR HORA</b>
			<b>2DA</b>	<b>2DB</b>	<b>3A</b>	<b>4C</b>	<b>3S2</b>	<b>3S3</b>				
06:00-06:15	52	2	1	0	0	0	1	0	2	56		
06:15-06:30	49	2	3	1	0	0	0	0	4	55		
06:30-06:45	59	3	1	1	0	1	0	0	3	65		
06:45-07:00	59	2	2	0	0	0	0	0	2	63	239	
07:00-07:15	66	2	1	1	0	0	0	1	3	71	254	
07:15-07:30	89	3	5	1	1	0	0	0	7	99	298	
07:30-07:45	95	2	3	3	0	0	0	0	6	103	336	
07:45-08:00	100	5	2	2	0	0	1	0	5	110	383	
08:00-08:15	80	4	1	0	0	0	0	1	2	86	398	
08:15-08:30	70	4	3	2	0	0	0	0	5	79	378	
08:30-08:45	79	4	1	2	0	0	0	0	3	86	361	
08:45-09:00	70	2	5	4	1	0	0	0	10	82	333	
09:00-09:15	74	5	1	1	0	0	0	0	2	81	328	
09:15-09:30	77	2	1	3	0	0	0	0	4	83	332	
09:30-09:45	62	2	2	3	0	0	0	0	5	69	315	
09:45-10:00	60	3	2	1	1	0	1	1	6	69	302	
10:00-10:15	78	2	2	3	0	1	0	0	6	86	307	
10:15-10:30	76	3	5	0	0	0	0	0	5	84	308	
10:30-10:45	64	2	2	3	0	0	0	1	6	72	311	
10:45-11:00	66	3	4	1	2	0	0	0	7	76	318	
11:00-11:15	68	3	2	0	0	1	0	0	3	74	306	
11:15-11:30	68	4	1	0	0	0	1	0	2	74	296	
11:30-11:45	71	3	3	1	0	0	0	0	4	78	302	
11:45-12:00	66	3	2	2	1	0	1	0	6	75	301	
12:00-12:15	57	5	2	2	0	0	0	0	4	66	293	
12:15-12:30	65	5	2	1	0	0	0	0	3	73	292	
12:30-12:45	62	4	1	1	0	1	0	0	3	69	283	
12:45-13:00	62	5	3	2	0	0	0	0	5	72	280	
13:00-13:15	78	3	1	3	0	1	0	0	5	86	300	
13:15-13:30	64	5	4	2	0	1	0	0	7	76	303	
13:30-13:45	74	3	3	3	0	0	0	0	6	83	317	
13:45-14:00	78	3	1	3	0	0	0	0	4	85	330	
14:00-14:15	74	4	1	1	0	0	0	0	2	80	324	
14:15-14:30	78	3	2	1	0	0	0	1	4	85	333	
14:30-14:45	83	3	1	1	0	0	0	0	2	88	338	
14:45-15:00	107	3	1	0	0	0	0	0	1	111	364	
15:00-15:15	93	2	1	1	0	0	0	0	2	97	381	
15:15-15:30	78	3	2	2	1	0	0	0	5	86	382	
15:30-15:45	85	4	1	1	0	0	0	0	2	91	385	
15:45-16:00	83	2	1	2	0	1	0	0	4	89	363	
16:00-16:15	84	3	1	0	0	0	0	0	1	88	354	
16:15-16:30	79	3	2	2	0	0	0	0	4	86	354	
16:30-16:45	78	3	2	2	1	0	0	0	5	86	349	
16:45-17:00	60	2	0	0	0	0	0	0	0	62	322	
17:00-17:15	84	3	1	1	0	0	0	0	2	89	323	
17:15-17:30	97	2	2	2	1	0	0	0	5	104	341	
17:30-17:45	89	5	1	3	0	0	0	0	4	98	353	
17:45-18:00	87	3	1	1	0	0	0	0	2	92	383	

Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo

## Anexo 52: Conteo vehicular sentido Oeste - Este

CONTEO VEHICULAR OESTE - ESTE											
NOMBRE DE LA CARRETERA: Av. 24 de Mayo											
HORA	LIVIANOS	BUSES	PESADOS							TOTAL	ACUMULADO POR HORA
			2DA	2DB	3A	4C	3S2	3S3	TOT. PESADOS		
06:00-06:15	22	2	0	1	0	0	0	0	1	25	
06:15-06:30	18	2	1	0	0	0	0	0	1	21	
06:30-06:45	28	1	0	0	1	0	0	0	1	30	
06:45-07:00	29	2	1	1	0	1	1	0	4	35	111
07:00-07:15	36	2	0	0	0	0	0	0	0	38	124
07:15-07:30	59	3	3	0	0	0	0	0	3	65	168
07:30-07:45	65	2	2	2	0	0	0	0	4	71	209
07:45-08:00	70	3	1	1	1	1	0	0	4	77	251
08:00-08:15	49	3	1	1	0	0	0	1	3	55	268
08:15-08:30	40	3	2	2	0	1	0	0	5	48	251
08:30-08:45	49	3	1	2	1	0	1	0	5	57	237
08:45-09:00	40	3	4	2	0	0	0	1	7	50	210
09:00-09:15	44	4	1	0	0	0	0	0	1	49	204
09:15-09:30	46	2	1	2	0	0	0	0	3	51	207
09:30-09:45	31	2	0	3	1	0	0	0	4	37	187
09:45-10:00	30	4	0	0	1	0	0	0	1	35	172
10:00-10:15	47	2	3	2	0	0	0	0	5	54	177
10:15-10:30	45	3	2	1	0	0	0	0	3	51	177
10:30-10:45	34	4	1	2	0	0	0	0	3	41	181
10:45-11:00	35	3	3	0	0	0	0	0	3	41	187
11:00-11:15	37	3	2	1	0	0	0	1	4	44	177
11:15-11:30	37	5	0	1	0	0	0	0	1	43	169
11:30-11:45	40	3	2	0	0	1	0	0	3	46	174
11:45-12:00	30	2	2	0	1	0	0	0	3	35	168
12:00-12:15	27	3	2	0	0	1	0	0	3	33	157
12:15-12:30	35	4	2	1	0	0	0	0	3	42	156
12:30-12:45	40	2	1	1	1	0	0	0	3	45	155
12:45-13:00	42	4	3	3	0	1	0	0	7	53	173
13:00-13:15	58	2	1	1	0	0	1	0	3	63	203
13:15-13:30	44	4	3	2	0	1	0	0	6	54	215
13:30-13:45	54	3	2	2	0	0	0	0	4	61	231
13:45-14:00	58	3	1	1	0	0	1	0	3	64	242
14:00-14:15	53	3	0	1	0	0	0	0	1	57	236
14:15-14:30	58	2	2	0	1	0	1	0	4	64	246
14:30-14:45	63	3	1	0	0	0	0	0	1	67	252
14:45-15:00	75	3	0	1	0	0	0	0	1	79	267
15:00-15:15	73	3	0	0	0	0	0	0	0	76	286
15:15-15:30	57	2	2	0	0	0	0	0	2	61	283
15:30-15:45	64	2	1	1	0	0	0	0	2	68	284
15:45-16:00	63	3	1	2	0	0	0	0	3	69	274
16:00-16:15	63	2	0	1	0	0	0	1	2	67	265
16:15-16:30	58	2	0	0	1	0	0	0	1	61	265
16:30-16:45	57	2	0	1	0	0	0	0	1	60	257
16:45-17:00	55	3	1	1	0	0	0	0	2	60	248
17:00-17:15	59	2	0	0	0	1	0	0	1	62	243
17:15-17:30	72	3	1	2	0	0	0	0	3	78	260
17:30-17:45	65	4	1	2	0	0	0	0	3	72	272
17:45-18:00	62	3	1	1	0	0	0	0	2	67	279

Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo

# **Anexos**

## **C.6 Análisis Económico**

### Anexo 53: APU, Capa de Rodadura

<b>ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS</b>					
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA CIVIL					
<b>NOMBRE DEL PROYECTO:</b>	"Estudio del efecto de la adición de emulsión asfáltica en las propiedades físico - mecánicas de suelos granulares, para el diseño de pavimentos flexibles"				
<b>RUBRO:</b>	Capa de rodadura de hormigón asfáltico mezclado en planta de e=10cm				
<b>UNIDAD:</b>	m2				Hoja 1/4
<b>EQUIPOS</b>					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A X B	R	D= C X R
Herramienta menor 5%					0,02
Planta mezcladora de asfalto	1,00	117,10	117,10	0,005	0,59
Cargadora frontal 170 HP	1,00	35,00	35,00	0,005	0,18
Volqueta 8 m3	1,00	20,00	20,00	0,020	0,40
Terminadora de asfalto	1,00	91,53	91,53	0,005	0,46
Rodillo liso tándem	1,00	35,00	35,00	0,005	0,18
Rodillo neumático	1,00	30,00	30,00	0,005	0,15
Escoba autopropulsada 80 HP	1,00	20,00	20,00	0,005	0,10
<b>SUBTOTAL M</b>					<b>2,08</b>
<b>MANO DE OBRA</b>					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A X B	R	D= C X R
Operador equipo pesado 1	1,00	4,06	4,06	0,010	0,04
Operador equipo pesado 2	1,00	3,86	3,86	0,015	0,06
Chofer	1,00	5,31	5,31	0,020	0,11
Peón	1,00	3,62	3,62	0,030	0,11
Maestro mayor ejec. Obra civil	1,00	4,06	4,06	0,005	0,02
Ayudante de maquinaria	1,00	3,72	3,72	0,025	0,09
<b>SUBTOTAL N</b>					<b>0,43</b>
<b>MATERIALES</b>					
DESCRIPCIÓN		UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT,	COSTO
			A	B	C= A X B
Asfalto AP-3		kg	7,840	0,60	4,70
Asfalto RC 250		kg	1,630	0,39	0,64
Material triturado 1"		m3	0,038	18,00	0,68
material triturado 3/4"		m3	0,024	18,00	0,43
Diesel		gln	0,510	1,19	0,61
<b>SUBTOTAL O</b>					<b>7,06</b>
<b>TRANSPORTE</b>					
DESCRIPCIÓN		UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT,	COSTO
			A	B	C= A X B
<b>SUBTOTAL P</b>					<b>0</b>
ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA		TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)			9,57
		INDIRECTOS (%)			0,48
		UTILIDAD (%)			0
		COSTO TOTAL DEL REUBRO			10,05
		<b>VALOR UNITARIO</b>			<b>10,05</b>
SON: DIEZ DÓLARES, 05/100 CENTAVOS					
<b>REALIZÓ:</b>			<b>REVISÓ:</b>		
Erika Samantha Gavilanes Pozo			Ing. Favio Portilla		

Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo

### Anexo 54: APU, Base Clase II

<b>ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS</b>					
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO					
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA					
INGENIERÍA CIVIL					
<b>NOMBRE DEL PROYECTO:</b>		"Estudio del efecto de la adición de emulsión asfáltica en las propiedades físico - mecánicas de suelos granulares, para el diseño de pavimentos flexibles"			
<b>RUBRO:</b>		Base Clase II			
<b>UNIDAD:</b>		m3		Hoja 2/4	
<b>EQUIPOS</b>					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C=A X B</b>	<b>R</b>	<b>D= C X R</b>
Herramienta menor 5%					0,02
Motoniveladora	1,00	35,00	35,00	0,025	0,88
Rodillo compactador	1,00	30,00	30,00	0,025	0,75
Tanquero	1,00	16,00	16,00	0,025	0,40
<b>SUBTOTAL M</b>					<b>2,05</b>
<b>MANO DE OBRA</b>					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C=A X B</b>	<b>R</b>	<b>D= C X R</b>
Inspector de obra	1,00	4,07	4,07	0,025	0,10
Operador motoniveladora	1,00	4,06	4,06	0,025	0,10
Operador rodillo autopropulsado	1,00	3,86	3,86	0,025	0,10
Ayudante de maquinaria	1,00	3,72	3,72	0,025	0,09
Peon oc. E2	1,00	3,62	3,62	0,025	0,09
Chofer tanquero de agua	1,00	5,31	5,31	0,025	0,13
<b>SUBTOTAL N</b>					<b>0,62</b>
<b>MATERIALES</b>					
DESCRIPCIÓN		UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT,	COSTO
			<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C= A X B</b>
Agua		m3	0,030	0,50	0,02
Material base clase II		m3	1,200	12,00	14,40
<b>SUBTOTAL O</b>					<b>14,42</b>
<b>TRANSPORTE</b>					
DESCRIPCIÓN		UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT,	COSTO
			<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C= A X B</b>
<b>SUBTOTAL P</b>					<b>0</b>
ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA		TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)			17,08
		INDIRECTOS (%)			0,85
		UTILIDAD (%)			0
		COSTO TOTAL DEL REUBRO			17,93
		<b>VALOR UNITARIO</b>			<b>17,93</b>
<b>SON: DIECISIETE DÓLARES, 93/100 CENTAVOS</b>					
<b>REALIZÓ:</b>			<b>REVISÓ:</b>		
Erika Samantha Gavilanes Pozo			Ing. Favio Portilla		

Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo

### Anexo 55: APU, Subbase Clase III

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA CIVIL					
<b>NOMBRE DEL PROYECTO:</b>		"Estudio del efecto de la adición de emulsión asfáltica en las propiedades físico - mecánicas de suelos granulares, para el diseño de pavimentos flexibles"			
<b>RUBRO:</b>		Subbase Clase III			
<b>UNIDAD:</b>		m3		Hoja 3/4	
EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A X B	R	D= C X R
Herramienta menor 5%					0,02
Rodillo vibratorio liso	1,00	30,00	30,00	0,025	0,75
Motoniveladora	1,00	35,00	35,00	0,025	0,88
Tanquero de agua	1,00	16,00	16,00	0,025	0,40
SUBTOTAL M					<b>2,05</b>
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A X B	R	D= C X R
Peon oc. E2	1,00	3,62	3,62	0,025	0,09
Operador equipo pesado 1 C1	1,00	4,06	4,06	0,025	0,10
Operador equipo pesado 2 C2	1,00	3,86	3,86	0,025	0,10
Chofer tanquero de agua CH1	1,00	5,31	5,31	0,025	0,13
SUBTOTAL N					<b>0,42</b>
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN		UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT,	COSTO
			A	B	C= A X B
Agua		m3	0,030	0,50	0,02
Material subbase clase III		m3	1,200	10,00	12,00
SUBTOTAL O					<b>12,02</b>
TRANSPORTE					
DESCRIPCIÓN		UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT,	COSTO
			A	B	C= A X B
SUBTOTAL P					<b>0</b>
ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA		TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)			14,48
		INDIRECTOS (%)			0,72
		UTILIDAD (%)			0
		COSTO TOTAL DEL REUBRO			15,21
		<b>VALOR UNITARIO</b>			<b>15,21</b>
SON: QUINCE DÓLARES, 21/100 CENTAVOS					
<b>REALIZÓ:</b>			<b>REVISÓ:</b>		
Erika Samantha Gavilanes Pozo			Ing. Favio Portilla		

Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo

### Anexo 56: APU, Subrasante Estabilizada

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA CIVIL					
<b>NOMBRE DEL PROYECTO:</b>	"Estudio del efecto de la adición de emulsión asfáltica en las propiedades físico - mecánicas de suelos granulares, para el diseño de pavimentos flexibles"				
<b>RUBRO:</b>	Subrasante estabilizada				
<b>UNIDAD:</b>	m3				Hoja 4/4
EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A X B	R	D= C X R
Herramienta menor 5%					0,02
Motoniveladora 125 HP	1,00	35,00	35,00	0,025	0,88
Rodillo vibratorio 8Tn	1,00	30,00	30,00	0,025	0,75
Tanquero de agua	1,00	16,00	16,00	0,025	0,40
SUBTOTAL M					<b>2,05</b>
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A X B	R	D= C X R
Peon OC.E2	1,00	3,62	3,62	0,025	0,09
Operador motoniveladora EOC1	1,00	4,06	4,06	0,025	0,10
Operador rodillo vibratorio EOC1	1,00	3,86	3,86	0,025	0,10
Chofer tanquero de agua CH1	1,00	5,31	5,31	0,025	0,13
SUBTOTAL N					<b>0,42</b>
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN		UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT,	COSTO
			A	B	C= A X B
Agua		m3	0,180	0,50	0,09
Emulsión asfáltica		m3	0,048	422,67	20,29
SUBTOTAL O					<b>20,38</b>
TRANSPORTE					
DESCRIPCIÓN		UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT,	COSTO
			A	B	C= A X B
SUBTOTAL P					<b>0</b>
ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA		TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)			22,84
		INDIRECTOS (%)			1,14
		UTILIDAD (%)			0
		COSTO TOTAL DEL REUBRO			23,99
		<b>VALOR UNITARIO</b>			<b>23,99</b>
SON: VENTITRÉS DÓLARES, 99/100 CENTAVOS					
<b>REALIZÓ:</b>			<b>REVISÓ:</b>		
Erika Samantha Gavilanes Pozo			Ing. Favio Portilla		

Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo

**Anexo 57: Diseño 1 – Cuantificación**

<b>DISEÑO 1</b>		
<b>DIMENSIONES DE CARPETA ASFÁLTICA PARA e=10cm</b>		
<b>Ancho (m)</b>	<b>Largo (m)</b>	<b>TOTAL (m2)</b>
7,3	1000	7300

<b>DISEÑO 1</b>			
<b>DIMENSIONES DE CAPA BASE GRANULAR</b>			
<b>Ancho (m)</b>	<b>Largo (m)</b>	<b>Espesor (m)</b>	<b>TOTAL (m3)</b>
7,3	1000	0,15	1095

<b>DISEÑO 1</b>			
<b>DIMENSIONES DE CAPA SUBBASE GRANULAR</b>			
<b>Ancho (m)</b>	<b>Largo (m)</b>	<b>Espesor (m)</b>	<b>TOTAL (m3)</b>
7,3	1000	0,20	1460

Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo

**Anexo 58: Diseño 2 – Cuantificación**

<b>DISEÑO 2</b>		
<b>DIMENSIONES DE CARPETA ASFÁLTICA PARA e=10cm</b>		
<b>Ancho (m)</b>	<b>Largo (m)</b>	<b>TOTAL (m2)</b>
7,3	1000	7300

<b>DISEÑO 2</b>			
<b>DIMENSIONES DE CAPA BASE GRANULAR</b>			
<b>Ancho (m)</b>	<b>Largo (m)</b>	<b>Espesor (m)</b>	<b>TOTAL (m3)</b>
7,3	1000	0,15	1095

<b>DISEÑO 2</b>			
<b>DIMENSIONES DE CAPA SUBBASE GRANULAR</b>			
<b>Ancho (m)</b>	<b>Largo (m)</b>	<b>Espesor (m)</b>	<b>TOTAL (m3)</b>
7,3	1000	0,15	1095

<b>DISEÑO 2</b>			
<b>DIMENSIONES DE CAPA SUBRASANTE</b>			
<b>Ancho (m)</b>	<b>Largo (m)</b>	<b>Espesor (m)</b>	<b>TOTAL (m3)</b>
7,3	1000	0,06	438

Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo



Cantidad requerida de emulsión asfáltica catiónica CSS-1h dentro de 1 m<sup>3</sup> de masa de la muestra seca.

-Densidad seca máxima: 1.611 gr/cm<sup>3</sup>

-Volumen requerido: 1m<sup>3</sup> (muestra seca + % emulsión asfáltica)

-Porcentaje de emulsión asfáltica: 3.0%

$$m_{suelo} = \rho * v$$

$$m_{suelo} = 1611 \text{ kg/m}^3 * 1\text{m}^3$$

$$m_{suelo} = \mathbf{1611 \text{ kg}} \text{ corresponde al } 100\% \text{ de muestra seca} \\ + 3.0\% \text{ de emulsión asfáltica}$$

Cantidad de agua para 1 m<sup>3</sup> de masa de la muestra seca, para una densidad relativa de 1.611 gr/cm<sup>3</sup>

$$V_{agua} = 1611\text{kg} * 15.2\%$$

$$V_{agua} = 244.9 \text{ kg} * \frac{1000\text{cm}^3}{1 \text{ kg}_{agua}} * \frac{1\text{m}^3}{(100\text{cm})^3} = 0.245\text{m}^3$$

El suelo en estado natural conserva su humedad natural por lo que se toma el 75% del valor del volumen del agua teniendo así una cantidad de agua requerida de **0.18m<sup>3</sup>**.

Cuantificación de emulsión asfáltica

$$V_{emulsión \text{ asfáltica}} = 1611\text{kg} * 3\%$$

$$V_{emulsión \text{ asfáltica}} = 48.33 \text{ kg} * \frac{1000\text{cm}^3}{1 \text{ kg}_{agua}} * \frac{1\text{m}^3}{(100\text{cm})^3} = 0.048\text{m}^3$$

# **Anexos**

## **C.7 Anexos Fotográficos**

**Anexo 59:** Excavación del pozo a cielo abierto



Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo

**Anexo 60:** Colocación de la placa para el ensayo de Cono y Arena de Ottawa



Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo

### **Anexo 61: Límites de Atterberg**



Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo

### **Anexo 62: Granulometría de los suelos**



Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo

**Anexo 63:** Calibración del Picnómetro a distintas temperaturas



Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo

**Anexo 64:** Ensayo de gravedad específica



Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo

**Anexo 65:** Tamizado de las muestras de suelo



Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo

**Anexo 66:** Cuantificando la emulsión asfáltica en la probeta



Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo

**Anexo 67:** Mezclando el suelo con la emulsión asfáltica



Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo

**Anexo 68:** Cuarteo de la muestra para el ensayo de Proctor Modificado



Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo

### **Anexo 69: Ensayo de Proctor Modificado**



Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo

### **Anexo 70: Saturación de los moldes de CBR**



Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo



### **Anexo 71: Ensayo CBR**



Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo

### **Anexo 72: Conteo manual de tráfico vehicular**



Fuente: Erika Samantha Gavilanes Pozo