



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

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

TEMA:

**“ESTABILIZACIÓN DE SUELOS GRANULARES DE SUBRASANTE CON
FINOS DE TEREFTALATO DE POLIETILENO (PET), POLIPROPILENO
(PP) Y POLIETILENO (PE)”**

AUTOR: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

TUTOR: Ing. Mg. Favio Paúl Portilla Yandún

AMBATO – ECUADOR

Marzo – 2021

CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Tutor del Trabajo Experimental, previo a la obtención del título de Ingeniero Civil, con el tema: **“ESTABILIZACIÓN DE SUELOS GRANULARES DE SUBRASANTE CON FINOS DE TEREFALATO DE POLIETILENO (PET), POLIPROPILENO (PP) Y POLIETILENO (PE)”**, elaborado por el Sr. Kevin Adrian Celi Yanchapanta, portador de la cedula de ciudadanía: C.I. 1722467121, 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.
- Esta concluido en su totalidad.

Ambato, Marzo 2021

Ing. Mg. Favio Paúl Portilla Yandún

TUTOR

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Yo, Kevin Adrian Celi Yanchapanta, con C.I. 1722467121 declaro que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente Trabajo Experimental con el tema **“ESTABILIZACIÓN DE SUELOS GRANULARES DE SUBRASANTE CON FINOS DE TEREFALATO DE POLIETILENO (PET), POLIPROPILENO (PP) Y POLIETILENO (PE)”**, así como también los análisis estadísticos, gráficos, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autor del trabajo, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, Marzo 2021



Kevin Adrian Celi Yanchapanta

C.I: 1722467121

AUTOR

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 autor.

Ambato, Marzo 2021



Kevin Adrian Celi Yanchapanta

C.I: 1722467121

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Trabajo Experimental, realizado por el estudiante Kevin Adrian Celi Yanchapanta. De la Carrera de Ingeniería Civil bajo el tema: **“ESTABILIZACIÓN DE SUELOS GRANULARES DE SUBRASANTE CON FINOS DE TEREFALATO DE POLIETILENO (PET), POLIPROPILENO (PP) Y POLIETILENO (PE)”**.

Ambato, Marzo 2021

Para constancia firman:

Ing. Mg. Ruth Lorena Pérez Maldonado
Miembro Calificador

Ing. Mg. Byron Genaro Cañizares Proaño
Miembro Calificador

DEDICATORIA

Dedicada a una mujer que con su esfuerzo y lucha constante nunca se detuvo a darlo todo por mí, una mujer que con su sacrificio, valor, amor y coraje me mostró y me guió por el camino de bien, esta mujer que nunca dudo de mí y confió en todas mis capacidades y le apostó ciegamente a eso. Ella con sus manos y caricias me a cobijó y me alentó a seguir adelante y nunca darme por vencido, esta mujer es el ser más maravilloso y a quien yo más Amo en el mundo, muchos la conocen como Romelia, yo simplemente la llamo MAMÁ.

Este proyecto y mis logros alcanzados en mi vida Universitaria también se los dedico a mis queridas hermanas Ana y Shirley, que con su paciencia y amor me han brindado todo su apoyo, su cariño y han confiado en mí. Sin ustedes mi vida no sería maravillosa y llena de amor como lo es ahora.

Y como no dedicársela también al hombre que Amo a mi padre, Plutarco un gran hombre que con sus consejos y sus cuidados siempre estuvo al pendiente de mí, un hombre al que admiro mucho por su actitud, su gran alegría, su perseverancia y su infinito amor hacia a mí.

Adrian

AGRADECIMIENTO

Agradezco ante todo a Dios por iluminar mi camino y toda la fe que en ti deposite, que con tu bendición me permitiste llegar a cumplir uno de mis mayores sueños, y me diste la oportunidad de conocer muchas personas admirables, que se volvieron parte de mi corazón.

Quiero agradecer a mi Alma Mater, la Universidad Técnica de Ambato y a la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, por todos los conocimientos impartidos en mí y a todos los docentes que me brindaron sus conocimientos, para convertirme en un gran profesional.

A mi tutor el Ing. Favio Portilla que, con su paciencia y sus conocimientos me ayudó al desarrollo de mi tesis de grado, apoyándome como profesional y como amigo, para hacer de mi un profesional ético y responsable.

También quiero agradecer a mis amigos Liliana, Cevallos, Carrillo y Barreno, que compartieron conmigo gratas experiencias en mi vida universitaria y que me supieron apoyar y estuvieron ahí conmigo en los momentos más difíciles, gracias, queridos amigos los llevare siempre en mi corazón.

ÍNDICE

PORTADA	i
A. PÁGINAS PRELIMINARES	ii
CERTIFICACIÓN.....	ii
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN	iii
DERECHOS DE AUTOR.....	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	v
DEDICATORIA.....	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xv
ÍNDICE DE ANEXOS	xvi
RESUMEN.....	xviii
ABSTRACT	xix
B. CONTENIDOS	1
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. Planeta Tierra	4
1.1.3.2. El Suelo	6
a) Epidermis de la tierra	6
b) Los suelos en la construcción.....	6
c) Diversidad de los suelos.....	6
1.1.3.3. Clasificación de Suelos	8
a) Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), ASTM.....	8
b) Clasificación AASHTO	11
c) Clasificación de Suelos del Ecuador	13
d) Clasificación de Suelos en Ambato.....	15
1.1.3.4. Pavimento.....	15
1.1.3.5. Clasificación de los Pavimentos	15

a)	Pavimentos Flexibles	15
b)	Pavimentos Semi Rígidos	16
c)	Pavimentos Rígidos.....	16
d)	Pavimentos Articulados	17
1.1.3.6.	Estructura del Pavimento	18
a)	La Rasante	18
b)	Capa de Rodadura	18
c)	Base	18
d)	Subbase	18
e)	Subrasante	19
1.1.3.7.	Clasificación de la Subrasante	20
1.1.3.8.	Especificación de la subrasante según MTOP	20
a)	Relleno y Terraplenes	20
b)	Corte y Explanada	21
c)	Mejoramiento con Material seleccionado	21
1.1.3.9.	Ensayos de suelos.....	21
a)	Densidad de Campo	21
b)	Gravedad Específica.....	22
c)	Humedad Natural	23
d)	Límite Líquido	23
e)	Límite Plástico	24
f)	Granulometría	25
g)	Compactación – Proctor modificado.....	25
h)	Relación de Soporte California (CBR)	26
1.1.3.10.	Estabilización de Suelos.....	27
a)	Estabilización Volumétrica	28
b)	Resistencia.....	28
c)	Permeabilidad.....	29
d)	Comprensibilidad	29
e)	Durabilidad.....	29
f)	Estabilización de Suelos con Cemento	30
g)	Estabilización de Suelos con Cal	31
h)	Estabilización de Suelos con Asfaltos	32
i)	Uso de Polímeros y Resinas	32

1.1.3.11.	El Plástico	33
a)	Efectos del Plástico en el Suelo	34
b)	Degradación del Plástico.....	34
1.1.3.12.	Propiedades Físicas y Mecánicas del Plástico	35
a)	Densidad.....	35
b)	Conductividad térmica	35
c)	Dilatación térmica	35
d)	Deformación elástica.....	35
e)	Deformación plástica	36
f)	Rotura.....	36
1.1.3.13.	Tipos de plástico que conforman una botella.....	36
a)	Polipropileno de Tereftalato (PET).....	36
b)	Polipropileno (PP).....	37
c)	Polietileno (PE).....	38
1.1.3.14.	Procesos del reciclaje PET	39
1.1.4.	Hipótesis.....	41
1.2.	Objetivos	42
1.2.1.	Objetivo General	42
1.2.2.	Objetivos 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	51
2.2.3.	Nivel Explicativo	52
2.2.4.	Población.....	52
2.2.5.	Muestra.....	52
2.3.	Plan de Recolección de Datos	55
2.3.1.	Obtención de los finos de tereftalato de polietileno (PET), polipropileno (PP) y polietileno (PE).	56
2.4.	Plan de Procesamiento y Análisis de Información	57
2.4.1.	Plan de procesamiento.....	57
2.4.2.	Plan de análisis de información.....	57
CAPÍTULO III.....	59	

3. RESULTADOS Y DISCUSIONES	59
3.1. Análisis y discusión de los resultados	59
3.1.1. Análisis de Propiedades Índice	61
3.1.2. Análisis de Clasificación de Suelos	62
3.1.3. Análisis de Propiedades Mecánicas	63
3.1.3.1. Análisis de CBR y Proctor de la Parroquia Montalvo	65
a) Análisis de Proctor Modificado	65
b) Análisis de CBR.....	66
c) Análisis de CBR Óptimo.....	68
3.1.3.2. Análisis de CBR y Proctor de la Parroquia Juan Benigno Vela	69
a) Análisis de Proctor Modificado	69
b) Análisis de CBR.....	70
c) Análisis de CBR Óptimo.....	72
3.1.3.3. Análisis de CBR y Proctor de la Parroquia Izamba	73
a) Análisis de Proctor Modificado	73
b) Análisis de CBR.....	74
c) Análisis de CBR Óptimo.....	76
3.1.4. Análisis de Estabilización de la Subrasante según CBR.....	77
3.1.5. Análisis de Tráfico	78
3.1.5.1. Conteo Vehicular	78
3.1.5.2. Cálculo del Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA).....	78
3.1.5.3. Cálculo de Tráfico Futuro (Tf).....	81
a) Proyección de Tráfico Futuro (n).....	82
b) Crecimiento Normal del Tráfico Actual	82
a. Tráfico Existente:	82
b. Tráfico Atraído (Tat).....	82
c) Tráfico Generado (Tg)	83
d) Tráfico por Desarrollo (Td).....	83
e) Tráfico Actual (Ta)	84
f) Proyección en Base a la Tasa de Crecimiento Poblacional.....	84
3.1.5.4. Factor de Daño (Fd)	85
3.1.5.5. Cálculo de Ejes Equivalentes	86
a) Factor de Distribución por Dirección.....	87
b) Factor de Distribución por Carril	87

3.1.6.	Análisis de Diseño de Pavimento Flexible – Método AASHTO 93..	89
3.1.6.1.	Parámetros de Diseño.....	89
a)	Fórmula de Diseño AASHTO 93.....	89
b)	Periodo de Análisis	90
c)	Ejes Equivalentes	90
d)	Confiabilidad.....	90
e)	Índice de Serviciabilidad.....	92
f)	Coeficientes de Drenaje	92
g)	Cálculo del Módulo Resiliente de las Subrasantes	94
h)	Coeficiente estructural de la Carpeta Asfáltica (a1)	95
i)	Coeficiente estructural de la Base Granular (a2)	96
j)	Coeficiente estructural de la Subbase Granular	97
k)	Número Estructural (SN) y Espesores por Capa.....	98
3.1.6.2.	Diseño 1 – Subrasante sin material Estabilizante	100
3.1.6.3.	Diseño 2: Subrasante con material Estabilizante	103
3.1.6.4.	Análisis del Diseño 1 y Diseño 2	107
3.1.7.	Análisis Económico	108
3.2.	Verificación de Hipótesis	110
CAPÍTULO IV		112
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		112
4.1.	Conclusiones	112
4.2.	Recomendaciones	114
C. MATERIALES DE REFERENCIA		115
Referencia Bibliográfica.....		115
Anexos.....		120
C.1.	Marco Teórico.....	121
C.2.	Ensayos de Suelo de la parroquia Montalvo	123
C.3.	Ensayos de Suelo de la parroquia Juan Benigno Vela	147
C.4.	Ensayos de Suelo de la parroquia Izamba.....	171
C.5.	Gravedad Específica del Tereftalato de Polietileno (PET), Polipropileno (PP) Y Polietileno (PE).....	195
C.3.	Tráfico	198
C.3.	Análisis Económico	201
C.3.	Renderizados	208
C.3.	Fotográficos.....	211

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1: Capas de la Tierra</i>	5
<i>Figura 2: Mapa de clasificación de suelos del Ecuador</i>	14
<i>Figura 3: Pavimento Flexible</i>	16
<i>Figura 4: Pavimento Rígido</i>	17
<i>Figura 5: Pavimento Articulado</i>	17
<i>Figura 6: Cono y Arena</i>	22
<i>Figura 7: Picnómetro y materiales</i>	22
<i>Figura 8: Recipiente contenedor y balanza</i>	23
<i>Figura 9: Copa Casagrande y materiales</i>	24
<i>Figura 10: Diámetro aproximado del rollo de suelo.</i>	24
<i>Figura 11: Compactación de la muestra</i>	26
<i>Figura 12: Fases de la ejecución de una estabilización in situ.</i>	28
<i>Figura 13: Detalle del rotor – fresador de una máquina para la estabilización in situ.</i>	31
<i>Figura 14: Estabilización de suelos con Cal</i>	31
<i>Figura 15: Estabilización de suelos con asfalto líquido.</i>	32
<i>Figura 16: Estabilización de suelos con polímeros</i>	33
<i>Figura 17: Botella PET</i>	37
<i>Figura 18: Tapas de Polipropileno</i>	38
<i>Figura 19: Etiquetas de Polietileno</i>	39
<i>Figura 20: Finos PET/PP/PE</i>	40
<i>Figura 21: Pozo a Cielo Abierto</i>	46
<i>Figura 22: Densidad de Campo (Cono y Arena de Ottawa)</i>	46
<i>Figura 23: Contenido de Humedad</i>	47
<i>Figura 24: Gravedad Específica de Sólidos</i>	47
<i>Figura 25: Calibración del Picnómetro</i>	48
<i>Figura 26: Granulometría</i>	48
<i>Figura 27: Límite Líquido (Copa Casagrande)</i>	49
<i>Figura 28: Límite Plástico</i>	49
<i>Figura 29: Proctor Modificado</i>	50
<i>Figura 30: Relación de Soporte California (CBR)</i>	50
<i>Figura 31: Mapa de Ubicación de Calicatas (Tungurahua)</i>	54
<i>Figura 32: Compactación Proctor Montalvo</i>	65
<i>Figura 33: CBR Montalvo</i>	67
<i>Figura 34: Relación Óptima Montalvo</i>	68
<i>Figura 35: Compactación Proctor Juan Benigno Vela</i>	69
<i>Figura 36: CBR Juan Benigno Vela</i>	71
<i>Figura 37: Relación Óptima Juan Benigno Vela</i>	72
<i>Figura 38: Compactación Proctor Izamba</i>	73
<i>Figura 39: CBR Izamba</i>	75
<i>Figura 40: Relación Óptima Izamba</i>	76
<i>Figura 41: Nomograma para estimar el coeficiente estructural de la carpeta asfáltica</i>	96

Figura 42: <i>Ábaco para estimar el número estructural de la capa Base granular (a2)</i>	97
Figura 43: <i>Ábaco para estimar el número estructural de la Subbase granular (a3)</i>	98
Figura 44: <i>Estructura de Pavimento Flexible</i>	99
Figura 45: <i>DISEÑO 1 - Cálculo de (SN) programa AASHTO 93</i>	101
Figura 46: <i>DISEÑO 1 - Espesores de las capas del Pavimento</i>	103
Figura 47: <i>DISEÑO 2 - Cálculo de (SN) programa AASHTO 93</i>	104
Figura 48: <i>DISEÑO 2 – Espesores de las capas del Pavimento</i>	107
Figura 49: <i>Comparativa Económica</i>	109

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Letras utilizadas en la clasificación ASTM.....	9
Tabla 2: Clasificación Unificada de Suelos	10
Tabla 3: Clasificación Unificada de Suelos	11
Tabla 4: Clasificación AASHTO A-1 a A-3	12
Tabla 5: Clasificación de AASHTO A-4 a A-7	12
Tabla 6: Clasificación de suelos de subrasante	20
Tabla 7: Serie de tamices para análisis granulométrico.....	25
Tabla 8: Clasificación de suelos según CBR.....	26
Tabla 9: Estabilización con Cemento	30
Tabla 10: Ejemplo de Plásticos	34
Tabla 11: Materiales y Equipos.....	43
Tabla 12: Materiales y Equipos.....	44
Tabla 13: Materiales y Equipos.....	45
Tabla 14: Ubicación de Calicatas	53
Tabla 15: Nomenclatura de variables utilizadas en los Ensayos	60
Tabla 16: Nomenclatura de Variables utilizadas en los Ensayos	60
Tabla 17: Propiedades Índice del Suelo.....	61
Tabla 18: Clasificación de Suelos	62
Tabla 19: Propiedades Mecánicas del Suelo	63
Tabla 20: Porcentajes de Estabilización de la Subrasante	77
Tabla 21: Conteo Vehicular en ambos sentidos	80
Tabla 22: Hora de Mayor Tráfico Observado.....	81
Tabla 23: Tráfico Actual.....	84
Tabla 24: Índice de Crecimiento Vehicular.....	85
Tabla 25: Factor de Daño	86
Tabla 26: Factor de Distribución por Carril	87
Tabla 27: Ejes Equivalentes	88
Tabla 28: Datos de CBR para el diseño de pavimento.....	89
Tabla 29: Niveles de Confiabilidad	91
Tabla 30: Desviación Estándar Normal.....	91
Tabla 31: Desviación Estándar Global.....	91
Tabla 32: Índice de Serviciabilidad.....	92
Tabla 33: Tiempo de Drenaje Recomendado	93
Tabla 34: Coeficientes de Drenaje para Pavimentos Flexibles	93
Tabla 35: Criterios de Diseño para Mezclas Marshall.....	95
Tabla 36: Espesores mínimos de Concreto Asfáltico y Base granular	99
Tabla 37: DISEÑO 1 - Parámetros	100
Tabla 38: DISEÑO 1 - Diseño de Pavimento Flexible AASHTO 93.....	102
Tabla 39: DISEÑO 2 - Parámetros	104
Tabla 40: DISEÑO 2 - Diseño de pavimento Flexible AASHTO 93.....	105
Tabla 41: Coeficientes recomendados para subrasante mejorada	106
Tabla 42: Comparación de Espesores.....	107
Tabla 43: Diseño 1 - Presupuesto	108
Tabla 44: Diseño 2 - Presupuesto	109

ÍNDICE DE ANEXOS

<i>Anexo 1: Mapa de Tipos Suelos de Tungurahua</i>	122
<i>Anexo 2: Contenido de Humedad</i>	124
<i>Anexo 3: Densidad Cono y Arena</i>	125
<i>Anexo 4: Granulometría</i>	126
<i>Anexo 5: Límites de Atterberg</i>	127
<i>Anexo 6: Gravedad Específica</i>	128
<i>Anexo 7: Proctor Modificado con 0% PET/PP/PE</i>	129
<i>Anexo 8: Proctor Modificado con 3% PET/PP/PE</i>	130
<i>Anexo 9: Proctor Modificado con 6% PET/PP/PE</i>	131
<i>Anexo 10: Proctor Modificado con 9% PET/PP/PE</i>	132
<i>Anexo 11: Proctor Modificado con 12% PET/PP/PE</i>	133
<i>Anexo 12: Proctor Modificado con 15% PET/PP/PE</i>	134
<i>Anexo 13: CBR con 0% PET/PP/PE</i>	135
<i>Anexo 14: CBR con 3% PET/PP/PE</i>	137
<i>Anexo 15: CBR con 6% PET/PP/PE</i>	139
<i>Anexo 16: CBR con 9% PET/PP/PE</i>	141
<i>Anexo 17: CBR con 12% PET/PP/PE</i>	143
<i>Anexo 18: CBR con 15% PET/PP/PE</i>	145
<i>Anexo 19: Contenido de Humedad</i>	148
<i>Anexo 20: Densidad Cono y Arena</i>	149
<i>Anexo 21: Granulometría</i>	150
<i>Anexo 22: Límites de Atterberg</i>	151
<i>Anexo 23: Gravedad Específica</i>	152
<i>Anexo 24: Proctor Modificado con 0% PET/PP/PE</i>	153
<i>Anexo 25: Proctor Modificado con 3% PET/PP/PE</i>	154
<i>Anexo 26: Proctor Modificado con 6% PET/PP/PE</i>	155
<i>Anexo 27: Proctor Modificado con 9% PET/PP/PE</i>	156
<i>Anexo 28: Proctor Modificado con 12% PET/PP/PE</i>	157
<i>Anexo 29: Proctor Modificado con 15% PET/PP/PE</i>	158
<i>Anexo 30: CBR con 0% PET/PP/PE</i>	159
<i>Anexo 31: CBR con 3% PET/PP/PE</i>	161
<i>Anexo 32: CBR con 6% PET/PP/PE</i>	163
<i>Anexo 33: CBR con 9% PET/PP/PE</i>	165
<i>Anexo 34: CBR con 12% PET/PP/PE</i>	167
<i>Anexo 35: CBR con 15% PET/PP/PE</i>	169
<i>Anexo 36: Contenido de Humedad</i>	172
<i>Anexo 37: Densidad Cono y Arena</i>	173
<i>Anexo 38: Granulometría</i>	174
<i>Anexo 39: Límites de Atterberg</i>	175
<i>Anexo 40: Gravedad Específica</i>	176
<i>Anexo 41: Proctor Modificado con 0% PET/PP/PE</i>	177
<i>Anexo 42: Proctor Modificado con 3% PET/PP/PE</i>	178
<i>Anexo 43: Proctor Modificado con 6% PET/PP/PE</i>	179
<i>Anexo 44: Proctor Modificado con 9% PET/PP/PE</i>	180

<i>Anexo 45: Proctor Modificado con 12% PET/PP/PE.....</i>	<i>181</i>
<i>Anexo 46: Proctor Modificado con 15% PET/PP/PE.....</i>	<i>182</i>
<i>Anexo 47: CBR con 0% PET/PP/PE.....</i>	<i>183</i>
<i>Anexo 48: CBR con 3% PET/PP/PE.....</i>	<i>185</i>
<i>Anexo 49: CBR con 6% PET/PP/PE.....</i>	<i>187</i>
<i>Anexo 50: CBR con 9% PET/PP/PE.....</i>	<i>189</i>
<i>Anexo 51: CBR con 12% PET/PP/PE.....</i>	<i>191</i>
<i>Anexo 52: CBR con 15% PET/PP/PE.....</i>	<i>193</i>
<i>Anexo 53: Conteo vehicular sentido SUR-NORTE.....</i>	<i>199</i>
<i>Anexo 54: Conteo vehicular sentido NORTE-SUR.....</i>	<i>200</i>
<i>Anexo 55: APU, Carpeta Asfáltica.....</i>	<i>202</i>
<i>Anexo 56: APU, Base clase II.....</i>	<i>203</i>
<i>Anexo 57: APU, Subbase clase III.....</i>	<i>204</i>
<i>Anexo 58: APU, Mejoramiento de Subrasante.....</i>	<i>205</i>
<i>Anexo 59: Diseño 1 - Cuantificación.....</i>	<i>206</i>
<i>Anexo 60: Diseño 2 - Cuantificación.....</i>	<i>206</i>
<i>Anexo 61: Vista Frontal.....</i>	<i>209</i>
<i>Anexo 62: Vista Aérea.....</i>	<i>209</i>
<i>Anexo 63: Corte Transversal (Capas).....</i>	<i>210</i>
<i>Anexo 64: Despiece de la Estructura.....</i>	<i>210</i>
<i>Anexo 65: Finos de PET/PP/PE.....</i>	<i>212</i>
<i>Anexo 66: Excavación de pozo a cielo abierto.....</i>	<i>212</i>
<i>Anexo 67: Medición de pozo a cielo abierto.....</i>	<i>213</i>
<i>Anexo 68: Preparación para el ensayo de Cono y Arena.....</i>	<i>213</i>
<i>Anexo 69: Ensayo de Límites de Atterberg.....</i>	<i>214</i>
<i>Anexo 70: Ensayo de gravedad específica.....</i>	<i>214</i>
<i>Anexo 71: Cuarteo para el ensayo de Proctor Modificado.....</i>	<i>215</i>
<i>Anexo 72: Compactación de Proctor.....</i>	<i>215</i>
<i>Anexo 73: Saturación de moldes de CBR.....</i>	<i>216</i>
<i>Anexo 74: Toma de lecturas de hinchamiento.....</i>	<i>216</i>

RESUMEN

El presente documento trata una investigación experimental, enfocado a la estabilización de una de las capas de la estructura de pavimento (subrasante) de tipo suelo granular con la adición de finos de Tereftalato de Polietileno (PET), Polipropileno (PP) y Polietileno (PE).

Esta estabilización está basada en el análisis comparativo de CBR entre subrasante estabilizada con finos de PET, PP, PE y subrasante en su estado natural. Para la ejecución de este proyecto se realizó la extracción de 3 muestras representativas de suelos granulares localizados en las parroquias de Montalvo, Juan Benigno Vela e Izamba del cantón Ambato. Posteriormente se realizaron los ensayos in situ y laboratorio, correspondientes a: Contenido de humedad, Densidad de campo, Gravedad específica, Granulometría, Límites de Atterberg, Proctor modificado y CBR, y sus respectivos análisis.

En las muestras de suelo de los ensayos Proctor y CBR, se adicionó finos de PET, PP, PE en porcentajes de 0, 3, 6, 9, 12 y 15. Se analizó las variaciones en los valores de densidad seca máxima, humedad óptima y CBR, encontrando valores óptimos de estabilización para cada muestra de suelo.

A raíz de esto, se realizó una comparativa técnica económica entre dos diseños de pavimento flexible basados en los valores CBR de suelos de subrasante sin estabilizar y estabilizados. De esta manera se pudo observar la disminución de espesores en las capas de la estructura de pavimento flexible para la subrasante estabilizada y cómo influye en el costo de una vía.

ABSTRACT

This document deals with an experimental research, focused on stabilizing one of the layers of the pavement (subgrade) of coarse soil-type, with the addition of Terephthalate polyethylene (PET), Polypropylene (PP) and Polyethylene (PE) particles.

This stabilization is based on the comparative analysis of CBR between subgrade stabilized with PET/PP/PE particles, and subgrade in natural state. To carry out this project, were sampled three representative type of granular soils, located in the parishes of Montalvo, Juan Benigno Vela and Izamba, all of them in Ambato. After that, there was an analysis of tests in situ and laboratory corresponding to: Moisture Content, Field Density, Specific Gravity, Granulometry, Atterberg Limits, Modified Proctor and CBR.

In the soil samples of the Proctor and CBR tests, it was added particles of PET/PP/PE in percentages of 0, 3, 6, 9, 12 and 15. The variations of the maximum dry density, optimum moisture content and CBR values were analyzed, finding optimal stabilization values for each soil sample.

As a result, an economical technical comparison was conducted between two flexible pavement designs based on CBR of non-stabilized and stabilized subgrade soils. In this way it was observed the diminution of thicknesses in the layers of the flexible pavement structure for stabilized subgrade and how influences the cost of a road.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes Investigativos

Estabilización de suelos granulares de subrasante con Finos de Tereftalato de Polietileno (PET), Polipropileno (PP) y Polietileno (PE).

1.1.1. Antecedentes

La estabilización del suelo es el proceso que permite mejorar las propiedades físicas y mecánicas del suelo, como la resistencia al corte y la capacidad de carga. La estabilización del suelo también implica disminuir la permeabilidad y los asentamientos, ya que el suelo es un material suelto no consolidado que se obtiene por la meteorización de rocas y descomposición de la materia orgánica [1].

Para Singh y Mittal [2], el uso del plástico ha aumentado enormemente en estos años. Pero ahora, el plástico se ha convertido en un importante contaminante del medio ambiente debido al mecanismo de uso y su producción masiva, todos deberían pensar en el escenario actual y las consecuencias de su uso excesivo. El uso del plástico tendría que estar limitado por ahora, de lo contrario habría circunstancias severas que los humanos y el medio ambiente tendrían que enfrentar en un futuro próximo.

En la Universidad César Vallejo, Piura, Perú, de la Facultad de ingeniería se realizó un estudio sobre “Uso de Polímeros PET triturados para mejorar la subrasante del centro poblado la Golondrina entre las progresivas 0+000 hasta 1+000 del distrito de Marcavelica – Sullana – Piura” en donde, propone mejorar la subrasante empleando polímeros PET, el cual se adicionaría en dos valores de porcentaje, siendo éstos 10% y 15% del peso de la muestra, para el ensayo de compactación y el ensayo de CBR, en

el que se concluyó que; los Polímeros PET, intervienen en el mejoramiento de las subrasante, adicionándolos de manera triturada en porciones de 10% y 15% respecto al suelo seco, aumentando el valor de soporte en un 33.3% y 50% del natural respectivamente [3].

En la Universidad Autónoma de Querétaro, Santiago de Querétaro, México, de la Facultad de Ingeniería. Se realizó un estudio sobre “Mejoramiento de suelos Expansivos mediante inclusión de fibras” en donde, el refuerzo del suelo se planteó a través de inclusiones aleatorias de fibras sintéticas de polipropileno, las cuales fueron distribuidas de manera homogénea en la masa de suelo. Se realizó una caracterización geotécnica y posteriormente fue realizado un ensayo de compactación del tipo Proctor estándar para obtener los parámetros de peso específico seco máximo y contenido de agua óptimo. Se utilizaron las longitudes de 4.75, 9.5 y 19 mm bajo los porcentajes de 0.5%, 1.0%, 1.5% y 2%. De los resultados de las pruebas a compresión no confinada se comprobó que las fibras mejoraron el comportamiento mecánico del compuesto obteniendo mejoras de hasta 85% [4].

En el diseño de pavimentos flexibles utilizados en las diferentes obras de infraestructura vial, el método del CBR se convierte en pieza clave en la búsqueda de evaluar la resistencia potencial de los materiales utilizados en la base, subbase y subrasante de las estructuras y además de esto, brindando información sobre la expansión esperada en el suelo bajo la estructura de pavimento cuando el suelo se satura e indica la pérdida de resistencia debida a la saturación en el campo [5].

En la actualidad muchas fábricas en el Ecuador buscan hacer uso del material reciclado (PET) mediante procesos industriales, su objetivo es volver a crear botellas (PET) para productos no alimenticios. Para realizar este producto la botella plástica debe pasar por varios procesos, uno de esos procesos es la trituración, como resultado de éste, se da la obtención de finos y escamas.

Una de las empresas de Ecuador encargadas del reciclaje de botellas es la empresa ENKADOR bajo la marca de RecyPet, opera con los equipos más avanzados y sofisticados del mundo en la producción de escama lavada, finos, paletización, resinas,

así como subproductos de tapas y etiquetas. Más de 1000 personas participan en la recolección y acopio de aproximadamente 1.5 millones de botellas diarias de ciudades, ríos, parques y playas del país evitando la contaminación visual y ambiental [6].

1.1.2. Justificación

La siguiente investigación está enfocada a la estabilización de una de las capas de la estructura del pavimento mediante la adición de finos de Tereftalato de Polietileno (PET), Polipropileno (PP) y Polietileno (PE), con el fin de explorar el comportamiento de la capacidad de soporte (CBR). La capa en estudio a la que está orientada esta investigación es la subrasante de tipo suelo granular.

La función de la subrasante es soportar las cargas que transmite el pavimento y darle sustentación, además de considerarse la cimentación del pavimento. Entre mejor calidad se obtenga en esta capa, el espesor de las capas restantes del pavimento disminuirá, consiguiendo un ahorro en costos sin mermar la calidad [7].

El método de la capacidad de soporte (CBR), es usado para evaluar el potencial de resistencia de la subrasante, subbase y bases de material granular, incluyendo materiales reciclados para uso de pavimentos en carreteras y pistas aéreas. El valor de CBR forma parte integral en muchos métodos de diseño de pavimentos flexibles [8].

Por otro lado, la botella plástica (PET) y sus elementos adicionales como son la tapa (PP) y etiqueta (PE), son uno de los materiales que más se desecha en todo el mundo y Ecuador no es la excepción. De acuerdo con datos proporcionados por la empresa Metropolitana de aseo (EMASEO), durante el año 2018, solo en la ciudad de Quito se desecharon 277 toneladas de plástico al día [9]. Estas cifras indican una gran cantidad de desechos y acumulación de residuos plásticos.

Al realizar la estabilización de suelos con la inclusión de la botella plástica se busca no solo mejorar las propiedades físico-mecánicas del suelo, sino también contribuir con el medio ambiente.

Para Singh y Mittal [2], el plástico es un material no descomponible, lo que aumenta la necesidad de reciclarlo o reutilizarlo, y así disminuir su desperdicio. La utilización de estos desechos plásticos para un propósito positivo también ayuda a reducir su efecto sobre el medio ambiente.

Esta investigación busca desarrollar un nuevo método que ayude a la estabilización de la subrasante. Y mirar con gran expectativa el uso de materiales reciclables como es la botella plástica, actuando como aditivo principal en la estabilización y aportando significativamente al desarrollo del diseño de pavimentos.

Los datos obtenidos de esta investigación serán de gran ayuda a profesionales inmersos en la construcción de carreteras, especialistas, profesores y estudiantes. Los resultados permitirán conocer cuál es el comportamiento del suelo en combinación con los finos obtenidos de las botellas plásticas y la relación técnica – económica entre una subrasante estabilizada y una no estabilizada.

1.1.3. Fundamentación Teórica

1.1.3.1. Planeta Tierra

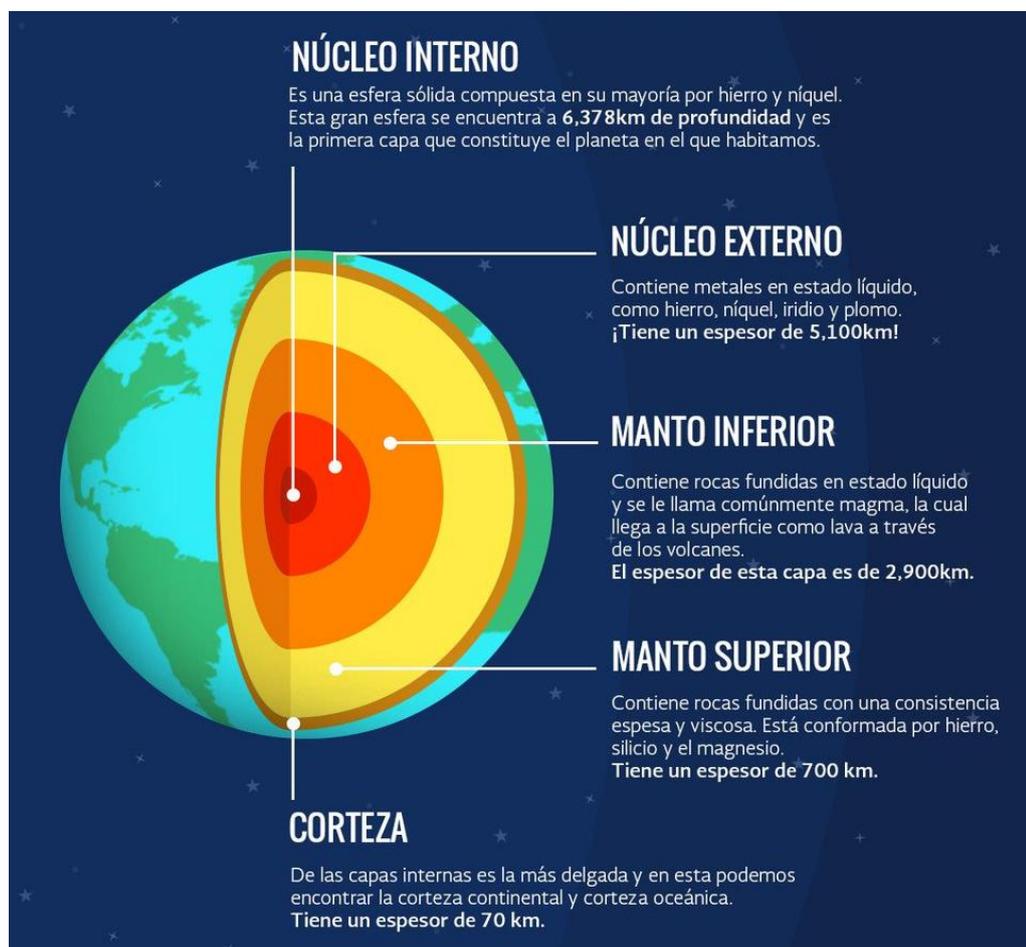
El Planeta Tierra, está primordialmente constituido por un núcleo, formado por compuestos químicos, el hierro (Fe) y el níquel (Ni). Se considera que la densidad media del núcleo es superior al de las capas más superficiales. Estudios realizados por investigadores haciendo uso de la transmisión de ondas sísmicas, deducen que el núcleo carece de rigidez, dando como parte que lo juzguen como un fluido. También existe la opción de muchos científicos que optan por la probabilidad de que el núcleo posee una alta rigidez, por lo que debería considerarse como sólido [10].

Un manto fluido (magma) rodea al núcleo, envolviendo al manto mencionado se encuentra la corteza terrestre, capa de densidad decreciente hacia la superficie, constituida por grandes masas heterogéneas con depresiones ocupadas por los mares y océanos. Toda esta corteza se encuentra aproximadamente en estado de balance isostático, flotando sobre el magma terrestre, más denso. La separación entre la parte

fluida y la corteza que la envuelve suele considerarse abrupta, antes que gradual (discontinuidad de Mohorovicic) [10].

Suprayaciendo a la corteza terrestre propiamente dicha, existe una pequeña capa, formada por la disgregación y descomposición de sus últimos niveles; esta pequeña pátina del planeta, es el suelo [10].

Figura 1: Capas de la Tierra



Fuente: Atlas de geografía del Mundo, SEP México

1.1.3.2. El Suelo

a) Epidermis de la tierra

El planeta Tierra tiene una piel que la recubre, llamada suelo. Esta fina capa de materia viva, en ocupaciones solo logra alcanzar unos pocos centímetros de espesor y casi nunca supera los dos o tres metros. Esta capa es de vital importancia, debido a que en ella es donde se desarrolla la vida terrestre. En esta capa el agua es retenida durante el tiempo suficiente para que las plantas puedan hincar sus raíces y absorber todos los nutrientes, también es el hogar de animales como: lombrices de tierra, hormigas, termitas, etc. [11].

b) Los suelos en la construcción

El uso del suelo desde tiempos ancestrales ha sido de gran impacto para el desarrollo de las poblaciones. El suelo ha sido utilizado para la construcción de cuevas, casas, túneles, canales de riego y sobre todo para el trazo de caminos.

Existe la tendencia histórica que marca hasta las primeras décadas del siglo XX, el aprovechamiento del suelo, siempre para la realización de carreteras en donde se utilizaban los materiales existentes del lugar. Después de la Segunda Guerra Mundial y con la evolución paulatina de la circulación por carretera, se adoptó una nueva ideología, aprovechar únicamente los mejores materiales para su construcción y así conseguir una mayor estabilidad del suelo y calidad [12].

c) Diversidad de los suelos

Los suelos están influenciados por factores como: clima, relieve, organismos, tiempo y el hombre. El clima forma parte importante en la formación del suelo. Las características y propiedades de los suelos difieren ampliamente de una zona climática a otra.

Los climas tropicales, con sus altas temperaturas y precipitaciones, producen suelos profundos, fuertemente degradados y con bajos contenidos de nutrientes. Los climas áridos con baja precipitación y alta evaporación dan lugar a suelos que contienen cantidades variables de componentes fácilmente solubles, como carbonato de calcio o yeso, que quedan después de la evaporación del agua del suelo [13].

En climas templados, la formación del suelo está más o menos restringida a la parte más cálida del año, lo que resulta en suelos menos erosionados y profundos en comparación con las regiones tropicales. En climas árticos, la formación del suelo está aún más restringida [13].

Los climas extremadamente fríos, especialmente en las regiones subárticas. Aquí, los grandes glaciares durante la edad de hielo han eliminado todo el material del suelo y se formaron nuevos suelos después de la retirada del hielo. En consecuencia, los suelos de estas regiones son relativamente jóvenes e inmaduros [13].

La importancia del clima para la formación del suelo fue reconocida por los primeros científicos del suelo, especialmente en Rusia, donde se desarrolló el concepto de zonalidad [13].

Suelos zonales corresponden a los principales cinturones climáticos de la Tierra, desarrollados bajo la acción de los factores activos de la formación del suelo, donde el clima actuó el tiempo suficiente para su formación, permitiendo la clasificación de estos suelos [13], [14].

Los suelos azonales corresponden a suelos inmaduros (suelos que aún no están en equilibrio con las condiciones climáticas actuales), que se encuentran en las primeras etapas de su desarrollo, por ejemplo, alóctonos (sedimentos recientes), desiertos y suelos helados [13], [14].

Los suelos intrazonales son suelos que están fuertemente sujetos a condiciones locales distintas al clima. Son suelos aclimáticos, debido a que el factor del clima no es determinante en su formación [13], [14].

1.1.3.3. Clasificación de Suelos

Un medio sencillo y evidente para clasificar a los suelos es la granulometría. Para ello el suelo es dividido en fracciones granulométricas y agrupadas en una gama de tamaños, destinándoles una denominación a cada una de éstas, es a lo que llamamos clasificación [15]. Los suelos son clasificados de acuerdo con sus propiedades mecánicas básicas, entre las más populares se encuentran: cohesivos y no cohesivos.

Suelos Cohesivos: Estos suelos son conocidos también con el nombre de suelos finos. Las partículas de estos suelos son muy pequeñas, debido a esto las partículas sufren atracción molecular (interacción agua – partícula), a su vez poseen capacidad cementante provocando plasticidad, estos suelos son: Arcillas y Limos [16], [17].

Suelos No Cohesivos: También llamados granulares o friccionantes. Las partículas de estos suelos tienden a un tamaño relativamente grande, procedentes de rocas sin material de cementación como lo son: Gravas y Arenas [16], [17].

Sin embargo, la clasificación netamente por granulometría resulta hoy muy poco apropiadas, debido a la correlación de la distribución granulométrica con las propiedades fundamentales (resistencia, comprensibilidad, relación esfuerzo – deformación, permeabilidad, etc.), resultando ser demasiado inseguras, claro con ciertas excepciones y algunos casos especiales [15].

El suelo se clasifica principalmente en dos grandes grupos:

- Suelos de partículas finas.
- Suelos de partículas gruesas.

a) Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), ASTM

Este sistema de clasificación está basado en la de aeropuertos, que incluso se puede decir que es la misma clasificación con ligeras modificaciones [10].

Este sistema abarca los suelos gruesos y los finos, clasificándolos a ambos mediante el método de cribado, tomado como línea de separación entre estos dos tipos de suelos al tamiz #200. Los finos son aquellos, cuyas partículas pasan el tamiz #200 y los gruesos son los que se quedan retenidos y no logran pasar por el tamiz [10], [15]. Se considera como suelo grueso, si más del 50% de sus partículas quedan retenidas en dicho tamiz, y se considera como suelo fino si más del 50% de sus partículas en peso pasan [10].

Los suelos son clasificados con la ayuda de dos letras, la primera letra viene hacer la inicial de la palabra inglesa que designa el tipo de suelo, mientras que la segunda letra es un adjetivo calificativo, que en algunos casos pertenece a características de la curva granulométrica, en otros casos a la cantidad de finos y en otros a la plasticidad de estos [12]. En la [Tabla 1](#) se muestra las letras utilizadas con su significado. En la [Tabla 2](#) y [Tabla 3](#) se encuentra la clasificación completa de los suelos.

Tabla 1: Letras utilizadas en la clasificación ASTM

Primera Letra	Palabra	Segunda Letra	Palabras
G	Grava (<i>Gravel</i>)	W	Bien graduado (<i>Well graded</i>)
S	Arena (<i>Sand</i>)	P	Mal graduado (<i>Poorly graded</i>)
M	Limo (<i>Mo, en sueco</i>)	M	Limoso (<i>Mo, en sueco</i>)
C	Arcilla (<i>Clay</i>)	C	Arcilloso (<i>Clay</i>)
O	Orgánicos (<i>Orgánico</i>)	L	Baja plasticidad (<i>Low Plasticity</i>)
PT	Turba (<i>Peat</i>)	H	Alta plasticidad (<i>High Plasticity</i>)

Fuente: (ASTM) American Society of Testing Materials

Para los finos la clasificación se realiza mediante el gráfico de Casagrande, en la que el LL (Límite Líquido) está representado en el eje de las abscisas y el IP (Índice Plástico) en el de las ordenadas, interponiéndose la denominada línea A. Los limos y las arcillas no se diferencian por su tamaño de partículas, sino por su plasticidad, siendo la línea A la frontera entre ambas [12].

Tabla 2: Clasificación Unificada de Suelos

IDENTIFICACION EN EL CAMPO				SIMBOLO DEL GRUPO	% PASA 0.008MM	NOMBRES TIPICOS
SUELO DE GRANO GRUESO < 50% PASA 0.08MM (TAMIZ # 200)	GRAVAS < 50% PASA 0.05MM (TAMIZ # 4)	GRAVAS LIMPIAS (CON POCOS FINOS O SIN ELLOS)	AMPLIA GAMA DE TAMAÑOS Y CANTIDADES APRECIABLES DE TODOS LOS TAMAÑOS INTERMEDIOS	GW	< 5	GRAVA BIEN GRADUADA, MEZCLA DE GRAVA Y AREAN CON POCOS FINOS O SIN ELLOS
			PREDOMINIO DE UN TAMAÑO O UN TIPO DE TAMAÑO, CON AUSENCIA DE ALGUNOS TAMAÑOS INTERMEDIOS	GP		GRAVA MAL GRADUADA, MEZCLA DE ARENA Y GRAVA CON POCOS FINOS O SIN ELLOS
		GRAVAS CON FINOS (CANTIDAD APRECIABLE DE FINOS)	FRACCION FINA NO PLASTICA (PARA LA IDENTIFICACION VER EL GRUPO ML, MAS ABAJO)	GM	> 12	GRAVAS LIMOSAS, MEZCLA MAL GRADUADAS DE GRAVA ARENA Y LIMO
			FINOS PLASTICOS (PARA IDENTIFICARLOS VER EL GRUPO CL MAS ABAJO)	GC		GRAVAS ARCILLOSAS, MEZCLA MAL GRADUADAS DE GRAVA, ARENA Y ARCILLA
	ARENAS > 50% PASA 0.05MM (TAMIZ # 4)	ARENAS LIMPIAS (CON POCOS FINOS O SIN ELLOS)	AMPLIA GAMA DE TAMAÑOS Y CANTIDADES APRECIABLES DE TODOS LOS TAMAÑOS INTERMEDIOS	SW	< 5	ARENAS BIEN GRADUADA, ARENA CON GRAVA, CON POCOS FINOS O SIN ELLOS
			PREDOMINIO DE UN TAMAÑO O UN TIPO DE TAMAÑO, CON AUSENCIA DE ALGUNOS TAMAÑOS INTERMEDIOS	SP		ARENA MAL GRADUADAS, ARENA CON GRAVA, CON POCOS FINOS O SIN ELLOS
		ARENAS CON FINO (CANTIDAD APRECIABLE DE FINOS)	FINOS NO PLASTICOS (PARA IDENTIFICARLOS VER EL GRUPO ML MAS ABAJO)	SM	> 12	ARENAS LIMOSAS, MEZCLAS DE ARENA Y LIMO MAS GRADUADA
			FINOS PLASTICOS (PARA IDENTIFICARLOS VER EL GRUPO CL MAS ABAJO)	SC		ARENAS ARCILLOSAS, MESZLAS MAL GRADUADAS DE ARENAS O ARCILLAS
METODOS DE IDENTIFICACION PARA LA FRACCION QUE PASA POR EL TAMIZ # 40						
SUELO DE GRANO FINO > 50% PASA 0.08MM (TAMIZ #200)	LIMOS Y ARCILLAS CON LIMITE LIQUIDO MENOR DE 50	RESISTENCIA EN ESTADO SECO (A LA DISGREGACION)	DILATACION (REACCION A LA AGITACION)	TENACIDAD (CONSISTENCIA CERCA DEL LIMITE PLASTICO)		
		NULA A LIGERA	RAPIDA A LENTA	NULA	ML	LIMOS INORGANICOS Y ARENAS MUY FINAS, PLOVO DE ROCA, ARENAS FINAS LIMOSAS O ARCILLAS CON LIGERA PLASTICIDAD
		MEDIA A ALTA	NULA A MUY LENTA	MEDIA	CL	ARCILLAS INORGANICAS DE PLASTICIDAD BAJA A MEDIA, ARCILLAS CON GRAVA, ARCILLAS ARENOSA, ARCILLAS LIMOSAS, ARCILLAS MAGRAS
		LIGERA A MEDIA	LENTA	LIGERA	OL	LIMOS ORGANICOS Y ARCILLAS LIMOSAS ORGANICAS DE BAJA PLASTICIDAD
	LIMOS Y ARCILLAS CON LIMITE LIQUIDO MAYOR DE 50	LIGERA A MEDIA	LENTA A NULA	LIGERA A MEDIA	MH	LIMOS INORGANICAS, SUELOS LIMOSOS O ARENOSOS FINOS MICACEOS O CON DIATOMEAS, LIMOS ELASTICOS
		ALTA A MUY ALTA	NULA	ALTA	CH	ARCILLAS ORGANICAS DE PLASTICIDAD MEDIA A ALTA
		MEDIA A ALTA	NULA A MUY LENTA	LIGERA A MEDIA	OH	ARCILLAS ORGANICAS DE PLASTICIDAD MEDIA A ALTA
SUELOS ALTAMENTE ORGANICAS	FACILMENTE IDENTIFICABLES POR SU COLOR, OLOR, SENSACION ESPONJOSA Y FRECUENTEMENTE POR SU TEXTURA FIBROSA			Pt	TURBA Y OTROS SUELOS ALTAMENTE ORGANICOS	

Fuente: SUCS (United Soil Classification System)

Tabla 3: Clasificación Unificada de Suelos

CRITERIOS DE CLASIFICACION EN EL LABORATORIO		
UTILICESE LA CURVA GRANULOMETRICA PARA IDENTIFICAR LAS FRACCIONES DE SUELO INDICADAS EN LA COLUMNA DE IDENTIFICACION EN EL CAMPO DETERMINESE LOS PORCENTAJES DE GRAVA Y ARENA A PARTIR DE LA CURVA GRANULOMETRICA SEGUN EL PORCENTAJE DE FINOS (FRACCION QUE PASA POR EL TAMIZ # 200) LOS SUELOS GRUESOS SE CLASIFICAN COMO SIGUE: MENOS DEL 5% MAS DEL 12% 5% AL 12%	GW, GP, SW, SP GM, GS, SM, SC CASOS LIMITES QUE REQUIERE EN EL EMPLEO DE SIMBOLOS DOBLES (GW-GC, GP-GM, SW-SW, SP-SC) = TAMIZ #200	
	$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ MAYOR QUE 4	$Cc = \frac{D_{30}^2}{D_{60} \cdot D_{10}}$ ENTRE 1 Y 3
	NO SATISFACEN TODOS LOS REQUISITOS GRANULOMETRICOS DE LAS GW (GP = $Cu \leq 6$ y $Cc < 1$ o $Cc > 3$) - (GW = $Cu > 4$ y $Cc = 1$ a 3)	
	LIMITES DE ATTERBERG POR DEBAJO DE LA LINEA A O I_p MENOR QUE 4 ($I_p = 0.73(WL - 20) < 4$)	POR ENCIMA DE LA LINEA A CON I_p ENTRE 4 Y 7; CASOS LIMITES QUE REQUIEREN EL USO DE SIMBOLOS DOBLES
	LIMITES DE ATTERBERG POR DEBAJO DE LA LINEA A O I_p MAYOR QUE 7 ($I_p = 0.73(WL - 20) > 7$)	
	$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ MAYOR QUE 6	$Cc = \frac{D_{30}^2}{D_{60} \cdot D_{10}}$ ENTRE 1 Y 3
NO SATISFACEN TODOS LOS REQUISITOS GRANULOMETRICOS DE LAS SW (SW = $Cu > 6$ y $Cc = 1$ a 3) - (SP = $Cu \leq 6$ y $Cc < 1$ o $Cc > 3$)		
LIMITES DE ATTERBERG POR DEBAJO DE LA LINEA A O I_p MENOR QUE 4	POR ENCIMA DE LA LINEA A CON I_p ENTRE 4 Y 7; CASOS LIMITES QUE REQUIEREN EL USO DE SIMBOLOS DOBLES	
LIMITES DE ATTERBERG POR DEBAJO DE LA LINEA A O I_p MAYOR QUE 7		

LINEA A : $I_p = 0,73 (WL - 20)$

INDICE DE PLASTICIDAD

LIMITE LIQUIDO

COMPARANDO CON SUELOS CON EL MISMO LIMITE LIQUIDO

CL - ML, OL o ML, CL, OH o MH, CH, LINEA A

GRAFICO DE PLASTICIDAD PARA LA CLASIFICACION EN LABORATORIO DE SUELOS DE GRANO FINO

Fuente: USCS (United Soil Classification System)

b) Clasificación AASHTO

La clasificación AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) no identifica al suelo según su naturaleza (grava, arena, arcilla, limo), sino clasifica qué tipos de suelos son más útiles para la construcción de infraestructuras, clasificándolos en siete grupos de suelos, denominados A-1 a A-7, más uno adicional que agrupa a los suelos orgánicos como se muestra en la [Tabla 4](#) y [Tabla 5](#) [12].

Tabla 4: Clasificación AASHTO A-1 a A-3

Clasificación general	Materiales Granulares (menos del 36 % pasa por el tamiz n°200)						
	A-1		A-3	A-2			
Grupo	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Subgrupo							
Análisis granulométrico. Porcentaje que pasa por el tamiz:							
N° 10 (2,0 mm)	50 máx.						
N° 40 (0,426 mm)	30 máx.	50 máx.	51 máx.				
N° 200 (0,075 mm)	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	36 máx.	36 mín.
Características de la fracción que pasa por el tamiz n° 40							
Límite líquido	6 máx.			40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de Plasticidad			N.P	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Tipos de los materiales preponderantes	Fragmentos de piedra, grava y arena		Arena fina	Grava y arena limosa o arcillosa			
Valor general como explicada	Excelente a bueno						

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

Tabla 5: Clasificación de AASHTO A-4 a A-7

Clasificación general	Material Limo - arcillosos (mas del 35% pasa por el tamiz n°200)			
	A-4	A-5	A-6	A-7
Grupo				A-7-5
Subgrupo				A-7-6
Análisis granulométrico. Porcentaje que pasa por el tamiz:				
N° 10 (2,0 mm)				
N° 40 (0,426 mm)				
N° 200 (0,075 mm)	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Características de la fracción que pasa por el tamiz n° 40				
Límite líquido	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de Plasticidad	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín. (1)
Tipos de los materiales preponderantes	Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Valor general como explicada	Regular a malo			
	(1) El índice de plasticidad del subgrupo A-7-5 es igual o menor que el Límite líquido menos 30. El índice de plasticidad del subgrupo A-7-6 es mayor que el índice líquido menos 30.			

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

Los suelos A-1 a A-3 son suelos granulares. Los suelos A-4 a A-7 son suelos finos, con más del 35% pasando el tamiz N°200, esta proporción es una frontera más acertada entre suelos granulares y cohesivos [12].

c) Clasificación de Suelos del Ecuador

La gran diversidad de suelos del Ecuador viene dada por su ubicación geográfica y la presencia de la cordillera de los Andes, debido a ésta Ecuador cuenta con 4 regiones (Costa, Sierra, Oriente e Insular). En la [Figura 2](#) se puede observar la diversidad de suelos en Ecuador.

Suelos en la región costa: El suelo costero abarca desde la línea costera hasta la pendiente occidental de la cordillera andina. Ocupa aproximadamente 46000 km² de la extensión del país [18]. En esta región el material predominante es: Rocas volcánicas antiguas, llanuras antiguas y llanuras aluviales reciente.

Suelos de la región sierra: El suelo de las tierras altas claramente se encuentran en las montañas en la región andina, con una extensión de alrededor de 47000 km². En esta región los suelos son ricos en andosoles, cenizas volcánicas, metamórfico sedimentario y componentes minerales [18].

Suelos de la región Amazónica: Los suelos de la Amazonía son suelos húmedos que cubren desde el pie de la vertiente oriental de los Andes hasta llegar los límites de frontera con Colombia y Perú, cabe recalcar que esta región no acaba ahí, sin embargo, para Ecuador la región Amazónica llega hasta ahí [18].

Suelos de la Región Insular: Los suelos de las islas Galápagos situadas en el Océano Pacífico a 1000 km de las costas ecuatorianas constan primordialmente de 5 islas principales, 14 islotes y 68 isletas o rocas antiguas, producto de las formaciones de erupciones de volcanes submarinos que las formaron [18].

d) Clasificación de Suelos en Ambato

Los suelos del cantón Ambato, están clasificados por una gran diversidad de materiales, estos suelos surgen debido a la posición geográfica del Ecuador, a sus condiciones climáticas y sus procesos de meteorización. Ambato es rico en suelos como: Arcillo Arenoso, Arena franco, Arena Gravoso, además de tener suelos francos como: Arcillo Arenoso, Arcillo limoso, Arcillosos, Arenoso y Limos [19]. Para una detallada observación del mapa de tipos de suelos de Ambato, ver [Anexo 1](#).

1.1.3.4. Pavimento

El pavimento es una estructura formada por un conjunto de capas superpuestas (una encima de otra) paralelas al suelo, se diseñan y construyen técnicamente con materiales apropiados y adecuadamente compactados. Esta estructura es apoyada sobre la subrasante, que deberá resistir los esfuerzos de las cargas vehiculares durante su periodo de diseño [20].

1.1.3.5. Clasificación de los Pavimentos

a) Pavimentos Flexibles

Son aquellos pavimentos que se adaptan a las deformaciones del suelo, sin que se presenten tensiones adicionales [21]. Están conformadas por una carpeta bituminosa que descansa sobre tres capas no rígidas, la base, la subbase y la subrasante [20].

Figura 3: Pavimento Flexible



Fuente: Tipos de Pavimentos, Luis Guillermo Loria.

b) Pavimentos Semi Rígidos

Estos pavimentos guardan una gran similitud con los pavimentos flexibles, con la diferencia de que una de sus capas es alterada artificialmente con la adición de un aditivo, que puede ser asfalto, emulsión asfáltica, cemento, cal y químicos, con el propósito de rigidizarla [20], [21].

c) Pavimentos Rígidos

Son aquellos pavimentos que tiene por capa de rodadura una losa de hormigón de cemento Portland, apoyada sobre la subrasante y/o sobre una capa de material granular llamada subbase. Además, este pavimento al contar con una losa de hormigón tiene la capacidad de resistir a cierto grado los esfuerzos a tensión, dándole un comportamiento satisfactorio [20].

Figura 4: Pavimento Rígido

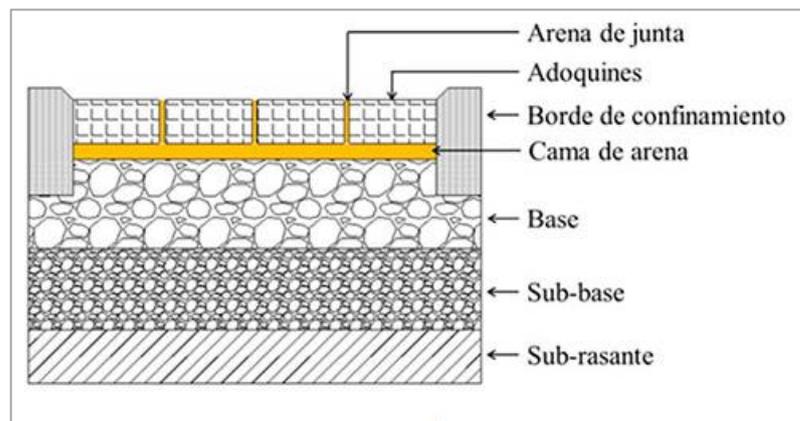


Fuente: Tipos de Pavimentos, Luis Guillermo Loria.

d) Pavimentos Articulado

Están compuestos por una capa de rodadura constituida antiguamente de material pétreo (piedras), en la actualidad esta capa está elaborada con bloques de concreto prefabricado, llamado adoquines, de espesor uniforme e iguales entre sí. Estos pueden ir sobre una capa delgada de arena o también ir apoyada directamente sobre la subrasante [20].

Figura 5: Pavimento Articulado



Fuente: Análisis de métodos de diseño de pavimentos de adoquines de hormigón, Rodrigo Bahamondes.

1.1.3.6. Estructura del Pavimento

a) La Rasante

“Es la que corresponde a la superficie de rodadura e indica la línea de gradiente a nivel de la superficie de rodadura del camino” [21].

b) Capa de Rodadura

La capa de rodadura o carpeta, tiene como función proporcionar una superficie uniforme, estable, rígida e impermeabilizante para evitar filtraciones de agua lluvia y resistente a efectos abrasivos del tránsito [20]. Las capas de rodadura más comunes son de asfalto y hormigón.

c) Base

La función fundamental de la base es la de absorber los esfuerzos generados por las cargas vehiculares y transmitírsela a la capa de la subbase de forma uniforme y también a la subrasante. Las bases pueden ser de material granular o estar conformadas por mezclas bituminosas, cementicias u otro material ligante. La base también ayuda a reducir el espesor de la capa de rodadura [21].

d) Subbase

“Capas, de espesor definido, de materiales que cumplen determinadas especificaciones, las cuales se colocan sobre una subrasante aprobada, para soportar la Capa de Base” [22].

La subbase se encarga de soportar los esfuerzos de las cargas vehiculares provenientes de la base y transmitírselas a la subrasante. En muchos casos la subbase también se encarga de drenar el agua que llega a introducirse en el pavimento y controla la capilaridad [20].

e) Subrasante

Según la MTOP-2002 [22], define a la subrasante como “Superficie superior de la obra básica, preparada como fundación de la estructura de pavimento y de los espaldones”.

El terreno de fundación (subrasante) es la capa de terreno de una carretera que soporta la estructura de pavimento y que se extiende hasta una profundidad que no afecte la carga de diseño correspondiente al tránsito de diseño previsto [20].

La principal función de la subrasante es la de soportar las cargas que transmite el pavimento y darle sustentación, llega a tener su nombre una vez terminado el movimiento de tierras y la posterior compactación del terreno. La subrasante es considerada como cimentación del pavimento, la calidad que tenga esta capa es de gran importancia, ya que tendrá influencia directa en el espesor de las demás capas del pavimento y los costos de construcción [21].

Para la evaluación de esta capa se realiza la capacidad de soporte o resistencia a la deformación (CBR), de esta depende en gran parte el espesor que debe tener el pavimento. Si el terreno de fundación es pésimo se debe desechar ese material y sustituirlo por otro de mejor calidad. Si en el terreno de fundación a más de ser un suelo malo se encuentran suelos finos, limosos o arcillosos, se tendrá que realizar la estabilización de la subrasante mediante procesos de mezclas con otros materiales (cemento, asfalto, cal, químicos, polímeros, etc.) [21].

Los primeros diseños de pavimentos comenzaron con el concepto basado en las propiedades de la subrasante tales como granulometría, plasticidad, clasificación de suelos, resistencia al corte, variaciones de temperatura y drenajes. Posteriormente se realizaron otro tipo de ensayos utilizando cargas estáticas tales como la Relación de Soporte California (CBR), ensayos de compresión simple y ensayos dinámicos como el módulo de resiliencia (M_r). Este último demuestra en mejor forma el comportamiento de lo que sucede debajo de los pavimentos, con respecto a tensiones y deformación [21].

Los ensayos mínimos para la subrasante son: clasificación, humedad natural, límites de consistencia, granulometría, compactación, densidad máxima, humedad óptima, CBR y módulo de resiliencia [21].

1.1.3.7. Clasificación de la Subrasante

Para Montejo [20], se requiere que la subrasante sea clasificada en alguna categoría bajo el método de CBR, que refleje la gran sensibilidad del diseño a la resistencia del suelo. Dichas categorías se definen en la Tabla 6, en donde S1 es muy pobre y requiere un tratamiento de mejoramiento y S5 es una subrasante muy buena.

Tabla 6: Clasificación de 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 Fonseca

1.1.3.8. Especificación de la subrasante según MTOP

a) Relleno y Terraplenes

En rellenos o terraplenes la consolidación del terreno deberá tener un CBR no menor a 5% ($CBR \geq 5\%$) y una densidad seca máxima de al menos 1.400 kg/m^3 . En la corona del terraplén la profundidad mínima deberá ser como mínimo 50cm con un $CBR \geq 5\%$, el núcleo entre la corona y la cimentación contará con un $CBR \geq 3\%$ y para la cimentación su profundidad deberá ser de por lo menos 1m y tener un $CBR \geq 3\%$. Para estabilizar con cal, cemento o material aprobado, éste se colocará a una profundidad mínima de 15cm de la corona [22].

b) Corte y Explanada

Para explanada o corte la norma indica que la conformación del terreno deberá tener como mínimo un CBR de 3% ($CBR \geq 3\%$). En corte cuando la subrasante se procede a sustituir o estabilizar el terreno natural, se deberá hacer a una profundidad de 50cm. Para estabilizar con cal o cemento se debe realizar a una profundidad mínima de 25cm y máxima de 30cm [23].

c) Mejoramiento con Material seleccionado

En Ecuador el mejoramiento de la subrasante se lo hace bajo la aplicación de una norma NEVI-12-MTOP (Especificaciones Generales para la construcción de caminos y puentes). Esta dice que si al momento de la construcción de caminos, se encuentra una subrasante con suelo de baja calidad, ésta deberá ser mejorado mediante la estabilización con cal, cemento, material pétreo, membranas sintéticas, etc. [22].

Al realizarse el mejoramiento con suelo natural seleccionado de la propia excavación para la plataforma, excavación de préstamo u otra excavación éste deberá ser suelo granular, libre de materia orgánica y escombros, las partículas deberán pasar por el tamiz de 4in (100mm) y no deberán pasar más del 20% por el tamiz N°200. El material que pase por el tamiz N°40 (0,425) debe tener un índice de plasticidad no mayor a 9 y un límite líquido hasta 35%, pero siempre y cuando el valor de CBR sea mayor al 10%, de la misma manera la densidad compactada deberá ser del 95% [22].

1.1.3.9. Ensayos de suelos

a) Densidad de Campo

Este ensayo está basado en el método de cono y arena que permite obtener la densidad del terreno y su grado de compactación in situ. La densidad seca es utilizada para medir el grado de compactación de un suelo o un relleno. La densidad que se obtiene mediante un proceso de compactación, dependerá de la energía que se utilizó, a esta

se la denomina energía de compactación, pero no depende únicamente de este factor, también el contenido de humedad se hace presente en este proceso [24].

Figura 6: Cono y Arena

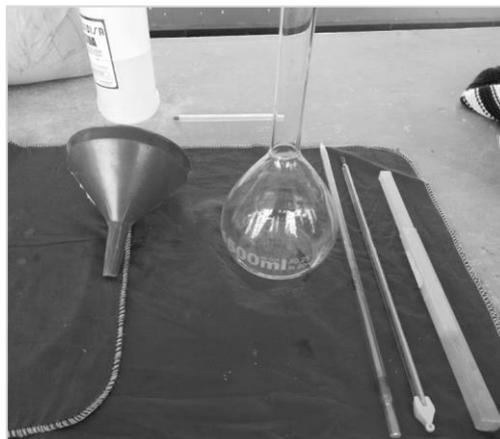


Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

b) Gravedad Específica

El objetivo principal de este ensayo es determinar la gravedad específica de los sólidos del suelo que pasan por el tamiz n°4. Este ensayo consta del uso de un picnómetro de vidrio que tiene una forma cilíndrica o cónica. La gravedad específica se utiliza para calcular las relaciones de vacíos y el grado de saturación [25].

Figura 7: Picnómetro y materiales



Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

c) **Humedad Natural**

El suelo es como una esponja que tiene la capacidad de absorber agua y retenerla dentro de ella, la cantidad de agua que se puede retener dependerá de las características propias del suelo [5]. El objetivo principal de este ensayo es determinar la cantidad de agua que contiene el suelo respecto a su masa seca [26].

El contenido de humedad del suelo, es la relación existente entre la masa propia de las partículas del suelo y la cantidad de agua que logra alojarse dentro de la estructura del suelo [5].

Figura 8: Recipiente contenedor y balanza



Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

d) **Límite Líquido**

El límite líquido se describe como el porcentaje de humedad del suelo, por debajo del cual se presenta un comportamiento plástico, cuando el porcentaje de humedad del suelo sobre pasa el límite líquido, éste se comporta como un fluido viscoso. Este ensayo se utiliza predominantemente para la clasificación de suelos, estimación de asentamientos y densidades [5].

Figura 9: Copa Casagrande y materiales



Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

e) Límite Plástico

El límite plástico es la frontera existente entre estado plástico y el estado semisólido del suelo. Ya en laboratorio el límite plástico se lo realiza en rollitos de aproximadamente 3mm de diámetro, hasta presenciar desmoronamiento y agrietamiento [5].

El índice de plasticidad marca la diferencia entre valores del límite líquido y límite plástico, si el índice plástico es bajo, quiere decir que es un suelo muy sensible a los cambios de humedad [5].

Figura 10: Diámetro aproximado del rollo de suelo.



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

f) Granulometría

El análisis granulométrico reside en la separación de partículas de los suelos, mediante el uso de tamices o mallas de determinados tamaños en la apertura de la rejilla. Las partículas quedan retenidas en dichos tamices el cual se procede a pesar por separado y la sumatoria de estos pesos debe ser igual al peso antes de tamizar; los pesos de cada uno de los tamices, servirá para determinar el: coeficiente de uniformidad, coeficiente de curvatura, porcentaje de gravas, porcentaje de arenas, porcentaje de finos, clasificación de suelos y curva granulométrica [5].

Tabla 7: Serie de tamices para análisis granulométrico

TAMIZ	Abertura (mm)	TAMIZ	Abertura (mm)
# 4	4.75	# 40	0.425
# 8	2.36	# 50	0.30
# 10	2.00	# 60	0.250
# 16	1.18	# 100	0.150
# 30	0.60	# 200	0.075

Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

g) Compactación – Proctor modificado

Este ensayo se caracteriza por la realización de un proceso artificial, que consta en agrupar las partículas y disminuir la relación de vacíos del suelo, este proceso se lo conoce como compactación. La compactación del suelo provoca un mejoramiento de las propiedades como, el incremento de su capacidad de resistencia al corte, disminución en su deformabilidad y mejoramiento en su permeabilidad [5].

Figura 11: Compactación de la muestra



Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

h) Relación de Soporte California (CBR)

Este método tiene como finalidad darle una clasificación a la capacidad del suelo para ser utilizado como material de base o subbase, como se observa en la [Tabla 8](#). El método de CBR es utilizado para analizar materiales cuyo diámetro máximo de partículas es de $\frac{3}{4}$. En el diseño de pavimentos y las diferentes obras de infraestructura vial, el método de CBR es fundamental para la evaluación de la resistencia potencial de los materiales utilizados en la base y subbase de las estructuras viales; además que aporta con información sobre la expansión de suelos bajo la estructura del pavimento [5].

Tabla 8: Clasificación de suelos según CBR

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

Fuente: Manual de laboratorio de suelos, Joseph Bowles

1.1.3.10. Estabilización de Suelos

La MTOP-2002 [22], define la estabilización como: “Tratamiento que se aplica a los suelos o a las capas del firme mediante la adición de un ligante (cal, cemento, asfalto, productos químicos, etc.), para mejorar sus características mecánicas y conseguir un suelo o capa de firme capaz de soportar los esfuerzos impuestos por las cargas del tránsito y resistir la acción de los agentes atmosféricos, conservando uniformemente su volumen. Este procedimiento se usa frecuentemente para mejorar la subrasante y con ello disminuir el espesor de las capas de Subbase y/o Base, o para construir una capa de base capaz de soportar una capa de rodadura asfáltica.”

En el campo de la Ingeniería Civil, la construcción de infraestructuras es muy común, en donde el suelo es uno de los principales protagonistas, el cual también requiere su debida atención. El ingeniero en las obras puede encontrarse con suelos de variadas características, cuyas características le obligan a tomar ciertas decisiones:

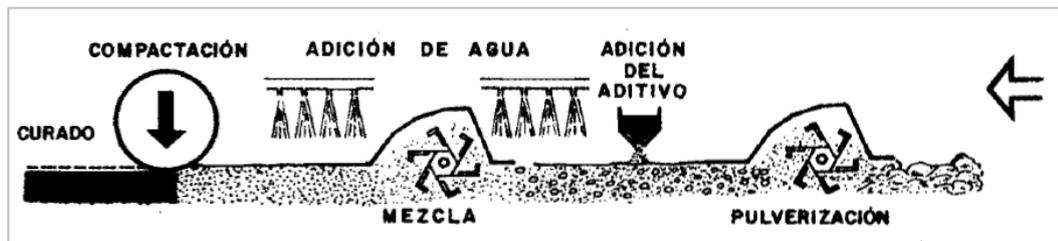
- Utilizar el material del sitio por su buena calidad y reconocer al suelo apto para la implantación de la obra.
- Sustituir el material existente por otro de mejores características al encontrarse con suelo de baja calidad.
- Alterar las propiedades del suelo mediante la estabilización, para que tenga la capacidad de cumplir las características deseadas y los requisitos de la obra [20].

El objetivo principal de la estabilización de suelos es aumentar la resistencia a la deformación, mermar la sensibilidad del agua, controlar cambios de volumen y la erosión, mediante procesos mecánicos, eléctricos, químicos, etc. [12].

- Estabilización por procesos mecánicos; uno de los más comunes es la compactación.
- Estabilización por medios eléctricos; hace uso de la electroósmosis.
- Estabilización por procesos químicos; trata de la adición de estabilizantes específicos como el cemento, la cal, el asfalto, polímeros, entre otros [20].

Las propiedades del suelo que se deben tomar como prioritarios por el ingeniero son los siguientes: Estabilización volumétrica, Resistencia, Permeabilidad, Durabilidad, Comprensibilidad [20].

Figura 12: Fases de la ejecución de una estabilización in situ.



Fuente: Ingeniería de carreteras, Carlos Kraemer

a) Estabilización Volumétrica

El suelo es propenso a sufrir cambios en su masa tanto a expansión como a contracción, debido a un factor ambiental; la humedad. El aumento o disminución de ingreso de agua a la masa del terreno genera estos cambios; si estos cambios de volumen no se controlan, pueden ocasionar grandes deformaciones al pavimento como rupturas y no solo al pavimento sino también a otras obras. Para solucionar estos cambios volumétricos, se hace uso de membranas impermeabilizantes, rigidizando la masa por medios químicos y mecánicos [20].

b) Resistencia

Los suelos por lo general reducen su resistencia a mayor cantidad de humedad; sin embargo, la humedad controlada puede traer muchos beneficios a la resistencia del suelo, dependiendo de la humedad y la energía de compactación, se puede lograr diferentes características de resistencia. Algunos de los principales procedimientos para incrementar el peso volumétrico de los suelos son [20]:

- Compactación mediante amasado, vibración o impactos
- Vibro flotación

- Precarga
- Drenaje
- Adición de agente que reduzcan la fricción y cohesión entre partículas

c) Permeabilidad

La FAO [27], define a la permeabilidad como, la propiedad que tiene el suelo de transmitir el agua y el aire a través de ella; mientras más permeable sea el suelo, mayor será la filtración.

Se puede modificar la permeabilidad del suelo por métodos tales como la compactación, la inyección, etc. [20].

Por ejemplo, sí un suelo arcilloso con humedad baja o propiamente seco se compacta, el resultado será un suelo altamente permeable, debido a que sus partículas no se disgregaron (disminución de tamaño por fraccionamiento), permitiendo que se forme una gran cantidad de vacíos; en cambio sí se compacta con una alta humedad, el suelo resulta menos permeable, ya que las partículas se disgregan y éstas van rellenoando los espacios vacíos, eliminando así los espacios por donde el agua y el aire puedan pasar [20].

d) Comprensibilidad

Se define como el cambio de volumen del suelo, influenciando de manera directa sus propiedades, modificando su permeabilidad y alterando las fuerzas entre las partículas, tanto en magnitud como en sentido, generando también una modificación en la resistencia del suelo al esfuerzo cortante [20].

e) Durabilidad

La durabilidad se define como, la capacidad de conservar durante su vida útil inalteradas sus propiedades físicas, mecánicas y químicas [28].

Este concepto se refiere a la resistencia al intemperismo, a la abrasión del tráfico y a la erosión. Los problemas de durabilidad pueden verse afectados tanto en suelos naturales como en estabilizados; sin embargo, la durabilidad de un suelo estabilizado debería ser más eficiente que el del natural, de no ser así, daría denotar que el suelo no fue estabilizado correctamente [20].

f) Estabilización de Suelos con Cemento

Los suelos estabilizados con cemento deben seguir siendo clasificados como suelos, ya que la proporción de cemento, en general no supera el 3% de la masa seca del suelo, aumentando moderadamente la resistencia y el módulo de elasticidad. Esta estabilización es utilizada habitualmente en suelos algo plásticos. Por ejemplo, la normativa española considera dos tipos de suelos mejorados con cemento [12]. Ver tabla 9.

Tabla 9: Estabilización con Cemento

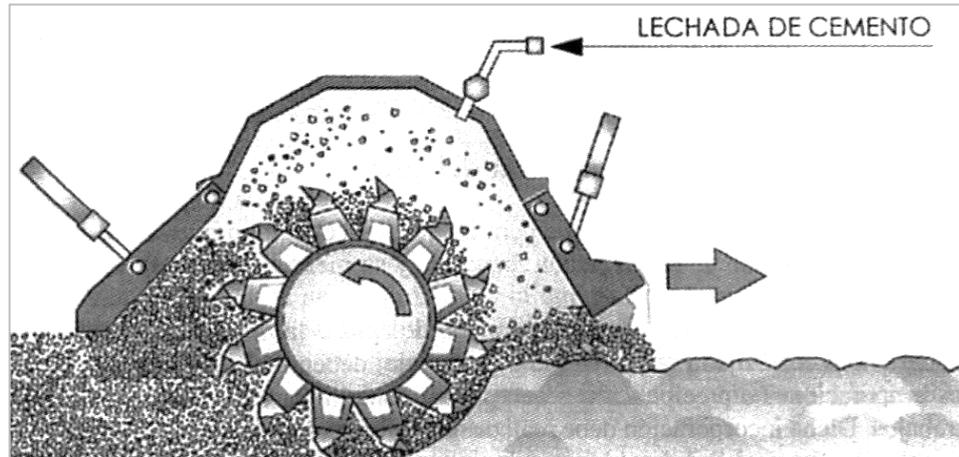
DENOMINACIÓN	CBR a 7 días	Cemento (%)
S-EST 1	≥ 6	≥ 2
S-EST 2	≥ 12	≥ 3

Fuente: Ingeniería en Carreteras, Carlos Kraemer

Se considera suelo estabilizado con cemento a la mezcla de suelo granular debidamente disgregados, cemento y agua; aplicando compactación y un adecuado curado [12]. Las propiedades finales dependerán de:

- El tipo de suelo y la relación agua – cemento.
- Proceso de ejecución.
- Edad de la mezcla compactada.
- El curado.

Figura 13: Detalle del rotor – fresador de una máquina para la estabilización in situ.



Fuente: Ingeniería de carreteras, Carlos Kraemer

g) Estabilización de Suelos con Cal

La estabilización de suelos con Cal (Óxido de Calcio), surge de la mezcla de suelo con Cal aérea (viva o apagada) y agua. Se recomienda que los suelos más adecuados para esta estabilización son los suelos finos con plasticidad moderada y alta humedad. La relación que se emplea en la masa seca del suelo es la de 2% al 7% de Cal, normalmente ésta no suele sobrepasar el 5%. Con la adición de la Cal, el suelo se vuelve más granular, el límite plástico y la humedad óptima de compactación aumenta [12].

Figura 14: Estabilización de suelos con Cal.



Fuente: Estabilización de suelos, CALASA

h) Estabilización de Suelos con Asfaltos

La estabilización con asfalto se refiere a la utilización de productos bituminosos como son: asfaltos líquidos, emulsiones y alquitrán. Esta estabilización lo que busca es que se ejerza una acción ligante en los suelos no plásticos o arenosos, evitando deformaciones de la capa por acciones del tránsito; también en los suelos cohesivos se busca, que el aglomerante tape los vacíos, impermeabilizando el suelo. Actualmente se sabe que los mejores resultados se obtienen con las arenas y gravas arenosas [20].

Figura 15: Estabilización de suelos con asfalto líquido.



Fuente: Aplicación de asfaltos modificados y emulsiones para pavimentos, Javier Silva Burga

i) Uso de Polímeros y Resinas

Las resinas sintéticas pueden usarse como impermeabilizante de suelos en pequeñas cantidades, valores que se encuentren entre el 1% al 2%, ya que a mayor cantidad de polímeros o resinas el agua queda retenida en la masa del suelo. Se conoce que las resinas en los suelos no producen aumento de la resistencia [20]. La mezcla de suelo – polímero, reduce la expansión del suelo alrededor del 40% respecto al suelo natural [29].

Figura 16: Estabilización de suelos con polímeros



Fuente: Pavimento de suelo natural tratado in situ con polímeros, gbsolutions

1.1.3.11. El Plástico

El plástico es nombrado de manera habitual en el día a día. El plástico cubre una amplia gama de materiales con infinidad de utilidades y aplicaciones, por ejemplo, se encuentra plástico en los envases, la ropa, los edificios, dispositivos médicos, automóviles, teléfonos, artículos de limpieza, etc. [30].

El plástico es un material con características de maleabilidad, plasticidad entre otras; se puede fundir fácilmente y ser moldeado de diferentes formas como: láminas, placas, tubos, botellas, etc. En la fabricación del plástico se utilizan materiales orgánicos, la materia prima que se utiliza en su elaboración, son productos naturales tales como la celulosa, el gas natural, el carbono y por supuesto el petróleo [30].

Dependiendo de sus ingredientes, el plástico adquiere diferentes características, propiedades y densidades. Existen diferentes tipos de plástico, y se los agrupa en dos familias principales de polímeros [30]. [Ver tabla 10.](#)

- Los que se ablandan con el calor y se endurecen cuando se enfrían, son denominados termoplásticos.
- Los que nunca se ablandan una vez moldeados, se los conoce como termoestables.

Tabla 10: Ejemplo de Plásticos

Ejemplo de termoplásticos	Ejemplo de termoestables
Acilonitrilo - butadieno - estireno (ABS)	Epóxido (EP)
Policarbonato (PC)	Fenol - formaldehido (PF)
Polietileno (PE)	Poliuretano (PUR)
Polietileno de tereftalato (PET)	Resinas de Poliéster insaturado (UP)
Policloruro de Vinilo (PVC)	
Polimetilmetacrilato (PMMA)	
Polipropileno (PP)	
Poliestireno (PS)	
Poliestireno expandido (EPS)	
Politetrafluoroetileno (PTFE)	

Fuente: “¿Qué es el plástico?”, PlasticsEurope

a) Efectos del Plástico en el Suelo

La presencia de plástico en el suelo provoca un impacto negativo, debido a que, al estar en contacto con factores ambientales como agua, sol, viento, entre otros, estimula la liberación de sustancias tóxicas del plástico al suelo, afectando al desarrollo de lombrices, micro artrópodos y sobre todo a la actividad bacteriana. La toxicidad producida por el plástico en el suelo puede verse afectada aún más si las sustancias químicas nocivas se filtran a las aguas subterráneas, provocando una contaminación del líquido vital [31], [32].

b) Degradación del Plástico

El plástico es un material derivado del petróleo, convirtiéndolo en materia de degradación extendida, el tiempo que le toma al plástico degradarse en la naturaleza depende de muchos factores, si se encuentra expuesto a la luz solar, si esa enterrado o si se encuentra en los mares. El factor principal que determina su degradación es el grosor del plástico. Una funda plástica tarda 150 años en degradarse, mientras que una botella PET puede tomarle de 450 a 1000 años [33], [34].

1.1.3.12. Propiedades Físicas y Mecánicas del Plástico

Las propiedades físicas se relacionan con los fenómenos físicos que intervienen en los plásticos, como la densidad, conectividad térmica y dilatación térmica [35].

a) Densidad

Es una propiedad intrínseca, dada que no corresponde a una cantidad de sustancia determinada, por lo general sus unidades se encuentran expresadas en kg/m^3 o en g/cm^3 . La densidad es la relación entre la masa y el volumen de un plástico [35], [36].

b) Conductividad térmica

Esta propiedad permite a ciertos materiales transmitir calor, lo que quiere decir, que permite el paso de energía cinética. Los plásticos o polímeros tienen una conductividad térmica muy baja, lo que significa que pueden atrapar el calor de forma eficiente, como por ejemplo una taza de café [36], [37].

c) Dilatación térmica

Es una propiedad de los plásticos que al aumentar su temperatura éstos se dilatan (extienden, estiran) al disminuirla estos se contraen (reducen, encogen), esto indica que los plásticos son de alta dilatación térmica [35].

Las propiedades mecánicas están relacionadas con los esfuerzos a los que son sometidos los plásticos, al ser sometidos a un esfuerzo, este material puede reaccionar de 3 maneras: deformación elástica, deformación plástica y rotura [35].

d) Deformación elástica

Es la propiedad que permite a algunos plásticos deformarse bajo la acción de fuerzas externas que actúan sobre él, permitiendo que recupere su forma inicial [36].

e) Deformación plástica

Esta propiedad es similar a la elástica y a su vez es su opuesto, ya que la deformación plástica permite al plástico deformarse bajo la acción de fuerzas externas, pero no le permite volver a recuperar su estado inicial, lo que quiere decir que se trata de una deformación permanente [36].

f) Rotura

La rotura de un material en este caso del plástico se da debido a la acción de una fuerza externa a tracción, esto provoca que el material sufra agotamiento debido a que sobre pasa su rango plástico y se produzca la rotura. Como adición también se puede decir que en otros materiales se produce la rotura por falta de plasticidad o por que el material es frágil.

1.1.3.13. Tipos de plástico que conforman una botella

La botella plástica está compuesta de tres elementos fundamentales, cada uno de éstos pertenece a un grupo de material diferente. Estos tres elementos conformados vienen hacer, el envase que está hecho de polipropileno de tereftalato (PET), la tapa proveniente de un material conocido como polipropileno (PP) y la etiqueta que muestra información del producto, está fabricada de polietileno (PE).

a) Polipropileno de Tereftalato (PET)

El PET es uno de los materiales más demandados del planeta, dentro de la industria alimenticia, provocando que muchas empresas perfeccionen máquinas para su producción en masa [38].

El PET es un plástico liviano semirrígido, resistente a los impactos, ayudando a proteger los alimentos o líquidos contenidos en él. Es usado comúnmente en la

fabricación de botellas translúcidas para el envasado de productos como bebidas deportivas, refrescos, agua, aderezos, salsas, vitaminas, aceites, etc. [39].

Por otra parte, la cantidad de PET que se logra reciclar es muy baja a comparación de las botellas desechadas por día; esto se debe a que las botellas recicladas aún en su totalidad, no pueden ser utilizadas en la fabricación de botellas nuevas para envasar productos alimenticios, debido a que en su proceso de reciclaje este material no alcanza la temperatura necesaria para poder esterilizar el material [38].

La densidad y el punto de fusión de le PET es de [40]:

- Densidad: $1.38 \pm 2 \text{ g/cm}^3$.
- Punto de fusión: 250 – 260 °C.

Figura 17: Botella PET



Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

b) Polipropileno (PP)

Es un plástico algo rígido, con una fragilidad menor a la de otros plásticos. Estos suelen ser translúcidos, opacos o de color. Habitualmente el PP es utilizado en la creación de

contenedores para envasar alimentos como el yogurt, jarabes, quesos, etc. El PP también se usa como recipientes de productos llevados al horno de microondas; ya que este material tiene un alto punto de fusión [39].

La densidad y el punto de fusión de le PP es de [40]:

- Densidad: $0.905 \pm 2 \text{ g/cm}^3$.
- Punto de fusión: $160 - 170 \text{ }^\circ\text{C}$.

Figura 18: Tapas de Polipropileno



Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

c) Polietileno (PE)

Este polímero es uno de los materiales más simples, es de baja densidad, tenaz y flexible. Siendo también uno de los materiales plásticos de fabricación más económicos. Es utilizado en la fabricación de bolsas plásticas; láminas (etiquetas) para envases de todo tipo de alimentos, frascos de medicinas y productos agrícolas [36].

La densidad y el punto de fusión de le PE es de [40]:

- Densidad: $0.92 \pm 2 \text{ g/cm}^3$.
- Punto de fusión: $105 - 115 \text{ }^\circ\text{C}$.

Figura 19: Etiquetas de Polietileno



Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

1.1.3.14. Procesos del reciclaje PET

Existen dos formas de reciclar el PET: el reciclaje químico y el reciclaje mecánico.

- El reciclaje Químico: consiste en la utilización de agentes químicos para la despolimerización (separación de partículas) del PET [41].
- El reciclaje mecánico: se caracteriza por la obtención de escamas y finos a través de un proceso físico sencillo llamado molienda, que son utilizadas posteriormente de forma directa o en mezclas con polímeros vírgenes, para la obtención de distintos productos [41].

El reciclaje mecánico de las botellas PET, sigue un minucioso proceso desde el momento que las botellas son desechadas, este proceso inicia de la siguiente manera.

1. Las botellas son recolectadas con ayuda de personas dedicadas al reciclaje, estas personas recogen las botellas y las venden a empresas que se dedican al proceso industrial del reciclaje.
2. Las botellas son lavadas, secadas y agrupadas para su posterior prensado y formación de grandes bloques.
3. Una vez en la planta procesadora, se retira las tapas y etiquetas.
4. Se trituran las botellas en trozos pequeños (finos y escamas) y se vuelve a lavar y secar.
5. El material triturado se transforma en pequeñas cápsulas de plástico tipo pastillas, denominadas pellets.
6. Estos pellets con ayuda de aire caliente y moldes, se consigue la formación de una nueva botella plástica PET.

Figura 20: Finos PET/PP/PE



Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

1.1.4. Hipótesis

- 1.1.4.1.** La adición de finos de Tereftalato de Polietileno (PET), Polipropileno (PP) y Polietileno (PE) al suelo ayudará a estabilizar la subrasante, incrementando su valor de resistencia al esfuerzo cortante (CBR).

- 1.1.4.2.** En el diseño de la estructura de pavimento flexible utilizando para su diseño un suelo de subrasante estabilizada con finos de Tereftalato de Polietileno (PET), Polipropileno (PP) y Polietileno (PE), éste permitirá una reducción de espesores en las capas base, subbase y carpeta asfáltica, en comparación a utilizar suelo de subrasante sin material estabilizador para su diseño.

- 1.1.4.3.** La disminución de espesores en las capas de la estructura del pavimento generará un ahorro económico en la construcción de carreteras.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Analizar la capacidad de soporte (CBR) de suelos de subrasante mediante la adición de finos de tereftalato de polietileno (PET), polipropileno (PP) y polietileno (PE) para conseguir una mayor estabilidad.

1.2.2. Objetivos Específicos

- 1.2.2.1.** Realizar la extracción de muestras representativas de 3 parroquias rurales (Izamba, Montalvo, Juan Benigno Vela) dentro del cantón Ambato.
- 1.2.2.2.** 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.
- 1.2.2.3.** Analizar los valores de la capacidad de soporte (CBR) de laboratorio mediante la adición de diferentes porcentajes (0%, 3%, 6%, 9%, 12% y 15%) de aditivo a las muestras representativas.
- 1.2.2.4.** Realizar un análisis técnico – económico de la estructura de un pavimento flexible con suelo de subrasante estabilizada y uno con suelo de subrasante sin estabilizar.

CAPÍTULO II

2. METODOLOGÍA

2.1. Materiales y Equipos

Tabla 11: Materiales y Equipos

ENSAYO	NORMA	EQUIPO	MATERIALES
Pozo a Cielo Abierto	AASHTO T87-04	Pala Barra Flexómetro Protección personal	Muestra in-situ
Densidad de campo (Método del cono y Arena de Ottawa)	AASHTO T191-14 ASTM D1556-07	Aparato de Cono y Arena Placa metálica Cinzel Cuchara Balanza Martillo Fundas plásticas Brocha	Muestra in-situ
Contenido de Humedad	AASHTO T265-15 ASTM D2216-10	Recipientes para humedad (aluminio o latón) Horno con control de temperatura	Muestra de suelo aproximadamente 200 g.
Gravedad específica de los sólidos de un suelo	AASHTO T100-15 ASTM D854-14	Tamiz #40 Picnómetro de 250 o 500 ml. Termómetro graduado de 0 a 100 °C Embudo Recipientes metálicos Pipeta Máquina de baño María Franela Balanza Horno con control de temperatura Espátula	Muestra de suelo aproximadamente 50 g. que pase el tamiz #40 Agua destilada

Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

Tabla 12: Materiales y Equipos

ENSAYO	NORMA	EQUIPO	MATERIALES
Granulometría	AASHTO T88-20 ASTM D422-07	Tamizadora Tamiz #4, #8, #10, #16, #30, #40, #50, #60, #100, #200 y fuente Espátula Brocha Recipientes metálicos Horno con control de temperatura Balanza	Muestra cuarteada entre 200 a 1000 g.
Límite Líquido (Copa Casagrande)	AASHTO T89-13 ASTM D4318-17	Aparato Copa Casagrande Acanalador o ranurador Espátula Brocha Mortero de porcelana Pistillo con recubrimiento de caucho Tamiz #40 Recipientes para humedad (aluminio o latón) Balanza Horno con control de temperatura	Muestra de suelo aproximadamente 150 g. que pase el tamiz #40 Agua
Límite Plástico	AASHTO T90-20 ASTM D4318-17	Placa de Vidrio templado Espátula Brocha Mortero de porcelana Pistillo con recubrimiento de caucho Tamiz #40 Recipientes para humedad (aluminio o latón) Balanza Horno con control de temperatura	Muestra de suelo aproximadamente 150 g. que pase el tamiz #40 Agua

Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

Tabla 13: Materiales y Equipos

<p>Proctor Modificado</p>	<p>AASHTO T180-20 ASTM D1557-12</p>	<p>Molde ϕ 6", base y collarín Martillo de Compactación de 4.5 kg. Probeta graduada de 1000 ml. Palustre Regleta metálica Bandeja metálica Balanza Calibrador Pie de Rey Brocha Recipientes para humedad (aluminio o latón) Horno con control de temperatura</p>	<p>Muestra de suelo aproximadamente 24 kg. que pase el tamiz #4</p> <p>Agua</p> <p>Finos de PET/PP/PE</p>
<p>Relación de Soporte California (CBR)</p>	<p>AASHTO T193-13 ASTM D1883-16</p>	<p>Maquina de Compresión Molde ϕ 6", base y collarín Martillo de Compactación de 4.5 kg. Probeta graduada de 1000 ml. Palustre Regleta metálica Bandeja metálica Balanza Calibrador Pie de Rey Brocha Recipientes para humedad (aluminio o latón) Horno con control de temperatura</p>	<p>Muestra de suelo aproximadamente 18 kg. que pase el tamiz #4</p> <p>Agua</p> <p>Finos de PET/PP/PE</p>

Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

Figura 21: Pozo a Cielo Abierto



Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

Figura 22: Densidad de Campo (Cono y Arena de Ottawa)



Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

Figura 23: Contenido de Humedad



Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

Figura 24: Gravedad Específica de Sólidos



Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

Figura 25: Calibración del Picnómetro



Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

Figura 26: Granulometría



Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

Figura 27: Límite Líquido (Copa Casagrande)



Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

Figura 28: Límite Plástico



Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

Figura 29: Proctor Modificado



Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

Figura 30: Relación de Soporte California (CBR)



Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

2.2. Métodos

La metodología establecida en este trabajo es la investigación experimental, constituida de varios niveles descritos a continuación:

2.2.1. Nivel Exploratorio

Los datos primarios requeridos para este proyecto surgen de la observación de un mapa interactivo de tipos de suelo del cantón Ambato, que permitió la selección de tres parroquias para la exploración, siendo éstas: Montalvo, Izamba y Juan Benigno Vela.

Una vez seleccionado los lugares, se realizó el reconocimiento de campo y se estableció los puntos de donde serían extraídas las muestras, para la realización de los ensayos de campo, después de haber constatado que se puede extraer toda la cantidad de muestras necesarias, para la posterior realización de ensayos de laboratorio.

Para la exploración y desarrollo de ensayos de campo y laboratorio, se debe obtener información de fuentes confiables y verificables como libros, revistas científicas, normas, artículos entre otros. Su finalidad es la de brindar a esta investigación parámetros de alta confiabilidad.

De la misma manera el campo del reciclaje de botellas PET, se exploró ampliamente, dentro de éste se encontró dos productos en su proceso de reciclaje, finos y escamas. El material escogido para la realización de esta investigación fueron los Finos de tereftalato de polietileno (PET), polipropileno (PP) y polietileno (PE).

2.2.2. Nivel Descriptivo

Los datos procedentes de los ensayos de campo y laboratorio, debidamente ejecutados, serán analizados, graficados e interpretados. Al tener datos de diferentes lugares obliga a realizar su debida clasificación y así saber con qué tipo de suelo se está trabajando.

Los finos de PET/PP/PE se incluirán en diferentes porcentajes con relación del peso seco del suelo, estos finos estarán presentes en el desarrollo de dos ensayos de laboratorio, Proctor Modificado y Relación de Soporte California (CBR).

2.2.3. Nivel Explicativo

Los resultados de todos los ensayos en esta investigación son primordiales, debido a que cada uno de éstos están ligado unos con otros. Comenzando con el CBR, este ensayo requiere datos procedentes del Proctor y a su vez requiere datos de la Densidad de campo y contenido de humedad. La clasificación de suelos es importante, para el cual se hace uso de los ensayos de Límite Líquido, Límite plástico, granulometría y gravedad específica.

Los datos obtenidos del ensayo de CBR, son usados para el diseño de dos estructuras de pavimento flexible, una con suelo de subrasante natural y otra con la adición de finos de PET/PP/PE al suelo de subrasante. Todos estos resultados analizados ayudarán a confirmar o a descartar la hipótesis planteada.

2.2.4. Población

Dentro de la diversidad de los suelos, se estableció como población a los suelos granulares de las parroquias rurales del cantón Ambato, provincia de Tungurahua.

2.2.5. Muestra

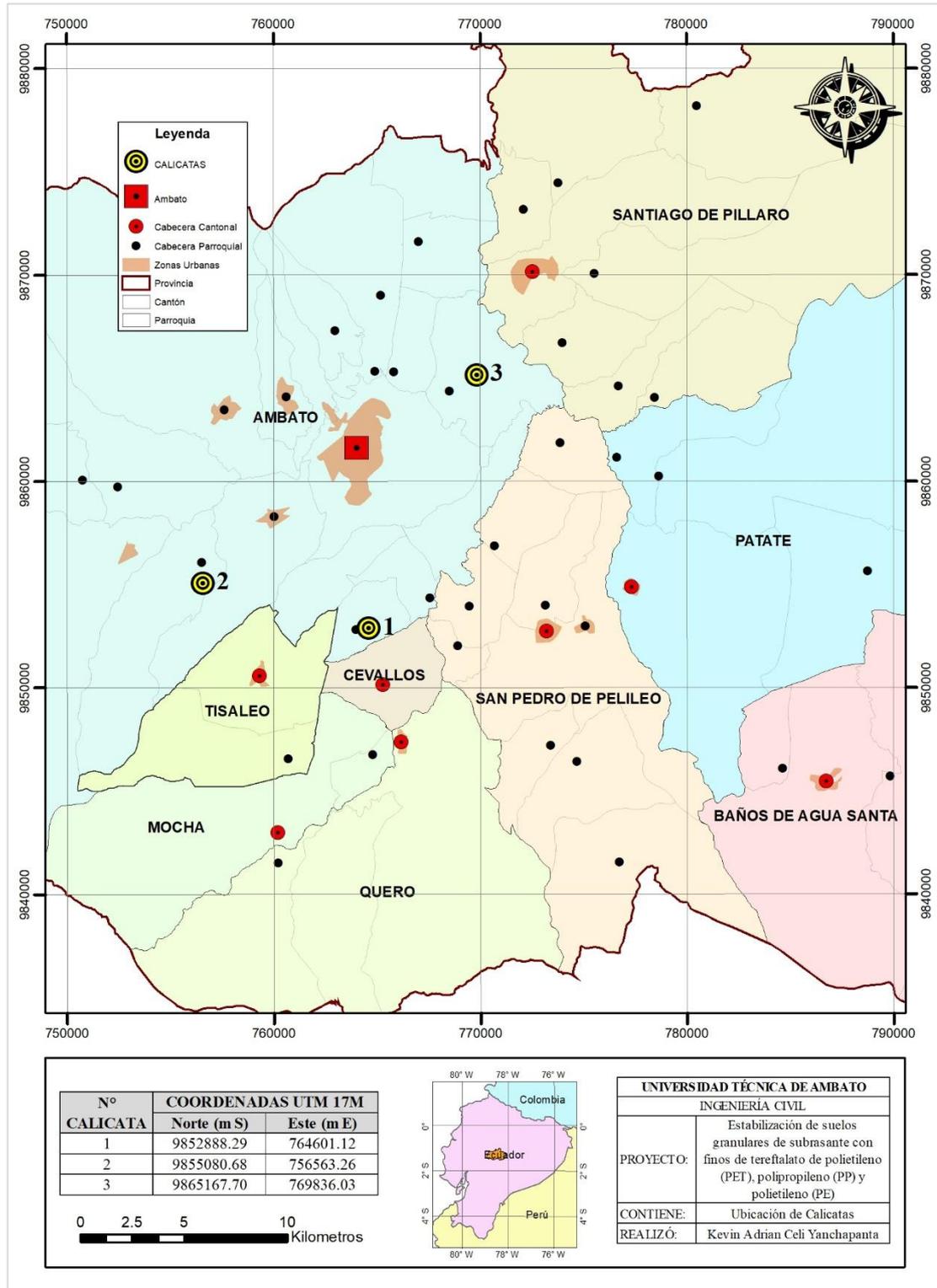
Las muestras corresponden a las cantidades de suelo extraído de cada calicata realizada, una por cada parroquia (Montalvo, Izamba y Juan Benigno Vela). De cada calicata se extrajo 6 muestras representativas de 25 kg, obteniéndose un total de 18 muestras que se utilizarán para el desarrollo de los respectivos ensayos previamente mencionados, con el fin de analizar sus propiedades físico – mecánicas.

Tabla 14: Ubicación de Calicatas

N° CALICATA	UBICACIÓN	N° MUESTRAS	COORDENADAS UTM 17M	
	PARROQUIA - CANTÓN		Norte (m S)	Este (m E)
1	Montalvo - Ambato	6	9852888.29	764601.12
2	Juan Benigno Vela - Ambato	6	9855080.68	756563.26
3	Izamba - Ambato	6	9865167.70	769836.03

Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

Figura 31: Mapa de Ubicación de Calicatas (Tungurahua)



Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

2.3. Plan de Recolección de Datos

El paso inicial para el desarrollo de esta investigación es la visita y la inspección de los lugares seleccionados. El recorrido por estas tres parroquias (Montalvo, Izamba y Juan Benigno Vela), permitió determinar cuáles serían los puntos para la realización de las calicatas y extracción de las muestras.

En cada parroquia se seleccionó un punto para realizar la calicata, en total se realizó 3 calicatas. Se comenzó retirando la capa vegetal y excavando un área de 1.20 m. x 1.00 m. hasta llegar a una profundidad de 60 cm. Concluida la excavación de la calicata, se procede a realizar el ensayo de Densidad de Campo por el método de cono y arena, siguiendo la norma AASHTO T 191-2014. Posteriormente finalizado este ensayo, se requiere conocer el contenido de humedad in-situ, para el cual se recogen muestras para ser llevadas a laboratorio.

Antes de cerrar las calicatas, por cada calicata se toman seis muestras representativas en sacos de lona, la cantidad a ser tomada es de aproximadamente 25 kg. Dando un total de 18 muestras representativas. Éstas se han transportadas y almacenadas a un espacio libre de intemperie.

Concluido y obtenido los datos necesarios de los ensayos de campo, se procede a realizar los ensayos de laboratorio. El primer ensayo por realizarse es el de contenido de humedad sujeto a la norma AASHTO T 265-2015. Continuando con el ensayo de gravedad específica bajo la norma AASHTO T 100-2015, para la realización de este ensayo cabe recalcar que se debió calibrar el picnómetro a diferentes temperaturas.

Los siguientes ensayos ayuda a la clasificación del tipo de suelo que se ha extraído. El ensayo de granulometría ejecutado con la norma AASHTO T 88-2013; para este trabajo de investigación se realizó con los tamices #4, #8, #10, #16, #30, #40, #50, #60, #100, #200. Así mismo el ensayo de Límite Líquido que se realiza con la Copa de Casagrande, siguiendo la norma AASHTO T 89-2013 y el ensayo de Límite Plástico basados en la norma AASHTO T 90-2013, requieren que las muestras sean tamizadas por el tamiz #40.

Para finalizar los ensayos de laboratorio, se requiere la modificación en las muestras de suelo, haciendo uso de los finos de tereftalato de polietileno (PET), polipropileno (PP) y polietileno (PE), que serán mezclados en porcentajes de 0%, 3%, 6%, 9%, 12% y 15%, con respecto al peso seco del suelo (muestra). Estos seis porcentajes serán aplicados para cada parroquia.

Una vez que se tengan las mezclas, se procede a la realización del Proctor Modificado siguiendo la norma AASHTO T 180-2018 y el ensayo de Relación de Soporte California (CBR) con su norma AASHTO T 195-2013. Esto quiere decir, que en total se realiza 18 ensayos de Proctor Modificado y 18 ensayos de Relación de Soporte California (CBR).

2.3.1. Obtención de los finos de tereftalato de polietileno (PET), polipropileno (PP) y polietileno (PE).

Los finos de PET/PP/PE, son resultado de un proceso de reciclado aplicado a las botellas plásticas. La obtención de este material se da gracias al apoyo y colaboración del personal técnico de la Empresa ENKADOR que, al enterarse del proyecto de investigación, otorgó la cantidad de 50 kg. de este material de forma gratuita, recalcando que la empresa está comprometida al apoyo de estudiantes investigadores.

El material obtenido tiene un tamaño comprendido entre 0.595mm. y 2.38mm. Estos tamaños surgen del proceso de tamizado que permitió establecer un límite inferior y uno superior del tamaño de las partículas. Dando una conclusión de que los finos de PET/PP/PE, pasan el tamiz #8 y son retenidos por el tamiz #30.

2.4. Plan de Procesamiento y Análisis de Información

2.4.1. Plan de procesamiento

- a) Análisis de las propiedades físico – mecánicas de las muestras de suelo provenientes de las parroquias de Montalvo, Izamba y Juan Benigno Vela de canto Ambato, Provincia de Tungurahua, por medio de la ejecución de ensayos de campo y laboratorio.
- b) Transferencia de datos obtenidos de los ensayos realizados, a programas computarizados como (Word, Excel, ArcGIS, AutoCAD Civil 3D).
- c) Creación de gráficas, mapas y tablas, que permitan comodidad en la descripción e interpretación de cada ensayo, facilitando un ordenamiento limpio y consecutivo de la información obtenida.

2.4.2. Plan de análisis de información

- a) Evaluación de la densidad seca máxima y el contenido de humedad, de las muestras alteradas con los respectivos porcentajes de finos de PET/PP/PE. Datos obtenidos del ensayo de Proctor Modificado.
- b) Análisis de valores de CBR con muestra natural y con muestra alterada, respetando los porcentajes de finos de PET/PP/PE, antes mencionados, de estos datos se seleccionará el valor de CBR más prometedor, para el diseño de un pavimento flexible.
- c) Clasificación de todos los valores de CBR, en base a la normativa de Ecuador, descrita por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTOPE).
- d) Diseño de dos estructuras de pavimento flexible, con valores de CBR obtenidos. El primer diseño se basa en suelo de subrasante sin el material de estabilización, eso quiere decir que se utiliza el valor de CBR de la muestra natural. El segundo diseño se basa en suelo de subrasante con el material de

estabilización (Finos PET/PP/PE), utilizando el valor de CBR más prometedor seleccionado entre las tres parroquias.

- e) Análisis técnico de las capas de las dos estructuras de pavimento diseñadas, orientadas específicamente a los espesores de éstas. De la misma manera un análisis económico comparativo entre las dos estructuras de pavimentos que se ha diseñado.
- f) Emisión de conclusiones de la parroquia seleccionada con el valor de CBR más prometedor, y detalles del comportamiento del material estabilizante, dando razón del cumplimiento o fallo de la hipótesis.

CAPÍTULO III

3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

3.1. Análisis y discusión de los resultados

Se presenta a continuación los resultados obtenidos de los diferentes ensayos realizados en campo y laboratorio, estos datos corresponden a propiedades índice, clasificación de suelos, propiedades mecánicas, valores de Proctor y CBR con los diferentes porcentajes de material estabilizante (PET/PP/PE). Los valores mostrados en este apartado corresponden a los valores finales de cada ensayo realizado y presentado en tablas de resumen, clasificado por lugares de ubicación y número de muestras.

Para un mayor detalle de cada uno de los ensayos realizados se puede dirigir al apartado de Anexos en donde se encuentran los informes de cada uno de ellos, clasificados por lugares de extracción (Montalvo, Juan Benigno Vela, Izamba).

Además, en base a los resultados obtenidos de los ensayos se adjunta, el diseño de dos estructuras de pavimento, el primero con datos de CBR sin porcentaje de material estabilizante (subrasante natural), y el segundo diseño con valor de CBR adicionado el porcentaje de material estabilizante con el mejor comportamiento (subrasante modificada).

Tabla 15: Nomenclatura de variables utilizadas en los Ensayos

SIGLAS	DESCRIPCIÓN	UNIDAD
<i>R</i>	Recipiente	N°
<i>Wh</i>	Rec + Suelo Húmedo	g
<i>Wrs</i>	Rec + Suelo Seco	g
<i>Wr</i>	Peso del recipiente	g
<i>Ww</i>	Peso de Agua	g
<i>Wp</i>	Peso del suelo seco	g
<i>W</i>	Humedad	%
<i>Vv</i>	Volúmen de Vacíos	cm ³
<i>Va</i>	Volúmen de Aire	cm ³
<i>Vw</i>	Volúmen de Agua	cm ³
<i>Vs</i>	Volúmen de Sólido	cm ³
<i>Vm</i>	Volúmen de la Masa	cm ³
<i>Wv</i>	Peso de Vacíos	g
<i>Wa</i>	Peso de Aire	g

Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

Tabla 16: Nomenclatura de Variables utilizadas en los Ensayos

SIGLAS	DESCRIPCIÓN	UNIDAD
<i>Ws</i>	Peso de Sólido	g
<i>Wm</i>	Peso de la Masa	g
<i>Mo</i>	Peso total Aparato + Arena	g
<i>Mf</i>	Peso Aparato + Arena restante	g
<i>Cc</i>	Constante del cono y arena	g
<i>Mol</i>	Peso inicial Frasco + Cono + Arena	g
<i>Mfl</i>	Peso final Frasco + Cono + Arena	g
<i>y</i>	Densidad de la Arena de Ottawa	g/cm ³
<i>Ve</i>	Volúmen de la excavación	cm ³
<i>Whúm</i>	Peso de la masa del suelo húmedo	g
<i>Wseco</i>	Peso de la masa del suelo seco	g
<i>ym</i>	Densidad humedad ($Whúm/Ve$)	g/cm ³
<i>yd</i>	Densidad seca ($Wseco/Ve$)	g/cm ³
<i>W_{retenido}</i>	Peso Retenido	g
<i>W_{ret.acum}</i>	Peso Retenido Acumulado	g
<i>%_{ret.acum.}</i>	Porcentaje de Peso Retenido Acumulado	%
<i>CBR 0.1"</i>	CBR para 0.1 pulg. de penetración	%
<i>CBR 0.2"</i>	CBR para 0.2 pulg. de penetración	%
<i>CBR MAYOR</i>	CBR mayor entre 0.1" y 0.2"	%

Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

3.1.1. Análisis de Propiedades Índice

Tabla 17: Propiedades Índice del Suelo

UBICACIÓN	Humedad Natural (%)	Gravedad Específica (Gs)	Relación de Vacíos e	Porosidad n (%)	Grado de saturación del agua G_w (%)	Grado de saturación del aire G_a (%)
Montalvo - Ambato	3.5	2.59	1.09	52.26	8.33	91.67
Juan Benigno Vela - Ambato	27.1	2.56	1.31	56.65	69.41	30.59
Izamba - Ambato	4.4	2.50	1.12	52.90	10.34	89.66

Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

En esta tabla se puede observar que la humedad natural de la parroquia Juan Benigno Vela (27.1%) es superior en comparación a las otras dos parroquias, presentando un mayor grado de saturación de agua en este suelo con un valor de (69.41%).

Al tener un mayor grado de saturación del agua, se tiene un menor grado de saturación del aire, afirmando de esta manera que entre estas dos variables los valores son inversamente proporcional, debido a que el agua al ocupar una mayor cantidad de espacios reduce la cantidad de aire dentro de esta masa es por esta razón que en la parroquia de Montalvo el grado de saturación del aire es mayor (91.67%) debido a que su grado de saturación del agua es de (8.33%).

La gravedad específica es una guía que ayuda a comprender el tipo de suelo con el que se está trabajando, los suelos de estas 3 parroquias se ubican entre valores de 2.50 a 2.59. Estos valores según Bowles [42], lo ubican dentro de la categoría de suelos granulares con material orgánico.

La gravedad específica obtenido de finos de Tereftalato de Polietileno (PET), Polipropileno (PP) y Polietileno (PE) corresponde al valor de 1.302, el ensayo se encuentra más detallado en el apartado de Anexos.

3.1.2. Análisis de Clasificación de Suelos

Tabla 18: Clasificación de Suelos

UBICACIÓN	Límite Líquido (%)	Límite Plástico (%)	Índice Plástico (%)	CLASIFICACIÓN		GRANULOMETRÍA		
						Grava %	Arena %	Limo/Arcilla %
Montalvo - Ambato	23.05	22.02	1.03	SUCS	SM	0.01	85.78	14.21
				AASHTO	A-2-4	0.43	85.36	14.21
Juan Benigno Vela - Ambato	22.62	20.65	1.97	SUCS	SM	0.06	79.59	20.36
				AASHTO	A-2-4	1.33	78.31	20.36
Izamba - Ambato	20.27	19.04	1.23	SUCS	SM	0.20	66.39	33.41
				AASHTO	A-2-4	1.96	64.62	33.41

Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

El índice de plasticidad para las parroquias de Montalvo, Juan Benigno Vela e Izamba se encuentra en un rango comprendido entre 1.03% a 1.97%, indicando que se trata de suelos no plásticos ya que según Sowers [43], la clasificación de suelos no plásticos es de 1% a 3%.

Por granulometría el suelo de Montalvo es clasificado por el método SUCS como un suelo de arenas limosas (SM) con un $C_u=2.31$ y $C_c=1.03$, y por el método AASHTO como un suelo de grava y arena limosa o arcillosa (A-2-4), demostrando que se trata de un suelo granular con la presencia de un 14.21% de limo.

La granulometría del suelo de Juan Benigno Vela, clasificado por el método SUCS pertenece a un suelo de arenas limosas (SM) con un $C_u=4.20$ y $C_c=0.95$, y por el método AASHTO como un suelo de grava y arena limosa o arcillosa (A-2-4), demostrando que se trata de un suelo granular con la presencia de un 20.36% de limo.

La clasificación por granulometría del suelo de Izamba realizada por el método SUCS apunta a un suelo de arenas limosas (SM) con un $C_u=4.75$ y $C_c=0.64$, y por el método AASHTO el suelo es una mezcla de grava y arena limosa o arcillosa (A-2-4), demostrando que se trata de un suelo granular con la presencia de un 33.41% de arcilla.

3.1.3. Análisis de Propiedades Mecánicas

Tabla 19: Propiedades Mecánicas del Suelo

UBICACIÓN	Densidad de Campo (yd)	N° Muestras	Porcentaje de PET/PP/PE	COMPACTACIÓN PROCTOR			RELACIÓN SOPORTE CALIFORNIA			
				Densidad máxima yd máx (g/m3)	Contenido de Humedad	Porcentaje de compactación	95%			
							Densidad seca	0.1"	0.2"	CBR DE
Montalvo - Ambato	1,265	1	0%	1,633	17,83	77,45	1,551	8,95	10,40	10,40
		2	3%	1,605	14,55	78,80	1,525	10,20	11,70	11,70
		3	6%	1,596	13,33	79,25	1,516	14,10	15,60	15,60
		4	9%	1,584	12,66	79,85	1,505	14,70	16,00	16,00
		5	12%	1,573	11,64	80,41	1,494	11,40	12,80	12,80
		6	15%	1,559	10,78	81,13	1,481	9,20	11,20	11,20
Juan Benigno Vela - Ambato	1,213	7	0%	1,677	13,21	72,32	1,593	13,70	15,40	15,40
		8	3%	1,642	12,35	73,86	1,560	14,90	17,00	17,00
		9	6%	1,617	11,85	75,00	1,536	15,10	17,00	17,00
		10	9%	1,599	11,66	75,84	1,519	14,60	16,40	16,40
		11	12%	1,578	10,66	76,85	1,499	12,90	14,80	14,80
		12	15%	1,557	10,49	77,89	1,479	10,70	12,40	12,40
Izamba - Ambato	1,248	13	0%	1,584	15,67	78,79	1,505	9,00	10,90	10,90
		14	3%	1,567	13,71	79,64	1,489	12,20	13,30	13,30
		15	6%	1,537	12,88	81,20	1,460	11,20	12,80	12,80
		16	9%	1,521	11,61	82,05	1,445	10,50	12,10	12,10
		17	12%	1,513	10,82	82,49	1,437	10,80	11,90	11,90
		18	15%	1,501	10,55	83,15	1,426	8,30	9,50	9,50

Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

La tabla de propiedades mecánicas muestra un resumen de los valores obtenidos de los ensayos realizados a la subrasante natural y modificada con la inclusión de los diferentes porcentajes de finos de (PET/PP/PE). La tabla está clasificada por ubicación y número de muestras, mostrando de manera prioritaria los valores de Proctor modificado y valores de CBR, para darle una mayor claridad y con predimiento a los valores se ha realizado gráficas que permiten una visualización ampliada del comportamiento del suelo ante los ensayos efectuados.

Las siguientes gráficas presentadas a continuación, muestran el resumen de valores del ensayo de compactación Proctor modificado y CBR de las parroquias de Montalvo, Juan Benigno Vela e Izamba. Cada una de estas parroquias incluyen 6 muestras, que a su vez contiene un porcentaje de finos de (PET/PP/PE), los porcentajes de cada muestra corresponden al 0%, 3%, 6%, 9%, 12% y 15%.

La primera gráfica combinada representa los valores de Proctor obtenidos en laboratorio, relacionando los porcentajes de finos con sus densidades máximas y sus contenidos de humedad óptima.

La segunda gráfica es una representación de los porcentajes de CBR alcanzados con los diferentes porcentajes de finos de (PET/PP/PE), mostrando también un valor óptimo de CBR y de finos.

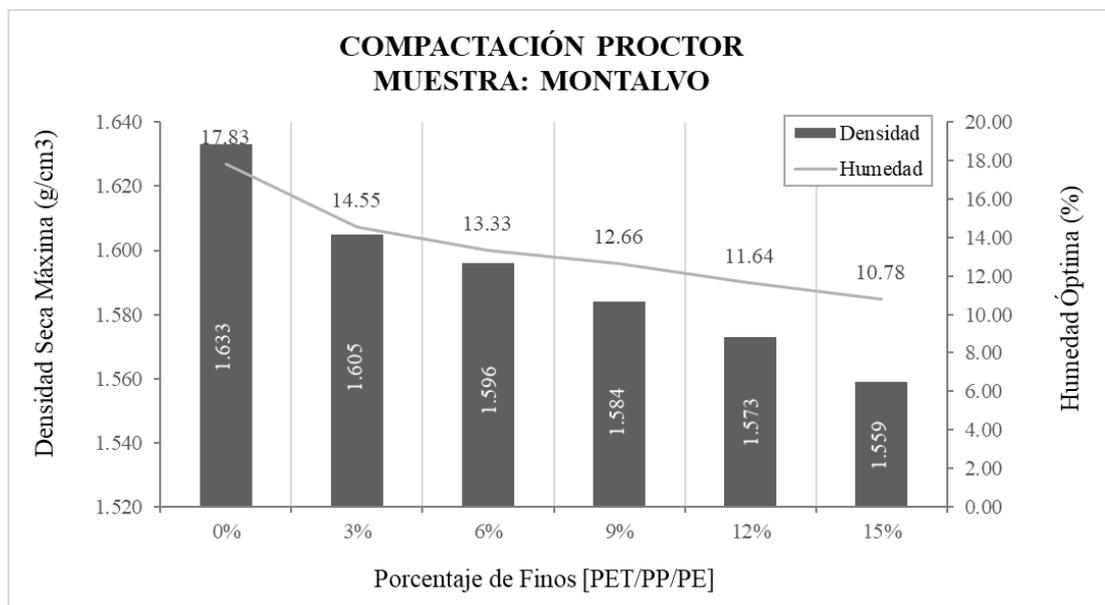
La tercera gráfica muestra una relación entre los valores de CBR al 95% con la densidad seca máxima al 100% y el contenido de humedad obtenidos en el ensayo de compactación. Esta gráfica no ha sido relacionada con la densidad seca máxima al 95%, debido a que toma el valor de CBR óptimo para encontrar la densidad seca máxima de Proctor y su contenido de humedad.

3.1.3.1. Análisis de CBR y Proctor de la Parroquia Montalvo

a) Análisis de Proctor Modificado

Gráfica y análisis de compactación Proctor modificado de la parroquia Montalvo, comprendida de tres variables: densidad seca máxima, porcentaje de finos (PET/PP/PE) y contenido de humedad óptima.

Figura 32: Compactación Proctor Montalvo



Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

En esta gráfica se puede apreciar que la densidad seca máxima comienza a decaer conforme aumenta el porcentaje de finos, reflejando que a mayor porcentaje de finos de (PET/PP/PE) la densidad seca máxima del suelo de Montalvo disminuye, con un porcentaje de finos del 0% se tiene una densidad seca máxima de 1.633g/cm³ y con un porcentaje del 15% de finos la densidad seca máxima alcanzada es de 1.559g/cm³. Definiendo de esta manera que al añadir un 15% de finos la densidad seca máxima disminuye en un 4.53% con respecto a la muestra natural.

La gráfica muestra un descenso brusco de densidad seca máxima al instante de la incorporación de los finos. Al ser el 3% el primer porcentaje de incorporación de finos el descenso está presente en la zona entre el 0% y 3% con valores de 1.633g/cm^3 y 1.605g/cm^3 respectivamente, provocando un descenso de 1.71%. A partir del 6% de incorporación de finos los demás porcentajes presentan un descenso más suave en su densidad seca máxima con respecto a su antecesor.

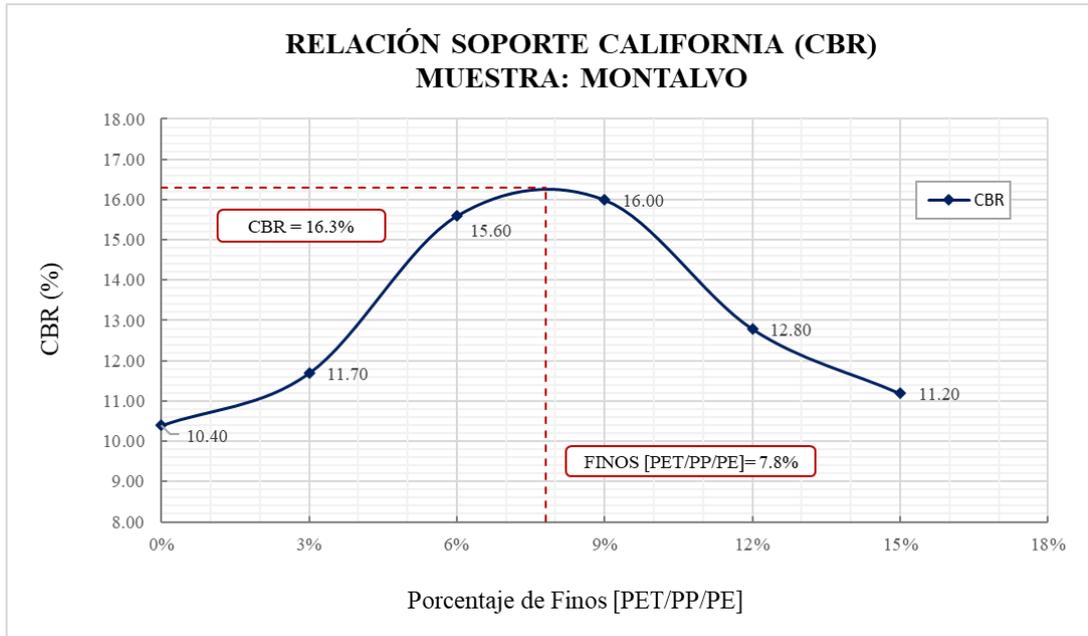
También se puede observar que el contenido de humedad natural disminuye conforme aumenta el porcentaje de finos, teniendo como referencia que a un porcentaje de finos del 0% (muestra natural) el contenido de humedad es de 17.83%, mientras que al tener un porcentaje de finos del 15% la humedad natural desciende a 10.78%, tratándose notablemente de una disminución del 7.05% en su contenido de humedad con respecto a la muestra natural.

Al igual que en la densidad seca máxima, lo mismo le sucede al contenido de humedad óptima, se produce un descenso brusco entre la muestra de suelo natural (0%) y la primera incorporación de porcentaje de fino (3%) teniendo como contenidos de humedad 17.83% y 14.55 respectivamente, presentando una disminución de agua del 3.28%. Después de producirse este descenso brusco los valores entre los diferentes porcentajes de finos disminuyen de manera menos acelerada.

b) Análisis de CBR

Gráfica y análisis de la Relación de Soporte California (CBR) de la parroquia Montalvo, comprendida de dos variables: porcentaje de CBR y porcentaje de finos de (PET/PP/PE).

Figura 33: CBR Montalvo



Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

En esta gráfica se puede apreciar que a medida que el porcentaje de finos aumenta el valor de CBR incrementa hasta un cierto porcentaje de finos para luego comenzar a decaer. Estos valores de CBR empiezan a aumentar a partir de la inclusión del 3% de finos hasta el 6% con valores de CBR de 11.70% y 15.60% respectivamente, y comienza a descender a partir de la inclusión del 9% hasta el 15% de finos con CBR de 16.00% y 11.20%.

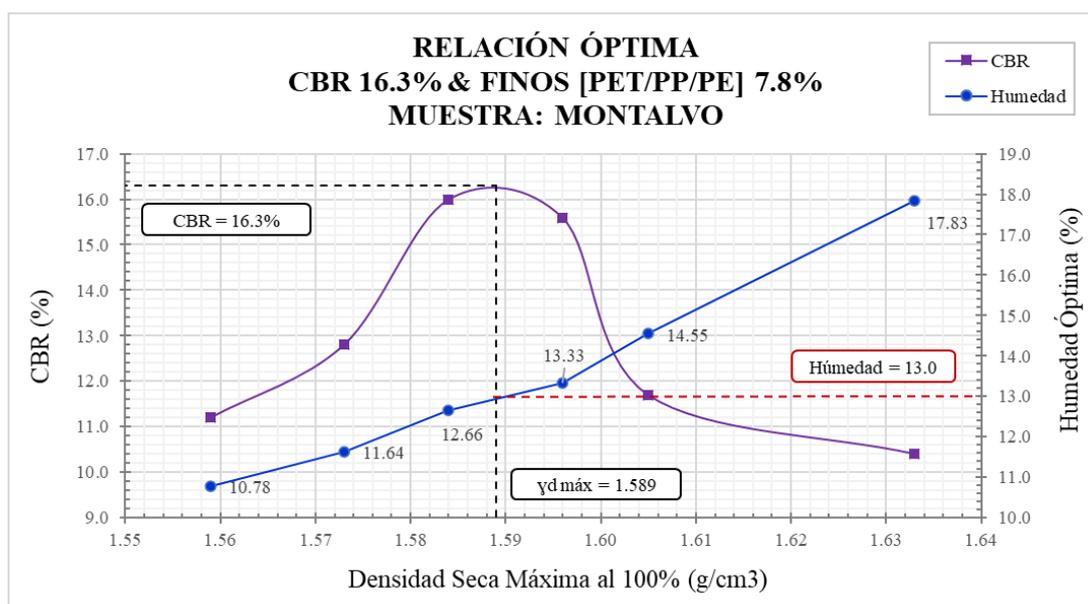
La zona o intervalo en la que se alcanza un máximo valor de CBR está comprendida entre los porcentajes de finos de 6% y 9%, dando como resultado un valor de CBR óptimo de 16.3% correspondiente a un porcentaje de finos del 7.8%.

En base a esta gráfica se puede presenciar que entre el CBR de la subrasante natural (10.40%) con respecto al CBR óptimo de subrasante modificada obtenido (16.3%), el incremento de CBR es de 5.9%. Este valor de CBR óptimo alcanzado según Bowles [42], es clasificado como suelo regular para uso de Subbase.

c) Análisis de CBR Óptimo

Gráfica y análisis de la relación óptima alcanzada para la parroquia de Montalvo para un valor de CBR de 16.3% correspondiente al 7.8% de inclusión de Finos de (PET/PP/PE).

Figura 34: Relación Óptima Montalvo



Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

Esta gráfica combinada al tener un valor fijo de CBR permite localizar la densidad seca máxima al 100%, que a su vez también localiza el contenido de humedad óptimo, esto debido a que ambas curvas se relacionan con la densidad seca máxima obtenida del Proctor, valor que es utilizado al 95% para la obtención del CBR.

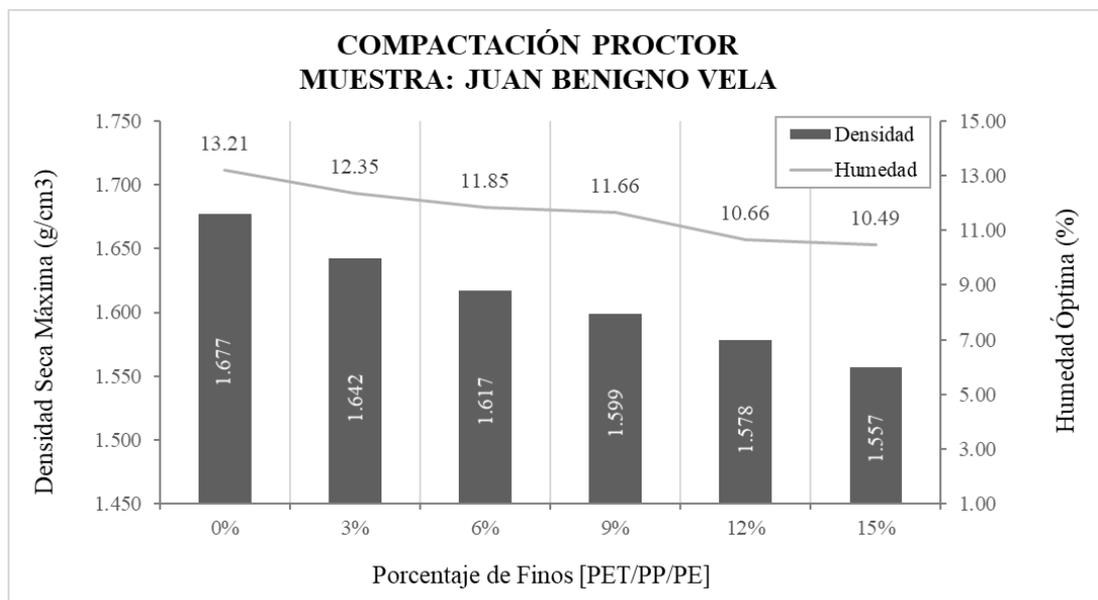
En base al análisis de la gráfica para lograr alcanzar un CBR de 16.3% con la inclusión del 7.8% de finos, en el ensayo de Proctor modificado para la parroquia de Montalvo se deberá añadir un 13% de agua a su muestra seca, permitiéndole alcanzar una densidad seca máxima de 1.589g/cm³, este valor será utilizado para el ensayo de CBR a una densidad seca máxima al 95% correspondiente a 1.509g/cm³ que permitirá llegar a la obtención de CBR fijado.

3.1.3.2. Análisis de CBR y Proctor de la Parroquia Juan Benigno Vela

a) Análisis de Proctor Modificado

Análisis de la gráfica de compactación Proctor modificado de la parroquia Juan Benigno Vela, comprendida de tres variables: densidad seca máxima, porcentaje de finos (PET/PP/PE) y contenido de humedad óptima.

Figura 35: Compactación Proctor Juan Benigno Vela



Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

La gráfica da a conocer que la densidad seca máxima comienza a decaer conforme aumenta el porcentaje de finos, reflejando que a mayor porcentaje de finos de (PET/PP/PE) la densidad seca máxima del suelo de Juan Benigno Vela disminuye, con un porcentaje de finos del 0% se tiene una densidad seca máxima de 1.677g/cm^3 y con un porcentaje del 15% de finos la densidad seca máxima alcanzada es de 1.557g/cm^3 . Estableciendo de esta manera que al añadir un 15% de finos a la muestra natural la densidad seca máxima disminuye en un 7.16%.

La gráfica muestra un descenso rudo de densidad seca máxima al instante de la incorporación de los finos, siendo el 3% el primer porcentaje de incorporación de finos el descenso está presente en la zona entre el 0% y 3% con valores de 1.677g/cm^3 y 1.642g/cm^3 respectivamente, provocando un descenso de 2.09%. A partir del 6% de incorporación de finos los demás porcentajes presentan un descenso paulatino en su densidad seca máxima con respecto a su antecesor.

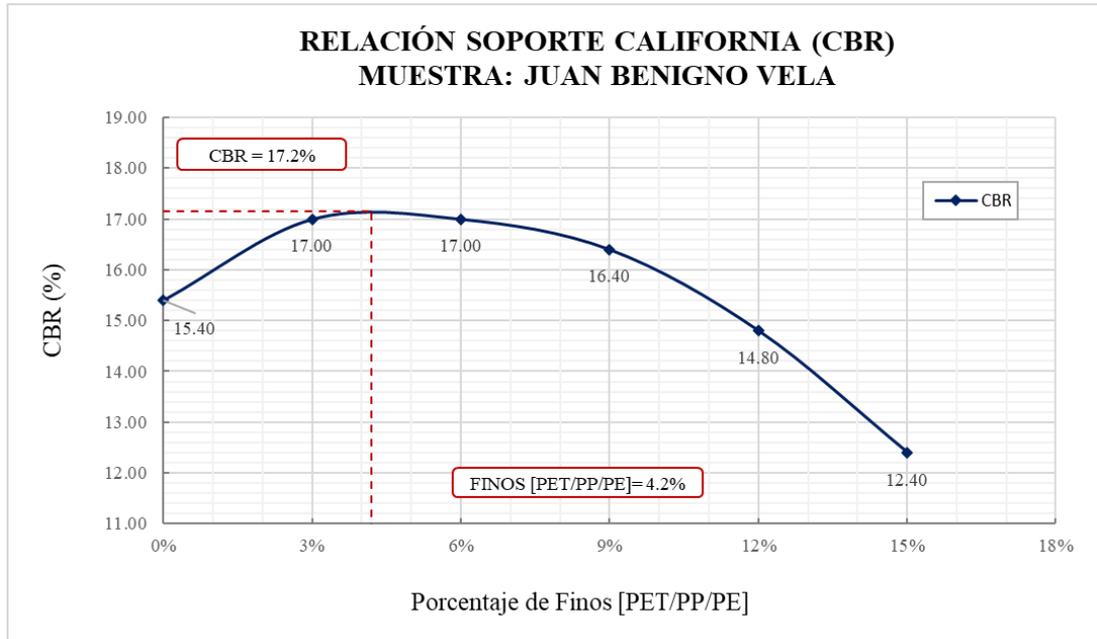
La gráfica también presenta una disminución del contenido de humedad conforme aumenta el porcentaje de finos, teniendo como referencia que a un porcentaje de finos del 0% (muestra natural) el contenido de humedad es de 13.21%, mientras que al tener un porcentaje de finos del 15% la humedad natural desciende a 10.49%, tratándose de una reducción ligera del 2.72% en su contenido de humedad con respecto a la muestra natural.

A diferencia de la densidad seca máxima que presenta un descenso brusco en el intervalo de 0% a 3% de finos, en el contenido de humedad este tipo de descenso se presenta en el intervalo de 9% a 12% de incorporación de finos, obtenido para el 9% un contenido de humedad de 11.66% y para el 12% de finos una humedad del 10.66%, reduciendo la presencia de agua en un 1%. Con respecto a los demás porcentajes de finos en relación con la humedad natural el descenso se da de manera suave y progresiva.

b) Análisis de CBR

La gráfica de Relación de Soporte California (CBR) de la parroquia Juan Benigno Vela es analizada en base a dos variables: porcentaje de CBR y porcentaje de finos de (PET/PP/PE).

Figura 36: CBR Juan Benigno Vela



Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

Analizando la gráfica se puede presenciar que partiendo desde un porcentaje de finos del 0% (muestra natural) con un valor de CBR de 15.40%, este valor empieza a incrementar con la primera inclusión de porcentaje de finos (3%) llegando a un valor de CBR de 17%, con la adición del segundo porcentaje de finos (6%) este valor de CBR se mantiene constante a 7%, a partir de la inclusión del tercer porcentaje de finos (9%) el valor de CBR empieza a decaer a un valor de 16.40%.

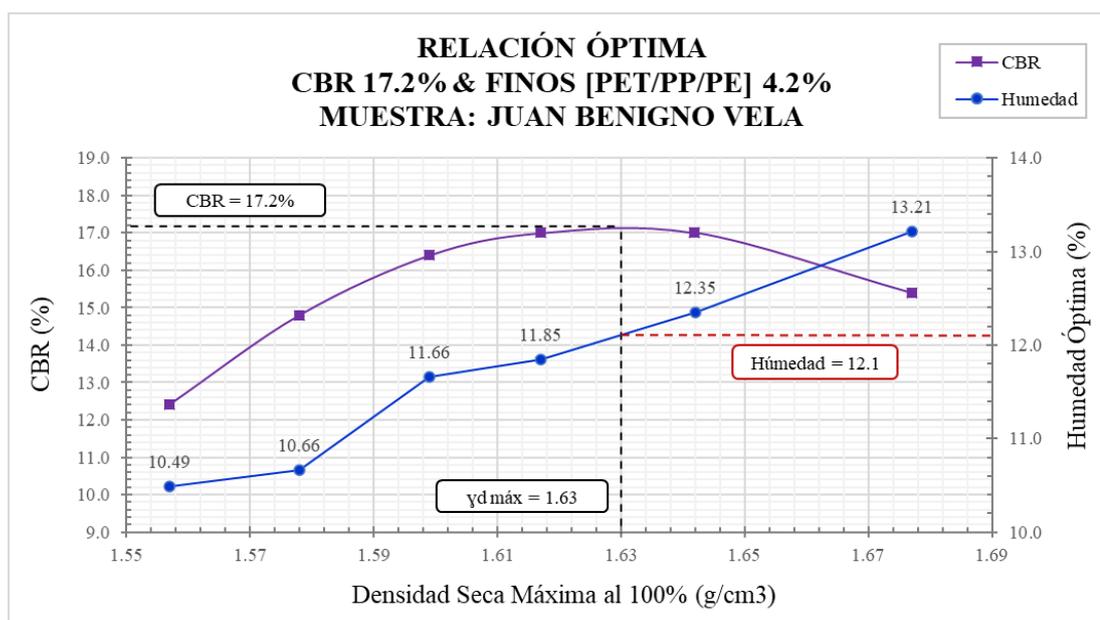
El rango en el que se alcanza un máximo valor de CBR está comprendido entre los porcentajes de finos de 3% y 6%, alcanzando como resultado un valor de CBR óptimo de 17.2% correspondiente a un porcentaje de finos del 4.2%.

La curva presenciada en esta gráfica destaca que entre el CBR de la subrasante natural (15.40%) con respecto al CBR óptimo de subrasante modificada obtenido (17.2%), el incremento de CBR es de 1.8%. Este valor de CBR óptimo alcanzado según Bowles [42], es clasificado como suelo regular para uso de Subbase.

c) Análisis de CBR Óptimo

Análisis de la gráfica de relación óptima alcanzada para la parroquia de Juan Benigno Vela para un valor de CBR de 17.2% correspondiente al 4.2% de inclusión de Finos de (PET/PP/PE).

Figura 37: Relación Óptima Juan Benigno Vela



Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

La gráfica combinada establece un valor fijo de CBR que permite localizar la densidad seca máxima al 100%, que a su vez también localiza el contenido de humedad óptimo, esto a razón de que ambas curvas se relacionan con la densidad seca máxima obtenida del Proctor, valor que es utilizado al 95% para la obtención del CBR.

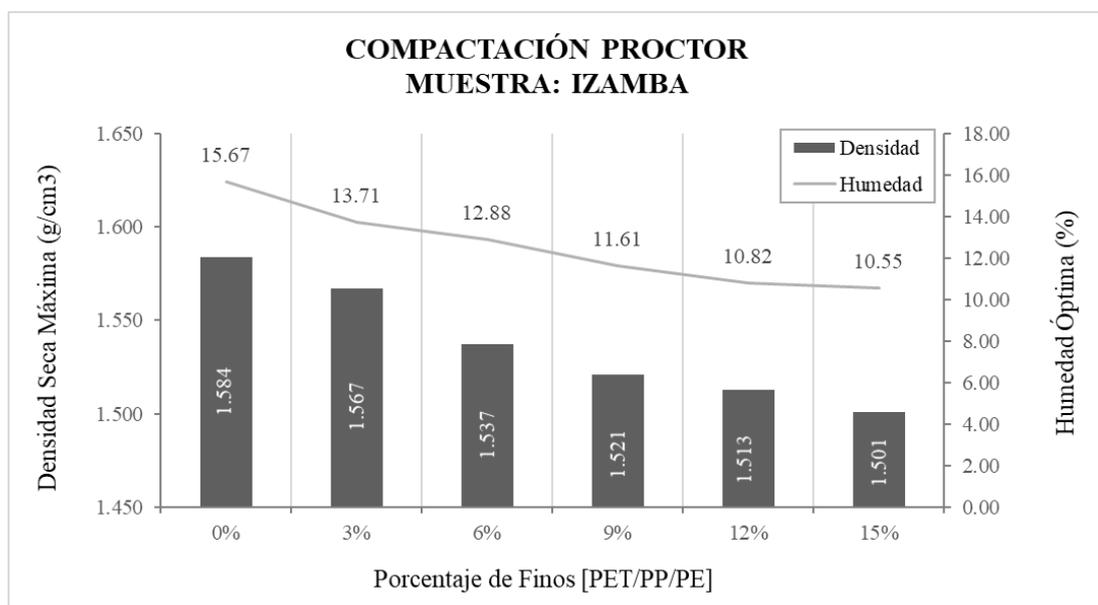
Analizando la gráfica se puede determinar que para alcanzar un CBR de 17.2% con la adición del 4.2% de finos, en el ensayo de Proctor modificado para la parroquia de Juan Benigno Vela se deberá añadir un 12.1% de agua a su muestra seca, permitiéndole alcanzar una densidad seca máxima de 1.63g/cm^3 , este valor será utilizado para el ensayo de CBR a una densidad seca máxima al 95% correspondiente a 1.549g/cm^3 que permitirá llegar a la obtención de CBR fijado.

3.1.3.3. Análisis de CBR y Proctor de la Parroquia Izamba

a) Análisis de Proctor Modificado

Análisis de gráfica de compactación Proctor modificado de la parroquia Izamba, comprendida de tres variables: densidad seca máxima, porcentaje de finos (PET/PP/PE) y contenido de humedad óptima.

Figura 38: Compactación Proctor Izamba



Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

La gráfica muestra que la densidad seca máxima comienza a decaer conforme aumenta el porcentaje de finos, manifestando que a un mayor porcentaje de finos de (PET/PP/PE) la densidad seca máxima del suelo de Izamba disminuye, con un porcentaje de finos al 0% se alcanza una densidad seca máxima de 1.584g/cm^3 y con la adición de un porcentaje del 15% de finos la densidad seca máxima alcanzada es de 1.501g/cm^3 . Estableciendo de esta manera que al añadir un 15% de finos a la muestra natural la densidad seca máxima disminuye en un 5.24%.

La gráfica muestra un mayor descenso de densidad seca máxima al momento de la incorporación del segundo porcentaje finos, siendo el 6% el segundo porcentaje de incorporación de finos el descenso está presente en el intervalo entre 3% y 6% con

valores de 1.567g/cm^3 y 1.537g/cm^3 respectivamente, provocando un descenso de 1.91%. Los intervalos de (0% - 3%), (6% - 9%), (9%- 12%) y (12% - 15%) de incorporación de finos presentan un descenso paulatino en su densidad seca máxima.

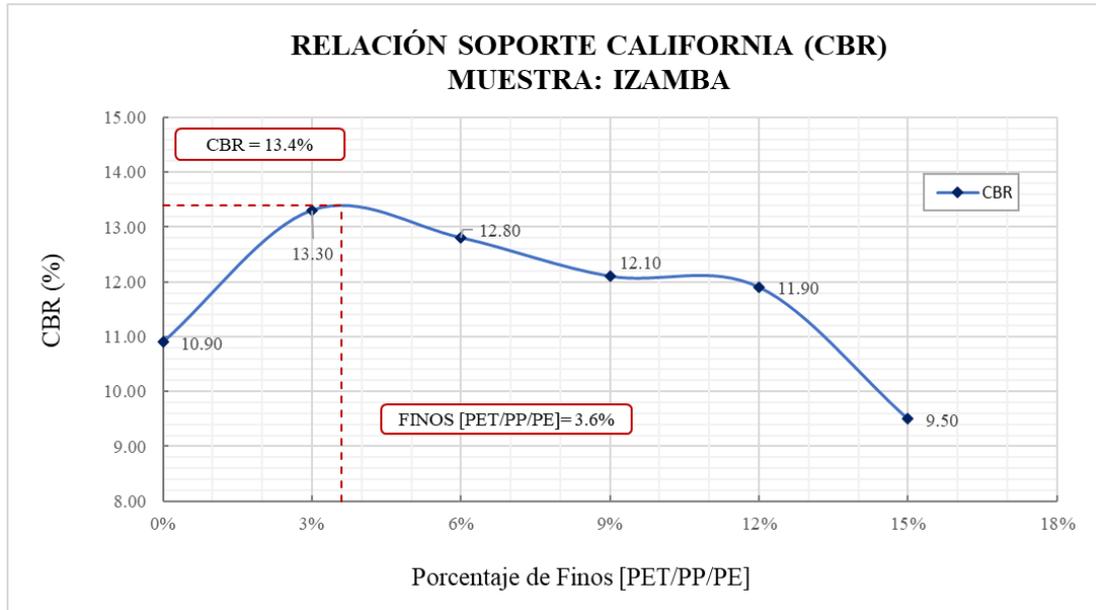
La curva de contenido de humedad también presenta una disminución conforme aumenta el porcentaje de finos, iniciando con un porcentaje de finos del 0% (muestra natural) el contenido de humedad es de 15.67%, mientras que al finalizar con un porcentaje de finos del 15% la humedad natural desciende a 10.55%, tratándose de una reducción notable del 5.12% en su contenido de humedad con respecto a su muestra natural.

A diferencia de la densidad seca máxima que presenta un mayor descenso en el intervalo de 3% a 6% de finos, en el contenido de humedad este tipo de descenso se presenta entre la muestra de suelo natural (0%) y la primera incorporación de porcentaje de fino (3%) teniendo como contenidos de humedad 15.67% y 13.71% respectivamente, presentando una disminución de 1.96%. Después de producirse este descenso acelerado los valores entre los diferentes porcentajes de finos disminuyen de manera paulatina.

b) Análisis de CBR

El análisis de la gráfica de Relación de Soporte California (CBR) de la parroquia Izamba está en base a dos variables: porcentaje de CBR y porcentaje de finos de (PET/PP/PE).

Figura 39: CBR Izamba



Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

En la curva de CBR vs. Finos se aprecia que partiendo desde un porcentaje de finos del 0% con un valor de CBR de 10.90%, este valor empieza a aumentar con la primera inclusión de porcentaje de finos de 3% llegando a un valor de CBR de 13.3% sin embargo, con la adición del segundo porcentaje de finos al 6% este valor de CBR empieza a decaer a un valor de 12.8%, este valor desciende aún más con la adición del 15% de finos llegando a un CBR de 9.50%.

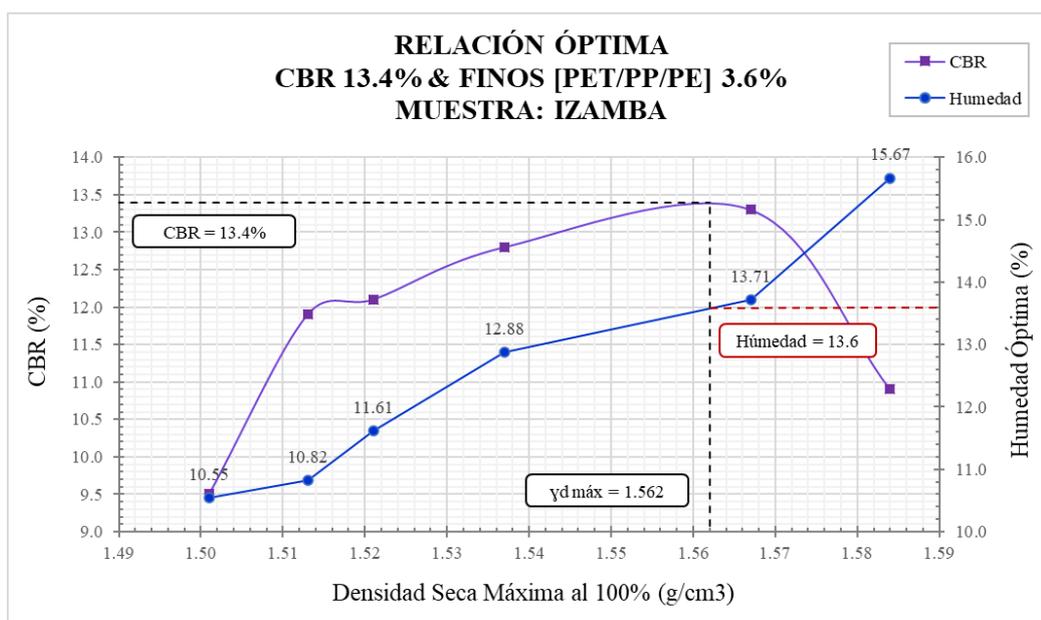
El intervalo en el que se alcanza un máximo valor de CBR está comprendido entre los porcentajes de 3% y 6% de finos, dando como resultado un valor de CBR óptimo de 13.4% correspondiente a un porcentaje de finos del 3.6%.

La curva presenciada en esta gráfica destaca que entre el CBR de la subrasante natural (10.90%) con respecto al CBR óptimo de subrasante modificada obtenido (13.4%), el incremento de CBR es de 2.5%. Este valor de CBR óptimo alcanzado según Bowles [42], es clasificado como suelo regular para uso de Subbase.

c) Análisis de CBR Óptimo

Análisis de la gráfica de relación óptima alcanzada para la parroquia de Izamba para un valor de CBR de 13.4% correspondiente al 3.6% de inclusión de finos de (PET/PP/PE).

Figura 40: Relación Óptima Izamba



Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

Esta gráfica establece un valor fijo de CBR que permite localizar la densidad seca máxima al 100%, que a su vez también localiza el contenido de humedad óptimo, esto a razón de que ambas curvas se relacionan con la densidad seca máxima obtenida del Proctor, valor que es utilizado al 95% para la obtención del CBR.

Analizando la gráfica se determina que para alcanzar un CBR de 13.4% con la inclusión del 3.6% de finos, en el ensayo de Proctor modificado para la parroquia de Izamba se deberá añadir un 13.6% de agua a su muestra seca, permitiéndole alcanzar una densidad seca máxima de 1.562g/cm³, este valor será utilizado para el ensayo de CBR a una densidad seca máxima al 95% correspondiente a 1.484g/cm³ que permitirá llegar a la obtención de CBR fijado.

3.1.4. Análisis de Estabilización de la Subrasante según CBR

En base a las muestras de suelo provenientes de las parroquias Montalvo, Juan Benigno Vela e Izamba, se analizó los valores de CBR de subrasante natural y subrasante modificada con finos de (PET/PP/PE).

Para la parroquia de Montalvo la inclusión de finos del 7.80% a su muestra natural ayudó a incrementar su CBR de 10.40% a 16.30%, generando una estabilización del 57% a la subrasante, que a su vez es el porcentaje más alto de estabilización producido en comparación a las otras dos parroquias.

Mientras que para la parroquia de Juan Benigno Vela se presenta un escenario diferente al de Montalvo debido a que la inclusión de finos en su muestra natural sólo produjo un incremento de CBR del 1.8%, produciendo de esta manera una estabilización del 12% en la subrasante posicionándolo como el porcentaje más bajo de estabilización entre estas 3 parroquias analizadas.

La adicción del 3.60% de finos a la muestra seca de Izamba también produjo una estabilización del 23% a la subrasante, permitiendo al CBR incrementar de 10.90% a 13.40%. El porcentaje de estabilización producido se ubica en la parte intermedia entre la parroquia Montalvo y Juan Benigno Vela.

La siguiente tabla muestra el porcentaje de Finos de (PET/PP/PE) requerido para incrementar el valor de CBR y el porcentaje de estabilización alcanzado con este tipo de material.

Tabla 20: Porcentajes de Estabilización de la Subrasante

Ubicación	CBR Natural	CBR Modificado	Finos [PET/PP/PE]	Incremento CBR	Estabilización
Montalvo	10.40%	16.30%	7.80%	5.90%	57%
Juan Benigno Vela	15.40%	17.20%	4.20%	1.80%	12%
Izamba	10.90%	13.40%	3.60%	2.50%	23%

Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

3.1.5. Análisis de Tráfico

La observación del flujo vehicular que concurre por un determinado punto es de gran relevancia, debido a que este ayuda a determinar el volumen de tráfico que se genere. La recolección de estos datos influyen de manera directa el diseño geométrico de la vía y como consecuencia también a la estructura del pavimento [44].

La carretera seleccionada para el análisis de tráfico es la calle Graciela Escudero, perteneciente a la ciudad de Quito. El estudio de tráfico se realiza en esta localidad debido a las restricciones de movilidad presentadas por la emergencia sanitaria (COVID-19), lo que impedía movilizarme a la ciudad de Ambato (lugar de extracción de muestras), siendo Quito mi ciudad de residencia.

Cabe mencionar que la investigación de este proyecto se centra específicamente en las capas de la estructura del pavimento mas no en el volumen del tráfico. El volumen de tráfico ayudará al proyecto únicamente a tener un valor representativo para el diseño del pavimento y de esta manera comparar las subrasantes.

3.1.5.1. Conteo Vehicular

El conteo vehicular se lo ejecutó de manera manual en la calle Graciela Escudero, La Venecia 1 – Quito, en el punto (UTM 17M, 9962416.13m S, 773179.43m E) el día 29 de octubre de 2020, por un periodo de 12 horas consecutivas desde las 06h00 hasta las 18h00, en ambos sentidos, como se muestra en la [Tabla 21](#). El conteo individual por cada sentido puede ser observado en Anexos Tráfico.

3.1.5.2. Cálculo del Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA)

Para la realización del cálculo del TPDA se utilizó el método de la treintava hora. Este método se caracteriza por dividir la cantidad de vehículos en hora pico (hora de mayor tráfico) para un determinado porcentaje que propone el método.

El porcentaje que propone está definido para dos tipos de vía; para vías urbanas se establece un valor comprendido entre el 8% al 12%, mientras que para vías rurales este valor es ubica entre el 12% al 18% [21]. Es aconsejable tomar valores intermedios, cuando estos provienen de una selección de rango.

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

Donde:

TPDA= Tráfico Promedio Diario Anual del año del proyecto.

VHP= Volumen Horario Observado (Hora Pico).

k= Porcentaje propuesto por el método de la treintava hora (urbano, rural).

Datos del Proyecto:

VHP= La Hora de mayor tráfico observado fue desde las 16h45 a las 17h45.

k= Al ser una vía urbana se seleccionó un porcentaje de 10%.

Tabla 21: Conteo Vehicular en ambos sentidos

GRACIELA ESCUDERO (2 SENTIDOS)											
HORA	LIVIANOS	BUSES	PESADOS							TOTAL	ACUMULADO POR HORA
			2DA	2DB	V2DB	3A	3S2	3S3	Σ PESADOS		
06H00-06H15	71	16	4	2	0	0	0	1	7	94	
06H15-06H30	51	10	3	1	0	1	0	0	5	66	
06H30-06H45	72	13	7	0	0	0	0	0	7	92	
06H45-07H00	76	10	2	1	0	1	1	0	5	91	343
07H00-07H15	55	9	5	4	2	0	0	0	11	75	324
07H15-07H30	70	10	5	1	0	0	1	0	7	87	345
07H30-07H45	85	9	9	0	0	0	0	1	10	104	357
07H45-08H00	74	14	10	5	0	0	0	0	15	103	369
08H00-08H15	64	10	10	3	1	0	0	0	14	88	382
08H15-08H30	64	9	4	2	2	0	0	0	8	81	376
08H30-08H45	71	9	7	2	0	0	0	0	9	89	361
08H45-09H00	73	10	13	2	1	0	0	0	16	99	357
09H00-09H15	72	12	7	0	2	0	0	0	9	93	362
09H15-09H30	62	5	5	0	2	1	1	0	9	76	357
09H30-09H45	53	9	8	2	1	0	0	0	11	73	341
09H45-10H00	83	8	6	3	1	0	0	0	10	101	343
10H00-10H15	49	6	11	2	0	0	0	0	13	68	318
10H15-10H30	55	8	9	1	0	0	0	0	10	73	315
10H30-10H45	71	9	13	0	1	1	1	0	16	96	338
10H45-11H00	67	15	9	4	0	1	0	0	14	96	333
11H00-11H15	84	5	13	3	1	1	0	1	19	108	373
11H15-11H30	65	8	8	1	0	0	0	0	9	82	382
11H30-11H45	67	6	10	4	0	0	2	0	16	89	375
11H45-12H00	50	5	7	1	1	0	0	1	10	65	344
12H00-12H15	60	6	8	2	0	1	0	0	11	77	313
12H15-12H30	52	8	8	6	0	1	0	1	16	76	307
12H30-12H45	59	7	10	0	0	0	0	1	11	77	295
12H45-13H00	53	9	9	1	0	0	0	0	10	72	302
13H00-13H15	70	9	9	4	1	1	0	0	15	94	319
13H15-13H30	54	7	14	4	1	0	0	1	20	81	324
13H30-13H45	59	10	15	5	0	0	0	0	20	89	336
13H45-14H00	104	28	12	4	0	0	0	1	17	149	413
14H00-14H15	52	5	1	1	0	0	0	0	2	59	378
14H15-14H30	18	1	0	2	0	0	0	0	2	21	318
14H30-14H45	47	9	5	3	0	2	1	1	12	68	297
14H45-15H00	58	8	8	2	0	1	1	1	13	79	227
15H00-15H15	69	5	2	2	0	0	0	0	4	78	246
15H15-15H30	64	10	10	2	2	0	0	0	16	90	315
15H30-15H45	60	8	8	4	3	0	0	0	15	83	330
15H45-16H00	73	10	6	3	1	0	0	0	10	93	344
16H00-16H15	73	6	9	2	2	0	0	0	13	92	358
16H15-16H30	62	8	13	3	3	1	0	0	20	90	358
16H30-16H45	55	15	8	0	1	0	0	0	9	79	354
16H45-17H00	76	15	9	5	0	1	0	0	15	106	367
17H00-17H15	88	15	13	7	4	0	1	1	26	129	404
17H15-17H30	70	8	3	3	1	0	0	0	7	85	399
17H30-17H45	90	13	14	1	2	1	1	1	20	123	443
17H45-18H00	77	8	5	0	5	0	0	1	11	96	433
Σ Parciales	3147	453							575	4175	
Composición	75%	11%							14%	100%	

Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

Tabla 22: Hora de Mayor Tráfico Observado

30ava HORA										
HORA	LIVIANOS	BUSES	PESADOS							TOTAL
			2DA	2DB	V2DB	3A	3S2	3S3	∑Pesados	
16H45-17H00	76	15	9	5	0	1	0	0	15	106
17H00-17H15	88	15	13	7	4	0	1	1	26	129
17H15-17H30	70	8	3	3	1	0	0	0	7	85
17H30-17H45	90	13	14	1	2	1	1	1	20	123
∑ Parcial	324	51	39	16	7	2	2	2	68	443
% 30va Hora	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%
TPDA	3240	510	390	160	70	20	20	20	680	4430

Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

$$TPDA_{Livianos} = \frac{\Sigma Parcial}{10\%} = \frac{324}{0.1} = 3240 \text{ veh/día}$$

$$TPDA_{Buses} = \frac{\Sigma Parcial}{10\%} = \frac{51}{0.1} = 510 \text{ veh/día}$$

$$TPDA_{Pesados} = \frac{\Sigma Parcial}{10\%} = \frac{68}{0.1} = 680 \text{ veh/día}$$

3.1.5.3. Cálculo de Tráfico Futuro (Tf)

El tráfico futuro o también llamado proyección del tránsito, representa el volumen vehicular que se espera para el último año de vida útil de la vía, este tráfico futuro es utilizado como base de diseño al que se está proyectando el proyecto. Esta proyección de vida apunta a los 100 años, para efectuar un cálculo económico se establece que para pavimentos este valor se encuentre entre 10 y 30 años, para puentes entre 25 y 100 años, y estructuras de drenaje a 50 años [23].

- Proyectos de rehabilitación mejorasn= 20 años
- Proyectos especiales de nuevas víasn= 30 años
- Megaproyectos Nacionalesn= 50 años

El tráfico futuro está compuesto por la proyección de años, crecimiento normal del tráfico, el tráfico generado, el crecimiento de tráfico por desarrollo, el tráfico actual y proyección en base a la tasa de crecimiento poblacional.

a) Proyección de Tráfico Futuro (n)

Datos del Proyecto:

La proyección seleccionada para nuestra carretera es de 20 años, a razón de que el estudio de tráfico se lo efectuó en una vía existente.

b) Crecimiento Normal del Tráfico Actual

a. Tráfico Existente:

Es el tráfico obtenido del conteo vehicular TPDA.

Datos del Proyecto:

TPDA – Livianos= 3240 veh/día

TPDA – Buses= 510 veh/día

TPDA – Pesados= 680 veh/día

b. Tráfico Atraído (Tat)

Es el tráfico que se prevé que atraerá desde otras carreteras a razón del mejoramiento de esta o la construcción de una nueva, debido a que los conductores van a preferir reducir tiempos de transporte, acortar distancias y gozar de la calidad de una carretera que evite el maltrato a su medio de transporte [44]. Para el cálculo del tráfico traído se considera como valor el 10% del tráfico existente (TPDA) [45].

$$Tat = 10\% * (TPDA)$$

Datos del Proyecto:

$$Tat_{Livianos} = 0.1 * 3240 = 324 \text{ veh/día}$$

$$Tat_{Buses} = 0.1 * 510 = 51 \text{ veh/día}$$

$$Tat_{Pesados} = 0.1 * 680 = 68 \text{ veh/día}$$

c) Tráfico Generado (Tg)

Este tráfico apunta al aumento de viajes de vehículos que se producirán dentro de los siguientes dos años a la terminación de mejoras o construcción de una carretera. Este aumento generado proviene de vehículos que no habrían realizado el viaje de no ser por la creación o mejoras de la misma [23], [44].

Para evitar realizar estimaciones muy altas, se establece como límite máximo un tráfico generado de 20% del tráfico existente (TPDA), durante el primer año de operación de la carretera [44].

$$Tg = 20\% * (TPDA)$$

Datos del Proyecto:

$$Tg_{Livianos} = 0.2 * 3240 = 648 \text{ veh/día}$$

$$Tg_{Buses} = 0.2 * 510 = 102 \text{ veh/día}$$

$$Tg_{Pesados} = 0.2 * 680 = 136 \text{ veh/día}$$

d) Tráfico por Desarrollo (Td)

Este tráfico surge del desarrollo de nuevas áreas de terreno dentro de la influencia de la carretera, provenientes de la creación o mejoras de la vía que influyen al incremento del tráfico futuro. Este desarrollo viene a darse por asentamientos de zonas turísticas, zonas industriales o zonas urbanas, trayendo consigo un aumento en el flujo vehicular. Se establece como valor estimado un porcentaje del 5% del tráfico existente (TPDA) para el tráfico por desarrollo [44], [45].

$$Td = 5\% * (TPDA)$$

Datos del Proyecto:

$$Ta_{Livianos} = 0.05 * 3240 = 162 \text{ veh/día}$$

$$Ta_{Buses} = 0.05 * 510 = 26 \text{ veh/día}$$

$$Ta_{Pesados} = 0.05 * 680 = 34 \text{ veh/día}$$

e) Tráfico Actual (Ta)

Es el volumen de tráfico que se está utilizando antes de la mejora de la carretera, el tráfico actual es la suma del TPDA, tráfico atraído (Tat), tráfico generado (Tg) y tráfico por desarrollado (Td); tanto de livianos, buses y pesados. A continuación, en la [Tabla 23](#) se pueden observar los valores obtenidos.

$$Ta = TPDA + Tat + Tg + Td$$

Tabla 23: Tráfico Actual

TRÁFICO ACTUAL									
HORA	LIVIANOS	BUSES	PESADOS						ΣPesados
			2DA	2DB	V2DB	3A	3S2	3S3	
TPDA	3240	510	390	160	70	20	20	20	680
Tráfico atraído	324	51	39	16	7	2	2	2	68
Tráfico Generado	648	102	78	32	14	4	4	4	136
Tráfico Desarrollado	162	26	20	8	4	1	1	1	35
TRÁFICO ACTUAL	4374	689	527	216	95	27	27	27	919

Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

f) Proyección en Base a la Tasa de Crecimiento Poblacional

Las proyecciones de crecimiento poblacional están sujetos a información estadística recolectada de estudios realizados, pero estos datos también pueden ser obtenidos de proyecciones a base de índices de crecimiento vehicular o de consumo de combustibles [44].

$$Tf = Ta * (1 + i)^n$$

Donde:

T_f = Tráfico futuro

T_a = Tráfico actual

i = Índice de crecimiento vehicular

n = Proyección de años de tráfico futuro

Datos del Proyecto:

T_a = Livianos 4374 veh/día; Buses 689 veh/día; Pesados 919 veh/día.

n = Proyección a 20 años.

i = El índice de crecimiento vehicular es seleccionado a partir de la siguiente tabla, proporcionado de MTOP.

Tabla 24: Índice de Crecimiento Vehicular

PERIODO	TIPOS DE VEHÍCULOS		
	LIVIANOS (%)	BUSES (%)	PESADOS (%)
2015 - 2020	3.44	1.17	2.90
2020 - 2025	3.10	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

Fuente: Resumen ejecutivo de viabilidad de proyectos en formato Senplades 2015, MTOP

$$Tf_{Livianos} = 4374 * (1 + 0.0282)^{20} = 7629 \text{ veh/día}$$

$$Tf_{Buses} = 689 * (1 + 0.0096)^{20} = 835 \text{ veh/día}$$

$$Tf_{Pesados} = 919 * (1 + 0.0238)^{20} = 1471 \text{ veh/día}$$

$$Tf_{TOTAL} = 7629 + 835 + 1471 = 9935 \text{ veh/día}$$

3.1.5.4. Factor de Daño (Fd)

Los diferentes tipos de vehículos transmiten su carga o peso hacia el pavimento por medio de sus llantas, estas están unidas mediante un eje. El cálculo de factor de daño se realiza a partir del número de ejes que posea el vehículo.

La AASHTO 93 [46], expresa que la carga proveniente de los camiones (vehículos pesados) por cada eje que tiene lo transmite de manera diferente provocando tensiones en el pavimento, y a su vez provoca un desgaste en él. Lo que sugiere, que se calcule el daño provocado al pavimento de cada eje y estos sumados al número total de ejes que posea el camión.

Datos del Proyecto:

Tabla 25: Factor de Daño

FACTOR DE DAÑO SEGÚN EL TIPO DE CAMIÓN [MTOPI]									
TIPO	SIMPLE		SIMPLE DOBLE		TANDEM		TRIDEM		FACTOR DE DAÑO
	P [t]	(P/6.6) ⁴	P [t]	(P/8.2) ⁴	P [t]	(P/15) ⁴	P [t]	(P/23) ⁴	
BUS	4	0.13	8	0.91					1.04
2DA	3	0.04	7	0.53					0.57
2DB	7	1.27	11	3.24					4.50
V2DB	7	1.27	11	3.24					4.50
3A	7	1.27			20	3.16			4.43
3S2	7	1.27			20	3.16			7.59
3S3	7	1.27			20	3.16	24	1.19	5.61

Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

Tipo de Vehículos= Buses, 2DA, 2DB, V2DB, 3A, 3S2, 3S3.

*Nota: La distribución máxima de carga por ejes fue extraída de la NEVI-12, volumen 2A, de la MTOPI.

3.1.5.5. Cálculo de Ejes Equivalentes

El cálculo del número de ejes equivalentes a 8.2 toneladas (18 kips), fue desarrollado por la AASHTO, con la finalidad de convertir el volumen vehicular a una carga ejercida sobre el pavimento, logrando de esta manera el desarrollo de la siguiente fórmula:

$$W_{18} = (\sum(TPDA_n * Fd)) * 365$$

Donde:

W_{18} = Número de ejes equivalentes a 8.2 t.

$TPDA_n$ = Tráfico promedio diario anual (hasta el periodo proyectado).

Fd = Factor de daño.

Datos del Proyecto:

$W_{18\ 2039} = \text{Corresponde a la suma acumulada desde } W_{18\ 2020} \text{ hasta } W_{18\ 2039}$

$$\begin{aligned} W_{18\ 2040} &= (835 * 1.04 + 844 * 0.57 + 346 * 4.50 + 152 * 4.50 + 43 * 4.43 + 43 \\ &\quad * 7.59 + 43 * 5.61) * 365 + W_{18\ 2039} = 1587228 + 25760674 \\ &= 27347902 \end{aligned}$$

a) Factor de Distribución por Dirección

Por lo general las carreteras son construidas en dos direcciones tanto de ida como de vuelta, en este caso el factor de distribución por dirección se considera del 50% del W_{18} para cada dirección [46].

b) Factor de Distribución por Carril

Las carreteras a más de ser construidas en dos direcciones también poseen carriles en cada dirección. Por ejemplo, en una carretera construida con dos carril, el flujo vehicular forzosamente tendrá que pasar por cualquiera de los dos, en este caso el carril de diseño puede ser cualquiera de los dos, por otro lado si la carretera es diseñada con más de 2 carriles en ambas direcciones la AASHTO 93 propone la siguiente tabla [46].

Tabla 26: Factor de Distribución por Carril

Número de carriles en cada dirección	Porcentaje de vehículos en carril
1	100%
2	80% - 100%
3	60% - 80%
4 o mas	50% - 75%

Fuente: Diseño de Estructura de Pavimentos 1993, AASHTO

Datos del proyecto:

La carretera seleccionada para este proyecto es de 1 carril por cada dirección, por lo que el porcentaje de vehículos en el carril corresponde al 100%. A continuación, se muestra una tabla detallada del cálculo del número de ejes equivalentes.

Tabla 27: Ejes Equivalentes

AÑO	% CRECIMIENTO (i)			TRÁFICO FUTURO [veh/día] $Tf = Ta * (1 + i)^n$									EJES EQUIVALENTES (W18)			
	Livianos	Buses	Pesados	Livianos	Buses	PESADOS						TPDA _f	Acumulado	Por Sentido	Carril de Diseño	
						2DA	2DB	V2DB	3A	3S2	3S3					TOTAL
2020	3.10	1.05	2.61	4374	689	527	216	95	27	27	27	919	5982	1055748	527874	527874
2021	3.10	1.05	2.61	4510	697	541	222	97	27	27	27	941	6148	2130585	1065293	1065293
2022	3.10	1.05	2.61	4650	704	555	228	100	28	28	28	967	6321	3232210	1616105	1616105
2023	3.10	1.05	2.61	4794	711	570	234	102	29	29	29	993	6498	4359188	2179594	2179594
2024	3.10	1.05	2.61	4943	719	585	240	105	29	29	29	1017	6679	5507105	2753553	2753553
2025	3.10	1.05	2.61	5096	726	600	246	108	30	30	30	1044	6866	6682019	3341009	3341009
2026	2.82	0.96	2.38	5169	730	607	249	109	31	31	31	1058	6957	7872911	3936456	3936456
2027	2.82	0.96	2.38	5315	737	622	255	112	31	31	31	1082	7134	9084365	4542182	4542182
2028	2.82	0.96	2.38	5464	744	637	261	114	32	32	32	1108	7316	10321171	5160585	5160585
2029	2.82	0.96	2.38	5618	751	652	267	117	33	33	33	1135	7504	11584972	5792486	5792486
2030	2.82	0.96	2.38	5777	759	667	274	120	34	34	34	1163	7699	12877791	6438896	6438896
2031	2.82	0.96	2.38	5940	766	683	280	123	34	34	34	1188	7894	14191379	7095689	7095689
2032	2.82	0.96	2.38	6107	773	699	287	125	35	35	35	1216	8096	15532170	7766085	7766085
2033	2.82	0.96	2.38	6279	781	716	294	128	36	36	36	1246	8306	16902394	8451197	8451197
2034	2.82	0.96	2.38	6457	788	733	301	132	37	37	37	1277	8522	18303316	9151658	9151658
2035	2.82	0.96	2.38	6639	796	750	308	135	38	38	38	1307	8742	19733670	9866835	9866835
2036	2.82	0.96	2.38	6826	803	768	315	138	39	39	39	1338	8967	21193287	10596644	10596644
2037	2.82	0.96	2.38	7018	811	787	323	141	40	40	40	1371	9200	22684396	11342198	11342198
2038	2.82	0.96	2.38	7216	819	805	330	145	41	41	41	1403	9438	24206789	12103395	12103395
2039	2.82	0.96	2.38	7420	827	824	338	148	42	42	42	1436	9683	25760674	12880337	12880337
2040	2.82	0.96	2.38	7629	835	844	346	152	43	43	43	1471	9935	27347902	13673951	13673951

Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

3.1.6. Análisis de Diseño de Pavimento Flexible – Método AASHTO 93

En este apartado se presenta el diseño de dos estructuras de pavimento flexible. El diseño para este proyecto está basado en valores de CBR, el primero de ellos con valor de subrasante natural y segundo con valor de subrasante modificada con el material estabilizante (PET/PP/PE).

Los valores de CBR utilizados en esta comparativa entre subrasante estabilizada y sin estabilizar corresponden a las muestras de la parroquia Montalvo. Las muestras de esta parroquia han sido seleccionadas por a ver presentado un mayor porcentaje de estabilización en comparación a las muestras pertenecientes de las parroquias de Izamba y Juan Benigno Vela.

Montalvo alcanza un porcentaje de estabilización del 57%, sustentado por los resultados de laboratorio los valores de CBR con muestra natural y CBR con muestra modificada son los siguientes:

Tabla 28: Datos de CBR para el diseño de pavimento

	% CBR	% Finos [PET/PP/PE]
DISEÑO 1	10.40	0
DISEÑO 2	16.30	7.8

Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

3.1.6.1. Parámetros de Diseño

Estos parámetros son aplicados a los dos diseños de pavimentos, debido a que la única variable que cambia es el valor de CBR de la subrasante.

a) Fórmula de Diseño AASHTO 93

Para la determinación de los espesores de las capas de la estructura del pavimento se debe determinar su número estructural (SN) en base a la siguiente fórmula planteada por la AASHTO.

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R * S_o + 9.36 * \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10}(\Delta PSI)}{0.40 + \frac{4.2 - 1.5}{1094}} + 2.32 * \log_{10}(M_r) - 8.07$$

Donde:

W18= Ejes Equivalentes

Z_R= Desviación estándar normal

S_O= Desviación estándar global

SN= Número estructural

ΔPSI= Cambio en la Serviciabilidad

M_r= Módulo de residencia, de la capa de apoyo; base, subbase y subrasante.

b) Periodo de Análisis

El periodo de análisis seleccionado para el proyecto en base a la MTOP es de 20 años.

c) Ejes Equivalentes

El valor calculado para un periodo de diseño proyectado a 20 años es de 13673951 ejes equivalentes, correspondiente al carril de diseño (ver Tabla 27).

d) Confiabilidad

Según la AASHTO [46], es un grado de certidumbre que apunta a que un diseño de pavimento al finalizar su periodo de análisis éste llegue en buenas condiciones.

De acuerdo con la clasificación funcional de la vía se presentan las siguientes tablas, donde el valor de (R) se encuentra asociado al coeficiente de desviación estándar normal (Z_R) y al factor de desviación estándar global (S_O).

Datos del Proyecto:

En base a las tres parroquias (Montalvo, Juan Benigno Vela e Izamba) pertenecientes a la zona rural los parámetros de confiabilidad seleccionados son los siguientes:

Tabla 29: Niveles de Confiabilidad

Clasificación Funcional	Nivel de Confiabilidad R (%)	
	Urbana	Rural
Autopista y Carreteras importantes	85.0 - 99.9	80.0 - 99.9
Arterias Principales	80.0 - 99.9	75.0 - 95.0
Colectoras	80.0 - 95.0	75.0 - 95.0
Locales	50.0 - 80.0	50.0 - 80.0

Fuente: Diseño de Estructura de Pavimentos 1993, AASHTO

Tabla 30: Desviación Estándar Normal

Nivel de confiabilidad R (%)	50	60	70	75	80	85	90	91	92
Desviación Estándar Normal Z_R	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 Z_R	-1.476	-1.555	-1.645	-1.751	-1.881	-2.054	-2.327	-3.090	-3.750

Fuente: Diseño de Estructura de Pavimentos 1993, AASHTO

Tabla 31: 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	0.50	0.40

Fuente: Diseño de Estructura de Pavimentos 1993, AASHTO

La carretera al ser una arteria principal perteneciente a la zona rural y tratándose de un pavimento flexible los valores seleccionados corresponden a:

- $R = 80\%$
- $Z_R = -0.841$
- $Z_O = 0.45$

e) Índice de Serviciabilidad

Se define como la capacidad que tiene el pavimento de servir al tráfico al instante de entrar en operación y la capacidad de servicio con la que terminará al momento de cumplir con el año de análisis proyectado. El índice de serviciabilidad (PSI) califica la manejabilidad del vehículo sobre el pavimento entre 0 (pésimas condiciones) y 5 (perfecto) [46].

$$\Delta PSI = Pf - Po$$

Donde:

Po = Serviciabilidad Inicial

Pf = Serviciabilidad Final

ΔPSI = Serviciabilidad

Datos del Proyecto:

En este proyecto el tipo de vía corresponde a una carretera principal y su diseño está basado en un pavimento flexible.

Tabla 32: Índice de Serviciabilidad

Tipo de Vía	Serviciabilidad Final
Carretera Principal	2.5 - 3.0
Carretera Secundaria	2.0 - 2.5
Tipo de Pavimento	Serviciabilidad Inicial
Rígido	4.5
Flexible	4.2

Fuente: Diseño de Estructura de Pavimentos 1993, AASHTO

$$\Delta PSI = 4.2 - 2.5$$

$$\Delta PSI = 1.7$$

f) Coeficientes de Drenaje

Según la AASHTO [46], la presencia de agua en la estructura de pavimento tiene un gran impacto en sus capas granulares, una buena evacuación del agua mitiga la

degradación de la calidad del pavimento aumentando la capacidad portante, para lo cual recomienda los siguientes valores:

Datos del Proyecto:

Para el proyecto se utilizó un valor asumido de la cantidad de días que ha llovido durante todo un año en el cantón de Ambato, con una calidad de drenaje regular para drenar la capa de base hasta un 50% de saturación.

Tabla 33: Tiempo de Drenaje Recomendado

Calidad de drenaje	50% de saturación en:	85% de saturación en:
Excelente	2 horas	2 horas
Bueno	1 día	2 a 5 horas
Regular	1 semana	5 a 10 horas
Pobre	1 mes	Mas de 10 horas
Muy pobre	El agua no drena	Mucho mas de 10 horas

Fuente: Diseño de Estructura de Pavimentos 1993, AASHTO

$$\% \text{ Días Lluvia} = \frac{\# \text{ Días}}{365} = \frac{55}{365} * 100\% = 16\%$$

Tabla 34: Coeficientes de Drenaje para Pavimentos Flexibles

Calidad de drenaje	% de tiempo en que el pavimento está expuesto a niveles de humedad próximos a la saturación			
	<1%	1-5%	5-25%	>25%
Excelente	1.40 - 1.35	1.35 - 1.30	1.30 - 1.20	1.20
Bueno	1.35 - 1.25	1.25 - 1.15	1.15 - 1.00	1.00
Regular	1.25 - 1.15	1.15 - 1.05	1.00 - 0.80	0.80
Pobre	1.15 - 1.05	1.05 - 0.80	0.80 - 0.60	0.60
Muy pobre	1.05 - 0.95	0.95 - 0.75	0.75 - 0.40	0.40

Fuente: Diseño de Estructura de Pavimentos 1993, AASHTO

Los coeficientes de drenaje para la base (m2) y subbase (m3) seleccionados para este escenario es de 0.90.

g) Cálculo del Módulo Resiliente de las Subrasantes

Para el cálculo del módulo resiliente (M_r) la AASHTO propone una correlación con el CBR, haciendo uso de las siguientes ecuaciones [21]:

$$M_{r(psi)} = 1500 * CBR \text{ para } CBR < 10\% \text{ (sugerida por AASHTO)}$$

$$M_{r(psi)} = 3000 * CBR^{0.65} \text{ para } CBR \text{ de } 10\% \text{ a } 20\% \text{ (ecuación desarrollada en Sudáfrica)}$$

$$M_{r(psi)} = 4326 * \ln CBR + 241 \text{ (utilizada para suelos granulares, guía AASHTO)}$$

Datos del Proyecto – Diseño 1:

Para el primer diseño de pavimento con subrasante sin estabilizar el CBR correspondiente es de 10.40%, procediendo a realizar el cálculo del módulo resiliente con la segunda ecuación.

$$M_{r(psi)} = 3000 * CBR^{0.65}$$

$$M_{r(psi)} = 3000 * 10.40^{0.65}$$

$$M_{r(psi)} = 13747psi = 13.747ksi$$

Datos del Proyecto – Diseño 2:

El segundo diseño de pavimento con subrasante modificada corresponde a un valor de CBR de 16.3%, al encontrarse dentro del rango de 7.2% a 20% se aplica también la segunda ecuación.

$$M_{r(psi)} = 3000 * CBR^{0.65}$$

$$M_{r(psi)} = 3000 * 16.3^{0.65}$$

$$M_{r(psi)} = 18405psi = 18.405ksi$$

h) Coeficiente estructural de la Carpeta Asfáltica (a1)

Para este proyecto se utiliza la tabla de criterios de diseño para mezclas Marshall, permitiendo determinar la estabilidad en libras para el tipo de tráfico del proyecto, este valor de estabilidad es utilizado en el nomograma para la obtención del coeficiente estructural y el módulo elástico.

Datos del Proyecto

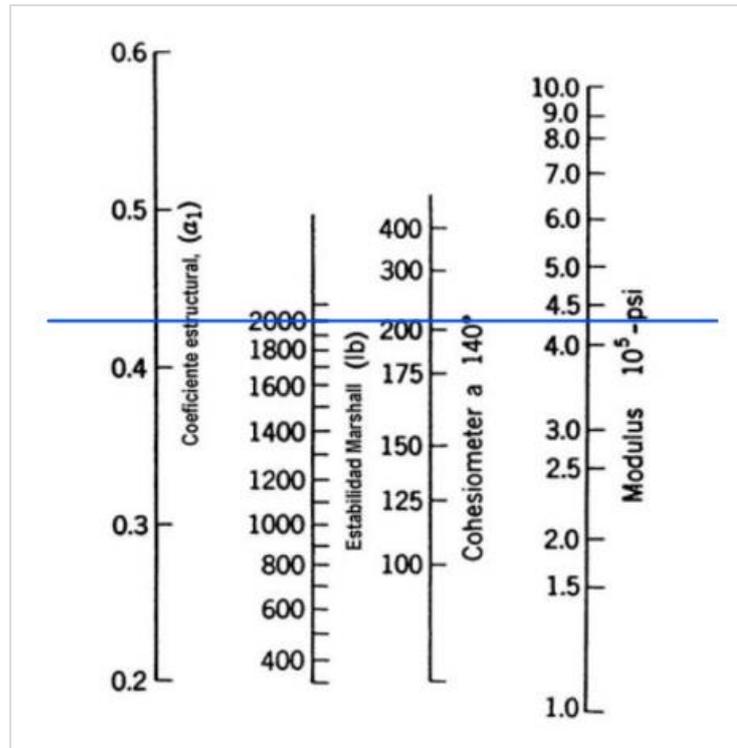
Con un valor correspondiente a un de TPDA de 9935, establezco una relación entre el TPDA del proyecto y la clasificación funcional de las vías en base al TPDA definido por la MTOP, clasificándolo como tráfico pesado.

Tabla 35: Criterios de Diseño para Mezclas Marshall

Criterio de Mezcla	Tráfico ligero		Tráfico medio		Tráfico pesado		Muy pesado	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	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 41: Nomograma para estimar el coeficiente estructural de la carpeta asfáltica



Fuente: Diseño de Estructura de Pavimentos 1993, AASHTO

La estabilidad en libras seleccionada es de 2000lb, encontrando un coeficiente (a_1) de 0.42 y un módulo de elasticidad de 430000psi (430ksi).

i) Coeficiente estructural de la Base Granular (a_2)

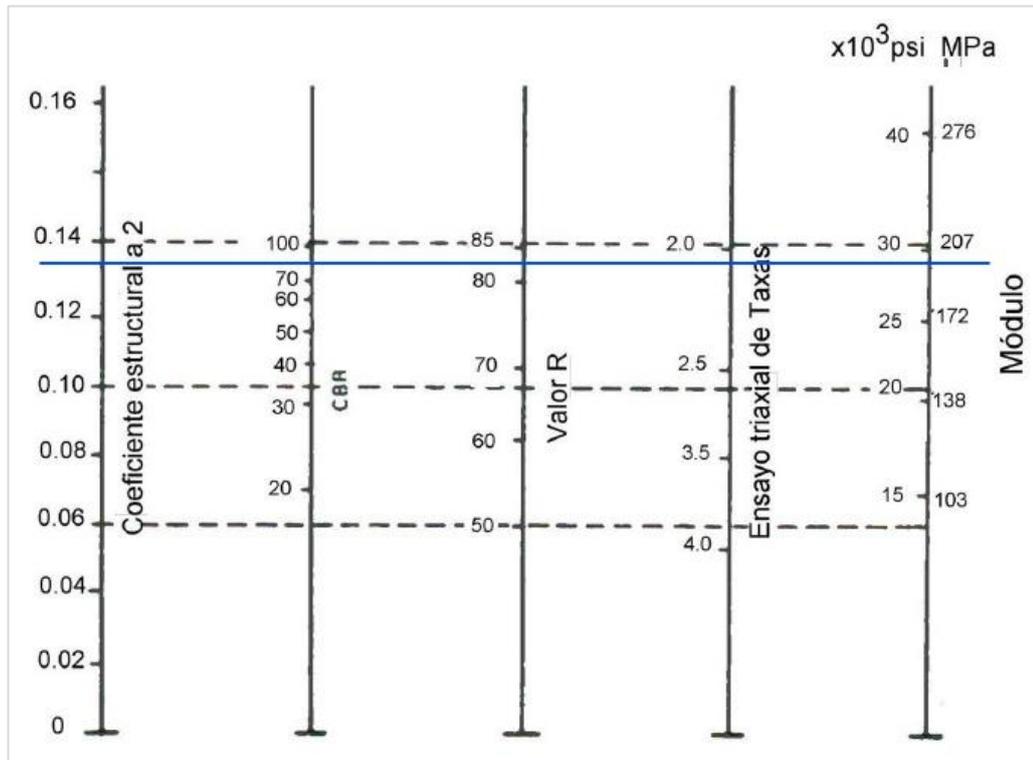
La MTOP [22], en su libro Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes, recomienda la clase de base a utilizar según el TPDA provisto. Estableciendo también un valor mínimo de $CBR \geq 80\%$ para esta capa.

Para el hallar el coeficiente (a_2) y el módulo resiliente se emplea el uso del ábaco propuesto por la AASHTO.

Datos del Proyecto:

Con un TPDA de 9935, se seleccionó una base clase 2 y se asumió un valor de CBR del 90% en relación con la demanda del tráfico.

Figura 42: Ábaco para estimar el número estructural de la capa Base granular (a2)



Fuente: Diseño de Estructura de Pavimentos 1993, AASHTO

El coeficiente estructural (a2) obtenido es de 0.134 y un módulo resiliente de 29000psi (29ksi).

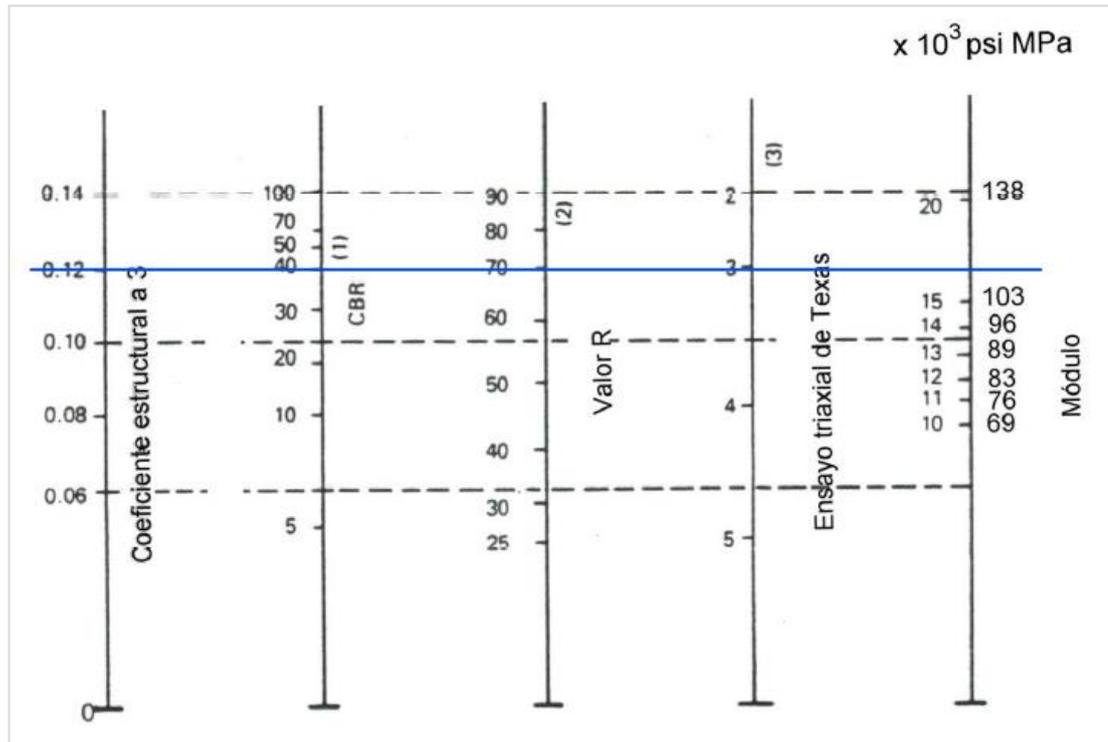
j) Coeficiente estructural de la Subbase Granular

La MTOP [22], establece que para la capa de subbase su valor mínimo de CBR de ser $\geq 30\%$. De la misma manera para hallar el coeficiente (a3) y el módulo resiliente se emplea el uso del ábaco propuesto por la AASHTO.

Datos del Proyecto:

A consideración del TPDA y la capa base del proyecto se tomó como valor de subbase un CBR de 40%.

Figura 43: Ábaco para estimar el número estructural de la Subbase granular (a3)



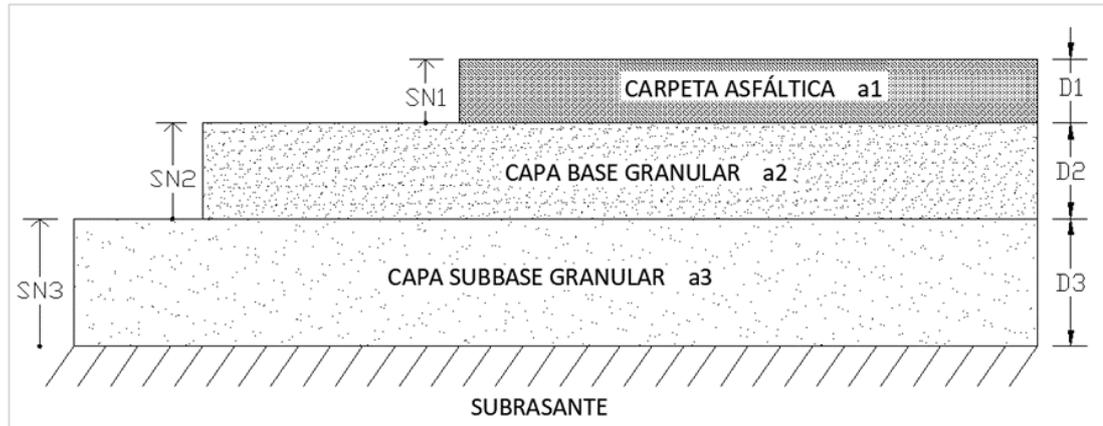
Fuente: Diseño de Estructura de Pavimentos 1993, AASHTO

El coeficiente estructural (a3) obtenido es de 0.12 y un módulo resiliente de 17000psi (17ksi).

k) Número Estructural (SN) y Espesores por Capa

El número estructural representa el valor de la sección estructural del pavimento, este valor al ser obtenido de la fórmula para el diseño de pavimento flexible donde involucra todos los parámetros anteriormente establecidos, requiere la asignación y distribución del (SN) para cada capa del paquete estructural del pavimento, haciendo uso de la fórmula propuesta por la AASHTO [21].

Figura 44: Estructura de Pavimento Flexible



Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

$$SN = (a1 * D1) + (a2 * D2 * m2) + (a3 * D3 * m3)$$

$$SN1 + SN2 + SN3 \geq SN$$

Donde:

$a1, a2, a3$ = Coeficientes estructurales de la carpeta, base y subbase.

$D1, D2, D3$ = Espesor de la carpeta, base y subbase.

$m2, m3$ = Coeficiente de drenaje para base y subbase.

Para los espesores de cada capa de la estructura de pavimento (D1 Y D2), la AASHTO recomienda valores mínimos en función a los ejes equivalentes acumulados [21].

Datos del Proyecto:

El análisis de tráfico en este proyecto dio como resultado un W18 de 13673951 ejes equivalente.

Tabla 36: Espesores mínimos de Concreto Asfáltico y Base granular

Tráfico, W18	Concreto Asfáltico, D1	Capa Base, D2
<50000	2.5 cm (o tratam. Superficial)	10.0 cm
50001 a 150000	5.0 cm	10.0 cm
150001 a 500000	6.5 cm	10.0 cm
500001 a 2000000	7.5 cm	15.0 cm
2000001 a 7000000	9.0 cm	15.0 cm
>7000000	10.0 cm	15.0 cm

Fuente: Diseño de Estructura de Pavimentos 1993, AASHTO

El W18 del proyecto al ser superior a 7000000 de acuerdo con la tabla establece un espesor mínimo para la carpeta asfáltica de 10cm y para la capa base un espesor de 15cm.

3.1.6.2. Diseño 1 – Subrasante sin material Estabilizante

El primer diseño de pavimento flexible se realiza con suelo de subrasante natural, con un CBR de 10.40% correspondiente a la parroquia de Montalvo. Para el cálculo de espesores se hace uso de una hoja de Excel (Diseño de Pavimento Flexible AASHTO 93) y un programa adicional (Ecuación AASHTO) para encontrar el valor (SN).

Datos del Proyecto:

Tabla 37: DISEÑO 1 - Parámetros

DISEÑO 1	
PARÁMETROS DE DISEÑO	VALORES
Periodo de análisis	20 años
Ejes equivalentes, W18	13673951
Nivel de confiabilidad (R)	80%
Desviación Estándar Normal (Zr)	-0.841
Desviación Estándar Global (So)	0.45
Serviciabilidad Inicial	4.2
Serviciabilidad Final	2.5
Coeficiente de drenaje, base (m2)	0.9
Coeficiente de drenaje, subbase (m3)	0.9
CBR de Subrasante	10.40%
Módulo resiliente de la Subrasante	13747 psi ó (13.75 ksi)
Coeficiente estructural de la Carpeta Asfáltica (a1)	0.42
Módulo de elasticidad de la Carpeta Asfáltica	430000 psi ó (430 ksi)
Coeficiente estructural de la base (a2)	0.134
Módulo de elasticidad de la base	29000 psi ó (29 ksi)
Coeficiente estructural de la subbase (a3)	0.12
Módulo de elasticidad de la subbase	17000 psi ó (17 ksi)

Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

Figura 45: DISEÑO 1 - Cálculo de (SN) programa AASHTO 93

The screenshot shows a software window titled "Ecuación AASHTO 93". It contains several input sections:

- Tipo de Pavimento:** Radio buttons for "Pavimento flexible" (selected) and "Pavimento rígido".
- Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So):** A dropdown menu showing "80 % Zr=-0.841" and a text box for "So" with the value "0.45".
- Serviciabilidad inicial y final:** Text boxes for "PSI inicial" (4.2) and "PSI final" (2.5).
- Módulo resiliente de la subrasante:** A text box for "Mr" with the value "13747 psi".
- Información adicional para pavimentos rígidos:** Four empty text boxes for "Módulo de elasticidad del concreto - E_c (psi)", "Módulo de rotura del concreto - S_c (psi)", "Coeficiente de transmisión de carga - (J)", and "Coeficiente de drenaje - (Cd)".
- Tipo de Análisis:** Radio buttons for "Calcular SN" (selected) and "Calcular W18".
- Número Estructural:** A text box showing "SN = 3.93".
- Calculated W18:** A text box showing "W18 = 13673951".
- Buttons:** "Calcular" and "Salir".

Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

Tabla 38: DISEÑO 1 - Diseño de Pavimento Flexible AASHTO 93

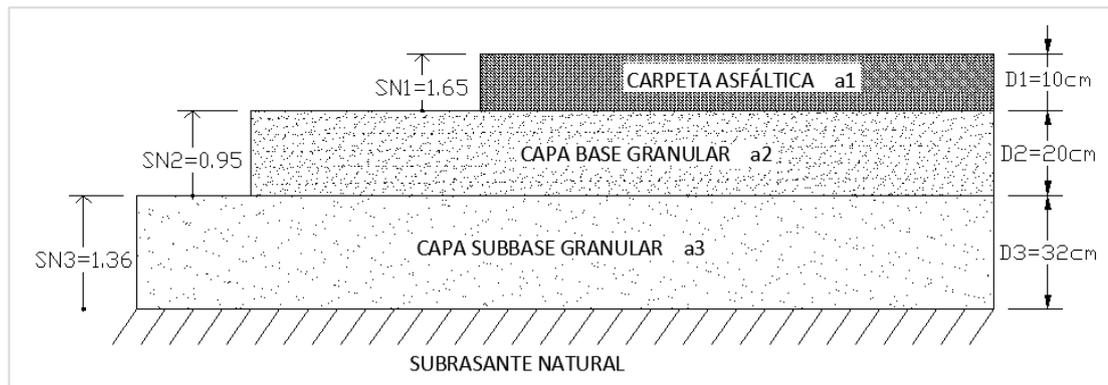
DATOS DE ENTRADA :			
1. CARACTERISTICAS DE MATERIALES			DATOS
A. MODULO DE ELASTICIDAD DE LA MEZCLA ASFALTICA (ksi)			430.00
B. MODULO DE ELASTICIDAD DE LA BASE GRANULAR (ksi)			29.00
C. MODULO DE ELASTICIDAD DE LA SUB-BASE (ksi)			17.00
2. DATOS DE TRAFICO Y PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE			
A. NUMERO DE EJES EQUIVALENTES TOTAL (W18)			13 673 951
B. FACTOR DE CONFIABILIDAD (R)			80%
DESVIACION ESTANDAR NORMAL (Zr)			-0.841
DESVIACION ESTANDAR GLOBAL (So)			0.45
C. MODULO DE RESILIENCIA DE LA SUBRASANTE (Mr, ksi)			13.75
D. SERVICIABILIDAD INICIAL (pi)			4.2
E. SERVICIABILIDAD FINAL (pt)			2.5
F. PERIODO DE DISEÑO (Años)			20
3. DATOS PARA ESTRUCTURACION DEL REFUERZO			
A. COEFICIENTES ESTRUCTURALES DE CAPA			
Concreto Asfáltico Convencional (a ₁)			0.420
Base granular (a ₂)			0.134
Subbase (a ₃)			0.120
B. COEFICIENTES DE DRENAJE DE CAPA			
Base granular (m ₂)			0.900
Subbase (m ₃)			0.900
DATOS DE SALIDA :			
NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO TOTAL (SN _{REQ})	3.93		
NUMERO ESTRUCTURAL CARPETA ASFALTICA (SN _{CA})	2.96		
NUMERO ESTRUCTURAL BASE GRANULAR (SN _{BG})	0.67		
NUMERO ESTRUCTURAL SUB BASE (SN _{SB})	0.30		
ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO			
		PROPUESTA	
	TEORICO	ESPESOR	SN*
ESPESOR CARPETA ASFALTICA (cm)	17.9 cm	10.0 cm	1.65
ESPESOR BASE GRANULAR (cm)	14.1 cm	20.0 cm	0.95
ESPESOR SUB BASE GRANULAR (cm)	7.1 cm	32.0 cm	1.36
ESPESOR TOTAL (cm)		62.0 cm	3.96
DISEÑADO POR : Kevin Adrian Celi Yanchapanata			<i>fm</i>

Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanata

Con una muestra natural de suelo de subrasante (sin el material estabilizante), con un CBR de 10.40% los espesores calculados de la estructura de pavimento son:

- Carpeta Asfáltica: 10cm.
- Base Granular: 20cm.
- Subbase Granular: 32cm.

Figura 46: DISEÑO 1 - Espesores de las capas del Pavimento



Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

3.1.6.3. Diseño 2: Subrasante con material Estabilizante

El segundo diseño de pavimento flexible se realiza con suelo de subrasante modificada con el material estabilizante (7.8% de finos de PET/PP/PE), con un CBR de 16.30% correspondiente a la parroquia de Montalvo. Para el cálculo de espesores se hace uso de una hoja de Excel (Diseño de Pavimento Flexible AASHTO 93) y un programa adicional (Ecuación AASHTO) para encontrar el valor (SN).

Datos del Proyecto:

Tabla 39: DISEÑO 2 - Parámetros

DISEÑO 2	
PARÁMETROS DE DISEÑO	VALORES
Periodo de análisis	20 años
Ejes equivalentes, W18	13673951
Nivel de confiabilidad (R)	80%
Desviación Estándar Normal (Zr)	-0.841
Desviación Estándar Global (So)	0.45
Serviciabilidad Inicial	4.2
Serviciabilidad Final	2.5
Coefficiente de drenaje, base (m2)	0.9
Coefficiente de drenaje, subbase (m3)	0.9
CBR de Subrasante	16.30%
Módulo resiliente de la Subrasante	18405 psi ó (18.405 ksi)
Coefficiente estructural de la Carpeta Asfáltica (a1)	0.42
Módulo de elasticidad de la Carpeta Asfáltica	430000 psi ó (430 ksi)
Coefficiente estructural de la base (a2)	0.134
Módulo de elasticidad de la base	29000 psi ó (29 ksi)
Coefficiente estructural de la subbase (a3)	0.12
Módulo de elasticidad de la subbase	17000 psi ó (17 ksi)

Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

Figura 47: DISEÑO 2 - Cálculo de (SN) programa AASHTO 93

The screenshot shows the 'Ecuación AASHTO 93' software interface. It is a window with a title bar and standard window controls. The interface is divided into several sections:

- Tipo de Pavimento:** Radio buttons for 'Pavimento flexible' (selected) and 'Pavimento rígido'.
- Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So):** A dropdown menu showing '80 % Zr=-0.841' and a text box for 'So' with the value '0.45'.
- Serviciabilidad inicial y final:** Text boxes for 'PSI inicial' (4.2) and 'PSI final' (2.5).
- Módulo resiliente de la subrasante:** A text box for 'Mr' with the value '18405 psi'.
- Información adicional para pavimentos rígidos:** Four empty text boxes for 'Módulo de elasticidad del concreto - Ec (psi)', 'Módulo de rotura del concreto - Sc (psi)', 'Coeficiente de transmisión de carga - [J]', and 'Coeficiente de drenaje - [Cd]'.
- Tipo de Análisis:** Radio buttons for 'Calcular SN' (selected) and 'Calcular W18'. Below 'Calcular SN' is a text box for 'W18 =' with the value '13673951'.
- Número Estructural:** A text box for 'SN =' with the value '3.52'.
- Buttons:** 'Calcular' and 'Salir' buttons at the bottom.

Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

Tabla 40: DISEÑO 2 - Diseño de pavimento Flexible AASHTO 93

DATOS DE ENTRADA :			
1. CARACTERISTICAS DE MATERIALES			DATOS
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
2. DATOS DE TRAFICO Y PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE			
A. NUMERO DE EJES EQUIVALENTES TOTAL (W18)			13 673 951
B. FACTOR DE CONFIABILIDAD (R)			80%
DESVIACION ESTANDAR NORMAL (Zr)			-0.841
DESVIACION ESTANDAR GLOBAL (So)			0.45
C. MODULO DE RESILIENCIA DE LA SUBRASANTE (Mr, ksi)			18.41
D. SERVICIABILIDAD INICIAL (pi)			4.2
E. SERVICIABILIDAD FINAL (pt)			2.5
F. PERIODO DE DISEÑO (Años)			20
3. DATOS PARA ESTRUCTURACION DEL REFUERZO			
A. COEFICIENTES ESTRUCTURALES DE CAPA			
Concreto Asfáltico Convencional (a1)			0.420
Base granular (a2)			0.134
Subbase (a3)			0.120
B. COEFICIENTES DE DRENAJE DE CAPA			
Base granular (m2)			0.900
Subbase (m3)			0.900
DATOS DE SALIDA :			
NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO TOTAL (SN _{REQ})	3.52		
NUMERO ESTRUCTURAL CARPETA ASFALTICA (SN _{CA})	2.96		
NUMERO ESTRUCTURAL BASE GRANULAR (SN _{BG})	0.67		
NUMERO ESTRUCTURAL SUB BASE (SN _{SB})	-0.11		
ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO			
		PROPUESTA	
	TEORICO	ESPESOR	SN*
ESPESOR CARPETA ASFALTICA (cm)	17.9 cm	10.0 cm	1.65
ESPESOR BASE GRANULAR (cm)	14.1 cm	18.0 cm	0.85
ESPESOR SUB BASE GRANULAR (cm)	-2.6 cm	25.0 cm	1.06
ESPESOR TOTAL (cm)		53.0 cm	3.57
DISEÑADO POR : Kevin Adrian Celi Yanchapanta			<i>fm</i>

Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

Para el cálculo de espesor del mejoramiento de subrasante, se realiza una diferencia de los SN del diseño 1 y 2 que corresponderá al SN4, con este valor se procede a calcular usando la fórmula propuesta por la AASHTO, donde el valor de drenaje (m4) será considerando el mismo que el de las capas anteriores y el coeficiente estructural (a4) se tomará de la siguiente tabla [47].

Tabla 41: Coeficientes recomendados para subrasante mejorada

Coeficiente estructural de la capa subrasante mejorada (a4)	Condición para remplazar
0.024	La subrasante muy pobre y pobre, por una subrasante regular con CBR 6 - 10%
0.030	La subrasante muy pobre y pobre, por una subrasante buena con CBR 11 - 19%
0.037	La subrasante muy pobre y pobre, por una subrasante muy buena con CBR $\geq 20\%$
0.035	La subrasante muy pobre y pobre a una subrasante regular, con la adición mínima de 3% de cal en peso de suelo.

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

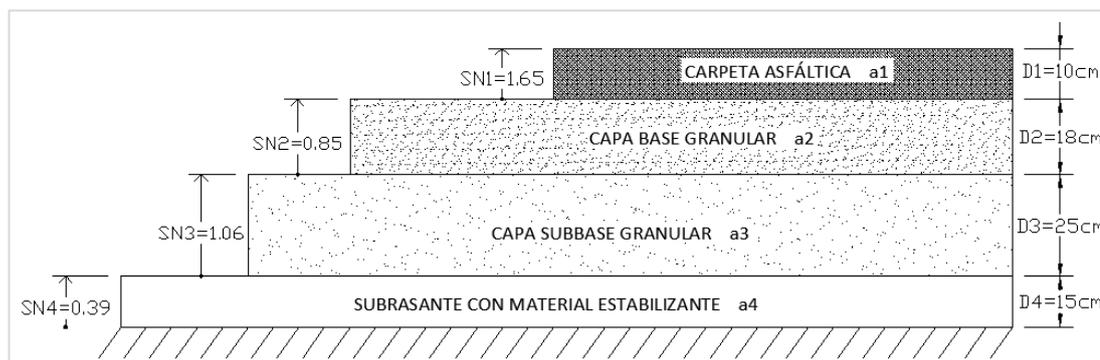
$$E = \frac{\Delta SN}{a4 * m4} = \frac{SN_{DISEÑO 1} - SN_{DISEÑO 2}}{0.030 * 0.9}$$

$$E = \frac{3.96 - 3.57}{0.030 * 0.9} = 14.44cm \cong 15cm$$

Muestra de suelo de subrasante modificada (con el material estabilizante) con un CBR de 16.30% y la inclusión del 7.8% de finos de (PET/PP/PE) a su muestra seca, los espesores calculados de la estructura de pavimento son:

- Carpeta Asfáltica: 10cm.
- Base Granular: 18cm.
- Subbase Granular: 25cm.
- Mejoramiento de Subrasante: 15cm.

Figura 48: DISEÑO 2 – Espesores de las capas del Pavimento



Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

3.1.6.4. Análisis del Diseño 1 y Diseño 2

Los cálculos realizados para la determinación de los espesores de las capas del pavimento tanto para el diseño 1 como para el diseño 2 dieron como resultado una variante entre la capa base granular y subbase granular, permitiendo de esta manera determinar una diferencia de espesores entre las capas de ambos diseños.

Tabla 42: Comparación de Espesores

Capas	Diseño 1 (cm)	Diseño 2 (cm)
Carpeta Asfáltica	10	10
Base granular	20	18
Subbase granular	32	25
Total	62	53

Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

Para el diseño 1 que se trata de una estructura de pavimento con CBR de subrasante sin modificación se alcanzó un espesor de 62cm, a diferencia de la estructura del diseño 2 que se realizó con un CBR de subrasante modificada cuya modificación se lo realizó con la inclusión de finos de (PET/PP/PE) a su muestra, que le permitió alcanzar un espesor menor al del diseño 1, el espesor calculado para el diseño 2 es de 53cm.

Pudiéndose notar una diferencia de 9cm entre ambos diseños, donde la subrasante estabilizada permitió una reducción de espesores en las capas base y subbase.

3.1.7. Análisis Económico

El presupuesto analizado para los dos diseños de pavimento está enfocado en las capas: carpeta asfáltica, base clase II, subbase clase III y mejoramiento de la subrasante, estos rubros no incluyen su transporte. En donde se compara el coste económico entre estas capas y cómo la diferencia de espesores influye directamente en su costo.

Para el análisis de precios unitarios de este proyecto, se tomó como referencia los APU's del proyecto "Construcción del intercambiador Zamora – La Espe L=169m" [48]. En el apartado Anexos de análisis económico se encuentra detallado el rubro y la cuantificación de cada capa.

A continuación, se muestra el presupuesto de cada diseño de pavimento y una gráfica comparativa. Para el cual se tomó como referencia una distancia de 1km y un ancho de 7.30m correspondiente a 3.65m por cada carril. El presupuesto del diseño 1 no cuenta con el rubro de mejoramiento de subrasante debido a que se toma en consideración que la subrasante está debidamente compacta y cuenta con un CBR de 10.40% valor obtenido en laboratorio, a partir de este valor se mejorará la subrasante con el material estabilizante (finos de PET/PP/PE) a un valor de CBR de 16.30%.

Tabla 43: Diseño 1 - Presupuesto

DISEÑO 1 - PRESUPUESTO					
RUBRO N°	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
1	Capa de rodadura de hormigón asfáltico mezclado en planta de e= 10cm.	m2	7300.00	10.74	78402.00
2	Base clase II	m3	1460.00	11.02	16089.20
3	Subbase clase III	m3	2336.00	8.62	20136.32
TOTAL					114627.52

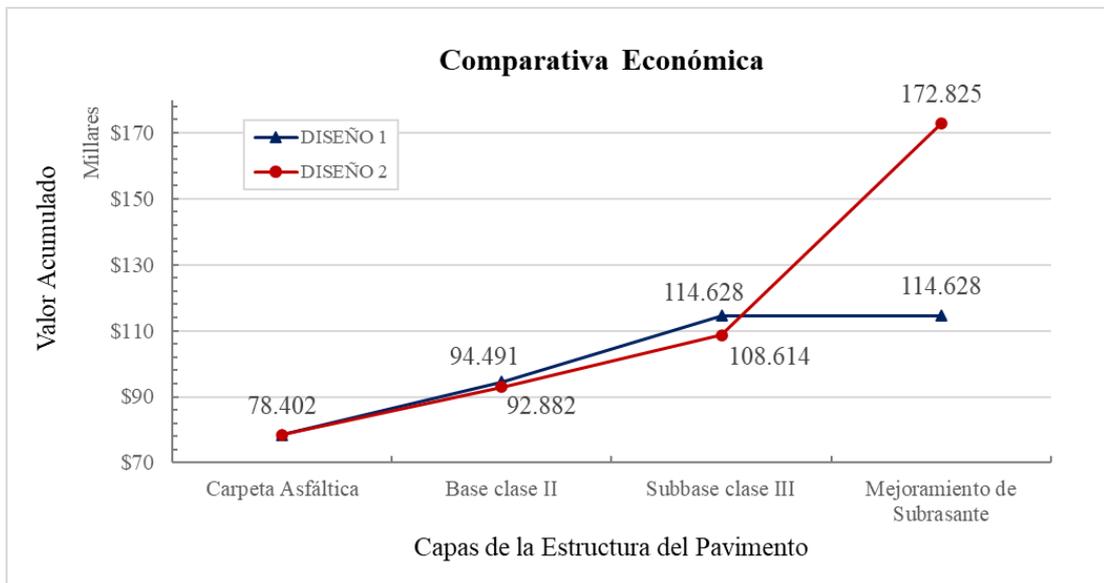
Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

Tabla 44: Diseño 2 - Presupuesto

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	7300.00	10.74	78402.00
2	Base clase II	m3	1314.00	11.02	14480.28
3	Subbase clase III	m3	1825.00	8.62	15731.50
				+	TOTAL
					108613.78
4	Mejoramiento de la Subrasante con material seleccionado (FINOS de PET/PP/PE)	m3	1 095.00	58.64	64210.80
					TOTAL
					172824.58

Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

Figura 49: Comparativa Económica



Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

En esta gráfica comparativa entre subrasante estabilizada (diseño 2) y sin estabilizar (diseño 1) se tiene como resultado una variación de precio. Evidenciando de esta manera que los espesores afectan directamente al costo del proyecto. Esta gráfica es analizada bajo el criterio de 2 escenarios.

En el primer escenario se analizó el costo comparativo entre las 3 capas: carpeta asfáltica, base clase II, subbase clase III. En la carpeta asfáltica el costo monetario tiene un mismo valor debido a que su espesor es de 10 cm. En la siguiente capa correspondiente a la base clase II se tiene ya una variación de precio entre el diseño 1 y el diseño 2, con una diferencia de \$1609, determinando hasta el momento que el

diseño 2 es más económico. Inmediatamente continúa y suprime con la capa subbase clase III en donde se puede seguir evidenciando una diferencia en el valor económico que indica que el diseño 2 sigue siendo más económico en comparación al diseño 1, debido a la reducción del espesor en esta capa. Comparando estas 3 capas entre ambos diseños se tiene un ahorro económico de 6014 dólares.

Para el segundo escenario se incluirá una capa adicional al presupuesto del diseño 2 que es el mejoramiento de la subrasante con material seleccionado (Finos de PET/PP/PE). Hasta el momento el análisis económico favorece al diseño 2 (subrasante estabilizada) sin embargo, este escenario cambia radicalmente al momento de la inclusión de finos de PET/PP/PE al suelo elevando el precio de \$108614 a los \$172825, provocando un sobreprecio económico de 58197 dólares en comparación con el diseño 1. Este valor se eleva en la subrasante debido al costo por kilogramo del material estabilizador.

De esta manera como resultado de este análisis se evidencia que el diseño 2 (estabilizado) es más económico que el diseño 1 (sin estabilizar) en comparación de sus 3 capas (carpeta asfáltica, base, subbase) sin embargo, la inclusión de finos de PET/PP/PE a la subrasante para estabilizarla eleva su precio dándole un giro económico a esta comparativa, resultando más económico el diseño 1.

3.2. Verificación de Hipótesis

3.2.1. En base al ensayo de CBR realizado a las muestras de suelo de las parroquias de Montalvo, Juan Benigno Vela e Izamba se afirma que al añadir Finos de Tereftalato de Polietileno (PET), Polipropileno (PP) y Polietileno (PE) a la muestra de suelo su valor de resistencia al esfuerzo cortante se incrementa.

- Montalvo, CBR de 10.30% a 16.30%
- Juan Benigno Vela, CBR de 15.40% a 17.20%
- Izamba, CBR de 10.40% a 13.40%

3.2.2. Al realizar el diseño de pavimento flexible con suelo de subrasante estabilizada y otro con suelo de subrasante sin estabilizar se determinó que el diseño basado en subrasante estabilizada con finos de (PET/PP/PE) permitió la reducción de los espesores de las capas de la estructura del pavimento, aceptando de esta manera la hipótesis planteada.

- Carpeta Asfáltica de 10cm a 10cm.
- Base granular de 20cm a 18cm.
- Subbase granular de 32cm a 25cm.

3.2.3. De acuerdo al análisis económico comparativo entre los diseños de pavimentos con subrasante estabilizada y sin estabilizar, se consiente que existe un ahorro económico debido a la reducción de espesores de las capas (carpeta asfáltica, base y subbase), sin embargo el uso del material estabilizante para el mejoramiento de la subrasante genera un sobreprecio, aceptando de esta manera que el uso de Finos de (PET/PP/PE) para la estabilización de la subrasante no genera un ahorro económico en la construcción de carreteras, por la cual se da como fallida esta hipótesis.

- Ahorro generado por la reducción de espesores de las capas (carpeta asfáltica, base y subbase): \$6014.
- Sobreprecio generado por la estabilización de subrasante con Finos de (PET/PP/PE): \$58197.

CAPÍTULO IV

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- 4.1.1. Se concluye que al añadir finos de Tereftalato de Polietileno (PET), Polipropileno (PP) y Polietileno (PE) a la subrasante natural el valor de CBR incrementa hasta un 6.9%, consiguiendo de esta manera una estabilización de la subrasante de hasta el 57%.
- 4.1.2. La extracción de muestras representativas pertenecientes a las parroquias Montalvo, Juan Benigno Vela e Izamba dentro del cantón Ambato, se ejecutó con éxito a una profundidad de 60cm simulando la subrasante.
- 4.1.3. En base a el contenido de humedad obtenido de las muestras de Montalvo (3.5%), Juan Benigno Vela (27.1%) e Izamba (4.4%), se concluye que el suelo de Juan Benigno Vela contiene una mayor cantidad de agua en su masa.
- 4.1.4. Se analizó la densidad seca del suelo in situ y la densidad seca máxima, teniendo como resultado un grado de compactación por debajo del requerido, definiendo que las muestras extraídas en campo no alcanzan el porcentaje necesario (95%) para la construcción de carreteras.
- 4.1.5. Se concluye que los resultados de gravedad específica analizados en laboratorio de las 3 muestras de suelo representativas de las parroquias del cantón Ambato, se encuentran en la categoría de suelos granulares con material orgánico.
- 4.1.6. Se determinó que la combinación de Finos de Tereftalato de Polietileno (PET), Polipropileno (PP) y Polietileno (PE) en base al análisis realizado en laboratorio dio como resultado una gravedad específica de 1.302, valor que se encuentra por debajo de las muestras de suelo analizadas.

- 4.1.7. Se determinó que las 3 muestras representativas se encuentran en la clasificación de suelos no plásticos, por tener un índice de plasticidad por debajo del 3%.
- 4.1.8. Por granulometría se estableció que las muestras de Montalvo, Juan Benigno Vela e Izamba son suelos de partículas gruesas clasificándolos como arenas limosas (SM)(A-2-4). Es decir, se trata de suelos granulares.
- 4.1.9. Se concluye que la densidad seca máxima y el contenido de humedad óptimo obtenido del Proctor modificado para las muestras de las 3 parroquias disminuye a medida que se incorpora consecutivamente el 3%, 6%, 9%, 12% y 15% de Finos de PET/PP/PE a la masa del suelo. A razón de que este material de tipo plástico en conjunto con la masa de suelo contribuye a la reducción de estos dos parámetros.
- 4.1.10. En base a los valores de CBR obtenidos de la subrasante se determinó que para estabilizar un suelo (SM) se debe añadir entre 3.6% a 7.8% de finos de Tereftalato de Polietileno (PET), Polipropileno (PP) y Polietileno (PE) a su muestra seca con relación al peso. Fijando un porcentaje de Finos de PET/PP/PE del 7.8% para Montalvo, 4.2% para Juan Benigno Vela y 3.6% para Izamba.
- 4.1.11. Se concluye que con un valor de CBR de subrasante estabilizada con finos de PET/PP/PE se logra una reducción de espesores en las capas de la estructura de pavimento flexible (base, subbase y carpeta asfáltica) con relación a una subrasante sin el material estabilizador.
- 4.1.12. El análisis técnico - económico estableció que la estabilización con finos de PET/PP/PE técnicamente es muy favorable debido a que incrementa el valor de CBR de la subrasante, pero económicamente no es recomendable ya que, a pesar de existir un ahorro monetario por la reducción de las capas de pavimento, la inclusión de finos de PET/PP/PE a la subrasante genera un sobreprecio al costo total del proyecto.

4.2. Recomendaciones

- 4.2.1. Se recomienda que la extracción de muestras a cielo abierto se lo realice en un mismo día para poder comparar sus propiedades in situ con sus humedades naturales sin influencia de cambios climáticos.
- 4.2.2. Para la realización del ensayo de Cono y Arena se recomienda llevar una balanza calibrada para evitar tener que ir al laboratorio y así ahorrar tiempo en ejecución y transporte.
- 4.2.3. Se recomienda almacenar las muestras extraídas en un lugar protegido la intemperie, así como también realizar el ensayo de humedad natural de forma inmediata a la extracción de la muestra.
- 4.2.4. En el ensayo de gravedad específica al momento de calibrar el picnómetro se recomienda la utilización de hielo para bajar su temperatura y de esta manera empezar a tomar lectura del desde una temperatura baja hacia una temperatura alta.
- 4.2.5. Se recomienda que el uso de finos de Tereftalato de Polietileno (PET), Polipropileno (PP) y Polietileno (PE) para la estabilización de la subrasante no se lo emplee en zonas agrícolas ni cerca de vertientes de agua.
- 4.2.6. Los finos de PET/PP/PE antes de ser utilizados se recomienda que pasen por un proceso de lavado y de esta manera eliminar sustancias perjudiciales al suelo.
- 4.2.7. Por último, se recomienda la recolección de botellas PET y ser llevadas a centros de acopio para su debido tratamiento (Reciclaje).

Referencia Bibliográfica

- [1] I. Varshik Manikanta and S. Roheed Ali, “Sustainable soil stabilization using plastic waste,” *Int. J. Adv. Res.*, 2018.
- [2] K. Singh and A. Mittal, “Soil Stabilisation Using Plastic Waste,” in *Lecture Notes in Civil Engineering*, vol. 32, Springer, 2019, pp. 91–96.
- [3] Y. A. Ramos Gonzales and W. A. Seminario Chira, “Uso de Polímeros PET triturados para mejorar la subrasante del centro poblado la golondrina entre las progresivas 0+000 hasta 1+000 del distrito de Marcavelica – Sullana – Piura,” Cambridge University Press, Cambridge, 2019.
- [4] D. Rosales Hurtdo, “Mejoramiento de suelos expansivos mediante inclusion de fibras,” Universidad Autónoma de Querétaro, 2014.
- [5] W. Á. Botía Diaz, “MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CÁLCULO,” 2015.
- [6] ENCADOR, “RECYPET,” *Botellas Recicladas*, 2013. [Online]. Available: <https://www.enkador.com/products-and-solutions/pet.html>.
- [7] INTERBITUMEN, “P A V I M E N T O S,” *Registro tecnico de Materiales*, 2018. [Online]. Available: <http://www.registrocdt.cl/registrocdt/www/admin/uploads/docTec/Pavimentos.pdf>.
- [8] LanammeUCR, “Determinación del índice de soporte de california (CBR).” [Online]. Available: <http://www.lanamme.ucr.ac.cr/sitio-nuevo/images/ensayos/5-geotecnia/5.10.pdf>.
- [9] A. Medina and P. Terán, “Quito desecha 100 toneladas de plastico al día,” *El Comer.*, no. I, p. 1, 2018.
- [10] E. Juárez Badillo and A. Rico Rodríguez, *Mecánica de suelos: Fundamentos de*

la mecánica de suelos, 3a ed. 1999.

- [11] “El suelo-epidermis viva de la Tierra,” *International Union of Soil Sciences*, 2008.
- [12] C. Kraemer, J. M. Pardillo, S. Rocci, M. Romana, V. Sánchez, and M. Á. Del Val, *Ingeniería de carreteras*, 1º, Vol II. Madrid: McGRAW-HILL, 2004.
- [13] ISRIC, “La asombrosa diversidad de los suelos.” [Online]. Available: https://www.isric.org/discover/about_soils/amazing-diversity-of-soils.
- [14] J. Ibáñez, “Suelos Zonales, Azonales e Intrazonales,” *Fundación para el conocimiento de Madrid*, 2006. [Online]. Available: <https://www.madrimasd.org/blogs/universo/2006/10/15/46305>.
- [15] A. Rico Rodríguez and H. Del Castillo, *La ingeniería de suelos en las vías terrestres: carreteras, ferrocarriles y aeropistas*, Mexico Lim., vol. 1. Mexico, 1974.
- [16] (Facultad de Arquitectura), “Criterios Estructurales,” Nuevo León, 2020.
- [17] V. Lucio Cruz, “Tipos de Suelos desde el punto de vista de la mecánica de suelos Estructura del suelo,” Cauca, 2008.
- [18] I. Castillo, “Suelos del Ecuador: Características, Tipos, Usos,” *Lifeder*, 2019. [Online]. Available: <https://www.lifeder.com/suelos-del-ecuador/>.
- [19] ““ Vulnerabilidad Vial En Función De Los Riesgos,” Universidad Técnica de Ambato, 2011.
- [20] A. Montejó Fonseca, *Ingeniería de Pavimentos*, 3º. Bogotá D.C, 2010.
- [21] F. Moreira, “Pavimentos,” Ambato, 2018.
- [22] MTOP, *Especificación Generales para la Construcción de Caminos y Puentes*. Ecuador, 2002, p. 772.
- [23] Ministerio de Transporte y Obras Públicas, *Norma Para Estudios Viales Y*

Diseño Viales, vol. 2A. 2013.

- [24] UNPRF, “Ensayo para determinar la densidad de los suelos en el campo por el método de cono y arena,” *Pavimentos 2015*, 2015. [Online]. Available: <https://es.slideshare.net/edumic/densidad-in-situmtodo-del-cono-de-arena>.
- [25] J. Sinche and J. Zevallos, “INFLUENCIA DE LAS ESCAMAS DE TEREFTALATO DE POLIETILENO (FLAKE PET) EN EL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE LOS SUELOS ARENO-LIMOSOS DEL DISTRITO DE LA MOLINA,” Escuela Profesional de Ingeniería Civil, 2019.
- [26] ASTM, *Determinación del contenido de agua en suelos y rocas*. UNITED STATE, 2010, p. 10.
- [27] FAO, “PERMEABILIDAD DEL SUELO,” *Food and Agriculture Organization*, 2009. [Online]. Available: http://www.fao.org/tempref/FI/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s09.htm#top.
- [28] A. Valdés, “DURABILIDAD DEL CONCRETO: CONCEPTOS Y SOSTENIBILIDAD,” *Hormigones Especiales*, 2017. [Online]. Available: <http://www.hormigonespecial.com/blog/?p=349>.
- [29] T. López-Lara, J. Hernández-Zaragoza, J. Horta-Rangel, V. Castaño-Meneses, and A. Coronado-Márquez, “Polímeros para la estabilización volumétrica de arcillas expansivas,” *Rev. Iberoam. Polímeros*, vol. 11, no. 3, pp. 159–168, 2010.
- [30] PlasticsEurope, “¿Qué es el plástico?” [Online]. Available: <https://www.plasticseurope.org/es/about-plastics/what-are-plastics>.
- [31] ONU, “Los microplásticos también están contaminando nuestros suelos,” 2018. [Online]. Available: <https://www.unenvironment.org/es/noticias-y-reportajes/reportajes/los-microplasticos-tambien-estan-contaminando-nuestros-suelos#:~:text=Efectos tóxicos,especies que beben el agua>.

- [32] A. Rodríguez, “Los microplásticos también contaminan nuestros suelos: es hora de actuar,” *The Conversation*, 2018. [Online]. Available: <https://theconversation.com/los-microplasticos-tambien-contaminan-nuestros-suelos-es-hora-de-actuar-107334>.
- [33] Curiosoando, “¿Cuánto tarda en degradarse una botella de plástico?,” 2016. [Online]. Available: <https://curiosoando.com/cuanto-tarda-en-degradarse-una-botella-de-plastico>.
- [34] AQUAE Fundación, “¿Cuál es el tiempo de degradación de los residuos inorgánicos?” [Online]. Available: <https://www.fundacionaquae.org/cuanto-tiempo-tardan-degradarse-desechos/#:~:text=En resumen%2C 150 años es,tardar 1.000 años en desaparecer>.
- [35] E. Bordón, “Propiedades del plástico,” *abc*, 2012. [Online]. Available: <https://www.abc.com.py/edicion-impres/suplementos/escolar/propiedades-del-plastico-407352.html>.
- [36] Concepto, “Polietileno.” [Online]. Available: <https://concepto.de/polietileno/>.
- [37] NCYT, “Hacen de un plástico un buen conductor de calor,” *Noticias de la Ciencia y la Tecnología*, 2018. [Online]. Available: <https://noticiasdelaciencia.com/art/28120/hacen-de-un-plastico-un-buen-conductor-de-calor>.
- [38] SemanaSostenible, “PET un plástico amigable pero no inofensivo,” *Negocios verdes*, 2016. [Online]. Available: <https://sostenibilidad.semana.com/negocios-verdes/articulo/plastico-pet-un-amigable-pero-no-inofensivo/36282>.
- [39] Chemicalsafetyfacts, “Tipos de envases de plástico para alimentos y seguridad,” 2020. [Online]. Available: <https://www.chemicalsafetyfacts.org/es/tipos-de-envases-de-plastico-para-alimentos-y-seguridad-una-mirada-de-cerca/>.
- [40] F. Gómez, Hashimoto, and Masakatsu, “Prepara Compuestos para Molde,” *Plastico*, 2015. [Online]. Available: <https://es.slideshare.net/lalomor2000/caracteristicas-de-polimeros-i>.

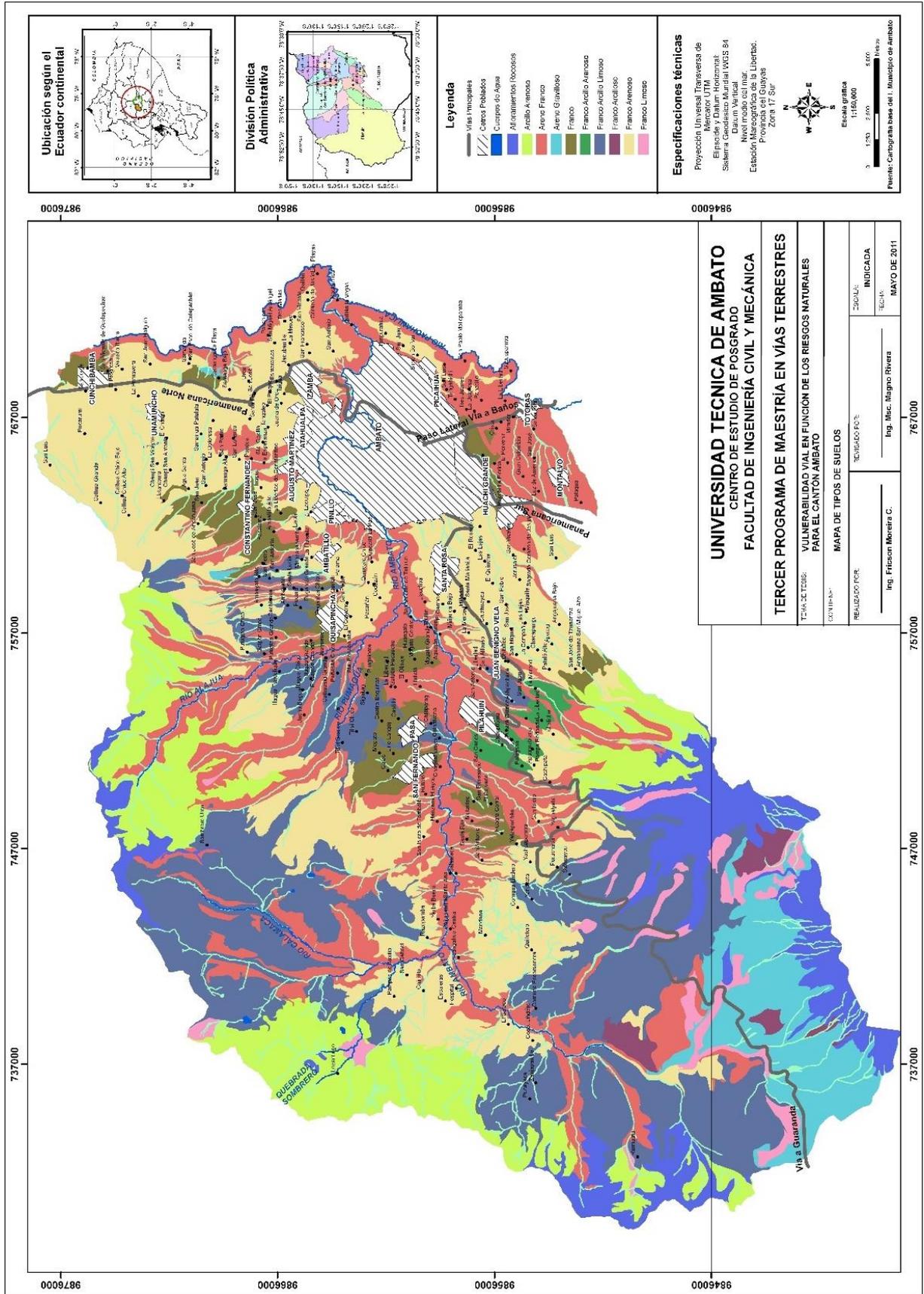
- [41] CIBR, “¿CÓMO ES EL PROCESO DE RECICLADO DE PET?,” 2019. [Online]. Available: <http://www.cibr.es/medio-ambiente-pet-reciclado-preguntas-frecuentes-medio-ambiente-pet-reciclado-preguntas-frecuentes-proceso-de-reciclado-pet>.
- [42] J. E. Bowles, *Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil*, vol. 91, no. 5. Mexico, 1981.
- [43] G. Sowers, *ntroductory Soil Mechanics & Foundations: Geotechnic Engineering*, 4th ed. 1979.
- [44] TAMS and ASTEC, *Normas de Diseño Geometrico de Carreteras*, vol. 2. 2003.
- [45] D. Moya, “Apuentes - Diseño Geométrico de Vías,” Ambato, 2017.
- [46] AASHTO, *Diseño de Pavimentos – AASHTO 93*. 2006.
- [47] M. Montalvo, “Diseño estructural de Pavimentos Hidráulicos y Asfálticos,” 2017. [Online]. Available: <https://es.slideshare.net/TooPalomino/clase-01-suelos-de-subrasante>.
- [48] GAD Provincia de Pichincha and Unidad Técnica de Fijacion de precios unitarios, “Análisis de Precios Unitarios de la Construcción del intercambiador Zamora - La Espe L=169m,” 2018. [Online]. Available: http://www.pichincha.gob.ec/images/acevallos/convocatorias/intercambiador_zamora_espe/apus_intercambiador_giro_izq.pdf.

Anexos

Anexos

C.1. Marco Teórico

Anexo 1: Mapa de Tipos Suelos de Tungurahua



Fuente: Vulnerabilidad vial en función de los riesgos naturales para el cantón Ambato, Fricson Moreira C.

Anexos

C.2. Ensayos de Suelo de la parroquia Montalvo

Anexo 2: Contenido de Humedad

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO						
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA						
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
PROYECTO DE TITULACIÓN						
Proyecto :	Estabilización de suelos granulares de subrasante con finos de tereftalato de polietileno (PET), polipropileno (PP) y polietileno (PE).					
Provincia: Tungurahua	Número de muestra: 1 Representativa					
Cantón: Ambato	Coordenadas: 17 M, 764601.12 ; 9852888.29					
Sector: Montalvo	Tipo: Subrasante					
Fecha: 21/feb/2020	Profundidad: 60 cm					
Norma: AASHTO T265-15 ASTM D2216-10						
DATOS						
HUMEDAD NATURAL						
Símbolo	Muestra	N°	1 Representativa			
<i>R</i>	Recipiente	N°	97	6	42	81
<i>Wh</i>	Rec + Suelo Húmedo	g	122.3	133.0	139.9	125.5
<i>Wrs</i>	Rec + Suelo Seco	g	119.3	129.6	136.3	122.4
<i>Wr</i>	Peso del recipiente	g	33.2	34.6	31.7	30.2
<i>Ww</i>	Peso del agua	g	3.0	3.4	3.6	3.1
<i>Wp</i>	Peso del suelo seco	g	86.1	95.0	104.6	92.2
<i>W</i>	Humedad	%	3.5	3.6	3.4	3.4
Humedad Promedio (%) :			3.5			
FASES DEL SUELO						
Volúmenes (V)	Pesos (W)	Volúmenes	Unidades	Pesos	Unidades	
V _v =	W _v =	43.21	cm ³	-	g	
V _a =	W _a =	39.61	cm ³	0.00	g	
V _w =	W _w =	3.60	cm ³	3.60	g	
V _s =	W _s =	39.47	cm ³	104.60	g	
V _m =	W _m =	82.68	cm ³	108.20	g	
Relación de vacíos $e = V_v/V_s$				1.09	Natural	
Porosidad $n\% = V_v/V_m * 100$				52.26	%	
Grado de Saturación de agua $G_w\% = W_w/V_w * 100$				8.33	%	
Grado de Saturación de aire $G_a\% = V_a/V_v * 100$				91.67	%	
DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO						
El contenido de humedad natural obtenido en este suelo corresponde al valor de 3.5 %.						
REALIZÓ:				REVISÓ:		
Egdo. Kevin Adrian Celi Yanchapanta				Ing. Favio Portilla		

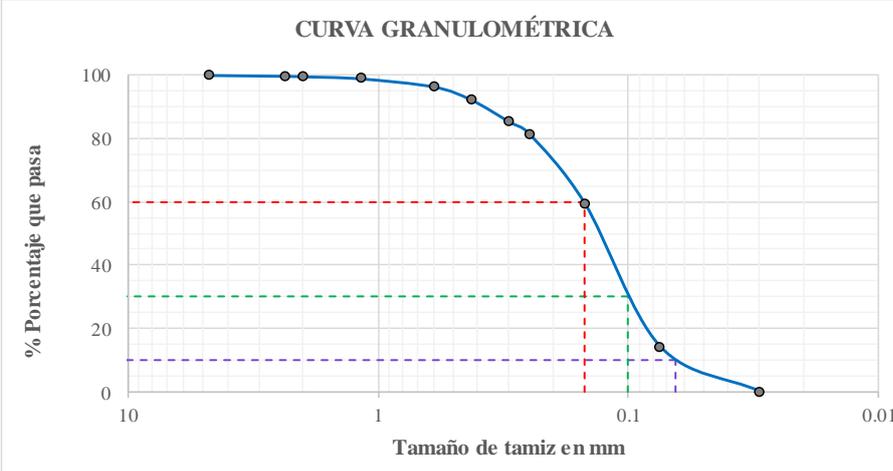
Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

Anexo 3: Densidad Cono y Arena

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN 					
Proyecto :	Estabilización de suelos granulares de subrasante con finos de tereftalato de polietileno (PET), polipropileno (PP) y polietileno (PE).				
Provincia: Tungurahua	Número de muestra: 1 Representativa				
Cantón: Ambato	Coordenadas: 17 M, 764601.12 ; 9852888.29				
Sector: Montalvo	Tipo: Subrasante				
Fecha: 21/feb/2020	Profundidad: 60 cm				
Norma: AASHTO T191-14 ASTM D1556-07					
DATOS					
CONSTANTE DEL CONO Y ARENA					
Símbolo	Ensayo	N°	1	2	3
<i>Mo</i>	Peso total Aparato + Arena	g	6438	6435	6434
<i>Mf</i>	Peso Aparato + Arena restante	g	4807	4843	4833
<i>Cc</i>	Constante del cono y arena	g	1631	1592	1601
	Promedio Constante del cono y arena	g	1608.00		
DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE EXCAVACIÓN					
Símbolo	Muestra	N°	1 Representativa		
<i>MoI</i>	Peso inicial Frasco + Cono + Arena	g	7116.00		
<i>MfI</i>	Peso final Frasco + Cono + Arena	g	2552.00		
<i>Cc</i>	Constante del cono y arena	g	1608.00		
γ	Densidad de la Arena de Ottawa	g/cm ³	1.582		
<i>Ve</i>	Volumen de la excavación	cm ³	1868.52		
CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO					
Símbolo	Muestra	N°	1 Representativa		
<i>W</i>	Humedad	%	3.5		
DETERMINACIÓN DE LA MASA SECA DEL SUELO					
Símbolo	Muestra	N°	1 Representativa		
<i>Wh</i>	Masa del suelo húmedo + recipiente	g	2663.10		
<i>Wr</i>	Peso del recipiente	g	217.90		
<i>Whum</i>	Peso de la masa del suelo húmedo	g	2445.20		
<i>Wseco</i>	Peso de la masa del suelo seco	g	2363.27		
DETERMINACIÓN DENSIDAD HÚMEDA					
Símbolo	Muestra	N°	1 Representativa		
<i>ym</i>	Densidad humedad (Whum/Ve)	g/cm ³	1.309		
DETERMINACIÓN DENSIDAD SECA					
Símbolo	Muestra	N°	1 Representativa		
<i>yd</i>	Densidad seca (Wseco/Ve)	g/cm ³	1.265		
DENSIDAD ALCANZADA EN PROCTOR					
	Densidad máxima Proctor $y_{dm\acute{a}x}$	g/cm ³	1.633		
	Porcentaje de compactación exigido	%	95		
	Porcentaje de compactación alcanzado	%	77.45		
DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO					
- La densidad seca in situ corresponde al valor de 1.265 g/cm ³ y su densidad húmeda es de 1.309 g/cm ³ .					
- El grado de compactación alcanzado in-situ de 77.45 %, NO CUMPLE con el grado de compactación exigido.					
REALIZÓ:			REVISÓ:		
Egdo. Kevin Adrian Celi Yanchapanta			Ing. Favio Portilla		

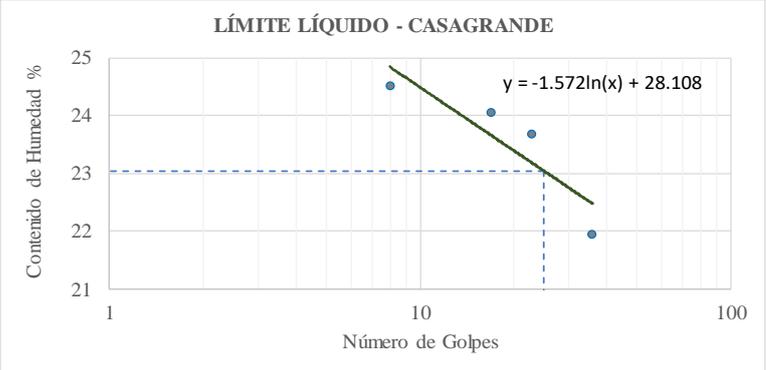
Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

Anexo 4: Granulometría

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN				
Proyecto : Estabilización de suelos granulares de subrasante con finos de tereftalato de polietileno (PET), polipropileno (PP) y polietileno (PE).					
Provincia: Tungurahua Cantón: Ambato Sector: Montalvo Fecha: 02/mar/2020 Norma: AASHTO T 88 2013	Número de muestra: 1 Representativa Coordenadas: 17 M, 764601.12 ; 9852888.29 Tipo: Subrasante Profundidad: 60 cm				
DATOS					
GRANULOMETRÍA					
W INICIAL (gr) =			698.90		
TAMIZ	mm	W _{retenido} (g)	W _{ret.acum} (g)	% _{ret.acum.}	% PASA
# 4	4.75	0.10	0.10	0.01	99.99
# 8	2.36	1.90	2.00	0.29	99.71
# 10	2.00	1.00	3.00	0.43	99.57
# 16	1.18	4.60	7.60	1.09	98.91
# 30	0.60	18.10	25.70	3.68	96.32
# 40	0.425	29.20	54.90	7.86	92.14
# 50	0.30	48.40	103.30	14.78	85.22
# 60	0.250	26.00	129.30	18.50	81.50
# 100	0.150	154.10	283.40	40.55	59.45
# 200	0.075	316.20	599.60	85.79	14.21
# Fuente	0.03	99.30	698.90	100.00	0.00
					
COEFICIENTE DEL SUELO					
D10 (mm)	0.065	Cu= D60 / D10			2.31
D30 (mm)	0.1	Cc= D30 ² /(D60*D10)			1.03
D60 (mm)	0.15	Tamaño Nominal Máximo (TNM) mm			0.425
REALIZÓ:			REVISÓ:		
Egdo. Kevin Adrian Celi Yanchapanta			Ing. Favio Portilla		

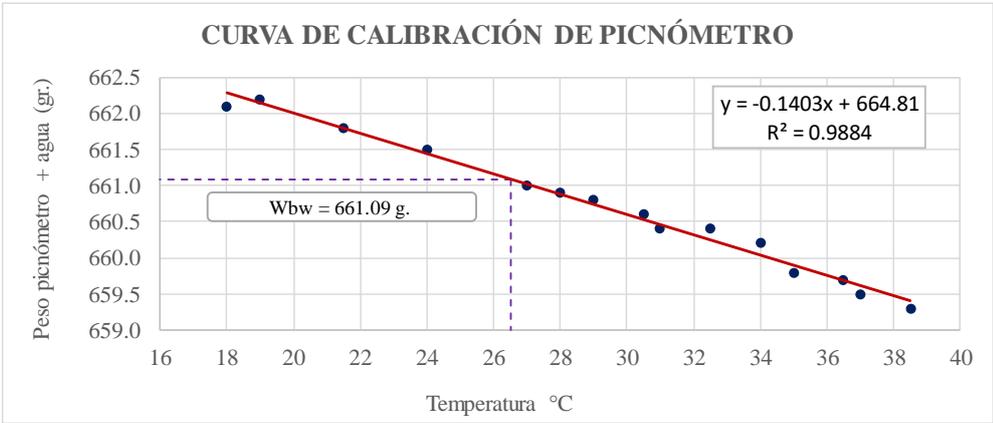
Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

Anexo 5: Límites de Atterberg

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN					
Proyecto : Estabilización de suelos granulares de subrasante con finos de tereftalato de polietileno (PET), polipropileno (PP) y polietileno (PE).						
Provincia: Tungurahua Cantón: Ambato Sector: Montalvo Fecha: 02/mar/2020 Normas: AASHTO T89-13 ASTM D4318-17	Número de muestra: 1 Representativa Coordenadas: 17 M, 764601.12 ; 9852888.29 Tipo: Subrasante Profundidad: 60 cm AASHTO T90-20 ASTM D4318-17					
DATOS						
LÍMITE LÍQUIDO						
# Golpes	# Recipiente	Wr (g)	Whum (g)	Wseco (g)	% w	% W _{PROM}
8	36	11.30	17.10	15.90	26.09	24.50
	04A	11.10	17.00	15.90	22.92	
17	61	11.40	16.20	15.30	23.08	24.04
	68	10.90	17.90	16.50	25.00	
23	42	11.80	18.40	17.10	24.53	23.67
	20	11.30	18.30	17.00	22.81	
36	03A	11.50	16.60	15.70	21.43	21.94
	14	11.10	17.10	16.00	22.45	
Límite líquido (%): 23.05						
LÍMITE LÍQUIDO - CASAGRANDE						
						
LÍMITE PLÁSTICO						
# Recipiente	Wr (g)	Whum (g)	Wseco (g)	% w	% W Prom	
74	10.70	13.10	12.50	33.33	22.02	
1	10.80	12.80	12.40	25.00		
3A	10.70	12.50	12.30	12.50		
3B	10.70	12.50	12.20	20.00		
73	10.40	12.70	12.30	21.05		
LÍMITES DE ATTERBERG						
Limite líquido:		23.05 %				
Limite plástico:		22.02 %				
Índice plástico:		1.03 %				
CLASIFICACIÓN DE SUELO ANALIZADO						
SISTEMA	AASHTO	A-2-4				
	SUCS	SM				
REALIZÓ:				REVISÓ:		
Egdo. Kevin Adrian Celi Yanchapanta				Ing. Favio Portilla		

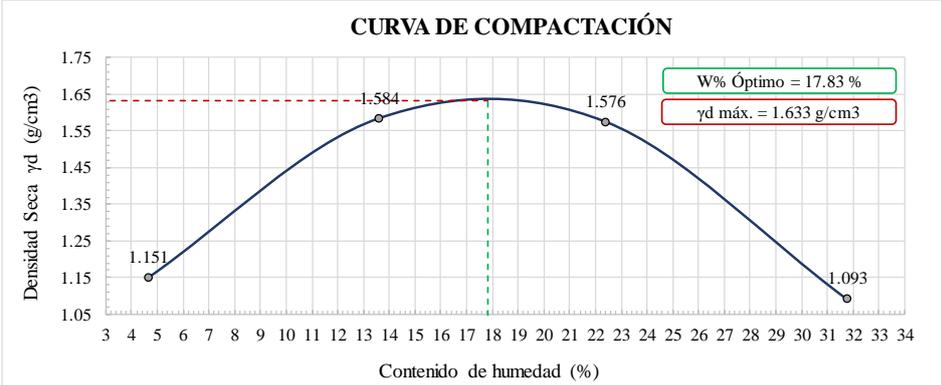
Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

Anexo 6: Gravedad Específica

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN			
			
Proyecto : Estabilización de suelos granulares de subrasante con finos de tereftalato de polietileno (PET), polipropileno (PP) y polietileno (PE).			
Provincia: Tungurahua	Numero de muestra: 1 Representativa		
Cantón: Ambato	Coordenadas: 17 M, 764601.12 ; 9852888.29		
Sector: Montalvo	Tipo: Subrasante		
Fecha: 02/mar/2020	Profundidad: 60 cm		
Norma: AASHTO T100-15 ASTM D854-14			
DATOS			
GRAVEDAD ESPECÍFICA			
Símbolo	Ensayo	N°	1
T_a	Temperatura del agua + suelo	°C	26.5
W_s	Peso del recipiente + suelo seco	g	156.60
W_{rec}	Peso del recipiente	g	106.30
W_p	Peso del suelo seco	g	50.30
W_{bw}	Peso picnómetro + agua	g	661.09
	W_p+W_{bw}	g	711.39
W_{bws}	Peso picnómetro+agua+suelo	g	692.00
D_a	Deslizamiento del agua (W_p+W_{bw}) - W_{bws}	g	19.39
K	Factor de correlación por temperatura (K)	g	0.99844
G_s	Gravedad específica (G_s)	-	2.59
			
DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO			
- En la curva de calibración tenemos que a 26.5 °C, el peso del picnómetro más agua es de 661.09 g.			
REALIZÓ:		REVISÓ:	
Egdo. Kevin Adrian Celi Yanchapanta		Ing. Favio Portilla	

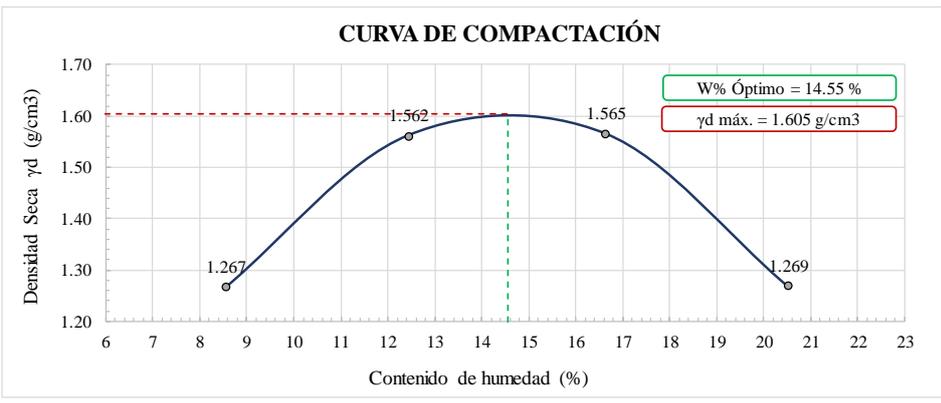
Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

Anexo 7: Proctor Modificado con 0% PET/PP/PE

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN			
Proyecto : Estabilización de suelos granulares de subrasante con finos de tereftalato de polietileno (PET), polipropileno (PP) y polietileno (PE).			
Provincia:	Tungurahua	Numero de muestra:	1
Cantón:	Ambato	Coordenadas:	17 M, 764601.12 ; 9852888.29
Sector:	Montalvo	Tipo:	Subrasante
Fecha:	02/mar/2020	Profundidad:	60 cm
Norma:	AASHTO T180-20 ASTM D1557-12	Finos PET/PP/PE:	0%
DATOS			
ESPECIFICACIONES DEL PROCTOR MODIFICADO - TIPO C			
Número de Golpes:	56	Altura de Caída (in):	18
Número de Capas:	5	Peso del Martillo (lb):	10
Energía de Compactación (lb*ft/ft ³):	55986	Peso del Molde (g.):	6245
Peso Inicial de Muestra:	6000	φ Diámetro interno :	15.2 cm
		h altura :	12.21 cm
		Vol. del Molde:	2215 cm ³
			6000
PROCESO DE COMPACTACIÓN			
Ensayo Número	1	2	3
P. molde+Suelo húmedo (g)	8912	10231	10516
P. suelo húmedo Wm (g)	2667	3986	4271
P. unitario húmedo γm (g/cm ³)	1.204	1.800	1.928
			1.441
DETERMINACIÓN DE CONTENIDOS DE HUMEDAD			
Identificación del recipiente	700	503	18
P. del recipiente (Wrec)	12.10	12.10	11.98
Rec+suelo húmedo (Wrec+Wm)	50.18	45.50	43.65
Rec+suelo seco (Ws + Wm)	48.56	43.95	39.89
Peso sólidos (Ws)	36.46	31.85	27.91
Peso del agua (Ww)	1.62	1.55	3.76
Cont. Humedad (w%)	4.44	4.87	13.47
Cont. Humedad promedio (w%)	4.65		13.61
Densidad Seca γd (g/cm ³)	1.151		1.584
			1.576
			1.093
DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA			
Contenido de Humedad Óptima ω% :		17.83	
Densidad Seca Máxima γd (g/cm ³) :		1.633	
CURVA DE COMPACTACIÓN			
			
DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO			
La máxima densidad seca obtenida de la curva de compactación es de 1.633 g/cm ³ , la cual corresponde a un contenido de humedad óptimo de 17.83 %.			
REALIZÓ:		REVISÓ:	
Egdo. Kevin Adrian Celi Yanchapanta		Ing. Favio Portilla	

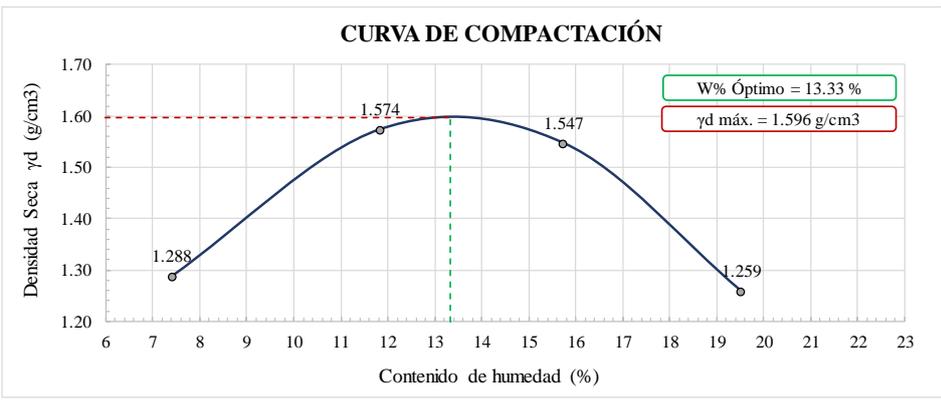
Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

Anexo 8: Proctor Modificado con 3% PET/PP/PE

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN			
Proyecto : Estabilización de suelos granulares de subrasante con finos de tereftalato de polietileno (PET), polipropileno (PP) y polietileno (PE).			
Provincia:	Tungurahua	Numero de muestra:	2
Cantón:	Ambato	Coordenadas:	17 M, 764601.12 ; 9852888.29
Sector:	Montalvo	Tipo:	Subrasante
Fecha:	11/nov/2020	Profundidad:	60 cm
Norma:	AASHTO T180-20 ASTM D1557-12	Finos PET/PP/PE:	3%
DATOS			
ESPECIFICACIONES DEL PROCTOR MODIFICADO - TIPO C			
Número de Golpes:	56	Altura de Caída (in):	18
Número de Capas:	5	Peso del Martillo (lb):	10
Energía de Compactación (lb*ft/ft ³):	55986	Peso del Molde (g.):	6245
Peso Inicial de Muestra:	6000	φ Diámetro interno :	15.2 cm
		h altura :	12.21 cm
		Vol. del Molde:	2215 cm ³
			6000
PROCESO DE COMPACTACIÓN			
Ensayo Número	1	2	3
P. molde+Suelo húmedo (g)	9292	10135	10289
P. suelo húmedo Wm (g)	3047	3890	4044
P. unitario húmedo γm (g/cm ³)	1.376	1.756	1.826
			1.530
DETERMINACIÓN DE CONTENIDOS DE HUMEDAD			
Identificación del recipiente	720	706	XR
P. del recipiente (Wrec)	12.15	12.11	12.08
Rec+suelo húmedo (Wrec+Wm)	45.79	52.16	51.69
Rec+suelo seco (Ws + Wm)	43.05	49.11	47.41
Peso solidos (Ws)	30.90	37.00	35.33
Peso del agua (Ww)	2.74	3.05	4.28
Cont. Humedad (w%)	8.87	8.24	12.11
Cont. Humedad promedio (w%)	8.56		12.44
Densidad Seca γd (g/cm ³)	1.267		1.562
			1.565
			1.269
DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA			
Contenido de Humedad Óptima ω% :		14.55	
Densidad Seca Máxima γd (g/cm ³) :		1.605	
CURVA DE COMPACTACIÓN			
			
DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO			
La máxima densidad seca obtenida de la curva de compactación es de 1.605 g/cm ³ , la cual corresponde a un contenido de humedad óptimo de 14.55 %.			
REALIZÓ:		REVISÓ:	
Egdo. Kevin Adrian Celi Yanchapanta		Ing. Favio Portilla	

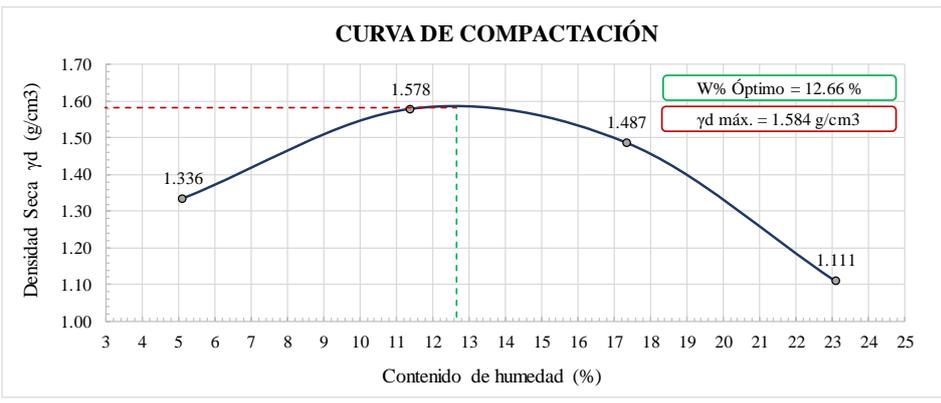
Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

Anexo 9: Proctor Modificado con 6% PET/PP/PE

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN			
Proyecto : Estabilización de suelos granulares de subrasante con finos de tereftalato de polietileno (PET), polipropileno (PP) y polietileno (PE).			
Provincia:	Tungurahua	Numero de muestra:	3
Cantón:	Ambato	Coordenadas:	17 M, 764601.12 ; 9852888.29
Sector:	Montalvo	Tipo:	Subrasante
Fecha:	11/nov/2020	Profundidad:	60 cm
Norma:	AASHTO T180-20 ASTM D1557-12	Finos PET/PP/PE:	6%
DATOS			
ESPECIFICACIONES DEL PROCTOR MODIFICADO - TIPO C			
Número de Golpes:	56	Altura de Caída (in):	18
Número de Capas:	5	Peso del Martillo (lb):	10
Energía de Compactación (lb*ft/ft ³):	55986	Peso del Molde (g.):	6245
		φ Diámetro interno :	15.2 cm
		h altura :	12.21 cm
		Vol. del Molde:	2215 cm ³
Peso Inicial de Muestra:	6000	6000	6000
PROCESO DE COMPACTACIÓN			
Ensayo Número	1	2	3
P. molde+Suelo húmedo (g)	9308	10143	10211
P. suelo húmedo Wm (g)	3063	3898	3966
P. unitario húmedo γm (g/cm ³)	1.383	1.760	1.791
		1.791	1.504
DETERMINACIÓN DE CONTENIDOS DE HUMEDAD			
Identificación del recipiente	ZV	5A	R88
			G
			RT
			61
			199
			GX
P. del recipiente (Wrec)	12.11	11.78	11.78
			11.97
			12.14
			12.02
			12.10
			12.08
Rec+suelo húmedo (Wrec+Wm)	41.37	42.38	40.75
			43.48
			46.86
			46.44
			50.17
			42.55
Rec+suelo seco (Ws + Wm)	39.24	40.39	37.72
			40.11
			42.16
			41.74
			43.86
			37.65
Peso solidos (Ws)	27.13	28.61	25.94
			28.14
			30.02
			29.72
			31.76
			25.57
Peso del agua (Ww)	2.13	1.99	3.03
			3.37
			4.70
			4.70
			6.31
			4.90
Cont. Humedad (w%)	7.85	6.96	11.68
			11.98
			15.66
			15.81
			19.87
			19.16
Cont. Humedad promedio (w%)	7.40		11.83
			15.74
			19.52
Densidad Seca γd (g/cm ³)	1.288		1.574
			1.547
			1.259
DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA			
Contenido de Humedad Óptima ω% :		13.33	
Densidad Seca Máxima γd (g/cm ³) :		1.596	
CURVA DE COMPACTACIÓN			
			
DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO			
La máxima densidad seca obtenida de la curva de compactación es de 1.596 g/cm ³ , la cual corresponde a un contenido de humedad óptimo de 13.33 %.			
REALIZÓ:		REVISÓ:	
Egdo. Kevin Adrian Celi Yanchapanta		Ing. Favio Portilla	

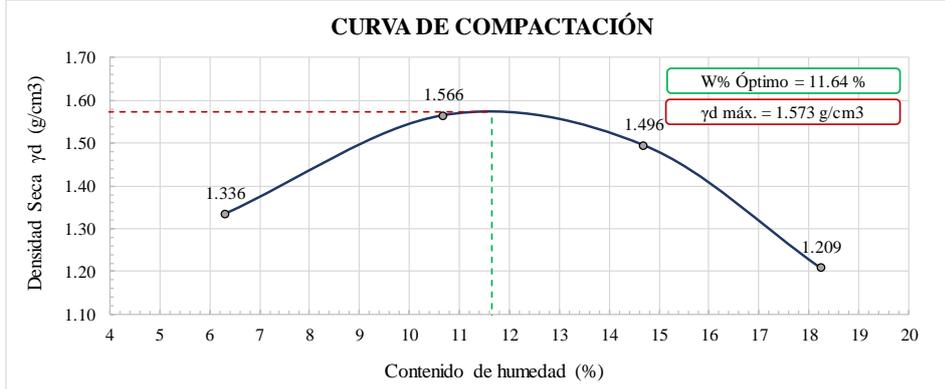
Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

Anexo 10: Proctor Modificado con 9% PET/PP/PE

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN			
Proyecto : Estabilización de suelos granulares de subrasante con finos de tereftalato de polietileno (PET), polipropileno (PP) y polietileno (PE).			
Provincia:	Tungurahua	Numero de muestra:	4
Cantón:	Ambato	Coordenadas:	17 M, 764601.12 ; 9852888.29
Sector:	Montalvo	Tipo:	Subrasante
Fecha:	11/nov/2020	Profundidad:	60 cm
Norma:	AASHTO T180-20 ASTM D1557-12	Finos PET/PP/PE:	9%
DATOS			
ESPECIFICACIONES DEL PROCTOR MODIFICADO - TIPO C			
Número de Golpes:	56	Altura de Caída (in):	18
Número de Capas:	5	Peso del Martillo (lb):	10
Energía de Compactación (lb*ft/ft ³):	55986	Peso del Molde (g.):	6245
		φ Diámetro interno :	15.2 cm
		h altura :	12.21 cm
		Vol. del Molde:	2215 cm ³
Peso Inicial de Muestra:	6000	6000	6000
PROCESO DE COMPACTACIÓN			
Ensayo Número	1	2	3
P. molde+Suelo húmedo (g)	9355	10139	10109
P. suelo húmedo Wm (g)	3110	3894	3864
P. unitario húmedo γm (g/cm ³)	1.404	1.758	1.744
DETERMINACIÓN DE CONTENIDOS DE HUMEDAD			
Identificación del recipiente	74	2500	SI
P. del recipiente (Wrec)	11.98	12.11	12.10
Rec+suelo húmedo (Wrec+Wm)	42.06	46.14	45.24
Rec+suelo seco (Ws + Wm)	40.56	44.52	41.89
Peso sólidos (Ws)	28.58	32.41	29.79
Peso del agua (Ww)	1.50	1.62	3.35
Cont. Humedad (w%)	5.25	5.00	11.25
Cont. Humedad promedio (w%)	5.12		11.39
Densidad Seca γd (g/cm ³)	1.336		1.578
			1.487
			1.111
DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA			
Contenido de Humedad Óptima ω% :		12.66	
Densidad Seca Máxima γd (g/cm ³) :		1.584	
CURVA DE COMPACTACIÓN			
			
DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO			
La máxima densidad seca obtenida de la curva de compactación es de 1.584 g/cm ³ , la cual corresponde a un contenido de humedad óptimo de 12.66 %.			
REALIZÓ:		REVISÓ:	
Egdo. Kevin Adrian Celi Yanchapanta		Ing. Favio Portilla	

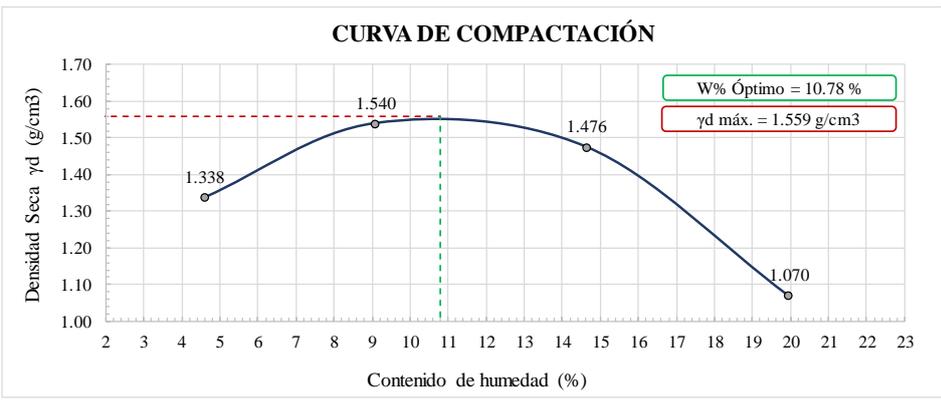
Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

Anexo 11: Proctor Modificado con 12% PET/PP/PE

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN								
Proyecto : Estabilización de suelos granulares de subrasante con finos de tereftalato de polietileno (PET), polipropileno (PP) y polietileno (PE).								
Provincia:	Tungurahua	Numero de muestra: 5						
Cantón:	Ambato	Coordenadas: 17 M, 764601.12 ; 9852888.29						
Sector:	Montalvo	Tipo: Subrasante						
Fecha:	12/nov/2020	Profundidad: 60 cm						
Norma:	AASHTO T180-20 ASTM D1557-12	Finos PET/PP/PE: 12%						
DATOS								
ESPECIFICACIONES DEL PROCTOR MODIFICADO - TIPO C								
Número de Golpes:	56	Altura de Caída (in): 18	ϕ Diámetro interno : 15.2 cm					
Número de Capas:	5	Peso del Martillo (lb): 10	h altura : 12.21 cm					
Energía de Compactación (lb*ft/ft ³):	55986	Peso del Molde (g.): 6245	Vol. del Molde: 2215 cm ³					
Peso Inicial de Muestra:	6000	6000	6000					
PROCESO DE COMPACTACIÓN								
Ensayo Número	1	2	3	4				
P. molde+Suelo húmedo (g)	9392	10083	10045	9412				
P. suelo húmedo Wm (g)	3147	3838	3800	3167				
P. unitario húmedo γ_m (g/cm ³)	1.421	1.733	1.716	1.430				
DETERMINACIÓN DE CONTENIDOS DE HUMEDAD								
Identificación del recipiente	MA	A9	DI	345	C27	ID	201	I
P. del recipiente (Wrec)	12.11	12.00	12.08	11.84	11.98	12.01	12.08	12.20
Rec+suelo húmedo (Wrec+Wm)	40.67	46.43	58.28	56.68	54.14	56.38	53.76	62.07
Rec+suelo seco (Ws + Wm)	38.92	44.45	53.92	52.26	48.92	50.51	47.27	54.45
Peso solidos (Ws)	26.81	32.45	41.84	40.42	36.94	38.50	35.19	42.25
Peso del agua (Ww)	1.75	1.98	4.36	4.42	5.22	5.87	6.49	7.62
Cont. Humedad (w%)	6.53	6.10	10.42	10.94	14.13	15.25	18.44	18.04
Cont. Humedad promedio (w%)	6.31		10.68		14.69		18.24	
Densidad Seca γ_d (g/cm ³)	1.336		1.566		1.496		1.209	
DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA								
Contenido de Humedad Óptima ω % :		11.64						
Densidad Seca Máxima γ_d (g/cm ³) :		1.573						
								
DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO								
La máxima densidad seca obtenida de la curva de compactación es de 1.573 g/cm ³ , la cual corresponde a un contenido de humedad óptimo de 11.64 %.								
REALIZÓ:		REVISÓ:						
Egdo. Kevin Adrian Celi Yanchapanta		Ing. Favio Portilla						

Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

Anexo 12: Proctor Modificado con 15% PET/PP/PE

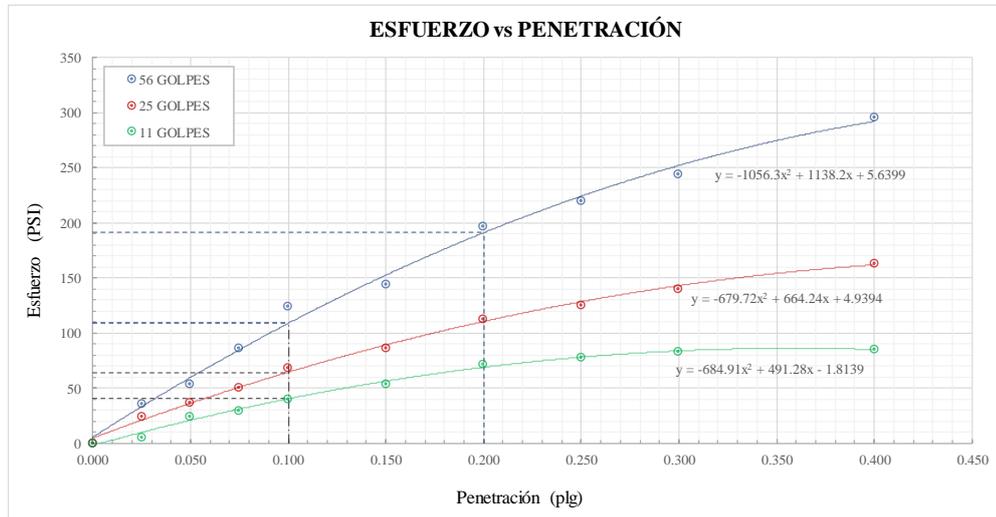
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN								
Proyecto : Estabilización de suelos granulares de subrasante con finos de tereftalato de polietileno (PET), polipropileno (PP) y polietileno (PE).								
Provincia:	Tungurahua	Numero de muestra:	6					
Cantón:	Ambato	Coordenadas:	17 M, 764601.12 ; 9852888.29					
Sector:	Montalvo	Tipo:	Subrasante					
Fecha:	12/nov/2020	Profundidad:	60 cm					
Norma:	AASHTO T180-20 ASTM D1557-12	Finos PET/PP/PE:	15%					
DATOS								
ESPECIFICACIONES DEL PROCTOR MODIFICADO - TIPO C								
Número de Golpes:	56	Altura de Caída (in):	18					
Número de Capas:	5	Peso del Martillo (lb):	10					
Energía de Compactación (lb*ft/ft ³):	55986	Peso del Molde (g.):	6245					
		φ Diámetro interno :	15.2 cm					
		h altura :	12.21 cm					
		Vol. del Molde:	2215 cm ³					
Peso Inicial de Muestra:	6000	6000	6000					
PROCESO DE COMPACTACIÓN								
Ensayo Número	1	2	3					
P. molde+Suelo húmedo (g)	9345	9967	9992					
P. suelo húmedo Wm (g)	3100	3722	3747					
P. unitario húmedo γm (g/cm ³)	1.400	1.680	1.692					
DETERMINACIÓN DE CONTENIDOS DE HUMEDAD								
Identificación del recipiente	SA	3	18	RX	176	T41	10	HA
P. del recipiente (Wrec)	11.78	11.29	11.98	11.12	12.01	11.44	12.11	12.11
Rec+suelo húmedo (Wrec+Wm)	61.82	52.29	57.36	61.01	60.93	61.43	61.61	58.64
Rec+suelo seco (Ws + Wm)	59.67	50.45	53.56	56.87	54.62	55.12	53.54	50.75
Peso sólidos (Ws)	47.89	39.16	41.58	45.75	42.61	43.68	41.43	38.64
Peso del agua (Ww)	2.15	1.84	3.80	4.14	6.31	6.31	8.07	7.89
Cont. Humedad (w%)	4.49	4.70	9.14	9.05	14.81	14.45	19.48	20.42
Cont. Humedad promedio (w%)	4.59		9.09		14.63		19.95	
Densidad Seca γd (g/cm ³)	1.338		1.540		1.476		1.070	
DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA								
Contenido de Humedad Óptima ω% :		10.78						
Densidad Seca Máxima γd (g/cm ³) :		1.559						
CURVA DE COMPACTACIÓN								
								
DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO								
La máxima densidad seca obtenida de la curva de compactación es de 1.559 g/cm ³ , la cual corresponde a un contenido de humedad óptimo de 10.78 %.								
REALIZÓ:		REVISÓ:						
Egdo. Kevin Adrian Celi Yanchapanta		Ing. Favio Portilla						

Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

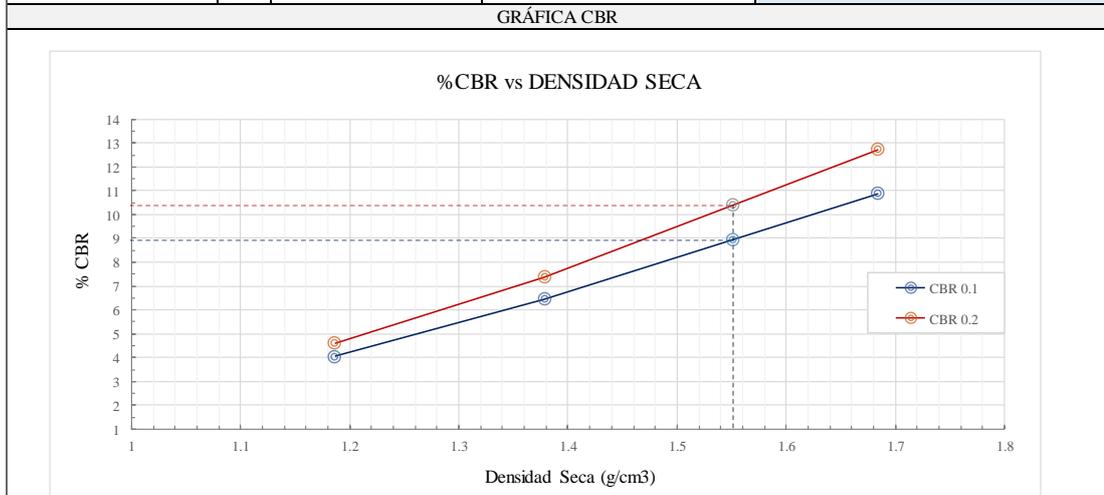
Anexo 13: CBR con 0% PET/PP/PE

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN											
Proyecto : Estabilización de suelos granulares de subrasante con finos de tereftalato de polietileno (PET), polipropileno (PP) y polietileno (PE).											
Provincia: Tungurahua				Numero de muestra: 1							
Cantón: Ambato				Coordenadas: 17 M, 764601.12 ; 9852888.29							
Sector: Montalvo				Tipo: Subrasante							
Fecha: 12/nov/2020				Profundidad: 60 cm							
Norma: AASHTO T193-13				Finos PET/PP/PE: 0%							
				ASTM D1883-16							
DATOS											
ENSAYO DE RELACION DE SOPORTE CALIFORNIA DE LABORATORIO - CBR											
DATOS DE COMPACTACIÓN - PROCTOR											
Método: MODIFICADO											
Densidad Máxima: 1633 Kg/m ³											
Humedad Óptima: 17.83 %											
CONTENIDO DE HUMEDAD Y PESO UNITARIO DE LA MUESTRA DE ENSAYO											
Molde N°	M 11			CM 24			B 16				
N° de Capas	5			5			5				
N° de golpes por capa	56			25			11				
Estado de la muestra	Antes de Remojar		Después de Remojar	Antes de Remojar		Después de Remojar	Antes de Remojar		Después de Remojar		
Peso muestra húmeda + molde (g)	12924		13236	10674		11123	9978		10498		
Peso del molde (g)	8299		8299	7111		7111	6895		6895		
Peso de muestra húmeda (g)	4625		4937	3563		4012	3083		3603		
Volumen muestra (cm ³)	2353		2353	2288		2288	2317		2317		
Peso unit. Húmedo, g/cm³	1.966		2.098	1.557		1.753	1.331		1.555		
Cant. De humedad de muestra del tarro N°	Fondo	Arriba	1" de Arriba	Fondo	Arriba	1" de Arriba	Fondo	Arriba	1" de Arriba		
Peso de muestra humedad + tarro (g)	D-16	D-23	M6	S	BA-11	D-23	M6	45	S		
	55.31	48.76	80.33	77.51	60.64	77.81	59.54	94.43	85.59		
Peso de muestra seca + tarro (g)	49.02	43.42	66.89	68.92	53.31	64.00	52.56	83.25	70.09		
Peso del agua (g)	6.29	5.34	13.44	8.59	7.33	13.81	6.98	11.18	15.50		
Peso del tarro (g)	13.29	13.30	12.18	20.30	12.04	13.30	12.18	19.80	20.30		
Peso de la muestra seca (g)	35.73	30.12	54.71	48.62	41.27	50.70	40.38	63.45	49.79		
Contenido de humedad %	17.60%	17.73%	24.57%	17.67%	17.76%	27.24%	17.29%	17.62%	31.13%		
Contenido de humedad promedio, %	17.67%		24.57%	17.71%		27.24%	17.45%		31.13%		
Peso Unit. Seco g/cm³	1.670		1.684	1.323		1.378	1.133		1.186		
DATOS DEL ESPONJAMIENTO (HINCHAMIENTO)											
Día del mes	Hora del día	Interv. De tiempo en días	Molde N° M 11			Molde N° CM 24			Molde N° B 16		
			Lectura del Indicador	Esponjamiento		Lectura del Indicador	Esponjamiento		Lectura del Indicador	Esponjamiento	
			Pulg.	%		Pulg.	%		Pulg.	%	
13/11/2020	14h00	1	1	0.001	0.0220	3	0.003	0.0660	5	0.005	0.1100
14/11/2020	14h00	2	3	0.003	0.0660	5	0.005	0.1100	9	0.009	0.1979
15/11/2020	14h00	3	3	0.003	0.0660	5	0.005	0.1100	11	0.011	0.2419
16/11/2020	14h00	4	3	0.003	0.0660	5	0.005	0.1100	11	0.011	0.2419
17/11/2020	14h00	5	3	0.003	0.0660	7	0.007	0.1539	13	0.013	0.2859
DATOS DE ENSAYO DE CARGA CBR											
Penetración Pulgada	Carga Standard d Lb	Molde N° M 11			Molde N° CM 24			Molde N° B 16			
		Carga del Ensayo	CBR Corr.	% CBR	Carga del Ensayo	CBR Corr.	% CBR	Carga del Ensayo	CBR Corr.	% CBR	
0.000		0	0		0	0		0	0		
0.025		110	37		74	25		16	5		
0.050		163	54		112	37		75	25		
0.075		261	87		152	51		91	30		
0.100	1000	372	124	108.90	205	68	64.57	122	41	40.45	
0.150		433	144		261	87		163	54		
0.200	1500	591	197	191.03	339	113	110.62	215	72	69.05	
0.250		662	221		378	126		234	78		
0.300		733	244		422	141		249	83		
0.400		889	296		491	164		256	85		
0.500		924	308		556	185		278	93		
0.600		997	332		563	188		291	97		

Molde N°	PORCENTAJES CBR CORREGIDOS					
	CBR 0.1"			CBR 0.2"		
	Presión (PSI)	% CBR	Densidad Seca (g/cm ³)	Presión (PSI)	% CBR	Densidad Seca (g/cm ³)
M 11	108.90	10.89	1.684	191.03	12.74	1.684
CM 24	64.57	6.46	1.378	110.62	7.37	1.378
B 16	40.45	4.05	1.186	69.05	4.60	1.186



CBR			
DENSIDAD MÁXIMA (g/cm ³)	CBR 0.1"	CBR 0.2"	% CBR MAYOR
Densidad al 100%: 1.633			
Densidad al 95%: 1.551	8.95	10.40	10.40



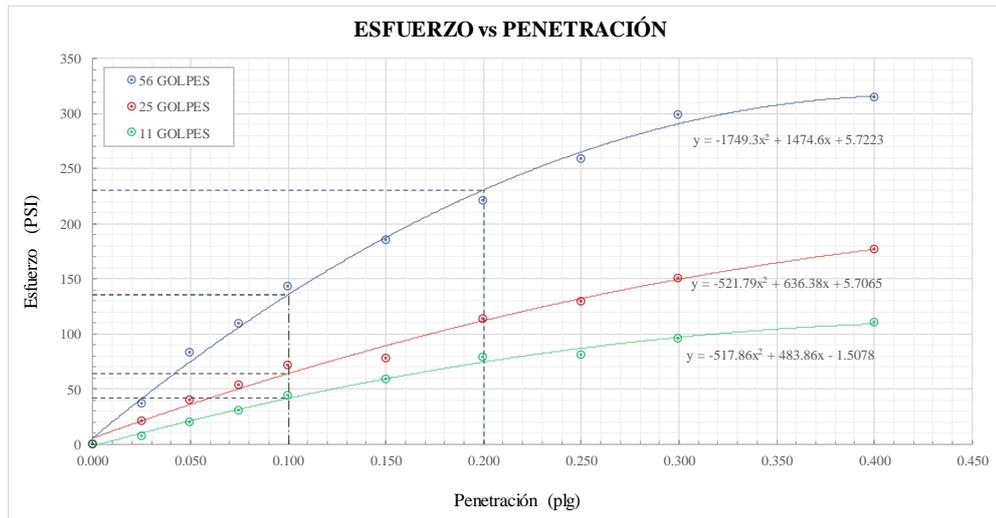
DESCRIPCION DEL ENSAYO	
El CBR para el diseño de pavimento es de 10.4%	
REALIZÓ:	REVISÓ:
Egdo. Kevin Adrian Celi Yanchapanta	Ing. Favio Portilla

Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

Anexo 14: CBR con 3% PET/PP/PE

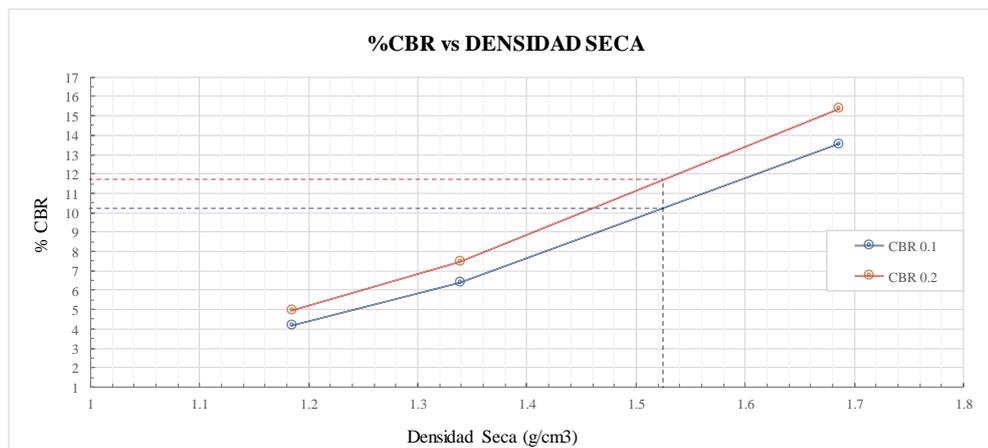
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN											
Proyecto : Estabilización de suelos granulares de subrasante con finos de tereftalato de polietileno (PET), polipropileno (PP) y polietileno (PE).											
Provincia: Tungurahua				Numero de muestra: 2							
Cantón: Ambato				Coordenadas: 17 M, 764601.12 ; 9852888.29							
Sector: Montalvo				Tipo: Subrasante							
Fecha: 12/nov/2020				Profundidad: 60 cm							
Norma: AASHTO T193-13				Finos PET/PP/PE: 3%							
				ASTM D1883-16							
DATOS											
ENSAYO DE RELACION DE SOPORTE CALIFORNIA DE LABORATORIO - CBR											
DATOS DE COMPACTACIÓN - PROCTOR											
Método: MODIFICADO											
Densidad Máxima: 1605 Kg/m ³											
Humedad Óptima: 14.55 %											
CONTENIDO DE HUMEDAD Y PESO UNITARIO DE LA MUESTRA DE ENSAYO											
Molde N°	M 12			SL-12			D 61				
N° de Capas	5			5			5				
N° de golpes por capa	56			25			11				
Estado de la muestra	Antes de Remojar		Después de Remojar	Antes de Remojar		Después de Remojar	Antes de Remojar		Después de Remojar		
Peso muestra húmeda + molde (g)	12098		12594	10523		10897	10463		10856		
Peso del molde (g)	7676		7676	7110		7110	7400		7400		
Peso de muestra húmeda (g)	4422		4918	3413		3787	3063		3456		
Volumen muestra (cm ³)	2384		2384	2270		2270	2291		2291		
Peso unit. Húmedo, g/cm³	1.855		2.063	1.504		1.668	1.337		1.509		
Cant. De humedad de muestra del tarro N°	Fondo	Arriba	1" de Arriba	Fondo	Arriba	1" de Arriba	Fondo	Arriba	1" de Arriba		
Peso de muestra humedad + tarro (g)	ML-16	O-21	OR-7	WE	QY-12	ML-16	10	OR-7	QY-12		
	56.41	61.24	80.20	90.12	94.52	75.46	73.80	88.61	96.44		
Peso de muestra seca + tarro (g)	51.96	55.39	69.22	81.43	85.19	64.58	67.29	80.02	80.00		
Peso del agua (g)	4.45	5.85	10.98	8.69	9.33	10.88	6.51	8.59	16.44		
Peso del tarro (g)	20.40	14.90	20.09	20.08	19.94	20.40	21.32	20.09	19.94		
Peso de la muestra seca (g)	31.56	40.49	49.13	61.35	65.25	44.18	45.97	59.93	60.06		
Contenido de humedad %	14.10%	14.45%	22.35%	14.16%	14.30%	24.63%	14.16%	14.33%	27.37%		
Contenido de humedad promedio, %	14.27%			14.23%			14.25%				
Peso Unit. Seco g/cm³	1.623		1.686	1.316		1.339	1.170		1.184		
DATOS DEL ESPONJAMIENTO (HINCHAMIENTO)											
Día del mes	Hora del día	Interv. De tiempo en días	Molde N° M 12			Molde N° SL-12			Molde N° D 61		
			Lectura del Indicador	Espanjamiento		Lectura del Indicador	Espanjamiento		Lectura del Indicador	Espanjamiento	
			Pulg.	%	Pulg.	%	Pulg.	%	Pulg.	%	
13/11/2020	14h00	1	1	0.001	0.0220	3	0.003	0.0660	4	0.004	0.0880
14/11/2020	14h00	2	2	0.002	0.0440	5	0.005	0.1100	7	0.007	0.1539
15/11/2020	14h00	3	2	0.002	0.0440	5	0.005	0.1100	7	0.007	0.1539
16/11/2020	14h00	4	2	0.002	0.0440	5	0.005	0.1100	9	0.009	0.1979
17/11/2020	14h00	5	2	0.002	0.0440	5	0.005	0.1100	9	0.009	0.1979
DATOS DE ENSAYO DE CARGA CBR											
Penetración Pulgada	Carga Standard Lb	Molde N° M 12			Molde N° SL-12			Molde N° D 61			
		Carga del Ensayo	CBR Corr.	% CBR	Carga del Ensayo	CBR Corr.	% CBR	Carga del Ensayo	CBR Corr.	% CBR	
0.000		0	0		0	0		0	0		
0.025		112	37		63	21		22	7		
0.050		251	84		122	41		62	21		
0.075		329	110		163	54		94	31		
0.100	1000	429	143	135.68	215	72	64.13	134	45	41.69	
0.150		556	185		234	78		177	59		
0.200	1500	665	222	230.67	342	114	112.11	239	80	74.55	
0.250		777	259		390	130		245	82		
0.300		898	299		453	151		289	96		
0.400		945	315		532	177		331	110		
0.500		963	321		611	204		367	122		
0.600		1021	340		698	233		395	132		

PORCENTAJES CBR CORREGIDOS						
Molde N°	CBR 0.1"			CBR 0.2"		
	Presión (PSI)	% CBR	Densidad Seca (g/cm3)	Presión (PSI)	% CBR	Densidad Seca (g/cm3)
M 12	135.68	13.57	1.686	230.67	15.38	1.686
SL-12	64.13	6.41	1.339	112.11	7.47	1.339
D 61	41.69	4.17	1.184	74.55	4.97	1.184



CBR				
DENSIDAD MÁXIMA (g/cm3)		CBR 0.1"	CBR 0.2"	% CBR MAYOR
Densidad al 100%:	1.605			
Densidad al 95%	1.525	10.20	11.70	11.70

GRÁFICA CBR



DESCRIPCION DEL ENSAYO

El CBR para el diseño de pavimento es de 11.7%

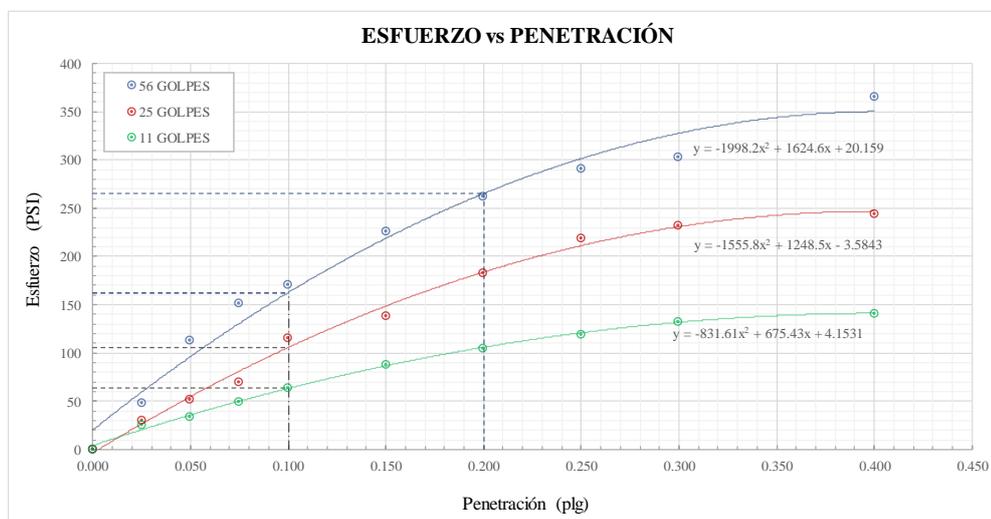
REALIZÓ:	REVISÓ:
Egdo. Kevin Adrian Celi Yanchapanta	Ing. Favio Portilla

Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

Anexo 15: CBR con 6% PET/PP/PE

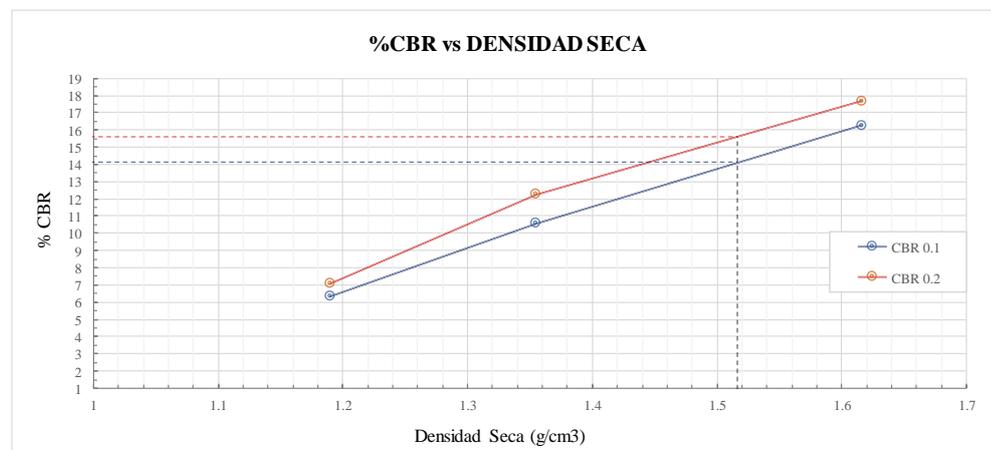
		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN											
Proyecto : Estabilización de suelos granulares de subrasante con finos de tereftalato de polietileno (PET), polipropileno (PP) y polietileno (PE).													
Provincia: Tungurahua					Numero de muestra: 3								
Cantón: Ambato					Coordenadas: 17 M, 764601.12 ; 9852888.29								
Sector: Montalvo					Tipo: Subrasante								
Fecha: 13/nov/2020					Profundidad: 60 cm								
Norma: AASHTO T193-13					Finos PET/PP/PE: 6%								
ASTM D1883-16													
DATOS													
ENSAYO DE RELACION DE SOPORTE CALIFORNIA DE LABORATORIO - CBR													
DATOS DE COMPACTACIÓN - PROCTOR													
Método: MODIFICADO													
Densidad Máxima: 1596 Kg/m ³													
Humedad Óptima: 13.33 %													
CONTENIDO DE HUMEDAD Y PESO UNITARIO DE LA MUESTRA DE ENSAYO													
Molde N°		1			2			3					
N° de Capas		5			5			5					
N° de golpes por capa		56			25			11					
Estado de la muestra		Antes de Remojar		Después de Remojar		Antes de Remojar		Después de Remojar		Antes de Remojar		Después de Remojar	
Peso muestra húmeda + molde (g)		9874		10166		9145		9544		8771		9208	
Peso del molde (g)		6045		6045		6004		6004		6049		6049	
Peso de muestra húmeda (g)		3829		4121		3141		3540		2722		3159	
Volumen muestra (cm³)		2116		2116		2123		2123		2110		2110	
Peso unit. Húmedo, g/cm³		1.810		1.948		1.480		1.667		1.290		1.497	
Cant. De humedad de muestra del tarro N°		Fondo		Arriba		1" de Arriba		Fondo		Arriba		1" de Arriba	
Peso de muestra humedad + tarro (g)		X1		Z		42		86		T		TIN	
		102.43		112.51		124.31		117.19		99.76		134.21	
Peso de muestra seca + tarro (g)		93.78		102.42		107.98		106.78		91.29		114.26	
Peso del agua (g)		8.65		10.09		16.33		10.41		8.47		19.95	
Peso del tarro (g)		28.70		27.90		28.30		28.10		28.30		27.80	
Peso de la muestra seca (g)		65.08		74.52		79.68		78.68		62.99		86.46	
Contenido de humedad %		13.29%		13.54%		20.49%		13.23%		13.45%		23.07%	
Contenido de humedad promedio, %		13.42%		20.49%		13.34%		23.07%		13.34%		25.87%	
Peso Unit. Seco g/cm³		1.595		1.616		1.305		1.355		1.138		1.189	
DATOS DEL ESPONJAMIENTO (HINCHAMIENTO)													
Día del mes	Hora del día	Interv. De tiempo en días	Molde N° 1			Molde N° 2			Molde N° 3				
			Lectura del Indicador	Espanjamiento		Lectura del Indicador	Espanjamiento		Lectura del Indicador	Espanjamiento			
	Pulga.	%			Pulga.		%			Pulga.	%		
14/11/2020	14h00	1	1	0.001	0.0220	4	0.004	0.0880	6	0.006	0.1320		
15/11/2020	14h00	2	2	0.002	0.0440	7	0.007	0.1539	8	0.008	0.1759		
16/11/2020	14h00	3	4	0.004	0.0880	9	0.009	0.1979	11	0.011	0.2419		
17/11/2020	14h00	4	4	0.004	0.0880	9	0.009	0.1979	13	0.013	0.2859		
18/11/2020	14h00	5	4	0.004	0.0880	9	0.009	0.1979	13	0.013	0.2859		
DATOS DE ENSAYO DE CARGA CBR													
Penetración Pulgada	Carga Standard Lb	Molde N° 1			Molde N° 2			Molde N° 3					
		Carga del Ensayo	CBR Corr.	% CBR	Carga del Ensayo	CBR Corr.	% CBR	Carga del Ensayo	CBR Corr.	% CBR			
0.000		0	0					0	0				
0.025		144	48					78	26				
0.050		339	113					104	35				
0.075		455	152					151	50				
0.100	1000	512	171	162.64	16.26	349	116	105.71	10.57	191	64	63.38	6.34
0.150		678	226			417	139			263	88		
0.200	1500	789	263	265.15	17.68	551	184	183.88	12.26	315	105	105.97	7.06
0.250		873	291			659	220			359	120		
0.300		911	304			697	232			397	132		
0.400		1098	366			732	244			425	142		
0.500		1135	378			806	269			481	160		
0.600		1161	387			859	286			498	166		

PORCENTAJES CBR CORREGIDOS						
Molde N°	CBR 0.1"			CBR 0.2"		
	Presión (PSI)	% CBR	Densidad Seca (g/cm3)	Presión (PSI)	% CBR	Densidad Seca (g/cm3)
1	162.64	16.26	1.616	265.15	17.68	1.616
2	105.71	10.57	1.355	183.88	12.26	1.355
3	63.38	6.34	1.189	105.97	7.06	1.189



CBR			
DENSIDAD MÁXIMA (g/cm3)	CBR 0.1"	CBR 0.2"	% CBR MAYOR
Densidad al 100%: 1.596			
Densidad al 95%: 1.516	14.10	15.60	15.60

GRÁFICA CBR



DESCRIPCION DEL ENSAYO

El CBR para el diseño de pavimento es de 15.6%

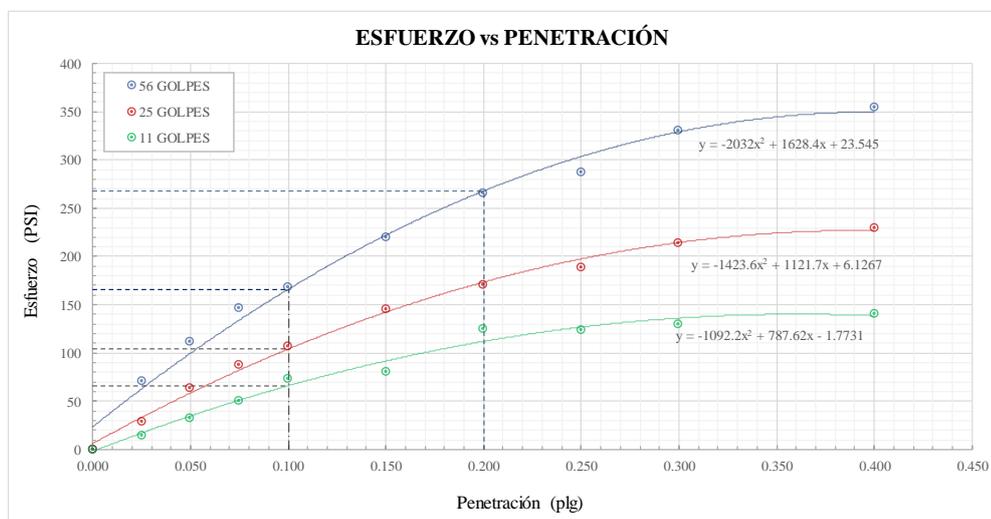
REALIZÓ:	REVISÓ:
Egdo. Kevin Adrian Celi Yanchapanta	Ing. Favio Portilla

Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

Anexo 16: CBR con 9% PET/PP/PE

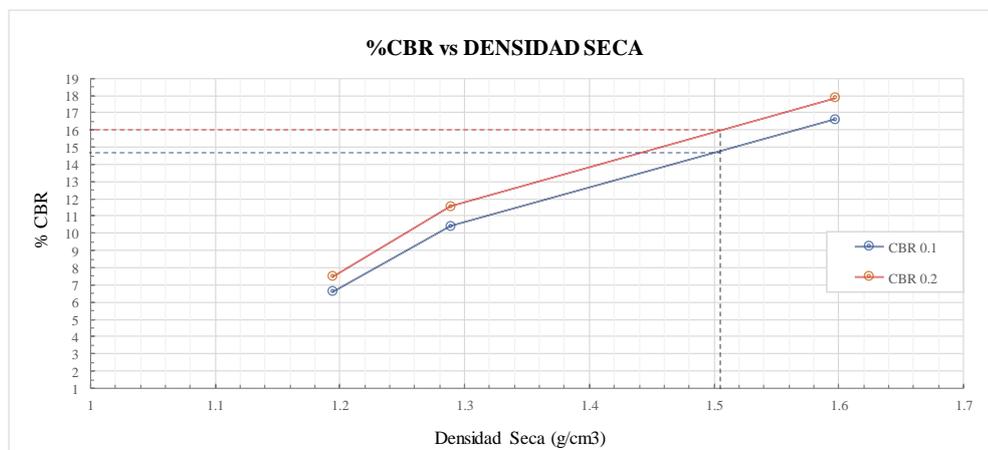
		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN									
Proyecto : Estabilización de suelos granulares de subrasante con finos de tereftalato de polietileno (PET), polipropileno (PP) y polietileno (PE).											
Provincia: Tungurahua				Numero de muestra: 4							
Cantón: Ambato				Coordenadas: 17 M, 764601.12 ; 9852888.29							
Sector: Montalvo				Tipo: Subrasante							
Fecha: 13/nov/2020				Profundidad: 60 cm							
Norma: AASHTO T193-13				Finos PET/PP/PE: 9%							
				ASTM D1883-16							
DATOS											
ENSAYO DE RELACION DE SOPORTE CALIFORNIA DE LABORATORIO - CBR											
DATOS DE COMPACTACIÓN - PROCTOR											
Método: MODIFICADO											
Densidad Máxima: 1584 Kg/m ³											
Humedad Óptima: %											
CONTENIDO DE HUMEDAD Y PESO UNITARIO DE LA MUESTRA DE ENSAYO											
Molde N°	GM-1			D12			G6				
N° de Capas	5			5			5				
N° de golpes por capa	56			25			11				
Estado de la muestra	Antes de Remojar		Después de Remojar	Antes de Remojar		Después de Remojar	Antes de Remojar		Después de Remojar		
Peso muestra húmeda + molde (g)	10932		11239	9855		10322	9755		10282		
Peso del molde (g)	6990		6990	6518		6518	6896		6896		
Peso de muestra húmeda (g)	3942		4249	3337		3804	2859		3386		
Volumen muestra (cm ³)	2212		2212	2366		2366	2205		2205		
Peso unit. Húmedo, g/cm³	1.782		1.921	1.410		1.608	1.297		1.536		
Cant. De humedad de muestra del tarro N°	Fondo	Arriba	1" de Arriba	Fondo	Arriba	1" de Arriba	Fondo	Arriba	1" de Arriba		
Peso de muestra humedad + tarro (g)	JL-5	JL-2	AS-5	AS-5	TP-23	JL-5	JL-25	MS-3	JL-2		
	77.42	82.39	66.54	58.98	77.24	73.45	66.62	83.08	85.69		
Peso de muestra seca + tarro (g)	71.25	75.54	58.76	54.82	71.00	62.87	61.63	76.16	70.98		
Peso del agua (g)	6.17	6.85	7.78	4.16	6.24	10.58	4.99	6.92	14.71		
Peso del tarro (g)	20.14	19.56	20.40	20.40	20.12	20.14	20.09	19.05	19.56		
Peso de la muestra seca (g)	51.11	55.98	38.36	34.42	50.88	42.73	41.54	57.11	51.42		
Contenido de humedad %	12.07%	12.24%	20.28%	12.09%	12.26%	24.76%	12.01%	12.12%	28.61%		
Contenido de humedad promedio, %	12.15%		20.28%	12.18%		24.76%	12.06%		28.61%		
Peso Unit. Seco g/cm³	1.589		1.597	1.257		1.289	1.157		1.194		
DATOS DEL ESPONJAMIENTO (HINCHAMIENTO)											
Día del mes	Hora del día	Interv. De tiempo en días	Molde N° GM-1			Molde N° D12			Molde N° G6		
			Lectura del Indicador	Espojamiento		Lectura del Indicador	Espojamiento		Lectura del Indicador	Espojamiento	
			Pulg.	%	Pulg.	%	Pulg.	%	Pulg.	%	
14/11/2020	14h00	1	2	0.002	0.0440	3	0.003	0.0660	6	0.006	0.1320
15/11/2020	14h00	2	3	0.003	0.0660	5	0.005	0.1100	9	0.009	0.1979
16/11/2020	14h00	3	3	0.003	0.0660	5	0.005	0.1100	11	0.011	0.2419
17/11/2020	14h00	4	3	0.003	0.0660	5	0.005	0.1100	11	0.011	0.2419
18/11/2020	14h00	5	3	0.003	0.0660	5	0.005	0.1100	11	0.011	0.2419
DATOS DE ENSAYO DE CARGA CBR											
Penetración Pulgada	Carga Standard Lb	Molde N° GM-1			Molde N° D12			Molde N° G6			
		Carga del Ensayo	CBR Corr.	% CBR	Carga del Ensayo	CBR Corr.	% CBR	Carga del Ensayo	CBR Corr.	% CBR	
0.000		0	0		0	0		0	0		
0.025		215	72		88	29		43	14		
0.050		336	112		192	64		98	33		
0.075		441	147		266	89		153	51		
0.100	1000	505	168	166.07	322	107	103.97	221	74	66.07	
0.150		663	221		436	145		243	81		
0.200	1500	798	266	267.95	515	172	173.16	375	125	112.06	
0.250		863	288		566	189		373	124		
0.300		992	331		642	214		391	130		
0.400		1065	355		691	230		422	141		
0.500		1154	385		743	248		476	159		
0.600		1221	407		811	270		495	165		

PORCENTAJES CBR CORREGIDOS						
Molde N°	CBR 0.1"			CBR 0.2"		
	Presión (PSI)	% CBR	Densidad Seca (g/cm3)	Presión (PSI)	% CBR	Densidad Seca (g/cm3)
GM-1	166.07	16.61	1.597	267.95	17.86	1.597
D12	103.97	10.40	1.289	173.16	11.54	1.289
G6	66.07	6.61	1.194	112.06	7.47	1.194



CBR			
DENSIDAD MÁXIMA (g/cm3)	CBR 0.1"	CBR 0.2"	% CBR MAYOR
Densidad al 100%: 1.584			
Densidad al 95%: 1.505	14.70	16.00	16.00

GRÁFICA CBR



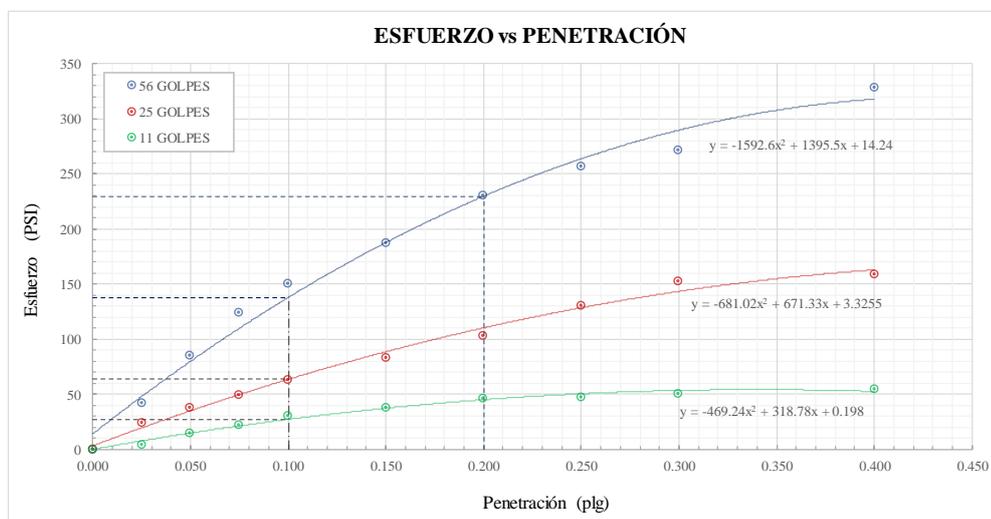
DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO	
El CBR para el diseño de pavimento es de 16%	
REALIZÓ:	REVISÓ:
Egdo. Kevin Adrian Celi Yanchapanta	Ing. Favio Portilla

Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

Anexo 17: CBR con 12% PET/PP/PE

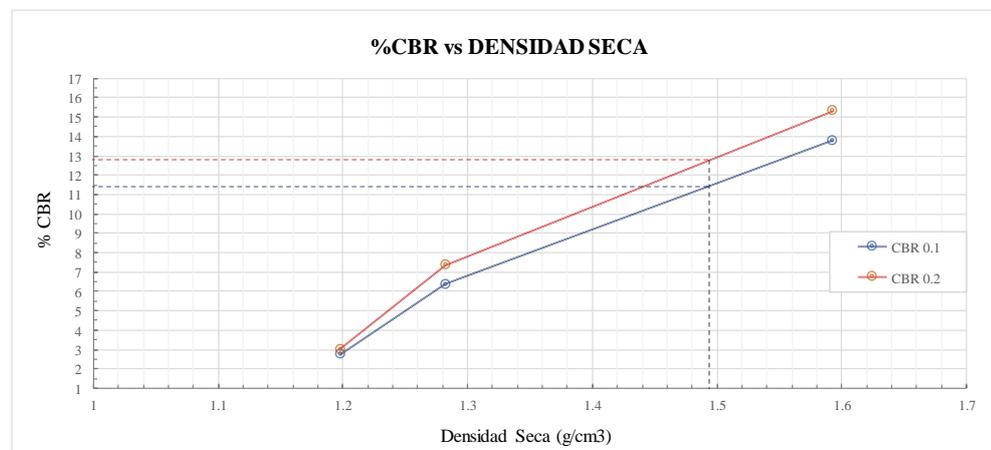
		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN									
Proyecto : Estabilización de suelos granulares de subrasante con finos de tereftalato de polietileno (PET), polipropileno (PP) y polietileno (PE).											
Provincia:	Tungurahua			Numero de muestra:	5						
Cantón:	Ambato			Coordenadas:	17 M, 764601.12 ; 9852888.29						
Sector:	Montalvo			Tipo:	Subrasante						
Fecha:	13/nov/2020			Profundidad:	60 cm						
Norma:	AASHTO T193-13 ASTM D1883-16			Finos PET/PP/PE:	12%						
DATOS											
ENSAYO DE RELACION DE SOPORTE CALIFORNIA DE LABORATORIO - CBR											
DATOS DE COMPACTACIÓN - PROCTOR											
Método:	MODIFICADO										
Densidad Máxima:	1573	Kg/m ³									
Humedad Óptima:	11.64	%									
CONTENIDO DE HUMEDAD Y PESO UNITARIO DE LA MUESTRA DE ENSAYO											
Molde N°	D 2			CM14			CM3				
N° de Capas	5			5			5				
N° de golpes por capa	56			25			11				
Estado de la muestra	Antes de Remojar		Después de Remojar	Antes de Remojar		Después de Remojar	Antes de Remojar		Después de Remojar		
Peso muestra húmeda + molde (g)	11144		11498	10021		10342	9823		10255		
Peso del molde (g)	7136		7136	7177		7177	6911		6911		
Peso de muestra húmeda (g)	4008		4362	2844		3165	2912		3344		
Volumen muestra (cm ³)	2317		2317	2040		2040	2274		2274		
Peso unit. Húmedo, g/cm³	1.730		1.883	1.394		1.551	1.281		1.471		
Cant. De humedad de muestra del tarro N°	Fondo		Arriba	1° de Arriba		Fondo	Arriba	1° de Arriba			
Peso de muestra humedad + tarro (g)	B-9	M-20	AS	DS-7	B-26	M-20	M-17	AS	B-26		
	70.33	69.81	89.91	98.60	83.99	62.74	57.90	97.82	101.48		
Peso de muestra seca + tarro (g)	64.98	63.95	79.24	90.93	77.21	53.95	53.29	89.89	85.88		
Peso del agua (g)	5.35	5.86	10.67	7.67	6.78	8.79	4.61	7.93	15.60		
Peso del tarro (g)	16.93	12.07	20.50	21.80	17.26	12.07	12.18	20.50	17.26		
Peso de la muestra seca (g)	48.05	51.88	58.74	69.13	59.95	41.88	41.11	69.39	68.62		
Contenido de humedad %	11.13%	11.30%	18.16%	11.10%	11.31%	20.99%	11.21%	11.43%	22.73%		
Contenido de humedad promedio, %	11.21%		18.16%	11.20%		20.99%	11.32%		22.73%		
Peso Unit. Seco g/cm³	1.555		1.593	1.254		1.282	1.150		1.198		
DATOS DEL ESPONJAMIENTO (HINCHAMIENTO)											
Día del mes	Hora del día	Interv. De tiempo en días	Molde N° D 2			Molde N° CM14			Molde N° CM3		
			Lectura del Indicador	Espanjamiento		Lectura del Indicador	Espanjamiento		Lectura del Indicador	Espanjamiento	
			Pulg.	%		Pulg.	%		Pulg.	%	
14/11/2020	14h00	1	2	0.002	0.0440	4	0.004	0.0880	6	0.006	0.1320
15/11/2020	14h00	2	2	0.002	0.0440	4	0.004	0.0880	7	0.007	0.1539
16/11/2020	14h00	3	3	0.003	0.0660	4	0.004	0.0880	9	0.009	0.1979
17/11/2020	14h00	4	3	0.003	0.0660	4	0.004	0.0880	9	0.009	0.1979
18/11/2020	14h00	5	3	0.003	0.0660	4	0.004	0.0880	9	0.009	0.1979
DATOS DE ENSAYO DE CARGA CBR											
Penetración Pulgada	Carga Standard Lb	Molde N° D 2			Molde N° CM14			Molde N° CM3			
		Carga del Ensayo	CBR Corr.	% CBR	Carga del Ensayo	CBR Corr.	% CBR	Carga del Ensayo	CBR Corr.	% CBR	
0.000		0	0		0	0		0	0		
0.025		129	43		73	24		14	5		
0.050		256	85		114	38		44	15		
0.075		373	124		149	50		69	23		
0.100	1000	452	151	137.86	190	63	63.65	94	31	27.38	
0.150		562	187		252	84		115	38		
0.200	1500	692	231	229.64	311	104	110.35	139	46	45.18	
0.250		770	257		392	131		142	47		
0.300		814	271		459	153		153	51		
0.400		987	329		477	159		164	55		
0.500		1043	348		512	171		172	57		
0.600		1167	389		542	181		188	63		

PORCENTAJES CBR CORREGIDOS						
Molde N°	CBR 0.1"			CBR 0.2"		
	Presión (PSI)	% CBR	Densidad Seca (g/cm3)	Presión (PSI)	% CBR	Densidad Seca (g/cm3)
D 2	137.86	13.79	1.593	229.64	15.31	1.593
CM14	63.65	6.37	1.282	110.35	7.36	1.282
CM3	27.38	2.74	1.198	45.18	3.01	1.198



CBR			
DENSIDAD MÁXIMA (g/cm3)	CBR 0.1"	CBR 0.2"	% CBR MAYOR
Densidad al 100%: 1.573			
Densidad al 95%: 1.494	11.40	12.80	12.80

GRÁFICA CBR



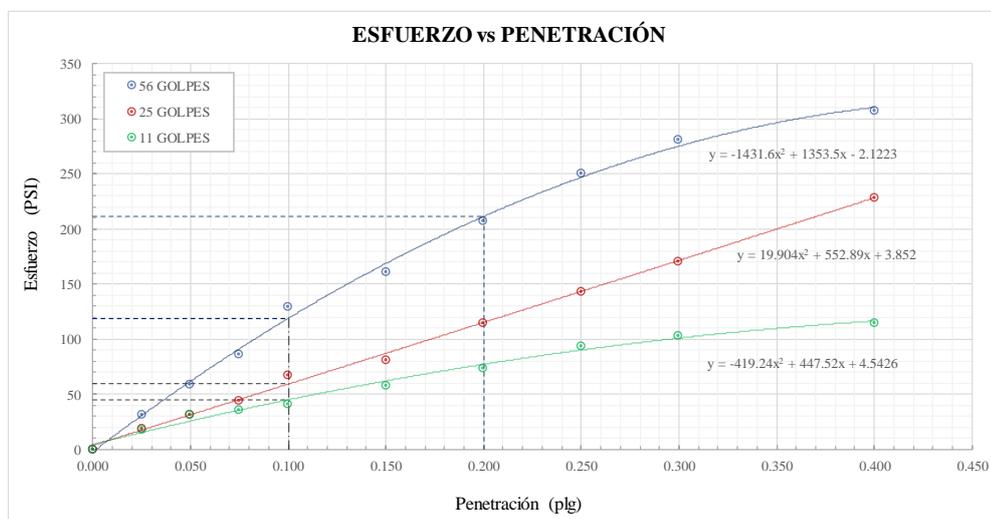
DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO	
El CBR para el diseño de pavimento es de 12.8%	
REALIZÓ:	REVISÓ:
Egdo. Kevin Adrian Celi Yanchapanta	Ing. Favio Portilla

Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

Anexo 18: CBR con 15% PET/PP/PE

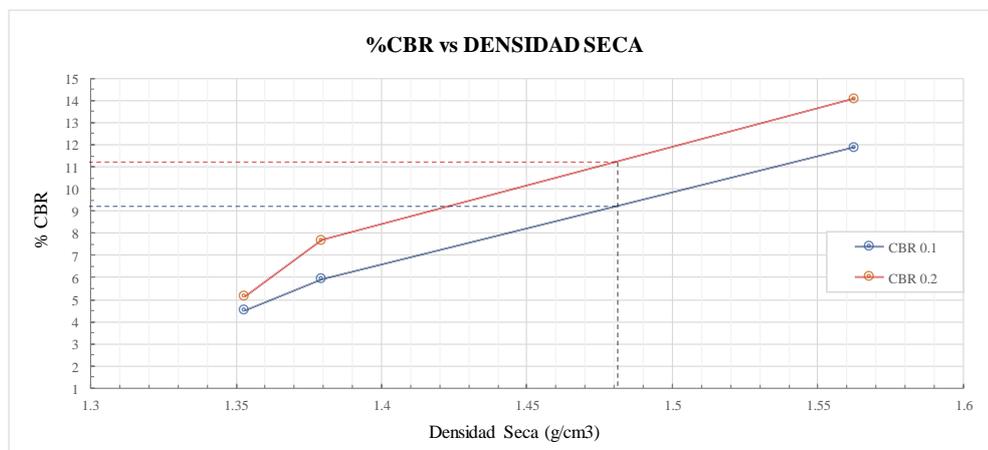
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN											
Proyecto : Estabilización de suelos granulares de subrasante con finos de tereftalato de polietileno (PET), polipropileno (PP) y polietileno (PE).											
Provincia: Tungurahua				Numero de muestra: 6							
Cantón: Ambato				Coordenadas: 17 M, 764601.12 ; 9852888.29							
Sector: Montalvo				Tipo: Subrasante							
Fecha: 13/nov/2020				Profundidad: 60 cm							
Norma: AASHTO T193-13 ASTM D1883-16				Finos PET/PP/PE: 15%							
DATOS											
ENSAYO DE RELACION DE SOPORTE CALIFORNIA DE LABORATORIO - CBR											
DATOS DE COMPACTACIÓN - PROCTOR											
Método: MODIFICADO											
Densidad Máxima: 1559 Kg/m ³											
Humedad Óptima: 10.78 %											
CONTENIDO DE HUMEDAD Y PESO UNITARIO DE LA MUESTRA DE ENSAYO											
Molde N°	M6			M14			M4				
N° de Capas	5			5			5				
N° de golpes por capa	56			25			11				
Estado de la muestra	Antes de Remojar		Después de Remojar	Antes de Remojar		Después de Remojar	Antes de Remojar		Después de Remojar		
Peso muestra húmeda + molde (g)	11559		11905	10244		10912	9856		10867		
Peso del molde (g)	7504		7504	7124		7124	6987		6987		
Peso de muestra húmeda (g)	4055		4401	3120		3788	2869		3880		
Volumen muestra (cm ³)	2403		2403	2287		2287	2286		2286		
Peso unit. Húmedo, g/cm³	1.687		1.831	1.364		1.656	1.255		1.697		
Cant. De humedad de muestra del tarro N°	Fondo	Arriba	1" de Arriba	Fondo	Arriba	1" de Arriba	Fondo	Arriba	1" de Arriba		
Peso de muestra humedad + tarro (g)	B-35	D-37	M-11	D-3	M-9	B-9	M-6	B-14	B-18		
	67.09	73.44	80.22	73.49	66.14	74.59	80.17	88.92	70.93		
Peso de muestra seca + tarro (g)	62.46	67.82	70.24	67.89	61.02	64.95	73.90	81.86	59.92		
Peso del agua (g)	4.63	5.62	9.98	5.60	5.12	9.64	6.27	7.06	11.01		
Peso del tarro (g)	17.36	13.31	12.24	13.20	11.65	16.93	12.18	14.90	16.66		
Peso de la muestra seca (g)	45.10	54.51	58.00	54.69	49.37	48.02	61.72	66.96	43.26		
Contenido de humedad %	10.27%	10.31%	17.21%	10.24%	10.37%	20.07%	10.16%	10.54%	25.45%		
Contenido de humedad promedio, %	10.29%			10.31%			20.07%				
Peso Unit. Seco g/cm³	1.530		1.563	1.237		1.379	1.137		1.353		
DATOS DEL ESPONJAMIENTO (HINCHAMIENTO)											
Día del mes	Hora del día	Interv. De tiempo en días	Molde N° M6			Molde N° M14			Molde N° M4		
			Lectura del Indicador	Espanjamiento		Lectura del Indicador	Espanjamiento		Lectura del Indicador	Espanjamiento	
			Pulg.	%		Pulg.	%		Pulg.	%	
14/11/2020	14h00	1	1	0.001	0.0220	3	0.003	0.0660	11	0.011	0.2419
15/11/2020	14h00	2	7	0.007	0.1539	9	0.009	0.1979	19	0.019	0.4179
16/11/2020	14h00	3	9	0.009	0.1979	15	0.015	0.3299	26	0.026	0.5718
17/11/2020	14h00	4	11	0.011	0.2419	21	0.021	0.4618	31	0.031	0.6818
18/11/2020	14h00	5	11	0.011	0.2419	21	0.021	0.4618	33	0.033	0.7258
DATOS DE ENSAYO DE CARGA CBR											
Penetración Pulgada	Carga Standard Lb	Molde N° M6			Molde N° M14			Molde N° M4			
		Carga del Ensayo	CBR Corr.	% CBR	Carga del Ensayo	CBR Corr.	% CBR	Carga del Ensayo	CBR Corr.	% CBR	
0.000		0	0		0	0		0	0		
0.025		95	32		59	20		56	19		
0.050		177	59		96	32		97	32		
0.075		259	86		135	45		109	36		
0.100	1000	388	129	118.91	202	67	59.34	124	41	45.10	
0.150		483	161		244	81		176	59		
0.200	1500	622	207	211.31	344	115	115.23	223	74	77.28	
0.250		751	250		431	144		281	94		
0.300		842	281		512	171		311	104		
0.400		922	307		687	229		345	115		
0.500		998	333		734	245		385	128		
0.600		1034	345		811	270		404	135		

PORCENTAJES CBR CORREGIDOS						
Molde N°	CBR 0.1"			CBR 0.2"		
	Presión (PSI)	% CBR	Densidad Seca (g/cm3)	Presión (PSI)	% CBR	Densidad Seca (g/cm3)
M6	118.91	11.89	1.563	211.31	14.09	1.563
M14	59.34	5.93	1.379	115.23	7.68	1.379
M4	45.10	4.51	1.353	77.28	5.15	1.353



CBR			
DENSIDAD MÁXIMA (g/cm3)	CBR 0.1"	CBR 0.2"	% CBR MAYOR
Densidad al 100%: 1.559			
Densidad al 95%: 1.481	9.20	11.20	11.20

GRÁFICA CBR



DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

El CBR para el diseño de pavimento es de 11.2%

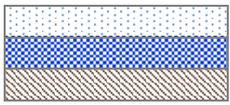
REALIZÓ:	REVISÓ:
Egdo. Kevin Adrian Celi Yanchapanta	Ing. Favio Portilla

Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

Anexos

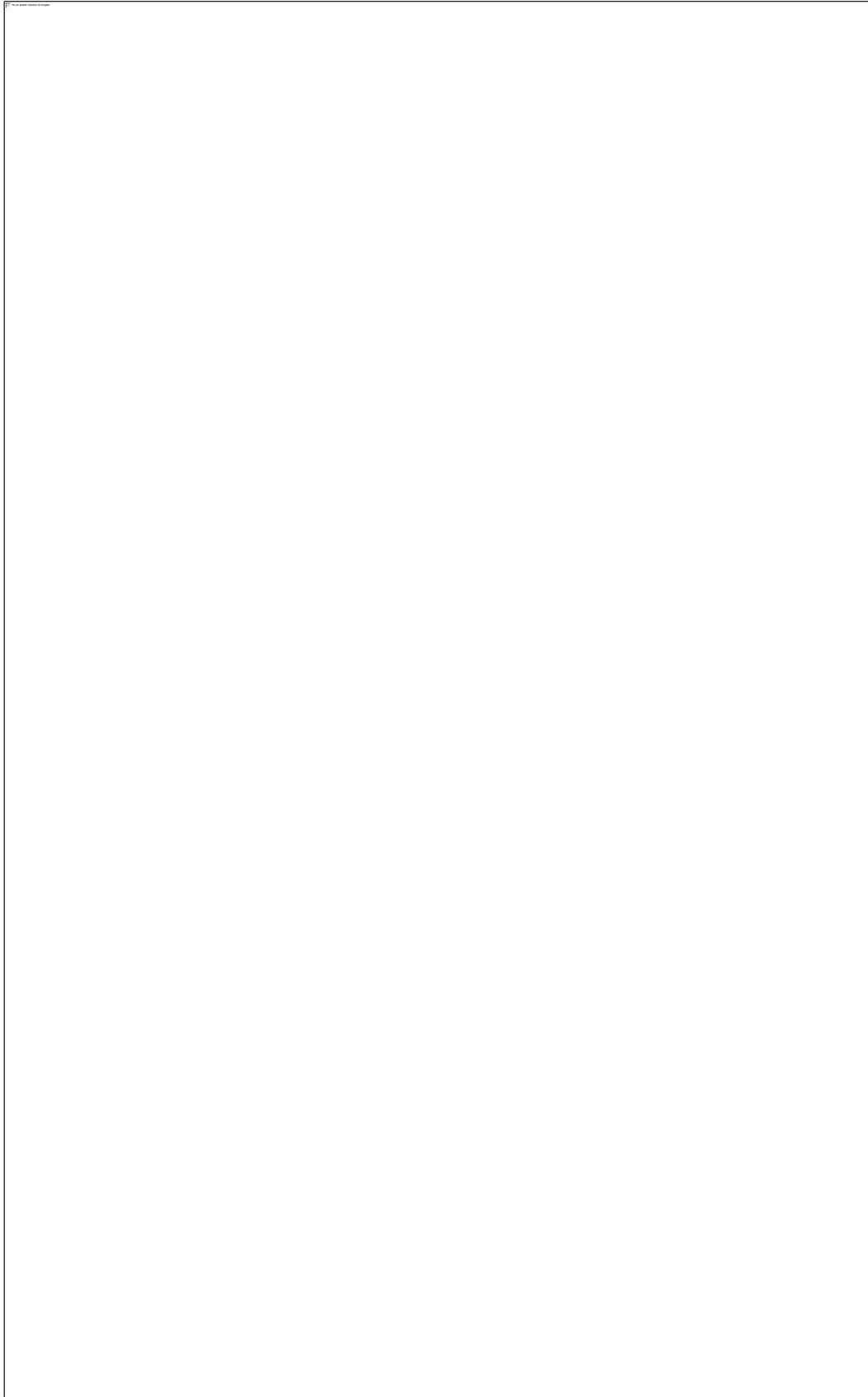
C.3. Ensayos de Suelo de la parroquia Juan Benigno Vela

Anexo 19: Contenido de Humedad

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN 							
Proyecto :	Estabilización de suelos granulares de subrasante con finos de tereftalato de polietileno (PET), polipropileno (PP) y polietileno (PE).						
Provincia:	Tungurahua						
Cantón:	Ambato						
Sector:	Juan Benigno Vela						
Fecha:	21/feb/2020						
Norma:	AASHTO T265-15 ASTM D2216-10						
Número de muestra:	2 Representativa						
Coordenadas:	17 M, 756563.26 ; 9855080.68						
Tipo:	Subrasante						
Profundidad:	60 cm						
DATOS							
HUMEDAD NATURAL							
Símbolo	Muestra	N°	2 Representativa				
<i>R</i>	Recipiente	N°	72	94	23	85	
<i>Wh</i>	Rec + Suelo Húmedo	g	86.3	129.1	92.3	110.1	
<i>Wrs</i>	Rec + Suelo Seco	g	74.4	108.8	79.3	93.6	
<i>Wr</i>	Peso del recipiente	g	30.8	33.6	31.1	33.2	
<i>Ww</i>	Peso del agua	g	11.9	20.3	13.0	16.5	
<i>Wp</i>	Peso del suelo seco	g	43.6	75.2	48.2	60.4	
<i>W</i>	Humedad	%	27.3	27.0	27.0	27.3	
Humedad Promedio (%) :			27.1				
FASES DEL SUELO							
Volúmenes (V)		Pesos (W)		Volúmenes	Unidades	Pesos	Unidades
Vv=		Wv=		23.77	cm ³	-	g
Va=		Wa=		7.27	cm ³	0.00	g
Vw=		Ww=		16.50	cm ³	16.50	g
Vs=		Ws=		18.19	cm ³	48.20	g
Vm=		Wm=		41.96	cm ³	64.70	g
Relación de vacíos		$e = Vv/Vs$		1.31		Natural	
Porosidad		$n\% = Vv/Vm * 100$		56.65		%	
Grado de Saturación de agua		$Gw\% = Ww/Vv * 100$		69.41		%	
Grado de Saturación de aire		$Ga\% = Va/Vv * 100$		30.59		%	
DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO							
El contenido de humedad natural obtenido en este suelo corresponde al valor de 27.1 %.							
REALIZÓ:				REVISÓ:			
Egdo. Kevin Adrian Celi Yanchapanta				Ing. Favio Portilla			

Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

Anexo 20: Densidad Cono y Arena

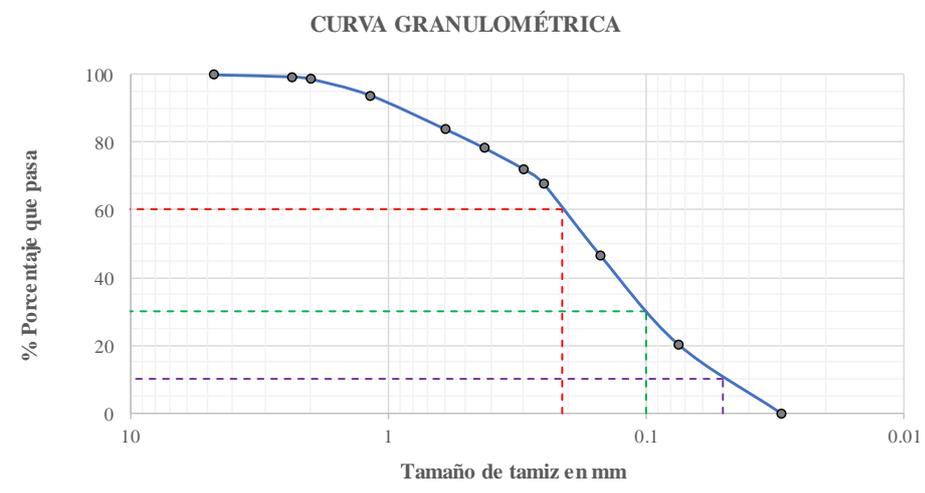


Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

Anexo 21: Granulometría

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN				
Proyecto : Estabilización de suelos granulares de subrasante con finos de tereftalato de polietileno (PET), polipropileno (PP) y polietileno (PE).					
Provincia: Tungurahua Cantón: Ambato Sector: Juan Benigno Vela Fecha: 02/mar/2020 Norma: AASHTO T 88 2013	Número de muestra: 2 Representativa Coordenadas: 17 M, 756563.26 ; 9855080.68 Tipo: Subrasante Profundidad: 60 cm				
DATOS					
GRANULOMETRÍA					
W INICIAL (gr) =			697.10		
TAMIZ	mm	W _{retenido} (g)	W _{ret.acum} (g)	% _{ret.acum.}	% PASA
# 4	4.75	0.40	0.40	0.06	99.94
# 8	2.36	4.30	4.70	0.67	99.33
# 10	2.00	4.60	9.30	1.33	98.67
# 16	1.18	33.10	42.40	6.08	93.92
# 30	0.60	70.20	112.60	16.15	83.85
# 40	0.425	38.40	151.00	21.66	78.34
# 50	0.30	43.00	194.00	27.83	72.17
# 60	0.250	30.20	224.20	32.16	67.84
# 100	0.150	148.40	372.60	53.45	46.55
# 200	0.075	182.60	555.20	79.64	20.36
# Fuente	0.03	141.90	697.10	100.00	0.00

CURVA GRANULOMÉTRICA

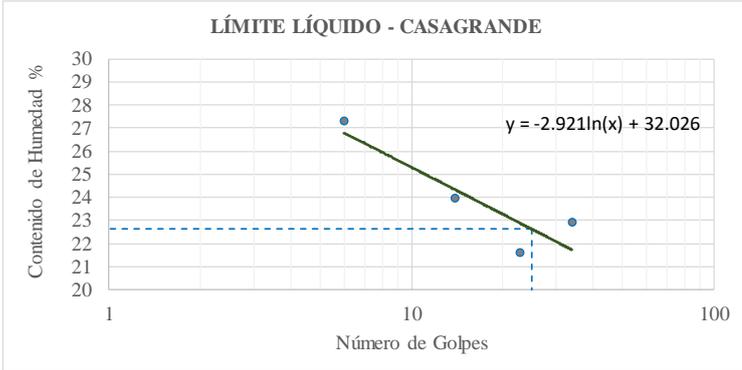


COEFICIENTE DEL SUELO			
D10 (mm)	0.05	Cu= D60 / D10	4.20
D30 (mm)	0.1	Cc= D30 ² / (D60 * D10)	0.95
D60 (mm)	0.21	Tamaño Nominal Máximo (TNM) mm	0.425

REALIZÓ:	REVISÓ:
Egdo. Kevin Adrian Celi Yanchapanta	Ing. Favio Portilla

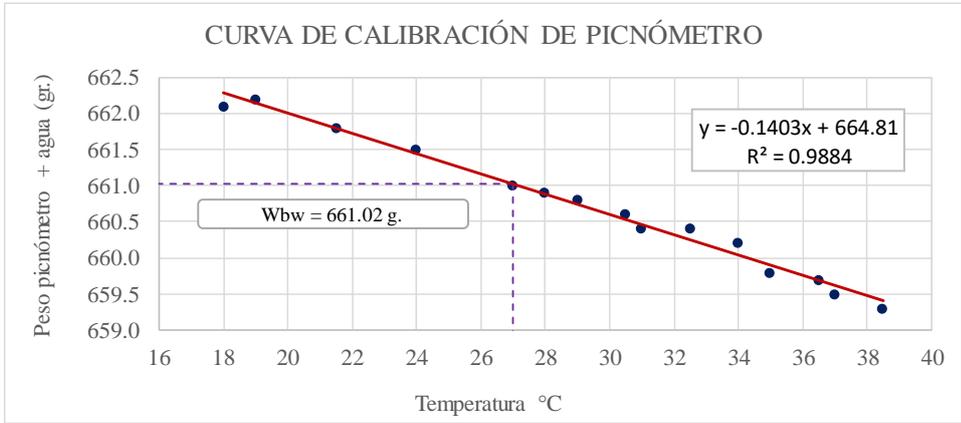
Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

Anexo 22: Límites de Atterberg

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN					
Proyecto : Estabilización de suelos granulares de subrasante con finos de tereftalato de polietileno (PET), polipropileno (PP) y polietileno (PE).						
Provincia: Tungurahua Cantón: Ambato Sector: Juan Benigno Vela Fecha: 02/mar/2020 Norma: AASHTO T89-13 ASTM D4318-17	Número de muestra: 2 Representativa Coordenadas: 17 M, 756563.26 ; 9855080.68 Tipo: Subrasante Profundidad: 60 cm Norma: AASHTO T90-20 ASTM D4318-17					
DATOS						
LÍMITE LÍQUIDO						
# Golpes	# Recipiente	Wr (g)	Whum (g)	Wseco (g)	% w	% W _{PROM}
6	31	12.80	30.30	26.20	30.60	27.27
	13LA	11.10	28.70	25.30	23.94	
14	36	11.30	26.10	23.20	24.37	23.95
	68	10.80	23.40	21.00	23.53	
23	8	11.40	22.10	20.20	21.59	21.58
	2	10.80	23.20	21.00	21.57	
34	61	17.70	28.50	26.50	22.73	22.90
	70	17.70	30.50	28.10	23.08	
Límite líquido (%) : 22.62						
						
LÍMITE PLÁSTICO						
# Recipiente	Wr (g)	Whum (g)	Wseco (g)	% w	% W Prom	
3A	10.60	12.70	12.30	23.53	20.65	
74	10.80	13.00	12.60	22.22		
73	10.60	12.60	12.20	25.00		
1	10.80	12.60	12.40	12.50		
3B	10.70	12.50	12.20	20.00		
LÍMITES DE ATTERBERG						
Limite líquido:		22.62 %				
Limite plástico:		20.65 %				
Índice plástico:		1.97 %				
CLASIFICACIÓN DE SUELO ANALIZADO						
SISTEMA	AASHTO	A-2-4				
	SUCS	SM				
REALIZÓ:				REVISÓ:		
Egdo. Kevin Adrian Celi Yanchapanta				Ing. Favio Portilla		

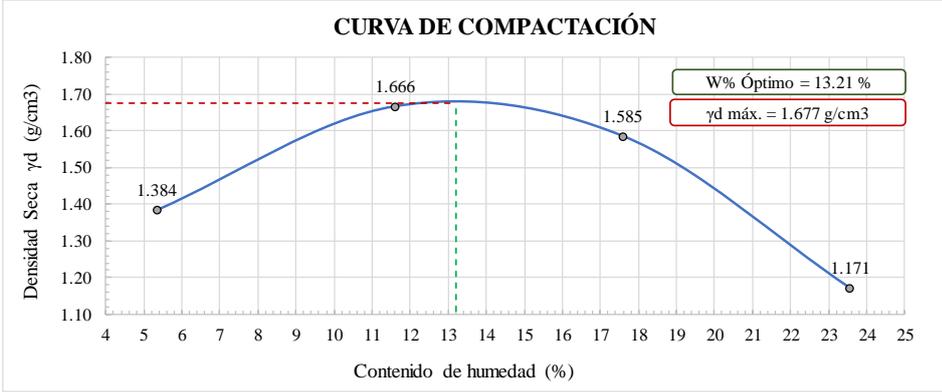
Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

Anexo 23: Gravedad Específica

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN		
Proyecto : Estabilización de suelos granulares de subrasante con finos de tereftalato de polietileno (PET), polipropileno (PP) y polietileno (PE).			
Provincia: Tungurahua Cantón: Ambato Sector: Juan Benigno Vela Fecha: 02/mar/2020 Norma: AASHTO T100-15 ASTM D854-14	Numero de muestra: 2 Representativa Coordenadas: 17 M, 756563.26 ; 9855080.68 Tipo: Subrasante Profundidad: 60 cm		
DATOS			
GRAVEDAD ESPECÍFICA			
Símbolo	Ensayo	N°	1
T_a	Temperatura del agua + suelo	°C	27
W_s	Peso del recipiente + suelo seco	g	117.30
W_{rec}	Peso del recipiente	g	66.30
W_p	Peso del suelo seco	gr	51.00
W_{bw}	Peso picnómetro + agua	gr	661.02
	W_p+W_{bw}	gr	712.02
W_{bws}	Peso picnómetro+agua+suelo	gr	692.10
D_a	Deslizamiento del agua (W_p+W_{bw}) - W_{bws}	g	19.92
K	Factor de correlación por temperatura (K)	g	0.99831
G_s	Gravedad específica (G_s)	-	2.56
			
DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO			
- En la curva de calibración tenemos que a 27 °C, el peso del picnómetro más agua es de 661.02 g.			
REALIZÓ:	REVISÓ:		
Egdo. Kevin Adrian Celi Yanchapanta	Ing. Favio Portilla		

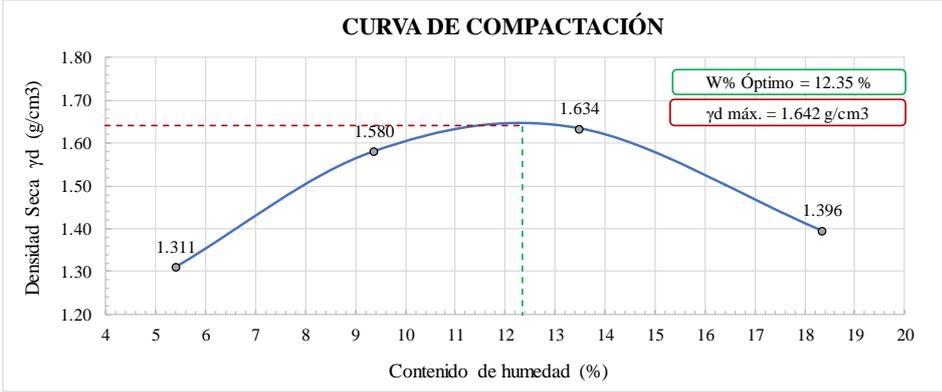
Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

Anexo 24: Proctor Modificado con 0% PET/PP/PE

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN								
Proyecto : Estabilización de suelos granulares de subrasante con finos de tereftalato de polietileno (PET), polipropileno (PP) y polietileno (PE).								
Provincia:	Tungurahua	Numero de muestra:	7					
Cantón:	Ambato	Coordenadas:	17 M, 756563.26 ; 9855080.68					
Sector:	Juan Benigno Vela	Tipo:	Subrasante					
Fecha:	12/mar/2020	Profundidad:	60 cm					
Norma:	AASHTO T180-20 ASTM D1557-12	Finos PET/PP/PE:	0%					
DATOS								
ESPECIFICACIONES DEL PROCTOR MODIFICADO - TIPO C								
Número de Golpes:	56	Altura de Caída (in):	18					
Número de Capas:	5	Peso del Martillo (lb):	10					
Energía de Compactación (lb*ft/ft ³):	55986	Peso del Molde (g.):	6457					
φ Diámetro interno :	15.2	h altura :	11.75					
Vol. del Molde:	2133		cm ³					
Peso Inicial:	6000	6000	6000					
PROCESO DE COMPACTACIÓN								
Ensayo Número	1	2	3					
P. molde+Suelo húmedo (g)	9566	10423	10433					
P. suelo húmedo Wm (g)	3109	3966	3976					
P. unitario húmedo γm (g/cm ³)	1.458	1.859	1.864					
DETERMINACIÓN DE CONTENIDOS DE HUMEDAD								
Identificación del recipiente	R-3	T-11	D-16	4	OR-7	ML-T	HC	JL-4
P. del recipiente (Wrec)	20.22	21.08	13.29	19.07	20.04	18.78	19.45	19.88
Rec+suelo húmedo (Wrec+Wm)	102.33	110.34	67.62	90.84	99.82	91.43	99.05	99.65
Rec+suelo seco (Ws + Wm)	98.00	106.00	62.09	83.23	88.03	80.45	83.76	84.56
Peso sólidos (Ws)	77.78	84.92	48.80	64.16	67.99	61.67	64.31	64.68
Peso del agua (Ww)	4.33	4.34	5.53	7.61	11.79	10.98	15.29	15.09
Cont. Humedad (w%)	5.57	5.11	11.33	11.86	17.34	17.80	23.78	23.33
Cont. Humedad promedio (w%)	5.34		11.60		17.57		23.55	
Densidad Seca γd (g/cm ³)	1.384		1.666		1.585		1.171	
DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA								
Contenido de Humedad Óptima ω% :		13.21						
Densidad Seca Máxima γd (g/cm ³) :		1.677						
CURVA DE COMPACTACIÓN								
								
DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO								
La máxima densidad seca obtenida de la curva de compactación es de 1.677 g/cm ³ , la cual corresponde a un contenido de humedad óptimo de 13.21 %.								
REALIZÓ:		REVISÓ:						
Egdo. Kevin Adrian Celi Yanchapanta		Ing. Favio Portilla						

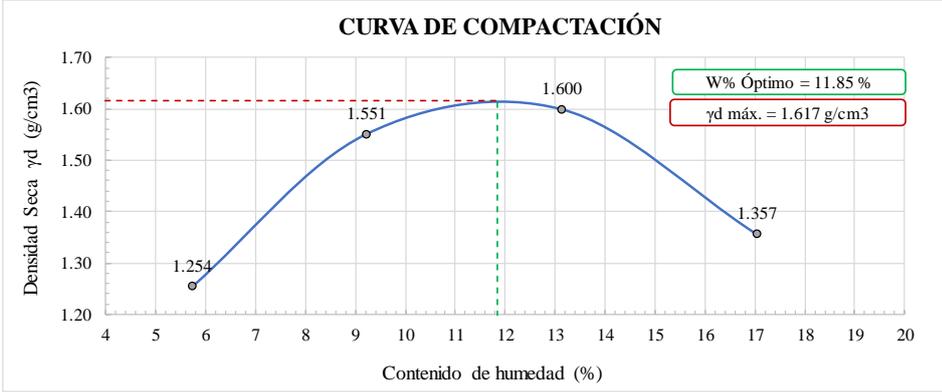
Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

Anexo 25: Proctor Modificado con 3% PET/PP/PE

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN		
Proyecto : Estabilización de suelos granulares de subrasante con finos de tereftalato de polietileno (PET), polipropileno (PP) y polietileno (PE).		
Provincia:	Tungurahua	Numero de muestra: 8
Cantón:	Ambato	Coordenadas: 17 M, 756563.26 ; 9855080.68
Sector:	Juan Benigno Vela	Tipo: Subrasante
Fecha:	14/nov/2020	Profundidad: 60 cm
Norma:	AASHTO T180-20 ASTM D1557-12	Finos PET/PP/PE: 3%
DATOS		
ESPECIFICACIONES DEL PROCTOR MODIFICADO - TIPO C		
Número de Golpes:	56	Altura de Caída (in): 18
Número de Capas:	5	Peso del Martillo (lb): 10
Energía de Compactación (lb*ft/ft ³):	55986	Peso del Molde (g.): 6457
		φ Diámetro interno : 15.2 cm
		h altura : 11.75 cm
		Vol. del Molde: 2133 cm ³
Peso Inicial:	6000	6000
		6000
		6000
PROCESO DE COMPACTACIÓN		
Ensayo Número	1	2
	3	4
P. molde+Suelo húmedo (g)	9404	10143
	10412	9980
P. suelo húmedo Wm (g)	2947	3686
	3955	3523
P. unitario húmedo γm (g/cm ³)	1.382	1.728
	1.854	1.652
DETERMINACIÓN DE CONTENIDOS DE HUMEDAD		
Identificación del recipiente	ML-19	B-10
	ML-35	ML-38
	D-36	AB-15
	O-23	HA
P. del recipiente (Wrec)	20.10	11.74
	10.50	10.70
	13.29	19.75
	12.31	12.11
Rec+suelo húmedo (Wrec+Wm)	91.78	67.54
	63.23	67.54
	56.99	72.44
	55.44	63.27
Rec+suelo seco (Ws + Wm)	88.00	64.76
	58.63	62.76
	51.76	66.23
	48.76	55.34
Peso sólidos (Ws)	67.90	53.02
	48.13	52.06
	38.47	46.48
	36.45	43.23
Peso del agua (Ww)	3.78	2.78
	4.60	4.78
	5.23	6.21
	6.68	7.93
Cont. Humedad (w%)	5.57	5.24
	9.56	9.18
	13.60	13.36
	18.33	18.34
Cont. Humedad promedio (w%)	5.41	9.37
	13.48	18.34
Densidad Seca γd (g/cm ³)	1.311	1.580
	1.634	1.396
DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA		
Contenido de Humedad Óptima ω% :	12.35	
Densidad Seca Máxima γd (g/cm ³) :	1.642	
		
DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO		
La máxima densidad seca obtenida de la curva de compactación es de 1.642 g/cm ³ , la cual corresponde a un contenido de humedad óptimo de 12.35 %.		
REALIZÓ:	REVISÓ:	
Egdo. Kevin Adrian Celi Yanchapanta	Ing. Favio Portilla	

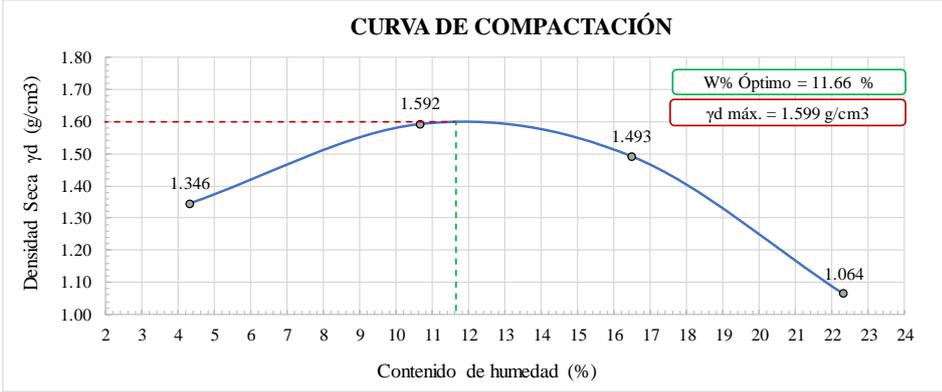
Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

Anexo 26: Proctor Modificado con 6% PET/PP/PE

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN								
Proyecto : Estabilización de suelos granulares de subrasante con finos de tereftalato de polietileno (PET), polipropileno (PP) y polietileno (PE).								
Provincia:	Tungurahua	Numero de muestra: 9						
Cantón:	Ambato	Coordenadas: 17 M, 756563.26 ; 9855080.68						
Sector:	Juan Benigno Vela	Tipo: Subrasante						
Fecha:	14/nov/2020	Profundidad: 60 cm						
Norma:	AASHTO T180-20 ASTM D1557-12	Finos PET/PP/PE: 6%						
DATOS								
ESPECIFICACIONES DEL PROCTOR MODIFICADO - TIPO C								
Número de Golpes:	56	Altura de Caída (in): 18	ϕ Diámetro interno : 15.2 cm					
Número de Capas:	5	Peso del Martillo (lb): 10	h altura : 11.75 cm					
Energía de Compactación (lb*ft/ft ³):	55986	Peso del Molde (g.): 6457	Vol. del Molde: 2133 cm ³					
Peso Inicial:	6000	6000	6000					
PROCESO DE COMPACTACIÓN								
Ensayo Número	1	2	3					
P. molde+Suelo húmedo (g)	9286	10071	10317					
P. suelo húmedo Wm (g)	2829	3614	3860					
P. unitario húmedo γ_m (g/cm ³)	1.326	1.694	1.810					
DETERMINACIÓN DE CONTENIDOS DE HUMEDAD								
Identificación del recipiente	15	D-16	B-4	ML-1	D-40	B-1	BA-39	RV
P. del recipiente (Wrec)	12.31	13.29	12.27	11.75	13.37	12.25	12.20	11.95
Rec+suelo húmedo (Wrec+Wm)	53.65	62.16	78.44	77.56	80.81	80.74	90.09	89.19
Rec+suelo seco (Ws + Wm)	51.32	59.62	72.88	71.98	73.00	72.78	78.98	77.73
Peso solidos (Ws)	39.01	46.33	60.61	60.23	59.63	60.53	66.78	65.78
Peso del agua (Ww)	2.33	2.54	5.56	5.58	7.81	7.96	11.11	11.46
Cont. Humedad (w%)	5.97	5.48	9.17	9.26	13.10	13.15	16.64	17.42
Cont. Humedad promedio (w%)	5.73			9.22		13.12		17.03
Densidad Seca γ_d (g/cm ³)	1.254			1.551		1.600		1.357
DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA								
Contenido de Humedad Óptima ω % :				11.85				
Densidad Seca Máxima γ_d (g/cm ³) :				1.617				
CURVA DE COMPACTACIÓN								
								
DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO								
La máxima densidad seca obtenida de la curva de compactación es de 1.617 g/cm ³ , la cual corresponde a un contenido de humedad óptimo de 11.85 %.								
REALIZÓ:					REVISÓ:			
Egdo. Kevin Adrian Celi Yanchapanta					Ing. Favio Portilla			

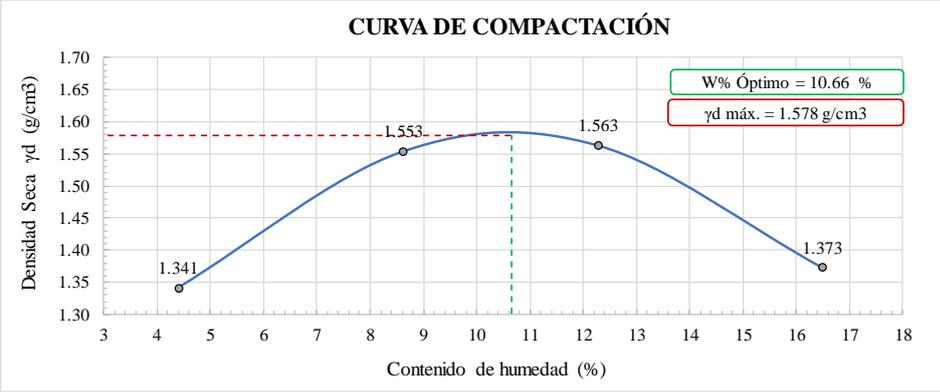
Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

Anexo 27: Proctor Modificado con 9% PET/PP/PE

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN			
Proyecto : Estabilización de suelos granulares de subrasante con finos de tereftalato de polietileno (PET), polipropileno (PP) y polietileno (PE).			
Provincia:	Tungurahua	Numero de muestra:	10
Cantón:	Ambato	Coordenadas:	17 M, 756563.26 ; 9855080.68
Sector:	Juan Benigno Vela	Tipo:	Subrasante
Fecha:	14/nov/2020	Profundidad:	60 cm
Norma:	AASHTO T180-20 ASTM D1557-12	Finos PET/PP/PE:	9%
DATOS			
ESPECIFICACIONES DEL PROCTOR MODIFICADO - TIPO C			
Número de Golpes:	56	Altura de Caída (in):	18
Número de Capas:	5	Peso del Martillo (lb):	10
Energía de Compactación (lb*ft/ft ³):	55986	Peso del Molde (g.):	6457
		φ Diámetro interno :	15.2 cm
		h altura :	11.75 cm
		Vol. del Molde:	2133 cm ³
Peso Inicial:	6000	6000	6000
PROCESO DE COMPACTACIÓN			
Ensayo Número	1	2	3
P. molde+Suelo húmedo (g)	9452	10215	10165
P. suelo húmedo Wm (g)	2995	3758	3708
P. unitario húmedo γm (g/cm ³)	1.404	1.762	1.738
DETERMINACIÓN DE CONTENIDOS DE HUMEDAD			
Identificación del recipiente	D-29	V-3	B-31
P. del recipiente (Wrec)	13.34	13.97	16.35
Rec+suelo húmedo (Wrec+Wm)	48.88	50.33	63.62
Rec+suelo seco (Ws + Wm)	47.28	48.96	58.98
Peso sólidos (Ws)	33.94	34.99	42.63
Peso del agua (Ww)	1.60	1.37	4.64
Cont. Humedad (w%)	4.71	3.92	10.88
Cont. Humedad promedio (w%)	4.31		10.64
Densidad Seca γd (g/cm ³)	1.346		1.592
			1.493
			1.064
DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA			
Contenido de Humedad Óptima ω% :		11.66	
Densidad Seca Máxima γd (g/cm ³) :		1.599	
CURVA DE COMPACTACIÓN			
			
DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO			
La máxima densidad seca obtenida de la curva de compactación es de 1.599 g/cm ³ , la cual corresponde a un contenido de humedad óptimo de 11.66 %.			
REALIZÓ:		REVISÓ:	
Egdo. Kevin Adrian Celi Yanchapanta		Ing. Favio Portilla	

Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

Anexo 28: Proctor Modificado con 12% PET/PP/PE

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN			
Proyecto : Estabilización de suelos granulares de subrasante con finos de tereftalato de polietileno (PET), polipropileno (PP) y polietileno (PE).			
Provincia:	Tungurahua	Numero de muestra:	11
Cantón:	Ambato	Coordenadas:	17 M, 756563.26 ; 9855080.68
Sector:	Juan Benigno Vela	Tipo:	Subrasante
Fecha:	16/nov/2020	Profundidad:	60 cm
Norma:	AASHTO T180-20 ASTM D1557-12	Finos PET/PP/PE:	12%
DATOS			
ESPECIFICACIONES DEL PROCTOR MODIFICADO - TIPO C			
Número de Golpes:	56	Altura de Caída (in):	18
Número de Capas:	5	Peso del Martillo (lb):	10
Energía de Compactación (lb*ft/ft ³):	55986	Peso del Molde (g.):	6457
Peso Inicial:	6000		6000
			6000
			6000
PROCESO DE COMPACTACIÓN			
Ensayo Número	1	2	3
P. molde+Suelo húmedo (g)	9442	10055	10199
P. suelo húmedo Wm (g)	2985	3598	3742
P. unitario húmedo γ_m (g/cm ³)	1.399	1.687	1.754
			1.599
DETERMINACIÓN DE CONTENIDOS DE HUMEDAD			
Identificación del recipiente	ML-5	QY-12	R-7
P. del recipiente (Wrec)	20.40	19.94	21.24
Rec+suelo húmedo (Wrec+Wm)	113.76	107.59	121.32
Rec+suelo seco (Ws + Wm)	109.98	103.76	113.29
Peso sólidos (Ws)	89.58	83.82	92.05
Peso del agua (Ww)	3.78	3.83	8.03
Cont. Humedad (w%)	4.22	4.57	8.72
Cont. Humedad promedio (w%)	4.39		8.62
Densidad Seca γ_d (g/cm ³)	1.341		1.553
			1.563
			1.373
DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA			
Contenido de Humedad Óptima ω % :		10.66	
Densidad Seca Máxima γ_d (g/cm ³) :		1.578	
CURVA DE COMPACTACIÓN			
			
DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO			
La máxima densidad seca obtenida de la curva de compactación es de 1.578 g/cm ³ , la cual corresponde a un contenido de humedad óptimo de 10.66 %.			
REALIZÓ:		REVISÓ:	
Egdo. Kevin Adrian Celi Yanchapanta		Ing. Favio Portilla	

Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

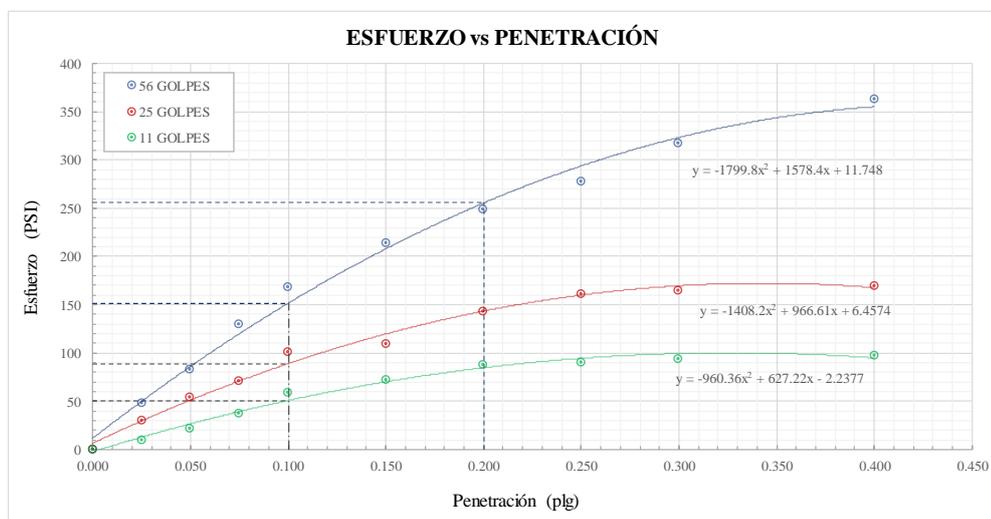
Anexo 29: Proctor Modificado con 15% PET/PP/PE

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN			
Proyecto : Estabilización de suelos granulares de subrasante con finos de tereftalato de polietileno (PET), polipropileno (PP) y polietileno (PE).			
Provincia:	Tungurahua	Numero de muestra:	12
Cantón:	Ambato	Coordenadas:	17 M, 756563.26 ; 9855080.68
Sector:	Juan Benigno Vela	Tipo:	Subrasante
Fecha:	16/nov/2020	Profundidad:	60 cm
Norma:	AASHTO T180-20 ASTM D1557-12	Finos PET/PP/PE:	15%
DATOS			
ESPECIFICACIONES DEL PROCTOR MODIFICADO - TIPO C			
Número de Golpes:	56	Altura de Caída (in):	18
Número de Capas:	5	Peso del Martillo (lb):	10
Energía de Compactación (lb*ft/ft ³):	55986	Peso del Molde (g.):	6457
Peso Inicial:	6000	6000	6000
φ Diámetro interno :	15.2	cm	
h altura :	11.75	cm	
Vol. del Molde:	2133	cm ³	
PROCESO DE COMPACTACIÓN			
Ensayo Número	1	2	3
P. molde+Suelo húmedo (g)	9341	10088	10032
P. suelo húmedo Wm (g)	2884	3631	3575
P. unitario húmedo γm (g/cm ³)	1.352	1.702	1.676
4			
			1.250
DETERMINACIÓN DE CONTENIDOS DE HUMEDAD			
Identificación del recipiente	D-29	HHC	D-10
P. del recipiente (Wrec)	13.34	20.12	27.80
Rec+suelo húmedo (Wrec+Wm)	55.55	80.66	128.91
Rec+suelo seco (Ws + Wm)	54.68	79.32	119.86
Peso sólidos (Ws)	41.34	59.20	92.06
Peso del agua (Ww)	0.87	1.34	9.05
Cont. Humedad (w%)	2.10	2.26	9.83
Cont. Humedad promedio (w%)	2.18		9.61
Densidad Seca γd (g/cm ³)	1.323		1.553
			1.440
			1.015
			16.39
			23.11
			23.22
			85.24
			105.65
			88.08
			108.56
			123.97
			128.82
			136.42
			144.0
			157.0
			167.0
			179.0
			204.0
			232.0
			250.0
			270.0
			290.0
			310.0
			330.0
			350.0
			370.0
			390.0
			410.0
			430.0
			450.0
			470.0
			490.0
			510.0
			530.0
			550.0
			570.0
			590.0
			610.0
			630.0
			650.0
			670.0
			690.0
			710.0
			730.0
			750.0
			770.0
			790.0
			810.0
			830.0
			850.0
			870.0
			890.0
			910.0
			930.0
			950.0
			970.0
			990.0
			1010.0
			1030.0
			1050.0
			1070.0
			1090.0
			1110.0
			1130.0
			1150.0
			1170.0
			1190.0
			1210.0
			1230.0
			1250.0
			1270.0
			1290.0
			1310.0
			1330.0
			1350.0
			1370.0
			1390.0
			1410.0
			1430.0
			1450.0
			1470.0
			1490.0
			1510.0
			1530.0
			1550.0
			1570.0
			1590.0
			1610.0
			1630.0
			1650.0
			1670.0
			1690.0
			1710.0
			1730.0
			1750.0
			1770.0
			1790.0
			1810.0
			1830.0
			1850.0
			1870.0
			1890.0
			1910.0
			1930.0
			1950.0
			1970.0
			1990.0
			2010.0
			2030.0
			2050.0
			2070.0
			2090.0
			2110.0
			2130.0
			2150.0
			2170.0
			2190.0
			2210.0
			2230.0
			2250.0
			2270.0
			2290.0
			2310.0
			2330.0
			2350.0
			2370.0
			2390.0
			2410.0
			2430.0
			2450.0
			2470.0
			2490.0
			2510.0
			2530.0
			2550.0
			2570.0
			2590.0
			2610.0
			2630.0
			2650.0
			2670.0
			2690.0
			2710.0
			2730.0
			2750.0
			2770.0
			2790.0
			2810.0
			2830.0
			2850.0
			2870.0
			2890.0
			2910.0
			2930.0
			2950.0
			2970.0
			2990.0
			3010.0
			3030.0
			3050.0
			3070.0
			3090.0
			3110.0
			3130.0
			3150.0
			3170.0
			3190.0
			3210.0
			3230.0
			3250.0
			3270.0
			3290.0
			3310.0
			3330.0
			3350.0
			3370.0
			3390.0
			3410.0
			3430.0
			3450.0
			3470.0
			3490.0
			3510.0
			3530.0
			3550.0
			3570.0
			3590.0
			3610.0
			3630.0
			3650.0
			3670.0
			3690.0
			3710.0
			3730.0
			3750.0
			3770.0
			3790.0
			3810.0
			3830.0
			3850.0
			3870.0
			3890.0
			3910.0
			3930.0
			3950.0
			3970.0
			3990.0
			4010.0
			4030.0
			4050.0
			4070.0
			4090.0
			4110.0
			4130.0
			4150.0
			4170.0
			4190.0
			4210.0
			4230.0
			4250.0
			4270.0
			4290.0
			4310.0
			4330.0
			4350.0
			4370.0
			4390.0
			4410.0
			4430.0
			4450.0
			4470.0
			4490.0
			4510.0
			4530.0
			4550.0
			4570.0
			4590.0
			4610.0
			4630.0
			4650.0
			4670.0
			4690.0
			4710.0
			4730.0
			4750.0
			4770.0
			4790.0
			4810.0
			4830.0
			4850.0
			4870.0
			4890.0
			4910.0
			4930.0
			4950.0
			4970.0
			4990.0
			5010.0
			5030.0
			5050.0
			5070.0
			5090.0
			5110.0
			5130.0
			5150.0
			5170.0
			5190.0
			5210.0
			5230.0
			5250.0
			5270.0
			5290.0
			5310.0
			5330.0
			5350.0
			5370.0
			5390.0
			5410.0
			5430.0
			5450.0
			5470.0
			5490.0
			5510.0
			5530.0
			5550.0
			5570.0
			5590.0
			5610.0
			5630.0
			5650.0
			5670.0
			5690.0
			5710.0
			5730.0
			5750.0
			5770.0
			5790.0
			5810.0
			5830.0
			5850.0
			5870.0
			5890.0
			5910.0
			5930.0
			5950.0
			5970.0
			5990.0
			6010.0
			6030.0
			6050.0
			6070.0
			6090.0

Anexo 30: CBR con 0% PET/PP/PE

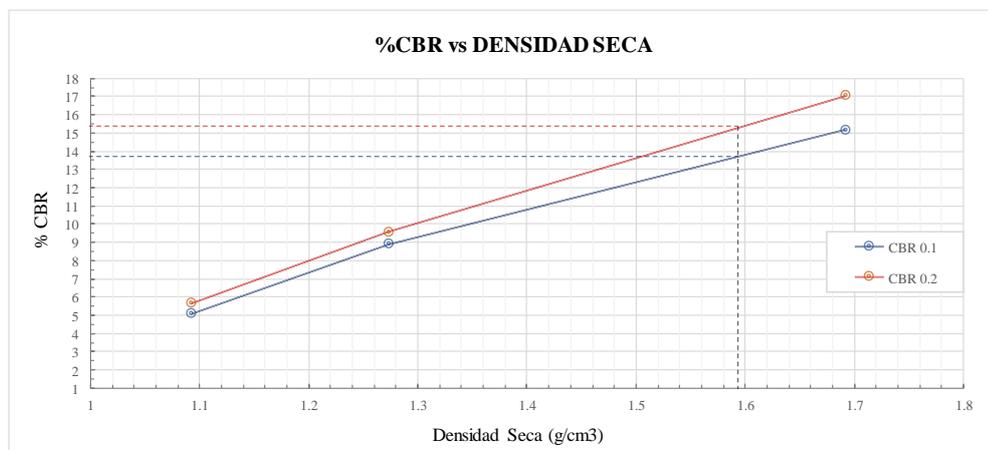
		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN									
Proyecto : Estabilización de suelos granulares de subrasante con finos de tereftalato de polietileno (PET), polipropileno (PP) y polietileno (PE).											
Provincia:	Tungurahua			Numero de muestra:	7						
Cantón:	Ambato			Coordenadas:	17 M, 764601.12 ; 9852888.29						
Sector:	Juan Benigno Vela			Tipo:	Subrasante						
Fecha:	16/nov/2020			Profundidad:	60 cm						
Norma:	AASHTO T193-13 ASTM D1883-16			Finos PET/PP/PE:	0%						
DATOS											
ENSAYO DE RELACION DE SOPORTE CALIFORNIA DE LABORATORIO - CBR											
DATOS DE COMPACTACIÓN - PROCTOR											
Método:	MODIFICADO										
Densidad Máxima:	1677	Kg/m ³									
Humedad Óptima:	13.21	%									
CONTENIDO DE HUMEDAD Y PESO UNITARIO DE LA MUESTRA DE ENSAYO											
Molde N°	G-29			G7			LL-22				
N° de Capas	5			5			5				
N° de golpes por capa	56			25			11				
Estado de la muestra	Antes de Remojar		Después de Remojar	Antes de Remojar		Después de Remojar	Antes de Remojar		Después de Remojar		
Peso muestra húmeda + molde (g)	11345		11834	10298		10754	9890		10456		
Peso del molde (g)	7011		7011	7105		7105	7088		7088		
Peso de muestra húmeda (g)	4334		4823	3193		3649	2802		3368		
Volumen muestra (cm ³)	2265		2265	2223		2223	2286		2286		
Peso unit. Húmedo, g/cm³	1.913		2.129	1.436		1.641	1.226		1.473		
Cant. De humedad de muestra del tarro N°	Fondo		Arriba	1" de Arriba		Fondo	Arriba	1" de Arriba			
Peso de muestra humedad + tarro (g)	B-28	ML-35	QT-9	ML-32	ML-8	B-28	QT-9	SD-2	ML-8		
	102.33	87.08	101.59	101.86	101.36	102.33	101.59	104.04	101.36		
Peso de muestra seca + tarro (g)	92.23	78.00	84.59	91.53	91.56	83.11	91.89	94.09	80.09		
Peso del agua (g)	10.10	9.08	17.00	10.33	9.80	19.22	9.70	9.95	21.27		
Peso del tarro (g)	16.69	10.50	18.76	14.40	19.10	16.69	18.76	20.04	19.10		
Peso de la muestra seca (g)	75.54	67.50	65.83	77.13	72.46	66.42	73.13	74.05	60.99		
Contenido de humedad %	13.37%	13.45%	25.82%	13.39%	13.52%	28.94%	13.26%	13.44%	34.87%		
Contenido de humedad promedio, %	13.41%		25.82%	13.46%		28.94%	13.35%		34.87%		
Peso Unit. Seco g/cm³	1.687		1.692	1.266		1.273	1.081		1.092		
DATOS DEL ESPONJAMIENTO (HINCHAMIENTO)											
Día del mes	Hora del día	Interv. De tiempo en días	Molde N° G-29			Molde N° G7			Molde N° LL-22		
			Lectura del Indicador	Espanjamiento		Lectura del Indicador	Espanjamiento		Lectura del Indicador	Espanjamiento	
			Pulg.	%	Pulg.	%	Pulg.	%	Pulg.	%	
17/11/2020	14h00	1	1	0.001	0.0220	2	0.002	0.0440	7	0.007	0.1539
18/11/2020	14h00	2	3	0.003	0.0660	4	0.004	0.0880	9	0.009	0.1979
19/11/2020	14h00	3	3	0.003	0.0660	5	0.005	0.1100	13	0.013	0.2859
20/11/2020	14h00	4	3	0.003	0.0660	5	0.005	0.1100	15	0.015	0.3299
21/11/2020	14h00	5	3	0.003	0.0660	5	0.005	0.1100	15	0.015	0.3299
DATOS DE ENSAYO DE CARGA CBR											
Penetración Pulgada	Carga Standard Lb	Molde N° G-29			Molde N° G7			Molde N° LL-22			
		Carga del Ensayo	CBR Corr.	% CBR	Carga del Ensayo	CBR Corr.	% CBR	Carga del Ensayo	CBR Corr.	% CBR	
0.000		0	0		0	0		0	0		
0.025		145	48		90	30		29	10		
0.050		252	84		165	55		66	22		
0.075		391	130		215	72		112	37		
0.100	1000	505	168	151.59	303	101	89.04	177	59	50.88	
0.150		644	215		331	110		219	73		
0.200	1500	749	250	255.44	431	144	143.45	264	88	84.79	
0.250		836	279		483	161		271	90		
0.300		955	318		496	165		283	94		
0.400		1089	363		511	170		294	98		
0.500		1111	370		523	174		316	105		
0.600		1134	378		536	179		378	126		

PORCENTAJES CBR CORREGIDOS						
Molde N°	CBR 0.1"			CBR 0.2"		
	Presión (PSI)	CBR %	Densidad Seca (g/cm3)	Presión (PSI)	CBR %	Densidad Seca (g/cm3)
G-29	151.59	15.16	1.692	255.44	17.03	1.692
G7	89.04	8.90	1.273	143.45	9.56	1.273
LL-22	50.88	5.09	1.092	84.79	5.65	1.092



CBR			
DENSIDAD MÁXIMA (g/cm3)	CBR 0.1"	CBR 0.2"	% CBR MAYOR
Densidad al 100%: 1.677			
Densidad al 95%: 1.593	13.70	15.40	15.40

GRÁFICA CBR



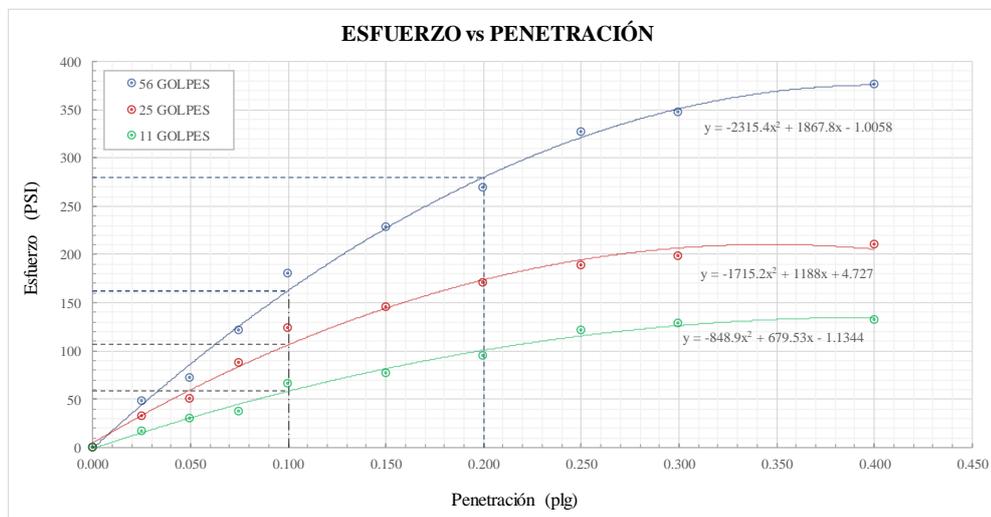
DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO	
El CBR para el diseño de pavimento es de 15.4%	
REALIZÓ:	REVISÓ:
Egdo. Kevin Adrian Celi Yanchapanta	Ing. Favio Portilla

Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

Anexo 31: CBR con 3% PET/PP/PE

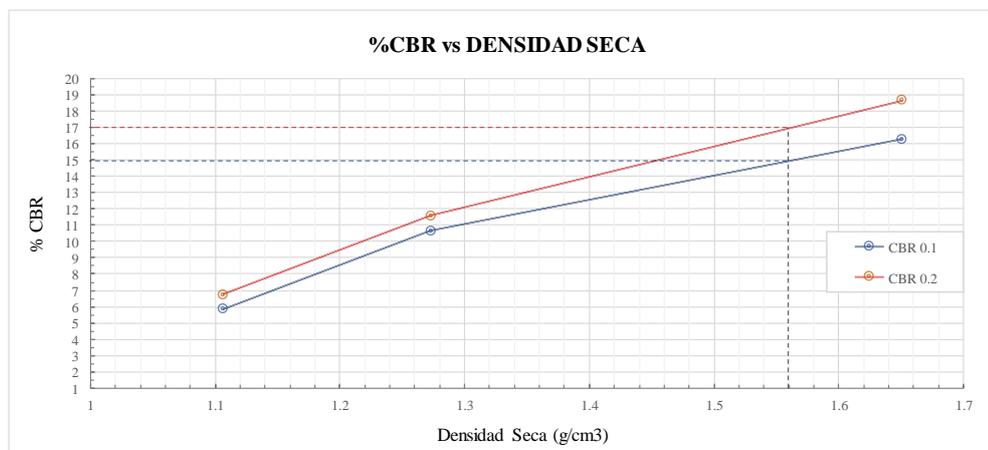
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN												
Proyecto : Estabilización de suelos granulares de subrasante con finos de tereftalato de polietileno (PET), polipropileno (PP) y polietileno (PE).												
Provincia: Tungurahua				Numero de muestra: 8								
Cantón: Ambato				Coordenadas: 17 M, 764601.12 ; 9852888.29								
Sector: Juan Benigno Vela				Tipo: Subrasante								
Fecha: 16/nov/2020				Profundidad: 60 cm								
Norma: AASHTO T193-13 ASTM D1883-16				Finos PET/PP/PE: 3%								
DATOS												
ENSAYO DE RELACION DE SOPORTE CALIFORNIA DE LABORATORIO - CBR												
DATOS DE COMPACTACIÓN - PROCTOR												
Método: MODIFICADO												
Densidad Máxima: 1642 Kg/m ³												
Humedad Óptima: 12.35 %												
CONTENIDO DE HUMEDAD Y PESO UNITARIO DE LA MUESTRA DE ENSAYO												
Molde N°	G-6			C-12			SL-11					
N° de Capas	5			5			5					
N° de golpes por capa	56			25			11					
Estado de la muestra	Antes de Remojar		Después de Remojar	Antes de Remojar		Después de Remojar	Antes de Remojar		Después de Remojar			
Peso muestra húmeda + molde (g)	10978		11389	10511		10923	9789		10234			
Peso del molde (g)	6896		6896	7136		7136	6996		6996			
Peso de muestra húmeda (g)	4082		4493	3375		3787	2793		3238			
Volumen muestra (cm ³)	2205		2205	2317		2317	2226		2226			
Peso unit. Húmedo, g/cm³	1.851		2.038	1.457		1.634	1.255		1.455			
Cant. De humedad de muestra del tarro N°	Fondo	Arriba	1" de Arriba	Fondo	Arriba	1" de Arriba	Fondo	Arriba	1" de Arriba			
	C-17	22	AS-5	12	W5	C-17	AS-5	C-14	12			
Peso de muestra humedad + tarro (g)	94.59	93.37	93.96	95.88	93.06	94.59	93.96	99.16	95.88			
Peso de muestra seca + tarro (g)	86.36	85.00	80.00	87.75	85.00	78.12	85.95	90.28	77.98			
Peso del agua (g)	8.23	8.37	13.96	8.13	8.06	16.47	8.01	8.88	17.90			
Peso del tarro (g)	20.16	18.70	20.40	21.13	20.14	20.16	20.40	19.20	21.13			
Peso de la muestra seca (g)	66.20	66.30	59.60	66.62	64.86	57.96	65.55	71.08	56.85			
Contenido de humedad %	12.43%	12.62%	23.42%	12.20%	12.43%	28.42%	12.22%	12.49%	31.49%			
Contenido de humedad promedio, %	12.53%			23.42%			12.32%			28.42%		
Peso Unit. Seco g/cm³	1.645		1.651	1.297		1.273	1.117		1.106			
DATOS DEL ESPONJAMIENTO (HINCHAMIENTO)												
Día del mes	Hora del día	Interv. De tiempo en días	Molde N° G-6			Molde N° C-12			Molde N° SL-11			
			Lectura del Indicador	Espanjamiento		Lectura del Indicador	Espanjamiento		Lectura del Indicador	Espanjamiento		
			Pulg.	%	Pulg.	%	Pulg.	%	Pulg.	%		
17/11/2020	14h00	1	1	0.001	0.0220	2	0.002	0.0440	4	0.004	0.0880	
18/11/2020	14h00	2	3	0.003	0.0660	6	0.006	0.1320	11	0.011	0.2419	
19/11/2020	14h00	3	5	0.005	0.1100	8	0.008	0.1759	14	0.014	0.3079	
20/11/2020	14h00	4	5	0.005	0.1100	8	0.008	0.1759	14	0.014	0.3079	
21/11/2020	14h00	5	5	0.005	0.1100	8	0.008	0.1759	14	0.014	0.3079	
DATOS DE ENSAYO DE CARGA CBR												
Penetración Pulgada	Carga Standard Lb	Molde N° G-6			Molde N° C-12			Molde N° SL-11				
		Carga del Ensayo	CBR Corr.	% CBR	Carga del Ensayo	CBR Corr.	% CBR	Carga del Ensayo	CBR Corr.	% CBR		
0.000		0	0		0	0		0	0			
0.025		144	48		98	33		51	17			
0.050		219	73		154	51		92	31			
0.075		364	121		266	89		112	37			
0.100	1000	544	181	162.62	374	125	106.34	199	66	58.33		
0.150		687	229		438	146		233	78			
0.200	1500	808	269	279.94	512	171	173.72	285	95	100.82		
0.250		981	327		566	189		366	122			
0.300		1042	347		598	199		387	129			
0.400		1131	377		634	211		398	133			
0.500		1198	399		656	219		412	137			
0.600		1221	407		683	228		432	144			

PORCENTAJES CBR CORREGIDOS						
Molde N°	CBR 0.1"			CBR 0.2"		
	Presión (PSI)	CBR %	Densidad Seca (g/cm3)	Presión (PSI)	CBR %	Densidad Seca (g/cm3)
G-6	162.62	16.26	1.651	279.94	18.66	1.651
C-12	106.34	10.63	1.273	173.72	11.58	1.273
SL-11	58.33	5.83	1.106	100.82	6.72	1.106



CBR			
DENSIDAD MÁXIMA (g/cm3)	CBR 0.1"	CBR 0.2"	% CBR MAYOR
Densidad al 100%: 1.642			
Densidad al 95%: 1.560	14.90	17.00	17.00

GRÁFICA CBR



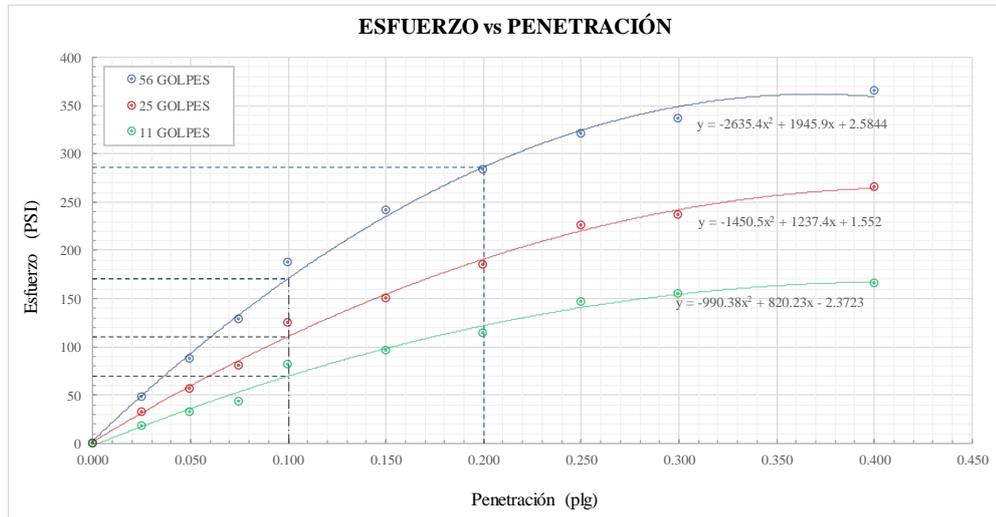
DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO	
El CBR para el diseño de pavimento es de 17%	
REALIZÓ:	REVISÓ:
Egdo. Kevin Adrian Celi Yanchapanta	Ing. Favio Portilla

Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

Anexo 32: CBR con 6% PET/PP/PE

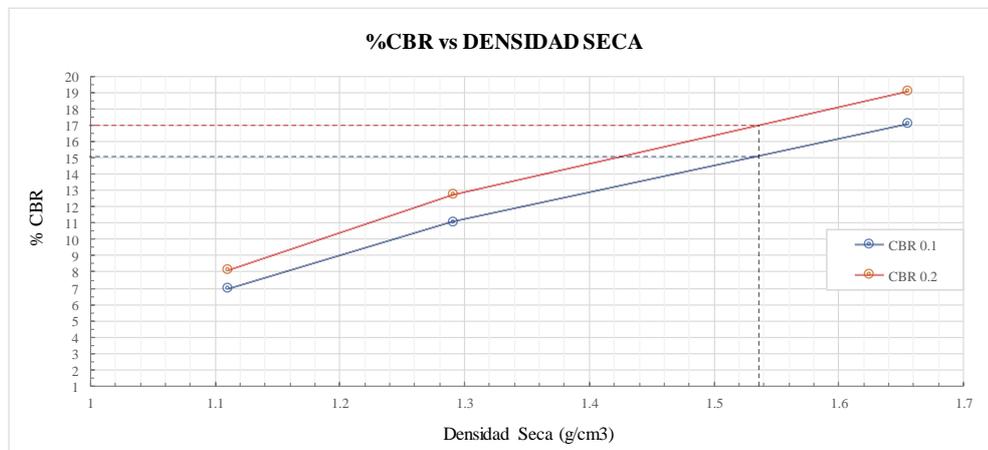
		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN									
Proyecto : Estabilización de suelos granulares de subrasante con finos de tereftalato de polietileno (PET), polipropileno (PP) y polietileno (PE).											
Provincia: Tungurahua				Numero de muestra: 9							
Cantón: Ambato				Coordenadas: 17 M, 764601.12 ; 9852888.29							
Sector: Juan Benigno Vela				Tipo: Subrasante							
Fecha: 17/nov/2020				Profundidad: 60 cm							
Norma: AASHTO T193-13				Finos PET/PP/PE: 6%							
				ASTM D1883-16							
DATOS											
ENSAYO DE RELACION DE SOPORTE CALIFORNIA DE LABORATORIO - CBR											
DATOS DE COMPACTACIÓN - PROCTOR											
Método: MODIFICADO											
Densidad Máxima: 1617 Kg/m ³											
Humedad Óptima: 11.85 %											
CONTENIDO DE HUMEDAD Y PESO UNITARIO DE LA MUESTRA DE ENSAYO											
Molde N°	R-32			R-12			GH				
N° de Capas	5			5			5				
N° de golpes por capa	56			25			11				
Estado de la muestra	Antes de Remojar		Después de Remojar	Antes de Remojar		Después de Remojar	Antes de Remojar		Después de Remojar		
Peso muestra húmeda + molde (g)	10859		11265	10422		10823	9809		10233		
Peso del molde (g)	7177		7177	7136		7136	7112		7112		
Peso de muestra húmeda (g)	3682		4088	3286		3687	2697		3121		
Volumen muestra (cm ³)	2020		2020	2317		2317	2234		2234		
Peso unit. Húmedo, g/cm³	1.823		2.024	1.418		1.591	1.207		1.397		
Cant. De humedad de muestra del tarro N°	Fondo	Arriba	1° de Arriba	Fondo	Arriba	1° de Arriba	Fondo	Arriba	1° de Arriba		
Peso de muestra humedad + tarro (g)	4	HHC	F	2	QR-9	HHC	F	ML-T	QR-9		
	106.46	111.05	105.90	102.87	108.62	111.05	105.90	102.88	108.62		
Peso de muestra seca + tarro (g)	97.24	101.35	89.98	94.59	99.26	93.88	96.99	94.00	90.15		
Peso del agua (g)	9.22	9.70	15.92	8.28	9.36	17.17	8.91	8.88	18.47		
Peso del tarro (g)	19.07	20.12	18.41	20.87	18.65	20.12	18.41	18.78	18.65		
Peso de la muestra seca (g)	78.17	81.23	71.57	73.72	80.61	73.76	78.58	75.22	71.50		
Contenido de humedad %	11.79%	11.94%	22.24%	11.23%	11.61%	23.28%	11.34%	11.81%	25.83%		
Contenido de humedad promedio, %	11.87%		22.24%	11.42%		23.28%	11.57%		25.83%		
Peso Unit. Seco g/cm³	1.629		1.656	1.273		1.291	1.082		1.110		
DATOS DEL ESPONJAMIENTO (HINCHAMIENTO)											
Día del mes	Hora del día	Interv. De tiempo en días	Molde N° R-32			Molde N° R-12			Molde N° GH		
			Lectura del Indicador	Espojamiento		Lectura del Indicador	Espojamiento		Lectura del Indicador	Espojamiento	
			Pulg.	%		Pulg.	%		Pulg.	%	
18/11/2020	14h00	1	3	0.003	0.0660	5	0.005	0.1100	7	0.007	0.1539
19/11/2020	14h00	2	5	0.005	0.1100	8	0.008	0.1759	7	0.007	0.1539
20/11/2020	14h00	3	7	0.007	0.1539	9	0.009	0.1979	11	0.011	0.2419
21/11/2020	14h00	4	7	0.007	0.1539	9	0.009	0.1979	11	0.011	0.2419
22/11/2020	14h00	5	7	0.007	0.1539	9	0.009	0.1979	11	0.011	0.2419
DATOS DE ENSAYO DE CARGA CBR											
Penetración Pulgada	Carga Standard Lb	Molde N° R-32			Molde N° R-12			Molde N° GH			
		Carga del Ensayo	CBR Corr.	% CBR	Carga del Ensayo	CBR Corr.	% CBR	Carga del Ensayo	CBR Corr.	% CBR	
0.000		0	0		0	0		0	0		
0.025		145	48		98	33		56	19		
0.050		263	88		171	57		99	33		
0.075		389	130		244	81		133	44		
0.100	1000	565	188	170.82	377	126	110.79	245	82	69.75	
0.150		725	242		451	150		289	96		
0.200	1500	852	284	286.00	557	186	191.01	345	115	122.05	
0.250		965	322		679	226		443	148		
0.300		1011	337		712	237		465	155		
0.400		1098	366		798	266		498	166		
0.500		1131	377		811	270		513	171		
0.600		1182	394		846	282		543	181		

Molde N°	PORCENTAJES CBR CORREGIDOS					
	CBR 0.1"			CBR 0.2"		
	Presión (PSI)	CBR %	Densidad Seca (g/cm ³)	Presión (PSI)	CBR %	Densidad Seca (g/cm ³)
R-32	170.82	17.08	1.656	286.00	19.07	1.656
R-12	110.79	11.08	1.291	191.01	12.73	1.291
GH	69.75	6.97	1.110	122.05	8.14	1.110



CBR			
DENSIDAD MÁXIMA (g/cm ³)	CBR 0.1"	CBR 0.2"	% CBR MAYOR
Densidad al 100%:	1.617		
Densidad al 95%	1.536	17.00	17.00

GRÁFICA CBR



DESCRIPCION DEL ENSAYO

El CBR para el diseño de pavimento es de 17%

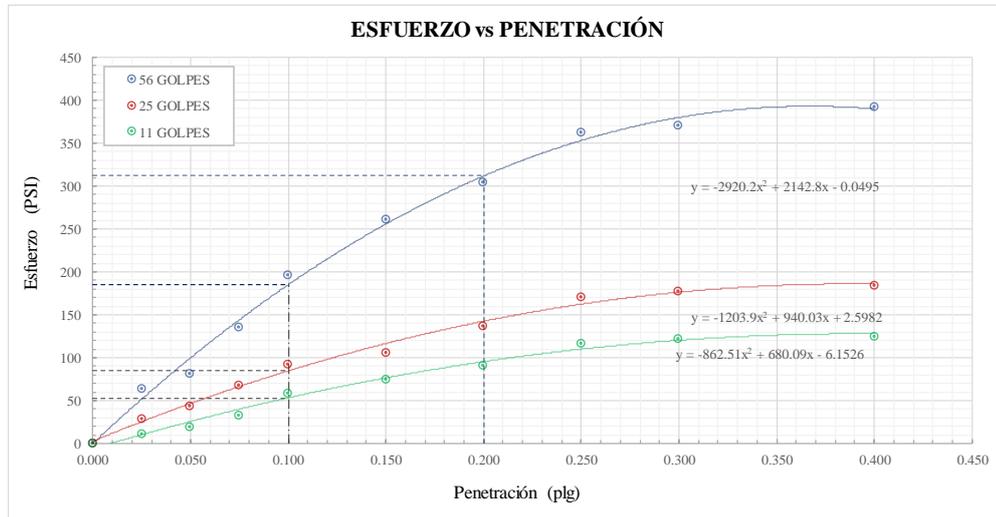
REALIZÓ:	REVISÓ:
Egdo. Kevin Adrian Celi Yanchapanta	Ing. Favio Portilla

Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

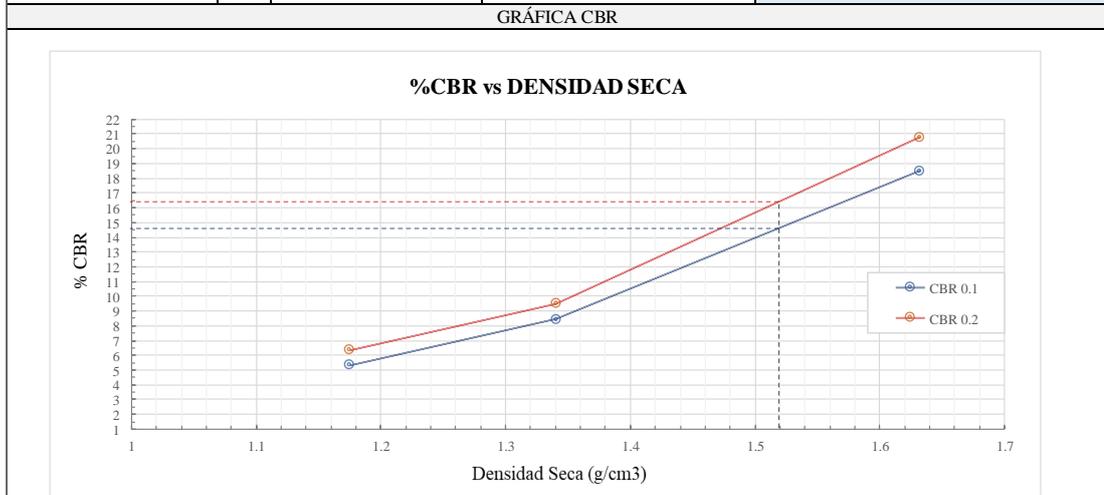
Anexo 33: CBR con 9% PET/PP/PE

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN									
Proyecto : Estabilización de suelos granulares de subrasante con finos de tereftalato de polietileno (PET), polipropileno (PP) y polietileno (PE).											
Provincia: Tungurahua				Numero de muestra: 10							
Cantón: Ambato				Coordenadas: 17 M, 764601.12 ; 9852888.29							
Sector: Juan Benigno Vela				Tipo: Subrasante							
Fecha: 17/nov/2020				Profundidad: 60 cm							
Norma: AASHTO T193-13				Finos PET/PP/PE: 9%							
				ASTM D1883-16							
DATOS											
ENSAYO DE RELACION DE SOPORTE CALIFORNIA DE LABORATORIO - CBR											
DATOS DE COMPACTACIÓN - PROCTOR											
Método: MODIFICADO											
Densidad Máxima: 1599 Kg/m ³											
Humedad Óptima: 11.66 %											
CONTENIDO DE HUMEDAD Y PESO UNITARIO DE LA MUESTRA DE ENSAYO											
Molde N°	SL-12			D-61			G-20				
N° de Capas	5			5			5				
N° de golpes por capa	56			25			11				
Estado de la muestra	Antes de Remojar		Después de Remojar	Antes de Remojar		Después de Remojar	Antes de Remojar		Después de Remojar		
Peso muestra húmeda + molde (g)	11178		11542	10744		11120	9751		10142		
Peso del molde (g)	7110		7110	7400		7400	6905		6905		
Peso de muestra húmeda (g)	4068		4432	3344		3720	2846		3237		
Volumen muestra (cm ³)	2270		2270	2291		2291	2223		2223		
Peso unit. Húmedo, g/cm³	1.792		1.952	1.460		1.624	1.280		1.456		
Cant. De humedad de muestra del tarro N°	Fondo	Arriba	1" de Arriba	Fondo	Arriba	1" de Arriba	Fondo	Arriba	1" de Arriba		
Peso de muestra humedad + tarro (g)	QR-9	R-7	CDP	OR-7	A	QR-9	CDP	4	OR-7		
	99.08	77.63	79.57	83.86	87.50	99.08	79.57	93.02	83.86		
Peso de muestra seca + tarro (g)	90.95	71.71	69.77	77.44	80.45	85.05	73.54	85.23	71.54		
Peso del agua (g)	8.13	5.92	9.80	6.42	7.05	14.03	6.03	7.79	12.32		
Peso del tarro (g)	18.65	21.24	19.81	20.09	20.41	18.65	19.81	19.07	20.09		
Peso de la muestra seca (g)	72.30	50.47	49.96	57.35	60.04	66.40	53.73	66.16	51.45		
Contenido de humedad %	11.24%	11.73%	19.62%	11.19%	11.74%	21.13%	11.22%	11.77%	23.95%		
Contenido de humedad promedio, %	11.49%			11.47%			21.13%				
Peso Unit. Seco g/cm³	1.607		1.632	1.309		1.341	1.148		1.175		
DATOS DEL ESPONJAMIENTO (HINCHAMIENTO)											
Día del mes	Hora del día	Interv. De tiempo en días	Molde N° SL-12			Molde N° D-61			Molde N° G-20		
			Lectura del Indicador	Espanjamiento		Lectura del Indicador	Espanjamiento		Lectura del Indicador	Espanjamiento	
			Pulg.	%		Pulg.	%		Pulg.	%	
18/11/2020	14h00	1	1	0.001	0.0220	2	0.002	0.0440	5	0.005	0.1100
19/11/2020	14h00	2	2	0.002	0.0440	5	0.005	0.1100	8	0.008	0.1759
20/11/2020	14h00	3	3	0.003	0.0660	7	0.007	0.1539	8	0.008	0.1759
21/11/2020	14h00	4	3	0.003	0.0660	7	0.007	0.1539	8	0.008	0.1759
22/11/2020	14h00	5	3	0.003	0.0660	7	0.007	0.1539	9	0.009	0.1979
DATOS DE ENSAYO DE CARGA CBR											
Penetración Pulgada	Carga Standard Lb	Molde N° SL-12			Molde N° D-61			Molde N° G-20			
		Carga del Ensayo	CBR Corr.	% CBR	Carga del Ensayo	CBR Corr.	% CBR	Carga del Ensayo	CBR Corr.	% CBR	
0.000		0	0		0	0		0	0		
0.025		193	64		86	29		33	11		
0.050		244	81		132	44		59	20		
0.075		409	136		205	68		98	33		
0.100	1000	591	197	185.03	278	93	84.56	178	59	53.23	
0.150		785	262		318	106		223	74		
0.200	1500	915	305	311.70	412	137	142.45	273	91	95.37	
0.250		1089	363		511	170		352	117		
0.300		1111	370		531	177		368	123		
0.400		1176	392		554	185		375	125		
0.500		1190	397		567	189		384	128		
0.600		1232	411		579	193		392	131		

Molde N°	PORCENTAJES CBR CORREGIDOS					
	CBR 0.1"			CBR 0.2"		
	Presión (PSI)	CBR %	Densidad Seca (g/cm ³)	Presión (PSI)	CBR %	Densidad Seca (g/cm ³)
SL-12	185.03	18.50	1.632	311.70	20.78	1.632
D-61	84.56	8.46	1.341	142.45	9.50	1.341
G-20	53.23	5.32	1.175	95.37	6.36	1.175



CBR			
DENSIDAD MÁXIMA (g/cm ³)	CBR 0.1"	CBR 0.2"	% CBR MAYOR
Densidad al 100%: 1.599	14.60	16.40	16.40
Densidad al 95%: 1.519			



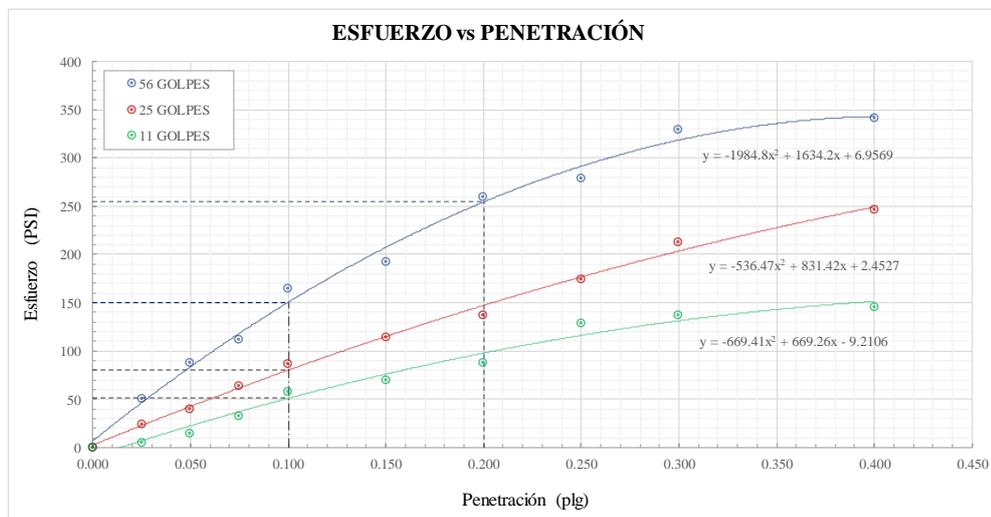
DESCRIPCION DEL ENSAYO	
El CBR para el diseño de pavimento es de 16.4%	
REALIZÓ:	REVISÓ:
Egdo. Kevin Adrian Celi Yanchapanta	Ing. Favio Portilla

Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

Anexo 34: CBR con 12% PET/PP/PE

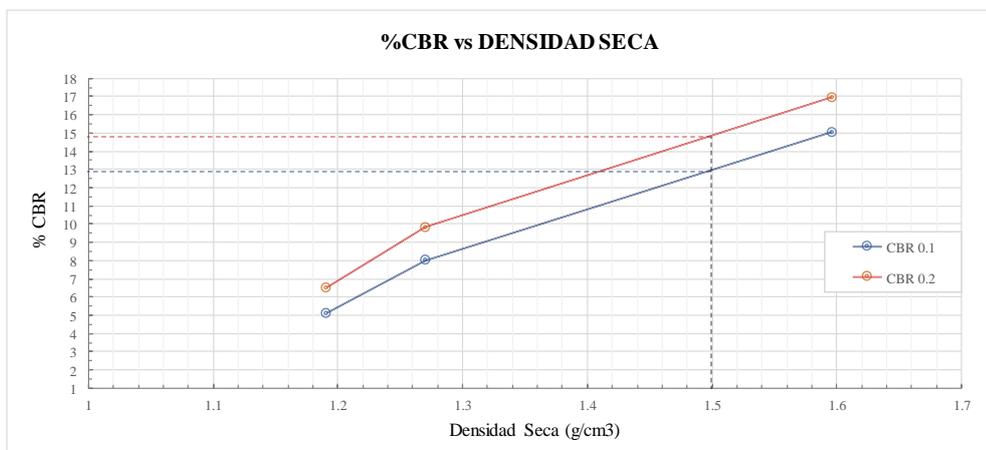
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN											
Proyecto : Estabilización de suelos granulares de subrasante con finos de tereftalato de polietileno (PET), polipropileno (PP) y polietileno (PE).											
Provincia: Tungurahua				Numero de muestra: 11							
Cantón: Ambato				Coordenadas: 17 M, 764601.12 ; 9852888.29							
Sector: Juan Benigno Vela				Tipo: Subrasante							
Fecha: 17/nov/2020				Profundidad: 60 cm							
Norma: AASHTO T193-13				Finos PET/PP/PE: 12%							
ASTM D1883-16											
DATOS											
ENSAYO DE RELACION DE SOPORTE CALIFORNIA DE LABORATORIO - CBR											
DATOS DE COMPACTACIÓN - PROCTOR											
Método: MODIFICADO											
Densidad Máxima: 1578 Kg/m ³											
Humedad Óptima: 10.66 %											
CONTENIDO DE HUMEDAD Y PESO UNITARIO DE LA MUESTRA DE ENSAYO											
Molde N°	VH-12			CM-12			SL-12				
N° de Capas	5			5			5				
N° de golpes por capa	56			25			11				
Estado de la muestra	Antes de Remojar		Después de Remojar	Antes de Remojar		Después de Remojar	Antes de Remojar		Después de Remojar		
Peso muestra húmeda + molde (g)	11288		11612	10066		10369	10022		10422		
Peso del molde (g)	7234		7234	6911		6911	7110		7110		
Peso de muestra húmeda (g)	4054		4378	3155		3458	2912		3312		
Volumen muestra (cm ³)	2314		2314	2274		2274	2270		2270		
Peso unit. Húmedo, g/cm³	1.752		1.892	1.387		1.521	1.283		1.459		
Cant. De humedad de muestra del tarro N°	Fondo		Arriba	1" de Arriba		Fondo	Arriba	1" de Arriba			
Peso de muestra humedad + tarro (g)	JL-2		D-36	D-20		B-31	M-2	D-36			
	82.39	83.87	97.86	94.33	92.64	83.87	97.86	101.10	94.33		
Peso de muestra seca + tarro (g)	76.36	76.98	84.64	86.92	84.70	72.25	89.77	92.92	80.00		
Peso del agua (g)	6.03	6.89	13.22	7.41	7.94	11.62	8.09	8.18	14.33		
Peso del tarro (g)	19.56	13.29	13.30	16.35	12.00	13.29	13.30	16.93	16.35		
Peso de la muestra seca (g)	56.80	63.69	71.34	70.57	72.70	58.96	76.47	75.99	63.65		
Contenido de humedad %	10.62%	10.82%	18.53%	10.50%	10.92%	19.71%	10.58%	10.76%	22.51%		
Contenido de humedad promedio, %	10.72%		18.53%	10.71%		19.71%	10.67%		22.51%		
Peso Unit. Seco g/cm³	1.582		1.596	1.253		1.270	1.159		1.191		
DATOS DEL ESPONJAMIENTO (HINCHAMIENTO)											
Día del mes	Hora del día	Interv. De tiempo en días	Molde N° VH-12			Molde N° CM-12			Molde N° SL-12		
			Lectura del Indicador	Espanamiento		Lectura del Indicador	Espanamiento		Lectura del Indicador	Espanamiento	
			Pulg.	%		Pulg.	%		Pulg.	%	
18/11/2020	14h00	1	1	0.001	0.0220	4	0.004	0.0880	6	0.006	0.1320
19/11/2020	14h00	2	3	0.003	0.0660	6	0.006	0.1320	9	0.009	0.1979
20/11/2020	14h00	3	3	0.003	0.0660	6	0.006	0.1320	11	0.011	0.2419
21/11/2020	14h00	4	3	0.003	0.0660	6	0.006	0.1320	11	0.011	0.2419
22/11/2020	14h00	5	3	0.003	0.0660	6	0.006	0.1320	11	0.011	0.2419
DATOS DE ENSAYO DE CARGA CBR											
Penetración Pulgada	Carga Standard Lb	Molde N° VH-12			Molde N° CM-12			Molde N° SL-12			
		Carga del Ensayo	CBR Corr.	% CBR	Carga del Ensayo	CBR Corr.	% CBR	Carga del Ensayo	CBR Corr.	% CBR	
0.000		0	0		0	0		0	0		
0.025		153	51		73	24		15	5		
0.050		266	89		122	41		46	15		
0.075		338	113		191	64		98	33		
0.100	1000	496	165	150.53	262	87	80.23	173	58	51.02	
0.150		577	192		344	115		211	70		
0.200	1500	782	261	254.41	411	137	147.28	263	88	97.87	
0.250		839	280		523	174		389	130		
0.300		988	329		639	213		412	137		
0.400		1024	341		741	247		438	146		
0.500		1061	354		765	255		465	155		
0.600		1112	371		792	264		478	159		

PORCENTAJES CBR CORREGIDOS						
Molde N°	CBR 0.1"			CBR 0.2"		
	Presión (PSI)	CBR %	Densidad Seca (g/cm3)	Presión (PSI)	CBR %	Densidad Seca (g/cm3)
VH-12	150.53	15.05	1.596	254.41	16.96	1.596
CM-12	80.23	8.02	1.270	147.28	9.82	1.270
SL-12	51.02	5.10	1.191	97.87	6.52	1.191



CBR			
DENSIDAD MÁXIMA (g/cm3)	CBR 0.1"	CBR 0.2"	% CBR MAYOR
Densidad al 100%: 1.578			
Densidad al 95%: 1.499	12.90	14.80	14.80

GRÁFICA CBR



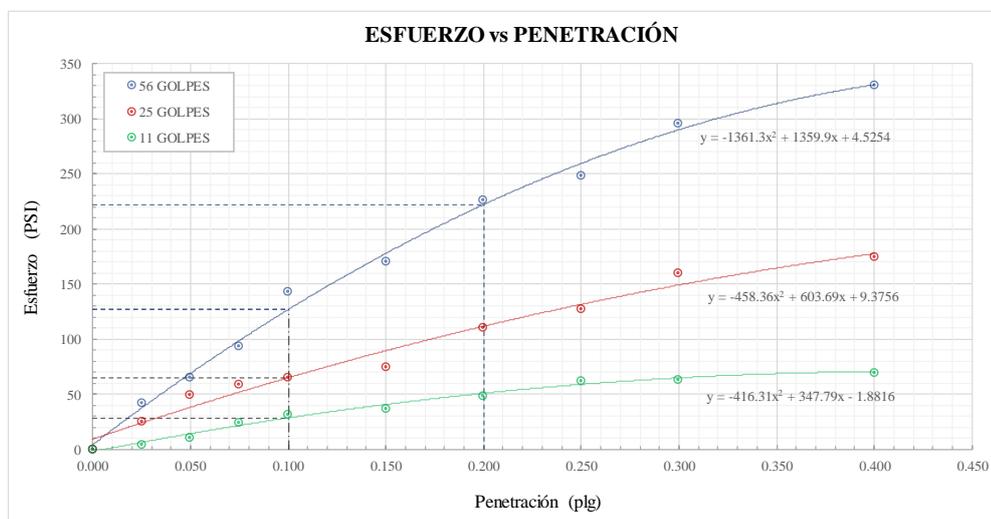
DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO	
El CBR para el diseño de pavimento es de 14.8%	
REALIZÓ:	REVISÓ:
Egdo. Kevin Adrian Celi Yanchapanta	Ing. Favio Portilla

Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

Anexo 35: CBR con 15% PET/PP/PE

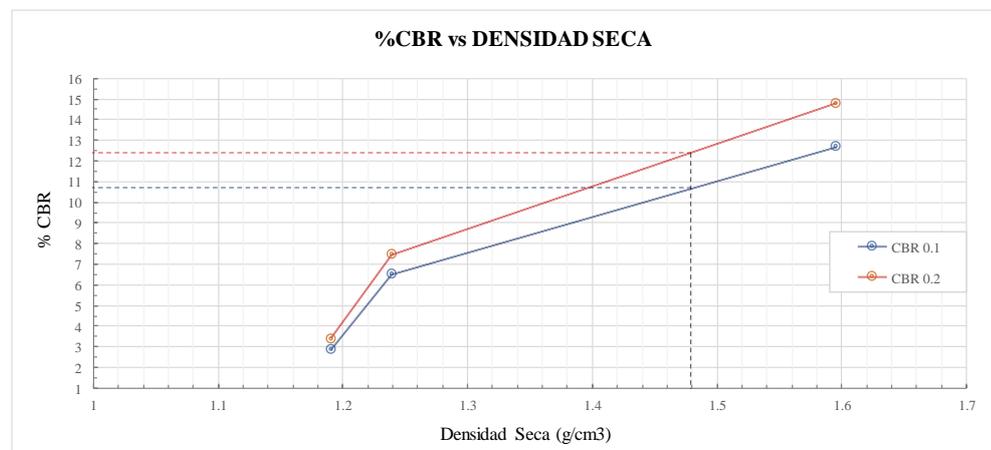
		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN									
Proyecto : Estabilización de suelos granulares de subrasante con finos de tereftalato de polietileno (PET), polipropileno (PP) y polietileno (PE).											
Provincia: Tungurahua				Numero de muestra: 12							
Cantón: Ambato				Coordenadas: 17 M, 764601.12 ; 9852888.29							
Sector: Juan Benigno Vela				Tipo: Subrasante							
Fecha: 17/nov/2020				Profundidad: 60 cm							
Norma: AASHTO T193-13				Finos PET/PP/PE: 15%							
				ASTM D1883-16							
DATOS											
ENSAYO DE RELACION DE SOPORTE CALIFORNIA DE LABORATORIO - CBR											
DATOS DE COMPACTACIÓN - PROCTOR											
Método: MODIFICADO											
Densidad Máxima: 1557 Kg/m ³											
Humedad Óptima: 10.49 %											
CONTENIDO DE HUMEDAD Y PESO UNITARIO DE LA MUESTRA DE ENSAYO											
Molde N°	G-20			R-13			N-3				
N° de Capas	5			5			5				
N° de golpes por capa	56			25			11				
Estado de la muestra	Antes de Remojar		Después de Remojar	Antes de Remojar		Después de Remojar	Antes de Remojar		Después de Remojar		
Peso muestra húmeda + molde (g)	10735		11125	10154		10456	10025		10433		
Peso del molde (g)	6905		6905	7094		7094	6814		6814		
Peso de muestra húmeda (g)	3830		4220	3060		3362	3211		3619		
Volumen muestra (cm ³)	2223		2223	2259		2259	2490		2490		
Peso unit. Húmedo, g/cm³	1.723		1.898	1.355		1.488	1.290		1.453		
Cant. De humedad de muestra del tarro N°	Fondo	Arriba	1" de Arriba	Fondo	Arriba	1" de Arriba	Fondo	Arriba	1" de Arriba		
	WE	QY-12	ML-16	10	OR-7	QY-12	ML-16	O-21	OR-7		
Peso de muestra humedad + tarro (g)	94.98	90.34	77.33	90.65	87.82	91.34	79.98	57.98	90.98		
Peso de muestra seca + tarro (g)	87.99	83.62	68.26	84.16	81.33	79.40	74.44	53.80	78.16		
Peso del agua (g)	6.99	6.72	9.07	6.49	6.49	11.94	5.54	4.18	12.82		
Peso del tarro (g)	20.08	19.94	20.40	21.32	20.09	19.94	20.40	14.90	20.09		
Peso de la muestra seca (g)	67.91	63.68	47.86	62.84	61.24	59.46	54.04	38.90	58.07		
Contenido de humedad %	10.29%	10.55%	18.95%	10.33%	10.60%	20.08%	10.25%	10.75%	22.08%		
Contenido de humedad promedio, %	10.42%		18.95%	10.46%		20.08%	10.50%		22.08%		
Peso Unit. Seco g/cm³	1.560		1.596	1.226		1.239	1.167		1.191		
DATOS DEL ESPONJAMIENTO (HINCHAMIENTO)											
Día del mes	Hora del día	Interv. De tiempo en días	Molde N° G-20			Molde N° R-13			Molde N° N-3		
			Lectura del Indicador	Espanjamiento		Lectura del Indicador	Espanjamiento		Lectura del Indicador	Espanjamiento	
			Pulg.	%		Pulg.	%		Pulg.	%	
18/11/2020	14h00	1	2	0.002	0.0440	5	0.005	0.1100	6	0.006	0.1320
19/11/2020	14h00	2	3	0.003	0.0660	7	0.007	0.1539	9	0.009	0.1979
20/11/2020	14h00	3	3	0.003	0.0660	7	0.007	0.1539	11	0.011	0.2419
21/11/2020	14h00	4	3	0.003	0.0660	7	0.007	0.1539	11	0.011	0.2419
22/11/2020	14h00	5	3	0.003	0.0660	7	0.007	0.1539	11	0.011	0.2419
DATOS DE ENSAYO DE CARGA CBR											
Penetración Pulgada	Carga Standard Lb	Molde N° G-20			Molde N° R-13			Molde N° N-3			
		Carga del Ensayo	CBR Corr.	% CBR	Carga del Ensayo	CBR Corr.	% CBR	Carga del Ensayo	CBR Corr.	% CBR	
0.000		0	0		0	0		0	0		
0.025		129	43		77	26		15	5		
0.050		196	65		151	50		32	11		
0.075		282	94		177	59		75	25		
0.100	1000	429	143	126.90	196	65	65.16	95	32	28.73	
0.150		511	170		226	75		112	37		
0.200	1500	678	226	222.05	332	111	111.78	148	49	51.02	
0.250		745	248		383	128		189	63		
0.300		889	296		481	160		192	64		
0.400		992	331		524	175		211	70		
0.500		1045	348		539	180		232	77		
0.600		1079	360		551	184		245	82		

PORCENTAJES CBR CORREGIDOS						
Molde N°	CBR 0.1"			CBR 0.2"		
	Presión (PSI)	CBR %	Densidad Seca (g/cm3)	Presión (PSI)	CBR %	Densidad Seca (g/cm3)
G-20	126.90	12.69	1.596	222.05	14.80	1.596
R-13	65.16	6.52	1.239	111.78	7.45	1.239
N-3	28.73	2.87	1.191	51.02	3.40	1.191



CBR			
DENSIDAD MÁXIMA (g/cm3)	CBR 0.1"	CBR 0.2"	% CBR MAYOR
Densidad al 100%: 1.557			
Densidad al 95%: 1.479	10.70	12.40	12.40

GRÁFICA CBR



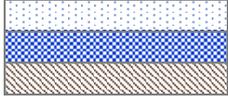
DESCRIPCION DEL ENSAYO	
El CBR para el diseño de pavimento es de 12.4%	
REALIZÓ:	REVISÓ:
Egdo. Kevin Adrian Celi Yanchapanta	Ing. Favio Portilla

Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

Anexos

C.4. Ensayos de Suelo de la parroquia Izamba

Anexo 36: Contenido de Humedad

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN						
Proyecto : Estabilización de suelos granulares de subrasante con finos de tereftalato de polietileno (PET), polipropileno (PP) y polietileno (PE).							
Provincia: Tungurahua Cantón: Ambato Sector: Izamba Fecha: 26/feb/2020 Norma: AASHTO T265-15 ASTM D2216-10	Número de muestra: 3 Representativa Coordenadas: 17 M, 769836.03 ; 9865167.7 Tipo: Subrasante Profundidad: 60 cm						
DATOS							
HUMEDAD NATURAL							
Símbolo	Muestra	N°	3 Representativa				
<i>R</i>	Recipiente	N°	81	6	5	43	
<i>Wh</i>	Rec + Suelo Húmedo	g	152.4	166.5	163.5	142.2	
<i>Wrs</i>	Rec + Suelo Seco	g	147.2	161.0	158.0	137.6	
<i>Wr</i>	Peso del recipiente	g	30.2	34.6	32.5	32.3	
<i>Ww</i>	Peso del agua	g	5.2	5.5	5.5	4.6	
<i>Wp</i>	Peso del suelo seco	g	117.0	126.4	125.5	105.3	
<i>W</i>	Humedad	%	4.4	4.4	4.4	4.4	
Humedad Promedio (%) :			4.4				
FASES DEL SUELO							
Volúmenes (V)		Pesos (W)		Volúmenes	Unidades	Pesos	Unidades
Vv=		Wv=	53.20	cm ³	-	g	
Va=		Wa=	47.70	cm ³	0.00	g	
Vw=		Ww=	5.50	cm ³	5.50	g	
Vs=		Ws=	47.36	cm ³	125.50	g	
Vm=		Wm=	100.56	cm ³	131.00	g	
Relación de vacíos		e= Vv/Vs		1.12		Natural	
Porosidad		n% = Vv/Vm*100		52.90		%	
Grado de Saturación de agua		Gw%= Vw/Vv*100		10.34		%	
Grado de Saturación de aire		Ga%=Va/Vv *100		89.66		%	
DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO							
El contenido de humedad natural obtenido en este suelo corresponde al valor de 4.4 %.							
REALIZÓ:				REVISÓ:			
Egdo. Kevin Adrian Celi Yanchapanta				Ing. Favio Portilla			

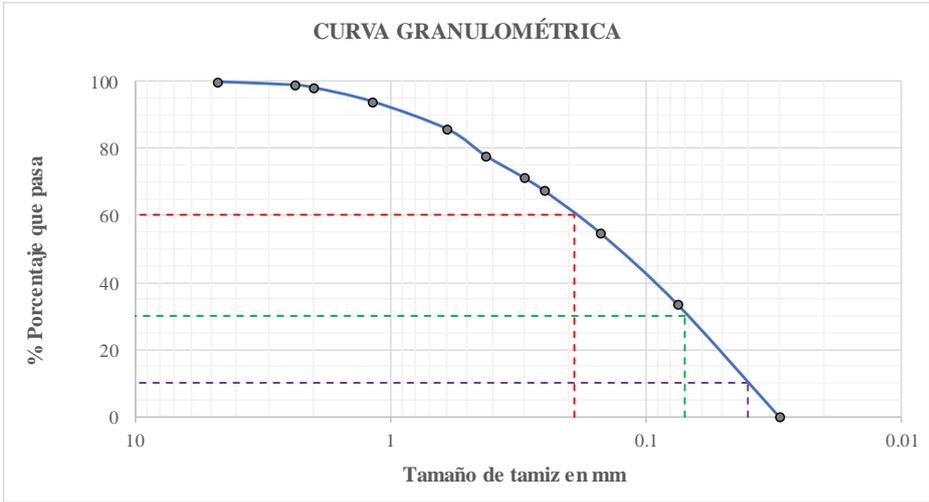
Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

Anexo 37: Densidad Cono y Arena

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN				
Proyecto : Estabilización de suelos granulares de subrasante con finos de tereftalato de polietileno (PET), polipropileno (PP) y polietileno (PE).					
Provincia: Tungurahua Cantón: Ambato Sector: Izamba Fecha: 21/feb/2020 Norma: AASHTO T191-14 ASTM D1556-07	Número de muestra: 3 Representativa Coordenadas: 17 M, 769836.03 ; 9865167.7 Tipo: Subrasante Profundidad: 60 cm				
DATOS					
CONSTANTE DEL CONO Y ARENA					
Símbolo	Ensayo	Nº	1	2	3
<i>Mo</i>	Peso total Aparato + Arena	g	6438	6435	6434
<i>Mf</i>	Peso Aparato + Arena restante	g	4807	4843	4833
<i>Cc</i>	Constante del cono y arena	g	1631	1592	1601
	Promedio Constante del cono y arena	g	1608.00		
DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE EXCAVACIÓN					
Símbolo	Muestra	Nº	3 Representativa		
<i>Mol</i>	Peso inicial Frasco + Cono + Arena	g	7086.00		
<i>Mfl</i>	Peso final Frasco + Cono + Arena	g	2634.00		
<i>Cc</i>	Constante del cono y arena	g	1608.00		
<i>y</i>	Densidad de la Arena de Ottawa	g/cm ³	1.582		
<i>Ve</i>	Volumen de la excavación	cm ³	1797.72		
CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO					
Símbolo	Muestra	Nº	3 Representativa		
<i>W</i>	Humedad	%	4.4		
DETERMINACIÓN DE LA MASA SECA DEL SUELO					
Símbolo	Muestra	Nº	3 Representativa		
<i>Wh</i>	Masa del suelo húmedo + recipiente	g	2611.00		
<i>Wr</i>	Peso del recipiente	g	269.00		
<i>Whum</i>	Peso de la masa del suelo húmedo	g	2342.00		
<i>Wseco</i>	Peso de la masa del suelo seco	g	2243.58		
DETERMINACIÓN DENSIDAD HÚMEDA					
Símbolo	Muestra	Nº	3 Representativa		
<i>ym</i>	Densidad humedad (Whum/Ve)	g/cm ³	1.303		
DETERMINACIÓN DENSIDAD SECA					
Símbolo	Muestra	Nº	3 Representativa		
<i>yd</i>	Densidad seca (Wseco/Ve)	g/cm ³	1.248		
DENSIDAD ALCANZADA EN PROCTOR					
	Densidad máxima Proctor $\gamma_{dm\acute{a}x}$	g/cm ³	1.584		
	Porcentaje de compactación exigido	%	95		
	Porcentaje de compactación alcanzado	%	78.79		
DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO					
- La densidad seca in situ corresponde al valor de 1.248 g/cm ³ y su densidad húmeda es de 1.303 g/cm ³ . - El grado de compactación alcanzado in-situ de 78.79 %, NO CUMPLE con el grado de compactación exigido.					
REALIZÓ:			REVISÓ:		
Egdo. Kevin Adrian Celi Yanchapanta			Ing. Favio Portilla		

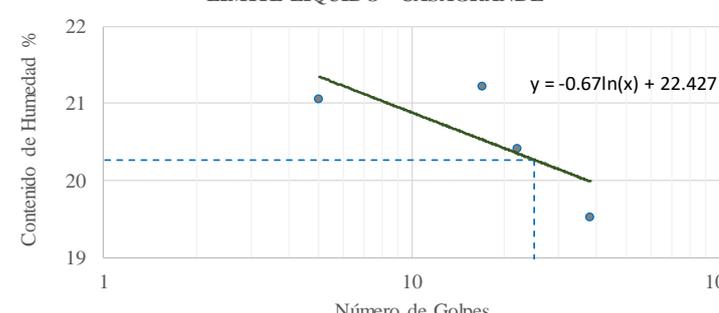
Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

Anexo 38: Granulometría

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN				
Proyecto : Estabilización de suelos granulares de subrasante con finos de tereftalato de polietileno (PET), polipropileno (PP) y polietileno (PE).					
Provincia: Tungurahua Cantón: Ambato Sector: Izamba Fecha: 02/mar/2020 Norma: AASHTO T 88 2013	Número de muestra: 3 Representativa Coordenadas: 17 M, 769836.03 ; 9865167.7 Tipo: Subrasante Profundidad: 60 cm				
DATOS					
GRANULOMETRÍA					
W INICIAL (gr) =			249.60		
TAMIZ	mm	W _{retenido} (g)	W _{ret.acum} (g)	% ret.acum.	% PASA
# 4	4.75	0.50	0.50	0.20	99.80
# 8	2.36	2.40	2.90	1.16	98.84
# 10	2.00	2.00	4.90	1.96	98.04
# 16	1.18	10.30	15.20	6.09	93.91
# 30	0.60	20.50	35.70	14.30	85.70
# 40	0.425	19.70	55.40	22.20	77.80
# 50	0.30	16.50	71.90	28.81	71.19
# 60	0.250	9.70	81.60	32.69	67.31
# 100	0.150	31.80	113.40	45.43	54.57
# 200	0.075	52.80	166.20	66.59	33.41
# Fuente	0.03	83.40	249.60	100.00	0.00
					
COEFICIENTE DEL SUELO					
D10 (mm)	0.04	Cu=	D60 / D10	4.75	
D30 (mm)	0.07	Cc=	D30 ² /(D60*D10)	0.64	
D60 (mm)	0.19	Tamaño Nominal Máximo (TNM) mm		0.425	
REALIZÓ:			REVISÓ:		
Egdo. Kevin Adrian Celi Yanchapanta			Ing. Favio Portilla		

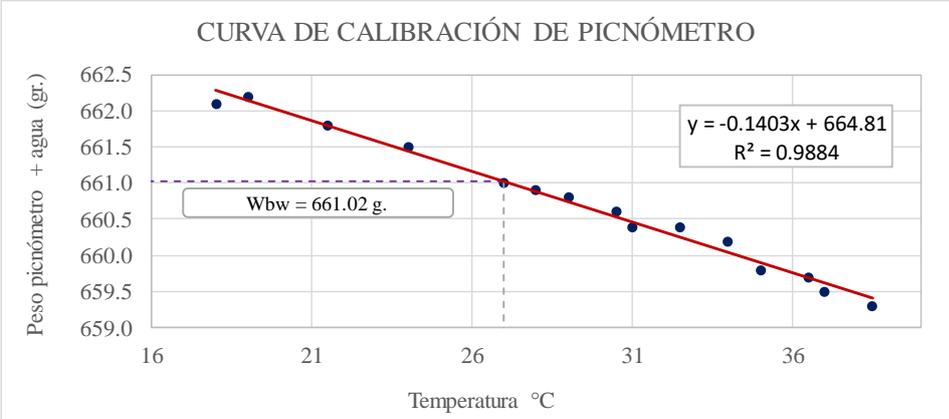
Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

Anexo 39: Límites de Atterberg

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL		PROYECTO DE TITULACIÓN	
							
Proyecto : Estabilización de suelos granulares de subrasante con finos de tereftalato de polietileno (PET), polipropileno (PP) y polietileno (PE).							
Provincia:	Tungurahua	Número de muestra:	3 Representativa				
Cantón:	Ambato	Coordenadas:	17 M, 769836.03 ; 9865167.7				
Sector:	Izamba	Tipo:	Subrasante				
Fecha:	02/mar/2020	Profundidad:	60 cm				
Norma:	AASHTO T89-13 ASTM D4318-17	AASHTO T90-20 ASTM D4318-17					
DATOS							
LÍMITE LÍQUIDO							
# Golpes	# Recipiente	W _r (g)	W _{hum} (g)	W _{seco} (g)	% w	% W _{PROM}	
5	14	10.9	23	20.9	21.00	21.06	
	20	11.3	22.2	20.3	21.11		
17	28	11.3	17.3	16.2	22.45	21.22	
	03A	11.5	18.7	17.5	20.00		
22	42	11.8	17.5	16.5	21.28	20.42	
	3	18	23.5	22.6	19.57		
38	4	17.4	22.2	21.4	20.00	19.52	
	04A	11.1	16.1	15.3	19.05		
Límite líquido (%): 20.27							
LÍMITE LÍQUIDO - CASAGRANDE							
							
LÍMITE PLÁSTICO							
# Recipiente	W _r (g)	W _{hum} (g)	W _{seco} (g)	% w	% W Prom		
# 90	10.80	12.70	12.40	18.75	19.04		
# 41	6.10	8.10	7.70	25.00			
# 83	6.10	8.40	8.10	15.00			
# 42	6.10	7.60	7.40	15.38			
# 26	7.30	9.60	9.20	21.05			
LÍMITES DE ATTERBERG							
Limite líquido:		20.27 %					
Limite plástico:		19.04 %					
Índice plástico:		1.23 %					
CLASIFICACIÓN DE SUELO ANALIZADO							
SISTEMA	AASHTO	A-2-4					
	SUCS	SM					
REALIZÓ:				REVISÓ:			
Egdo. Kevin Adrian Celi Yanchapanta				Ing. Favio Portilla			

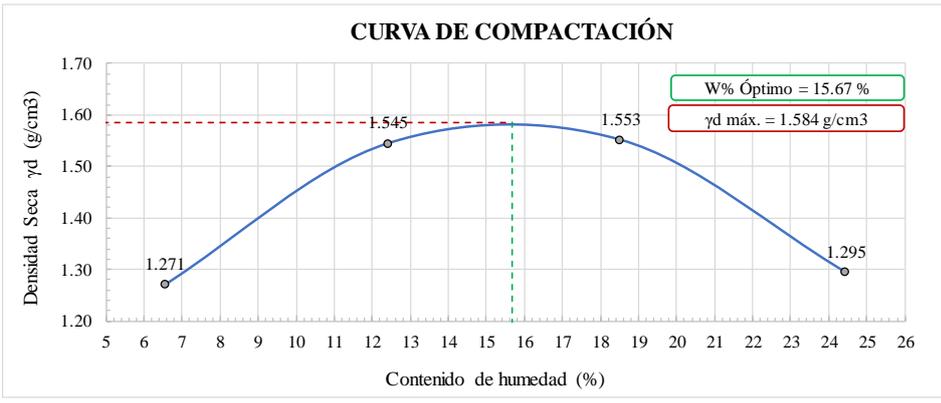
Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

Anexo 40: Gravedad Específica

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN		
Proyecto : Estabilización de suelos granulares de subrasante con finos de tereftalato de polietileno (PET), polipropileno (PP) y polietileno (PE).			
Provincia: Tungurahua Cantón: Ambato Sector: Izamba Fecha: 02/mar/2020 Norma: AASHTO T100-15 ASTM D854-14	Numero de muestra: 3 Representativa Coordenadas: 17 M, 769836.03 ; 9865167.7 Tipo: Subrasante Profundidad: 60 cm		
DATOS			
GRAVEDAD ESPECÍFICA			
Símbolo	Ensayo	N°	1
T_a	Temperatura del agua + suelo	°C	27
W_s	Peso del recipiente + suelo seco	g	250.40
W_{rec}	Peso del recipiente	g	200.50
W_p	Peso del suelo seco	gr	49.90
W_{bw}	Peso picnómetro + agua	gr	661.02
	W_p+W_{bw}	gr	710.92
W_{bws}	Peso picnómetro+agua+suelo	gr	691.00
D_a	Deslizamiento del agua (W_p+W_{bw}) - W_{bws}	gr	19.92
K	Factor de correlación por temperatura (K)	gr	0.99831
G_s	Gravedad específica (G_s)	-	2.50
			
DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO			
- En la curva de calibración tenemos que a 27 °C, el peso del picnómetro más agua es de 661.02 g.			
REALIZÓ:		REVISÓ:	
Egdo. Kevin Adrian Celi Yanchapanta		Ing. Favio Portilla	

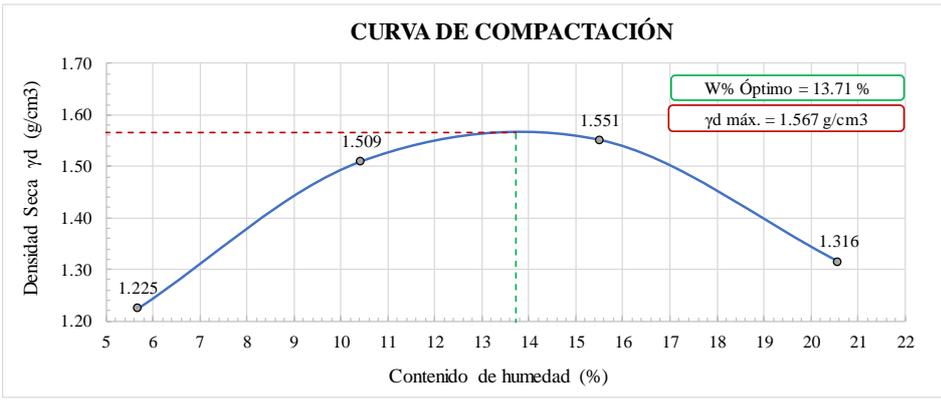
Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

Anexo 41: Proctor Modificado con 0% PET/PP/PE

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN			
Proyecto : Estabilización de suelos granulares de subrasante con finos de tereftalato de polietileno (PET), polipropileno (PP) y polietileno (PE).			
Provincia:	Tungurahua	Numero de muestra:	13
Cantón:	Ambato	Coordenadas:	17 M, 769836.03 ; 9865167.7
Sector:	Izamba	Tipo:	Subrasante
Fecha:	13/mar/2020	Profundidad:	60 cm
Norma:	AASHTO T180-20 ASTM D1557-12	Finos PET/PP/PE:	0%
DATOS			
ESPECIFICACIONES DEL PROCTOR MODIFICADO - TIPO C			
Número de Golpes:	56	Altura de Caída (in):	18
Número de Capas:	5	Peso del Martillo (lb):	10
Energía de Compactación (lb*ft/ft ³):	55986	Peso del Molde (g.):	6457
φ Diámetro interno :	15.2	h altura :	11.75
Vol. del Molde:	2133		cm ³
Peso Inicial:	6000	6000	6000
PROCESO DE COMPACTACIÓN			
Ensayo Número	1	2	3
P. molde+Suelo húmedo (g)	9345	10162	10382
P. suelo húmedo Wm (g)	2888	3705	3925
P. unitario húmedo γm (g/cm ³)	1.354	1.737	1.840
DETERMINACIÓN DE CONTENIDOS DE HUMEDAD			
Identificación del recipiente	AB	C-20	176
P. del recipiente (Wrec)	12.20	16.70	12.01
Rec+suelo húmedo (Wrec+Wm)	47.95	50.60	51.44
Rec+suelo seco (Ws + Wm)	45.62	48.64	47.00
Peso solidos (Ws)	33.42	31.94	34.99
Peso del agua (Ww)	2.33	1.96	4.44
Cont. Humedad (w%)	6.97	6.14	12.69
Cont. Humedad promedio (w%)	6.55	12.40	18.52
Densidad Seca γd (g/cm ³)	1.271	1.545	1.553
1.271	1.545	1.553	1.295
DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA			
Contenido de Humedad Óptima ω% :	15.67		
Densidad Seca Máxima γd (g/cm ³) :	1.584		
CURVA DE COMPACTACIÓN			
			
DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO			
La máxima densidad seca obtenida de la curva de compactación es de 1.584 g/cm ³ , la cual corresponde a un contenido de humedad óptimo de 15.67 %.			
REALIZÓ:		REVISÓ:	
Egdo. Kevin Adrian Celi Yanchapanta		Ing. Favio Portilla	

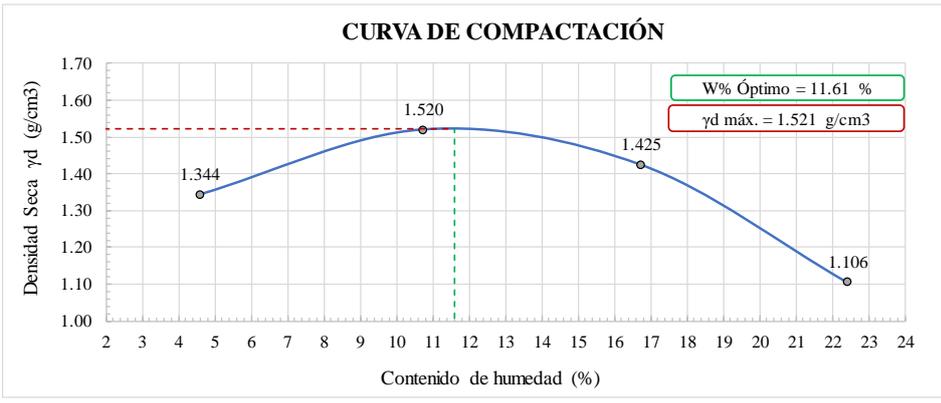
Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

Anexo 42: Proctor Modificado con 3% PET/PP/PE

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN			
Proyecto : Estabilización de suelos granulares de subrasante con finos de tereftalato de polietileno (PET), polipropileno (PP) y polietileno (PE).			
Provincia:	Tungurahua	Numero de muestra:	14
Cantón:	Ambato	Coordenadas:	17 M, 769836.03 ; 9865167.7
Sector:	Izamba	Tipo:	Subrasante
Fecha:	18/nov/2020	Profundidad:	60 cm
Norma:	AASHTO T180-20 ASTM D1557-12	Finos PET/PP/PE:	3%
DATOS			
ESPECIFICACIONES DEL PROCTOR MODIFICADO - TIPO C			
Número de Golpes:	56	Altura de Caída (in):	18
Número de Capas:	5	Peso del Martillo (lb):	10
Energía de Compactación (lb*ft/ft ³):	55986	Peso del Molde (g.):	6457
Peso Inicial:	6000	6000	6000
		6000	6000
PROCESO DE COMPACTACIÓN			
Ensayo Número	1	2	3
P. molde+Suelo húmedo (g)	9218	10012	10277
P. suelo húmedo Wm (g)	2761	3555	3820
P. unitario húmedo γ_m (g/cm ³)	1.294	1.667	1.791
		1.791	1.586
DETERMINACIÓN DE CONTENIDOS DE HUMEDAD			
Identificación del recipiente	RX	T41	176
			DC
			D38
			A9
			307
			Y
P. del recipiente (Wrec)	11.12	11.44	12.01
			12.03
			12.03
			12.00
			12.16
			12.13
Rec+suelo húmedo (Wrec+Wm)	41.08	43.00	37.91
			44.58
			48.93
			45.37
			64.59
			54.73
Rec+suelo seco (Ws + Wm)	39.52	41.25	35.42
			41.56
			43.88
			40.98
			55.69
			47.42
Peso solidos (Ws)	28.40	29.81	23.41
			29.53
			31.85
			28.98
			43.53
			35.29
Peso del agua (Ww)	1.56	1.75	2.49
			3.02
			5.05
			4.39
			8.90
			7.31
Cont. Humedad (w%)	5.49	5.87	10.64
			10.23
			15.86
			15.15
			20.45
			20.71
Cont. Humedad promedio (w%)	5.68		10.43
			15.50
			20.58
Densidad Seca γ_d (g/cm ³)	1.225		1.509
			1.551
			1.551
			1.316
DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA			
Contenido de Humedad Óptima ω % :		13.71	
Densidad Seca Máxima γ_d (g/cm ³) :		1.567	
CURVA DE COMPACTACIÓN			
			
DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO			
La máxima densidad seca obtenida de la curva de compactación es de 1.567 g/cm ³ , la cual corresponde a un contenido de humedad óptimo de 13.71 %.			
REALIZÓ:		REVISÓ:	
Egdo. Kevin Adrian Celi Yanchapanta		Ing. Favio Portilla	

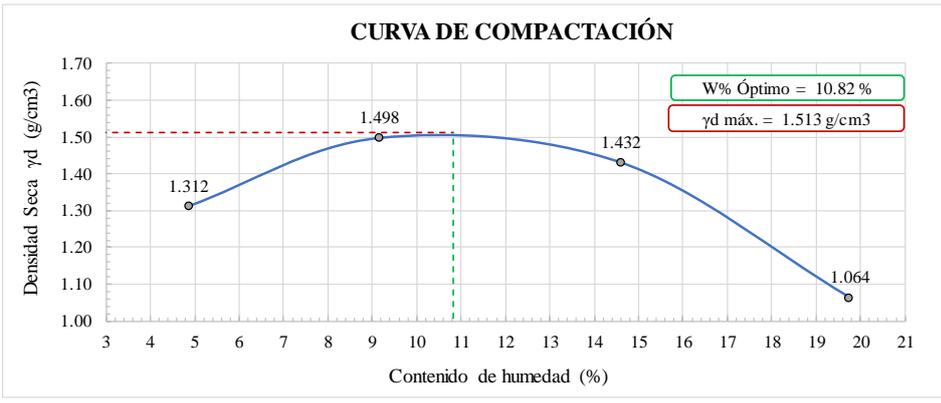
Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

Anexo 44: Proctor Modificado con 9% PET/PP/PE

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN			
Proyecto : Estabilización de suelos granulares de subrasante con finos de tereftalato de polietileno (PET), polipropileno (PP) y polietileno (PE).			
Provincia:	Tungurahua	Numero de muestra:	16
Cantón:	Ambato	Coordenadas:	17 M, 769836.03 ; 9865167.7
Sector:	Izamba	Tipo:	Subrasante
Fecha:	18/nov/2020	Profundidad:	60 cm
Norma:	AASHTO T180-20 ASTM D1557-12	Finos PET/PP/PE:	9%
DATOS			
ESPECIFICACIONES DEL PROCTOR MODIFICADO - TIPO C			
Número de Golpes:	56	Altura de Caída (in):	18
Número de Capas:	5	Peso del Martillo (lb):	10
Energía de Compactación (lb*ft/ft ³):	55986	Peso del Molde (g.):	6457
Peso Inicial:	6000	6000	6000
		6000	6000
PROCESO DE COMPACTACIÓN			
Ensayo Número	1	2	3
P. molde+Suelo húmedo (g)	9456	10048	10005
P. suelo húmedo Wm (g)	2999	3591	3548
P. unitario húmedo γ_m (g/cm ³)	1.406	1.684	1.663
		1.663	1.354
DETERMINACIÓN DE CONTENIDOS DE HUMEDAD			
Identificación del recipiente	307	D345	18
P. del recipiente (Wrec)	12.13	13.29	16.93
Rec+suelo húmedo (Wrec+Wm)	59.85	45.26	46.48
Rec+suelo seco (Ws + Wm)	57.65	43.93	43.65
Peso sólidos (Ws)	45.52	30.64	26.72
Peso del agua (Ww)	2.20	1.33	2.83
Cont. Humedad (w%)	4.83	4.34	10.59
Cont. Humedad promedio (w%)	4.59		10.73
Densidad Seca γ_d (g/cm ³)	1.344		1.520
			1.425
			1.106
DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA			
Contenido de Humedad Óptima ω % :	11.61		
Densidad Seca Máxima γ_d (g/cm ³) :	1.521		
			
DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO			
La máxima densidad seca obtenida de la curva de compactación es de 1.521 g/cm ³ , la cual corresponde a un contenido de humedad óptimo de 11.61 %.			
REALIZÓ:		REVISÓ:	
Egdo. Kevin Adrian Celi Yanchapanta		Ing. Favio Portilla	

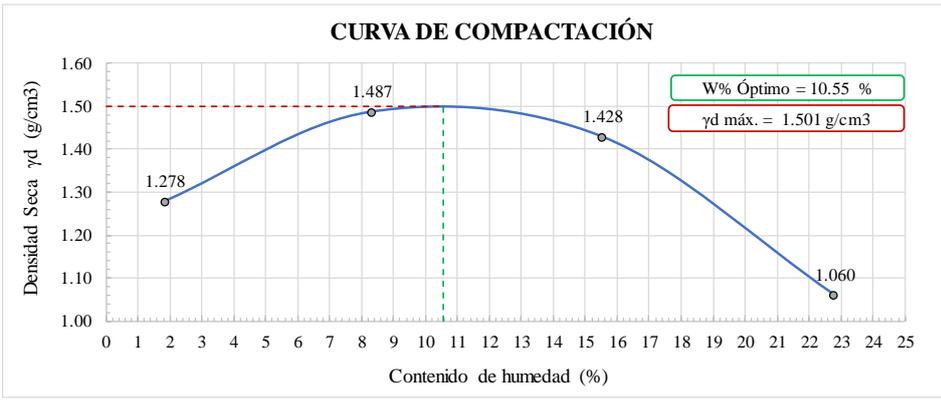
Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

Anexo 45: Proctor Modificado con 12% PET/PP/PE

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN								
Proyecto : Estabilización de suelos granulares de subrasante con finos de tereftalato de polietileno (PET), polipropileno (PP) y polietileno (PE).								
Provincia:	Tungurahua	Numero de muestra:	17					
Cantón:	Ambato	Coordenadas:	17 M, 769836.03 ; 9865167.7					
Sector:	Izamba	Tipo:	Subrasante					
Fecha:	19/nov/2020	Profundidad:	60 cm					
Norma:	AASHTO T180-20 ASTM D1557-12	Finos PET/PP/PE:	12%					
DATOS								
ESPECIFICACIONES DEL PROCTOR MODIFICADO - TIPO C								
Número de Golpes:	56	Altura de Caída (in):	18					
Número de Capas:	5	Peso del Martillo (lb):	10					
Energía de Compactación (lb*ft/ft ³):	55986	Peso del Molde (g.):	6457					
		φ Diámetro interno :	15.2 cm					
		h altura :	11.75 cm					
		Vol. del Molde:	2133 cm ³					
Peso Inicial:	6000	6000	6000					
PROCESO DE COMPACTACIÓN								
Ensayo Número	1	2	3					
P. molde+Suelo húmedo (g)	9392	9945	9956					
P. suelo húmedo Wm (g)	2935	3488	3499					
P. unitario húmedo γm (g/cm ³)	1.376	1.635	1.640					
DETERMINACIÓN DE CONTENIDOS DE HUMEDAD								
Identificación del recipiente	51	10	EY4	5	CS	Y	R88	RX
P. del recipiente (Wrec)	12.01	12.11	12.15	11.96	12.15	12.16	11.79	11.12
Rec+suelo húmedo (Wrec+Wm)	48.51	45.45	41.90	49.98	49.56	49.13	64.10	57.33
Rec+suelo seco (Ws + Wm)	46.78	43.94	39.43	46.76	44.88	44.34	55.54	49.65
Peso sólidos (Ws)	34.77	31.83	27.28	34.80	32.73	32.18	43.75	38.53
Peso del agua (Ww)	1.73	1.51	2.47	3.22	4.68	4.79	8.56	7.68
Cont. Humedad (w%)	4.98	4.74	9.05	9.25	14.30	14.89	19.57	19.93
Cont. Humedad promedio (w%)	4.86		9.15		14.59		19.75	
Densidad Seca γd (g/cm ³)	1.312		1.498		1.432		1.064	
DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA								
Contenido de Humedad Óptima ω% :		10.82						
Densidad Seca Máxima γd (g/cm ³) :		1.513						
CURVA DE COMPACTACIÓN								
								
DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO								
La máxima densidad seca obtenida de la curva de compactación es de 1.513 g/cm ³ , la cual corresponde a un contenido de humedad óptimo de 10.82 %.								
REALIZÓ:		REVISÓ:						
Egdo. Kevin Adrian Celi Yanchapanta		Ing. Favio Portilla						

Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

Anexo 46: Proctor Modificado con 15% PET/PP/PE

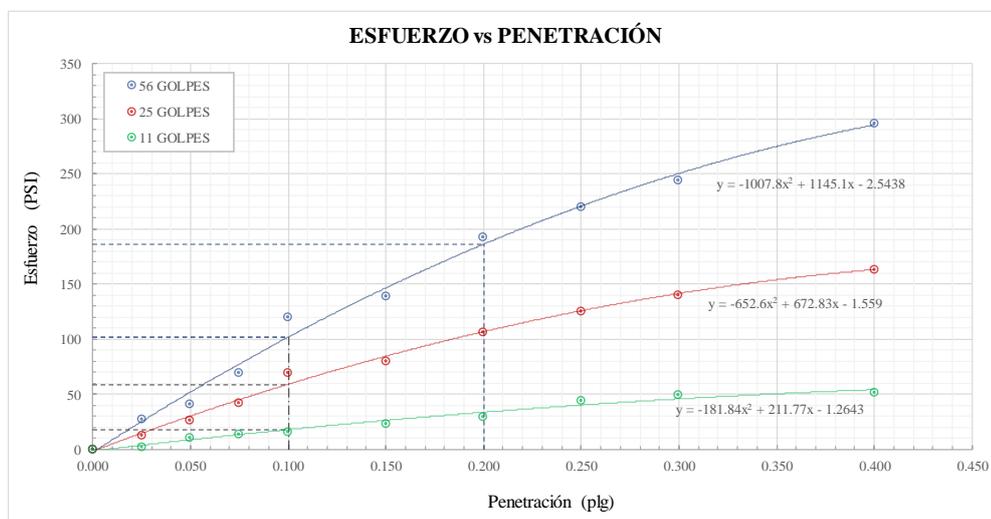
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN		
Proyecto : Estabilización de suelos granulares de subrasante con finos de tereftalato de polietileno (PET), polipropileno (PP) y polietileno (PE).		
Provincia:	Tungurahua	Numero de muestra: 18
Cantón:	Ambato	Coordenadas: 17 M, 769836.03 ; 9865167.7
Sector:	Izamba	Tipo: Subrasante
Fecha:	19/nov/2020	Profundidad: 60 cm
Norma:	AASHTO T180-20 ASTM D1557-12	Finos PET/PP/PE: 15%
DATOS		
ESPECIFICACIONES DEL PROCTOR MODIFICADO - TIPO C		
Número de Golpes:	56	Altura de Caída (in): 18
Número de Capas:	5	Peso del Martillo (lb): 10
Energía de Compactación (lb*ft/ft ³):	55986	Peso del Molde (g.): 6457
Peso Inicial:	6000	6000
		6000
		6000
PROCESO DE COMPACTACIÓN		
Ensayo Número	1	2
P. molde+Suelo húmedo (g)	9234	9892
P. suelo húmedo Wm (g)	2777	3435
P. unitario húmedo γ_m (g/cm ³)	1.302	1.610
		1.650
		1.301
DETERMINACIÓN DE CONTENIDOS DE HUMEDAD		
Identificación del recipiente	SA	R88
P. del recipiente (Wrec)	11.78	11.70
Rec+suelo húmedo (Wrec+Wm)	47.73	45.77
Rec+suelo seco (Ws + Wm)	47.12	45.11
Peso solidos (Ws)	35.34	33.41
Peso del agua (Ww)	0.61	0.66
Cont. Humedad (w%)	1.73	1.98
		8.04
		8.61
		15.62
		15.45
		22.61
		22.98
Cont. Humedad promedio (w%)	1.85	
	8.32	
	15.54	
	22.80	
Densidad Seca γ_d (g/cm ³)	1.278	
	1.487	
	1.428	
	1.060	
DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA		
Contenido de Humedad Óptima ω % :	10.55	
Densidad Seca Máxima γ_d (g/cm ³) :	1.501	
		
DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO		
La máxima densidad seca obtenida de la curva de compactación es de 1.501 g/cm ³ , la cual corresponde a un contenido de humedad óptimo de 10.55 %.		
REALIZÓ:	REVISÓ:	
Egdo. Kevin Adrian Celi Yanchapanta	Ing. Favio Portilla	

Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

Anexo 47: CBR con 0% PET/PP/PE

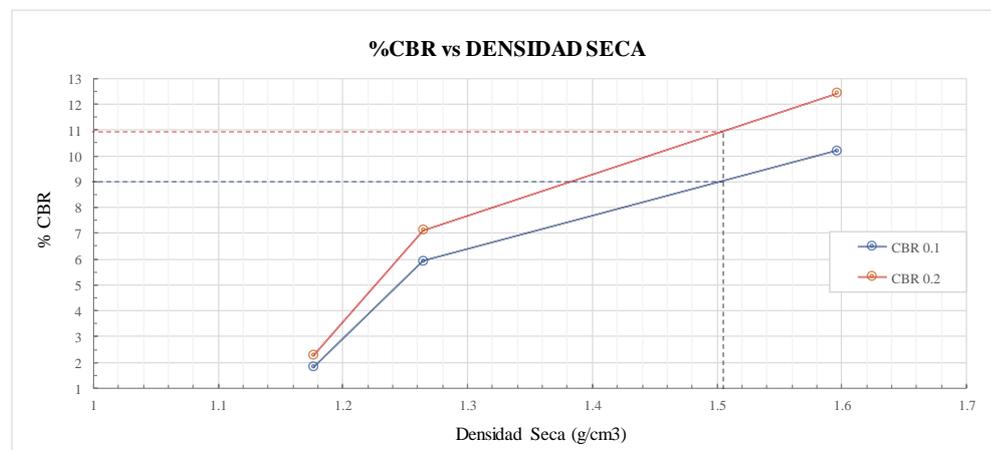
		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN									
Proyecto : Estabilización de suelos granulares de subrasante con finos de tereftalato de polietileno (PET), polipropileno (PP) y polietileno (PE).											
Provincia: Tungurahua				Numero de muestra: 13							
Cantón: Ambato				Coordenadas: 17 M, 769836.03 ; 9865167.7							
Sector: Izamba				Tipo: Subrasante							
Fecha: 19/nov/2020				Profundidad: 60 cm							
Norma: AASHTO T193-13				Finos PET/PP/PE: 0%							
				ASTM D1883-16							
DATOS											
ENSAYO DE RELACION DE SOPORTE CALIFORNIA DE LABORATORIO - CBR											
DATOS DE COMPACTACIÓN - PROCTOR											
Método: MODIFICADO											
Densidad Máxima: 1584 Kg/m ³											
Humedad Óptima: 15.67 %											
CONTENIDO DE HUMEDAD Y PESO UNITARIO DE LA MUESTRA DE ENSAYO											
Molde N°	M 11			CM 24			B 16				
N° de Capas	5			5			5				
N° de golpes por capa	56			25			11				
Estado de la muestra	Antes de Remojar		Después de Remojar	Antes de Remojar		Después de Remojar	Antes de Remojar		Después de Remojar		
Peso muestra húmeda + molde (g)	12585		12978	10396		10844	10012		10498		
Peso del molde (g)	8299		8299	7111		7111	6895		6895		
Peso de muestra húmeda (g)	4286		4679	3285		3733	3117		3603		
Volumen muestra (cm ³)	2353		2353	2288		2288	2317		2317		
Peso unit. Húmedo, g/cm³	1.822		1.989	1.436		1.632	1.345		1.555		
Cant. De humedad de muestra del tarro N°	Fondo	Arriba	1" de Arriba	Fondo	Arriba	1" de Arriba	Fondo	Arriba	1" de Arriba		
Peso de muestra humedad + tarro (g)	D-16	D-23	M6	S	BA-11	D-23	M6	45	S		
	54.71	48.01	80.33	76.92	62.34	77.81	60.85	94.43	86.11		
Peso de muestra seca + tarro (g)	49.13	43.29	66.89	69.38	55.49	63.29	54.31	84.29	70.09		
Peso del agua (g)	5.58	4.72	13.44	7.54	6.85	14.52	6.54	10.14	16.02		
Peso del tarro (g)	13.29	13.30	12.18	20.30	12.04	13.30	12.18	19.80	20.30		
Peso de la muestra seca (g)	35.84	29.99	54.71	49.08	43.45	49.99	42.13	64.49	49.79		
Contenido de humedad %	15.57%	15.74%	24.57%	15.36%	15.77%	29.05%	15.52%	15.72%	32.18%		
Contenido de humedad promedio, %	15.65%		24.57%	15.56%		29.05%	15.62%		32.18%		
Peso Unit. Seco g/cm³	1.575		1.596	1.242		1.264	1.163		1.176		
DATOS DEL ESPONJAMIENTO (HINCHAMIENTO)											
Día del mes	Hora del día	Interv. De tiempo en días	Molde N° M 11			Molde N° CM 24			Molde N° B 16		
			Lectura del Indicador	Espanjamiento		Lectura del Indicador	Espanjamiento		Lectura del Indicador	Espanjamiento	
			Pulg.	%		Pulg.	%		Pulg.	%	
20/11/2020	14h00	1	5	0.005	0.1100	9	0.009	0.1979	12	0.012	0.2639
21/11/2020	14h00	2	12	0.012	0.2639	16	0.016	0.3519	19	0.019	0.4179
22/11/2020	14h00	3	15	0.015	0.3299	21	0.021	0.4618	26	0.026	0.5718
23/11/2020	14h00	4	15	0.015	0.3299	23	0.023	0.5058	29	0.029	0.6378
24/11/2020	14h00	5	15	0.015	0.3299	23	0.023	0.5058	30	0.030	0.6598
DATOS DE ENSAYO DE CARGA CBR											
Penetración Pulgada	Carga Standard Lb	Molde N° M 11			Molde N° CM 24			Molde N° B 16			
		Carga del Ensayo	CBR Corr.	% CBR	Carga del Ensayo	CBR Corr.	% CBR	Carga del Ensayo	CBR Corr.	% CBR	
0.000		0	0		0	0		0	0		
0.025		83	28		40	13		8	3		
0.050		125	42		81	27		33	11		
0.075		209	70		126	42		42	14		
0.100	1000	362	121	101.89	211	70	59.20	50	17	1.81	
0.150		417	139		241	80		71	24		
0.200	1500	578	193	186.16	321	107	106.90	89	30	2.25	
0.250		662	221		378	126		134	45		
0.300		733	244		422	141		149	50		
0.400		889	296		491	164		156	52		
0.500		924	308		556	185		178	59		
0.600		997	332		563	188		191	64		

PORCENTAJES CBR CORREGIDOS						
Molde N°	CBR 0.1"			CBR 0.2"		
	Presión (PSI)	CBR %	Densidad Seca (g/cm3)	Presión (PSI)	CBR %	Densidad Seca (g/cm3)
M 11	101.89	10.19	1.596	186.16	12.41	1.596
CM 24	59.20	5.92	1.264	106.90	7.13	1.264
B 16	18.09	1.81	1.176	33.82	2.25	1.176



CBR			
DENSIDAD MÁXIMA (g/cm3)	CBR 0.1"	CBR 0.2"	% CBR MAYOR
Densidad al 100%: 1.584			
Densidad al 95%: 1.505	9.00	10.90	10.90

GRÁFICA CBR



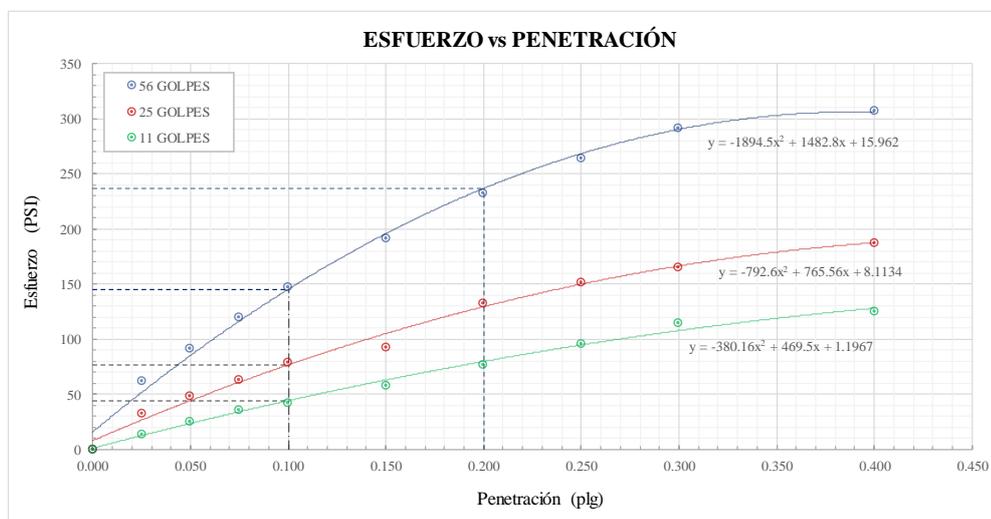
DESCRIPCION DEL ENSAYO	
El CBR para el diseño de pavimento es de 10.9%	
REALIZÓ:	REVISÓ:
Egdo. Kevin Adrian Celi Yanchapanta	Ing. Favio Portilla

Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

Anexo 48: CBR con 3% PET/PP/PE

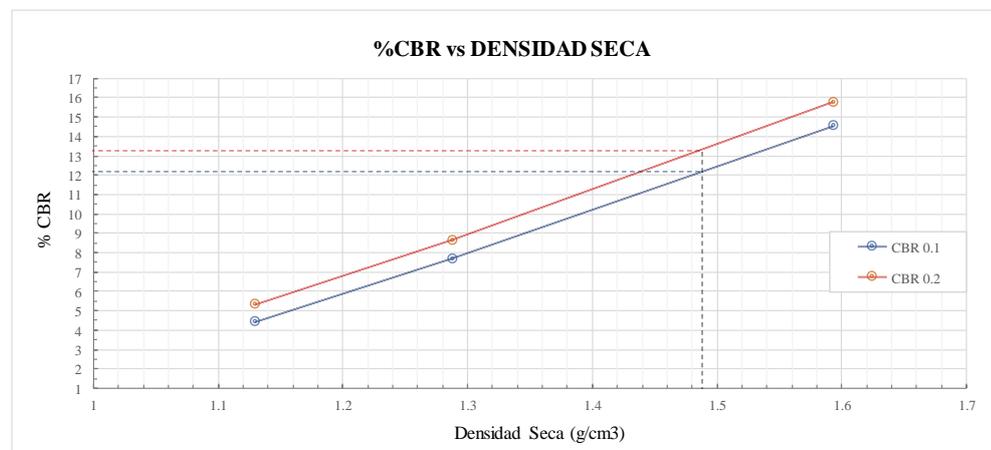
		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN									
Proyecto : Estabilización de suelos granulares de subrasante con finos de tereftalato de polietileno (PET), polipropileno (PP) y polietileno (PE).											
Provincia: Tungurahua				Numero de muestra: 14							
Cantón: Ambato				Coordenadas: 17 M, 769836.03 ; 9865167.7							
Sector: Izamba				Tipo: Subrasante							
Fecha: 19/nov/2020				Profundidad: 60 cm							
Norma: AASHTO T193-13				Finos PET/PP/PE: 3%							
				ASTM D1883-16							
DATOS											
ENSAYO DE RELACION DE SOPORTE CALIFORNIA DE LABORATORIO - CBR											
DATOS DE COMPACTACIÓN - PROCTOR											
Método: MODIFICADO											
Densidad Máxima: 1567 Kg/m ³											
Humedad Óptima: 13.71 %											
CONTENIDO DE HUMEDAD Y PESO UNITARIO DE LA MUESTRA DE ENSAYO											
Molde N°	MK-1			ML-24			ML-3				
N° de Capas	5			5			5				
N° de golpes por capa	56			25			11				
Estado de la muestra	Antes de Remojar		Después de Remojar	Antes de Remojar		Después de Remojar	Antes de Remojar		Después de Remojar		
Peso muestra húmeda + molde (g)	10956		11456	10425		10841	9875		10344		
Peso del molde (g)	6987		6987	7120		7120	6998		6998		
Peso de muestra húmeda (g)	3969		4469	3305		3721	2877		3346		
Volumen muestra (cm ³)	2286		2286	2288		2288	2286		2286		
Peso unit. Húmedo, g/cm³	1.736		1.955	1.444		1.626	1.259		1.464		
Cant. De humedad de muestra del tarro N°	Fondo	Arriba	1" de Arriba	Fondo	Arriba	1" de Arriba	Fondo	Arriba	1" de Arriba		
Peso de muestra humedad + tarro (g)	B-17	B-14	ML-30	ML-27	BA-14	B-17	B-18	ML-30	ML-27		
	62.24	60.98	57.12	72.34	60.22	89.64	80.31	77.76	92.12		
Peso de muestra seca + tarro (g)	56.76	55.39	50.33	65.69	54.46	74.42	72.82	70.85	74.75		
Peso del agua (g)	5.48	5.59	6.79	6.65	5.76	15.22	7.49	6.91	17.37		
Peso del tarro (g)	16.48	14.90	20.40	16.06	12.18	16.48	16.66	20.40	16.06		
Peso de la muestra seca (g)	40.28	40.49	29.93	49.63	42.28	57.94	56.16	50.45	58.69		
Contenido de humedad %	13.60%	13.81%	22.69%	13.40%	13.62%	26.27%	13.34%	13.70%	29.60%		
Contenido de humedad promedio, %	13.71%			13.51%			13.52%				
Peso Unit. Seco g/cm³	1.527		1.593	1.273		1.288	1.109		1.129		
DATOS DEL ESPONJAMIENTO (HINCHAMIENTO)											
Día del mes	Hora del día	Interv. De tiempo en días	Molde N° MK-1			Molde N° ML-24			Molde N° ML-3		
			Lectura del Indicador	Espanjamiento		Lectura del Indicador	Espanjamiento		Lectura del Indicador	Espanjamiento	
			Pulg.	%		Pulg.	%		Pulg.	%	
20/11/2020	14h00	1	3	0.003	0.0660	7	0.007	0.1539	8	0.008	0.1759
21/11/2020	14h00	2	9	0.009	0.1979	11	0.011	0.2419	13	0.013	0.2859
22/11/2020	14h00	3	9	0.009	0.1979	15	0.015	0.3299	17	0.017	0.3739
23/11/2020	14h00	4	9	0.009	0.1979	15	0.015	0.3299	17	0.017	0.3739
24/11/2020	14h00	5	9	0.009	0.1979	15	0.015	0.3299	17	0.017	0.3739
DATOS DE ENSAYO DE CARGA CBR											
Penetración Pulgada	Carga Standard Lb	Molde N° MK-1			Molde N° ML-24			Molde N° ML-3			
		Carga del Ensayo	CBR Corr.	% CBR	Carga del Ensayo	CBR Corr.	% CBR	Carga del Ensayo	CBR Corr.	% CBR	
0.000		0	0		0	0		0	0		
0.025		189	63		99	33		43	14		
0.050		276	92		145	48		76	25		
0.075		361	120		191	64		109	36		
0.100	1000	443	148	145.30	239	80	76.74	128	43	44.35	
0.150		577	192		279	93		176	59		
0.200	1500	698	233	236.74	398	133	129.52	231	77	79.89	
0.250		794	265		455	152		287	96		
0.300		875	292		498	166		344	115		
0.400		923	308		563	188		376	125		
0.500		1081	360		621	207		391	130		
0.600		1124	375		698	233		412	137		

PORCENTAJES CBR CORREGIDOS						
Molde N°	CBR 0.1"			CBR 0.2"		
	Presión (PSI)	CBR %	Densidad Seca (g/cm3)	Presión (PSI)	CBR %	Densidad Seca (g/cm3)
MK-1	145.30	14.53	1.593	236.74	15.78	1.593
ML-24	76.74	7.67	1.288	129.52	8.63	1.288
ML-3	44.35	4.44	1.129	79.89	5.33	1.129



CBR			
DENSIDAD MÁXIMA (g/cm3)	CBR 0.1"	CBR 0.2"	% CBR MAYOR
Densidad al 100%: 1.567			
Densidad al 95%: 1.489	12.20	13.30	13.30

GRÁFICA CBR



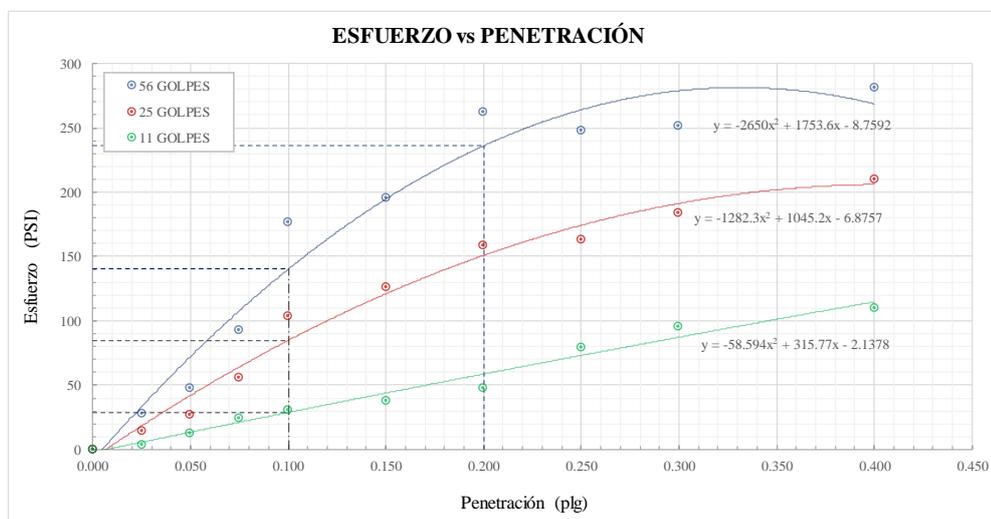
DESCRIPCION DEL ENSAYO	
El CBR para el diseño de pavimento es de 13.3%	
REALIZÓ:	REVISÓ:
Egdo. Kevin Adrian Celi Yanchapanta	Ing. Favio Portilla

Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

Anexo 49: CBR con 6% PET/PP/PE

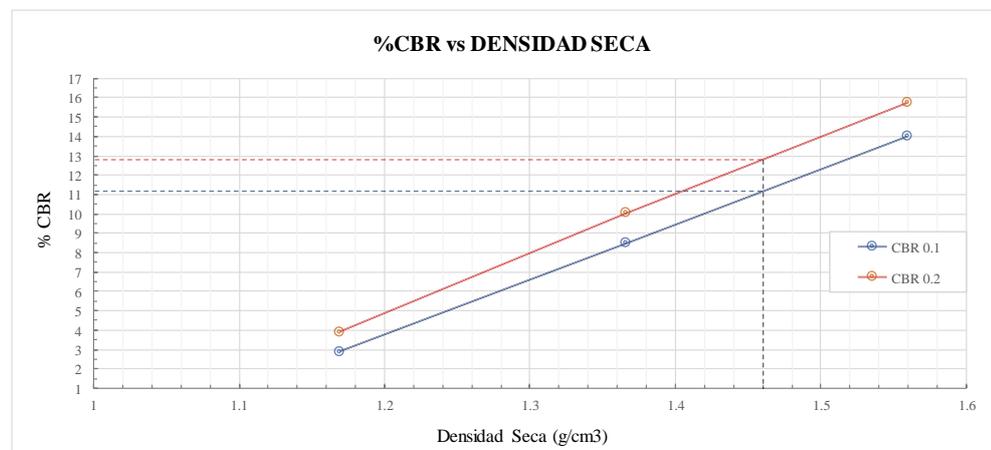
		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN									
Proyecto : Estabilización de suelos granulares de subrasante con finos de tereftalato de polietileno (PET), polipropileno (PP) y polietileno (PE).											
Provincia: Tungurahua				Numero de muestra: 15							
Cantón: Ambato				Coordenadas: 17 M, 769836.03 ; 9865167.7							
Sector: Izamba				Tipo: Subrasante							
Fecha: 20/nov/2020				Profundidad: 60 cm							
Norma: AASHTO T193-13				Finos PET/PP/PE: 6%							
				ASTM D1883-16							
DATOS											
ENSAYO DE RELACION DE SOPORTE CALIFORNIA DE LABORATORIO - CBR											
DATOS DE COMPACTACIÓN - PROCTOR											
Método: MODIFICADO											
Densidad Máxima: 1537 Kg/m ³											
Humedad Óptima: 12.88 %											
CONTENIDO DE HUMEDAD Y PESO UNITARIO DE LA MUESTRA DE ENSAYO											
Molde N°	M 12			SL-12			D 61				
N° de Capas	5			5			5				
N° de golpes por capa	56			25			11				
Estado de la muestra	Antes de Remojar		Después de Remojar	Antes de Remojar		Después de Remojar	Antes de Remojar		Después de Remojar		
Peso muestra húmeda + molde (g)	11834		12224	10511		10975	10298		10812		
Peso del molde (g)	7676		7676	7110		7110	7400		7400		
Peso de muestra húmeda (g)	4158		4548	3401		3865	2898		3412		
Volumen muestra (cm ³)	2384		2384	2270		2270	2291		2291		
Peso unit. Húmedo, g/cm³	1.744		1.908	1.498		1.703	1.265		1.489		
Cant. De humedad de muestra del tarro N°	Fondo	Arriba	1" de Arriba	Fondo	Arriba	1" de Arriba	Fondo	Arriba	1" de Arriba		
Peso de muestra humedad + tarro (g)	ML-16	O-21	OR-7	WE	QY-12	ML-16	10	OR-7	QY-12		
	56.41	61.24	80.20	90.12	94.52	75.46	73.80	88.61	96.44		
Peso de muestra seca + tarro (g)	52.49	56.00	69.22	82.41	86.12	64.58	68.09	81.00	80.00		
Peso del agua (g)	3.92	5.24	10.98	7.71	8.40	10.88	5.71	7.61	16.44		
Peso del tarro (g)	20.40	14.90	20.09	20.08	19.94	20.40	21.32	20.09	19.94		
Peso de la muestra seca (g)	32.09	41.10	49.13	62.33	66.18	44.18	46.77	60.91	60.06		
Contenido de humedad %	12.22%	12.75%	22.35%	12.37%	12.69%	24.63%	12.21%	12.49%	27.37%		
Contenido de humedad promedio, %	12.48%		22.35%	12.53%		24.63%	12.35%		27.37%		
Peso Unit. Seco g/cm³	1.551		1.559	1.331		1.366	1.126		1.169		
DATOS DEL ESPONJAMIENTO (HINCHAMIENTO)											
Día del mes	Hora del día	Interv. De tiempo en días	Molde N° M 12			Molde N° SL-12			Molde N° D 61		
			Lectura del Indicador	Espanjamiento		Lectura del Indicador	Espanjamiento		Lectura del Indicador	Espanjamiento	
			Pulg.	%		Pulg.	%		Pulg.	%	
21/11/2020	14h00	1	1	0.001	0.0220	3	0.003	0.0660	4	0.004	0.0880
22/11/2020	14h00	2	2	0.002	0.0440	5	0.005	0.1100	7	0.007	0.1539
23/11/2020	14h00	3	2	0.002	0.0440	5	0.005	0.1100	7	0.007	0.1539
24/11/2020	14h00	4	2	0.002	0.0440	5	0.005	0.1100	9	0.009	0.1979
25/11/2020	14h00	5	2	0.002	0.0440	5	0.005	0.1100	9	0.009	0.1979
DATOS DE ENSAYO DE CARGA CBR											
Penetración Pulgada	Carga Standard Lb	Molde N° M 12			Molde N° SL-12			Molde N° D 61			
		Carga del Ensayo	CBR Corr.	% CBR	Carga del Ensayo	CBR Corr.	% CBR	Carga del Ensayo	CBR Corr.	% CBR	
0.000		0	0		0	0		0	0		
0.025		85	28		45	15		12	4		
0.050		144	48		82	27		38	13		
0.075		279	93		168	56		74	25		
0.100	1000	531	177	140.10	312	104	84.82	92	31	28.85	
0.150		588	196		379	126		115	38		
0.200	1500	789	263	235.96	478	159	150.87	145	48	58.67	
0.250		744	248		490	163		239	80		
0.300		756	252		553	184		289	96		
0.400		845	282		632	211		331	110		
0.500		859	286		711	237		367	122		
0.600		921	307		798	266		395	132		

PORCENTAJES CBR CORREGIDOS						
Molde N°	CBR 0.1"			CBR 0.2"		
	Presión (PSI)	CBR %	Densidad Seca (g/cm3)	Presión (PSI)	CBR %	Densidad Seca (g/cm3)
M 12	140.10	14.01	1.559	235.96	15.73	1.559
SL-12	84.82	8.48	1.366	150.87	10.06	1.366
D 61	28.85	2.89	1.169	58.67	3.91	1.169



CBR			
DENSIDAD MÁXIMA (g/cm3)	CBR 0.1"	CBR 0.2"	% CBR MAYOR
Densidad al 100%: 1.537			
Densidad al 95%: 1.460	11.20	12.80	12.80

GRÁFICA CBR



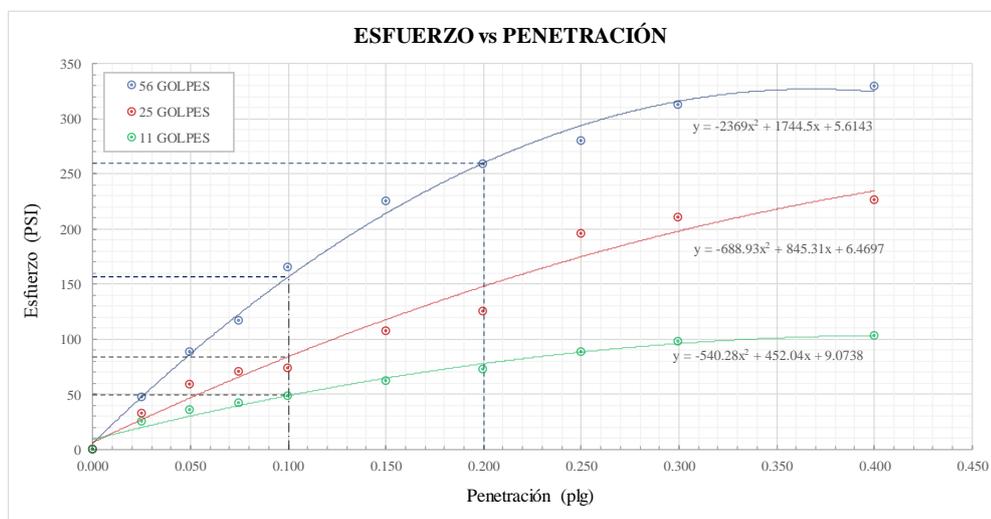
DESCRIPCION DEL ENSAYO	
El CBR para el diseño de pavimento es de 12.8%	
REALIZÓ:	REVISÓ:
Egdo. Kevin Adrian Celi Yanchapanta	Ing. Favio Portilla

Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

Anexo 50: CBR con 9% PET/PP/PE

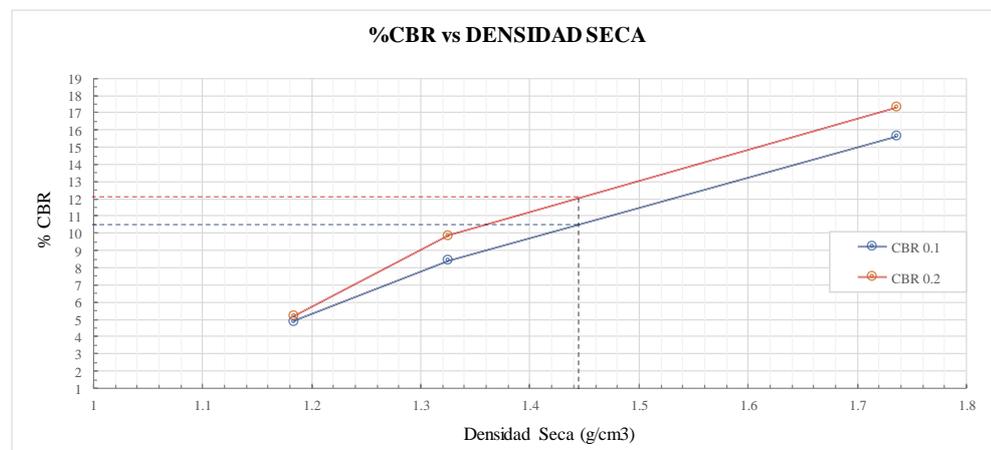
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN											
Proyecto : Estabilización de suelos granulares de subrasante con finos de tereftalato de polietileno (PET), polipropileno (PP) y polietileno (PE).											
Provincia: Tungurahua				Numero de muestra: 16							
Cantón: Ambato				Coordenadas: 17 M, 769836.03 ; 9865167.7							
Sector: Izamba				Tipo: Subrasante							
Fecha: 20/nov/2020				Profundidad: 60 cm							
Norma: AASHTO T193-13				Finos PET/PP/PE: 9%							
ASTM D1883-16											
DATOS											
ENSAYO DE RELACION DE SOPORTE CALIFORNIA DE LABORATORIO - CBR											
DATOS DE COMPACTACIÓN - PROCTOR											
Método: MODIFICADO											
Densidad Máxima: 1521 Kg/m ³											
Humedad Óptima: 11.61 %											
CONTENIDO DE HUMEDAD Y PESO UNITARIO DE LA MUESTRA DE ENSAYO											
Molde N°		B 55			G 20			L 12			
N° de Capas		5			5			5			
N° de golpes por capa		56			25			11			
Estado de la muestra		Antes de Remojar		Después de Remojar	Antes de Remojar		Después de Remojar	Antes de Remojar		Después de Remojar	
Peso muestra húmeda + molde (g)		12134		12456	10324		10698	10323		10788	
Peso del molde (g)		7340		7340	6905		6905	7136		7136	
Peso de muestra húmeda (g)		4794		5116	3419		3793	3187		3652	
Volumen muestra (cm ³)		2386		2386	2223		2223	2317		2317	
Peso unit. Húmedo, g/cm³		2.009		2.144	1.538		1.706	1.375		1.576	
Cant. De humedad de muestra del tarro N°		Fondo	Arriba	1" de Arriba	Fondo	Arriba	1" de Arriba	Fondo	Arriba	1" de Arriba	
Peso de muestra humedad + tarro (g)		D-20	D-36	JL-2	B-9	M-2	B-31	B-31	JL-2	D-20	
		61.29	65.71	88.32	79.11	83.11	75.09	67.79	90.23	88.08	
Peso de muestra seca + tarro (g)		56.29	60.21	75.23	69.98	72.60	61.98	60.22	79.77	69.44	
Peso del agua (g)		5.00	5.50	13.09	9.13	10.51	13.11	7.57	10.46	18.64	
Peso del tarro (g)		13.30	13.29	19.56	16.93	12.00	16.35	16.35	19.56	13.30	
Peso de la muestra seca (g)		42.99	46.92	55.67	53.05	60.60	45.63	43.87	60.21	56.14	
Contenido de humedad %		11.63%	11.72%	23.51%	17.21%	17.34%	28.73%	17.26%	17.37%	33.20%	
Contenido de humedad promedio, %		11.68%		23.51%	17.28%		28.73%	17.31%	33.20%		
Peso Unit. Seco g/cm³		1.799		1.736	1.311		1.325	1.172		1.183	
DATOS DEL ESPONJAMIENTO (HINCHAMIENTO)											
Día del mes	Hora del día	Interv. De tiempo en días	Molde N° B 55			Molde N° G 20			Molde N° L 12		
			Lectura del Indicador	Espanjamiento		Lectura del Indicador	Espanjamiento		Lectura del Indicador	Espanjamiento	
				Pulg.	%		Pulg.	%		Pulg.	%
21/11/2020	14h00	1	2	0.002	0.0440	5	0.005	0.1100	6	0.006	0.1320
22/11/2020	14h00	2	4	0.004	0.0880	9	0.009	0.1979	12	0.012	0.2639
23/11/2020	14h00	3	4	0.004	0.0880	5	0.005	0.1100	11	0.011	0.2419
24/11/2020	14h00	4	4	0.004	0.0880	5	0.005	0.1100	11	0.011	0.2419
25/11/2020	14h00	5	4	0.004	0.0880	13	0.013	0.2859	13	0.013	0.2859
DATOS DE ENSAYO DE CARGA CBR											
Penetración Pulgada	Carga Standard Lb	Molde N° B 55			Molde N° G 20			Molde N° L 12			
		Carga del Ensayo	CBR Corr.	% CBR	Carga del Ensayo	CBR Corr.	% CBR	Carga del Ensayo	CBR Corr.	% CBR	
0.000		0	0		0	0		0	0		
0.025		144	48		99	33		76	25		
0.050		266	89		177	59		109	36		
0.075		353	118		213	71		129	43		
0.100	1000	498	166	156.37	223	74	84.11	145	48	48.88	
0.150		677	226		324	108		188	63		
0.200	1500	776	259	259.75	377	126	147.98	219	73	77.87	
0.250		841	280		588	196		265	88		
0.300		939	313		631	210		294	98		
0.400		988	329		679	226		311	104		
0.500		1056	352		723	241		346	115		
0.600		1123	374		765	255		411	137		

PORCENTAJES CBR CORREGIDOS						
Molde N°	CBR 0.1"			CBR 0.2"		
	Presión (PSI)	CBR %	Densidad Seca (g/cm3)	Presión (PSI)	CBR %	Densidad Seca (g/cm3)
B 55	156.37	15.64	1.736	259.75	17.32	1.736
G 20	84.11	8.41	1.325	147.98	9.87	1.325
L 12	48.88	4.89	1.183	77.87	5.19	1.183



CBR			
DENSIDAD MÁXIMA (g/cm3)	CBR 0.1"	CBR 0.2"	% CBR MAYOR
Densidad al 100%: 1.521			
Densidad al 95%: 1.445	10.50	12.10	12.10

GRÁFICA CBR



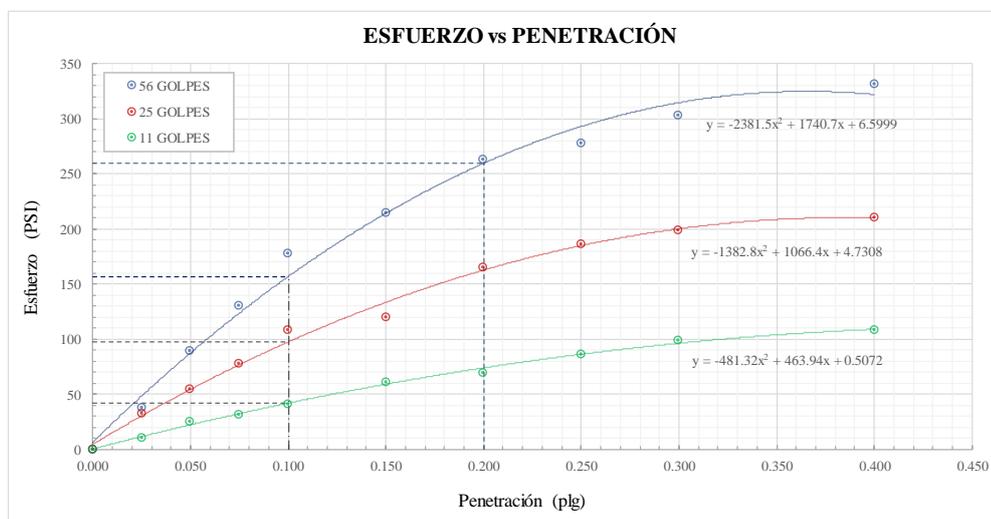
DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO	
El CBR para el diseño de pavimento es de 12.1%	
REALIZÓ:	REVISÓ:
Egdo. Kevin Adrian Celi Yanchapanta	Ing. Favio Portilla

Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

Anexo 51: CBR con 12% PET/PP/PE

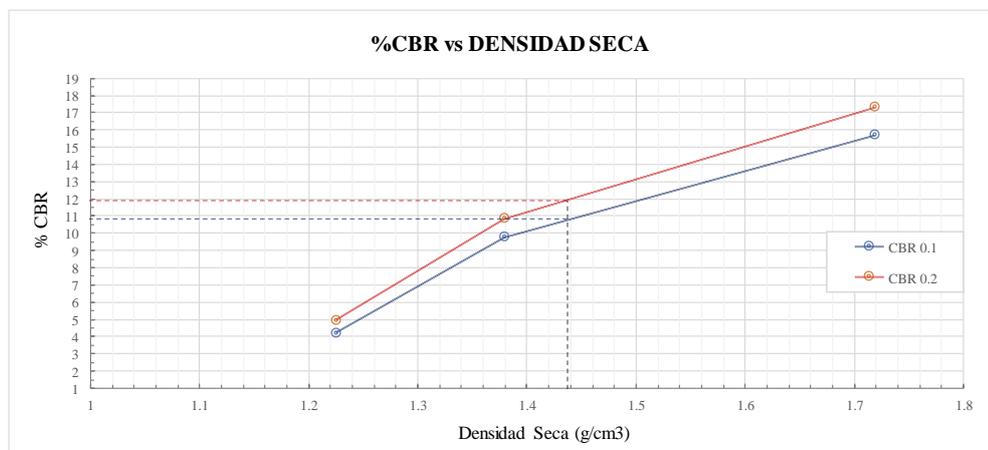
		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN									
Proyecto : Estabilización de suelos granulares de subrasante con finos de tereftalato de polietileno (PET), polipropileno (PP) y polietileno (PE).											
Provincia:	Tungurahua			Numero de muestra:	17						
Cantón:	Ambato			Coordenadas:	17 M, 769836.03 ; 9865167.7						
Sector:	Izamba			Tipo:	Subrasante						
Fecha:	20/nov/2020			Profundidad:	60 cm						
Norma:	AASHTO T193-13 ASTM D1883-16			Finos PET/PP/PE:	12%						
DATOS											
ENSAYO DE RELACION DE SOPORTE CALIFORNIA DE LABORATORIO - CBR											
DATOS DE COMPACTACIÓN - PROCTOR											
Método:	MODIFICADO										
Densidad Máxima:	1513	Kg/m ³									
Humedad Óptima:	10.82	%									
CONTENIDO DE HUMEDAD Y PESO UNITARIO DE LA MUESTRA DE ENSAYO											
Molde N°	1			2			3				
N° de Capas	5			5			5				
N° de golpes por capa	56			25			11				
Estado de la muestra	Antes de Remojar		Después de Remojar	Antes de Remojar		Después de Remojar	Antes de Remojar		Después de Remojar		
Peso muestra húmeda + molde (g)	10123		10365	9234		9543	8789		9233		
Peso del molde (g)	6045		6045	6004		6004	6049		6049		
Peso de muestra húmeda (g)	4078		4320	3230		3539	2740		3184		
Volumen muestra (cm ³)	2116		2116	2123		2123	2110		2110		
Peso unit. Húmedo, g/cm³	1.927		2.042	1.521		1.667	1.299		1.509		
Cant. De humedad de muestra del tarro N°	Fondo	Arriba	1" de Arriba	Fondo	Arriba	1" de Arriba	Fondo	Arriba	1" de Arriba		
Peso de muestra humedad + tarro (g)	X1	Z	42	86	T	TIN	13	TIN	13		
	77.11	83.42	96.98	80.33	65.89	93.44	109.76	99.65	112.42		
Peso de muestra seca + tarro (g)	72.56	78.15	86.12	75.46	62.30	82.11	101.95	92.56	96.48		
Peso del agua (g)	4.55	5.27	10.86	4.87	3.59	11.33	7.81	7.09	15.94		
Peso del tarro (g)	28.70	27.90	28.30	28.10	28.30	27.80	27.70	27.90	27.70		
Peso de la muestra seca (g)	43.86	50.25	57.82	47.36	34.00	54.31	74.25	64.66	68.78		
Contenido de humedad %	10.37%	10.49%	18.78%	10.28%	10.56%	20.86%	10.52%	10.97%	23.18%		
Contenido de humedad promedio, %	10.43%		18.78%	10.42%		20.86%	10.74%		23.18%		
Peso Unit. Seco g/cm³	1.745		1.719	1.378		1.379	1.173		1.225		
DATOS DEL ESPONJAMIENTO (HINCHAMIENTO)											
Día del mes	Hora del día	Interv. De tiempo en días	Molde N° 1			Molde N° 2			Molde N° 3		
			Lectura del Indicador	Espanjamiento		Lectura del Indicador	Espanjamiento		Lectura del Indicador	Espanjamiento	
			Pulg.	%		Pulg.	%		Pulg.	%	
21/11/2020	14h00	1	1	0.001	0.0220	7	0.007	0.1539	9	0.009	0.1979
22/11/2020	14h00	2	4	0.004	0.0880	5	0.005	0.1100	16	0.016	0.3519
23/11/2020	14h00	3	4	0.004	0.0880	5	0.005	0.1100	19	0.019	0.4179
24/11/2020	14h00	4	4	0.004	0.0880	5	0.005	0.1100	25	0.025	0.5498
25/11/2020	14h00	5	4	0.004	0.0880	5	0.005	0.1100	30	0.030	0.6598
DATOS DE ENSAYO DE CARGA CBR											
Penetración Pulgada	Carga Standard Lb	Molde N° 1			Molde N° 2			Molde N° 3			
		Carga del Ensayo	CBR Corr.	% CBR	Carga del Ensayo	CBR Corr.	% CBR	Carga del Ensayo	CBR Corr.	% CBR	
0.000		0	0		0	0		0	0		
0.025		114	38		98	33		32	11		
0.050		268	89		165	55		77	26		
0.075		392	131		235	78		96	32		
0.100	1000	533	178	156.86	325	108	97.54	124	41	42.09	
0.150		645	215		361	120		183	61		
0.200	1500	789	263	259.48	495	165	162.69	211	70	74.04	
0.250		833	278		559	186		259	86		
0.300		911	304		597	199		297	99		
0.400		994	331		632	211		325	108		
0.500		1035	345		706	235		381	127		
0.600		1098	366		759	253		398	133		

PORCENTAJES CBR CORREGIDOS						
Molde N°	CBR 0.1"			CBR 0.2"		
	Presión (PSI)	CBR %	Densidad Seca (g/cm3)	Presión (PSI)	CBR %	Densidad Seca (g/cm3)
1	156.86	15.69	1.719	259.48	17.30	1.719
2	97.54	9.75	1.379	162.69	10.85	1.379
3	42.09	4.21	1.225	74.04	4.94	1.225



CBR			
DENSIDAD MÁXIMA (g/cm3)	CBR 0.1"	CBR 0.2"	% CBR MAYOR
Densidad al 100%: 1.513			
Densidad al 95%: 1.437	10.80	11.90	11.90

GRÁFICA CBR



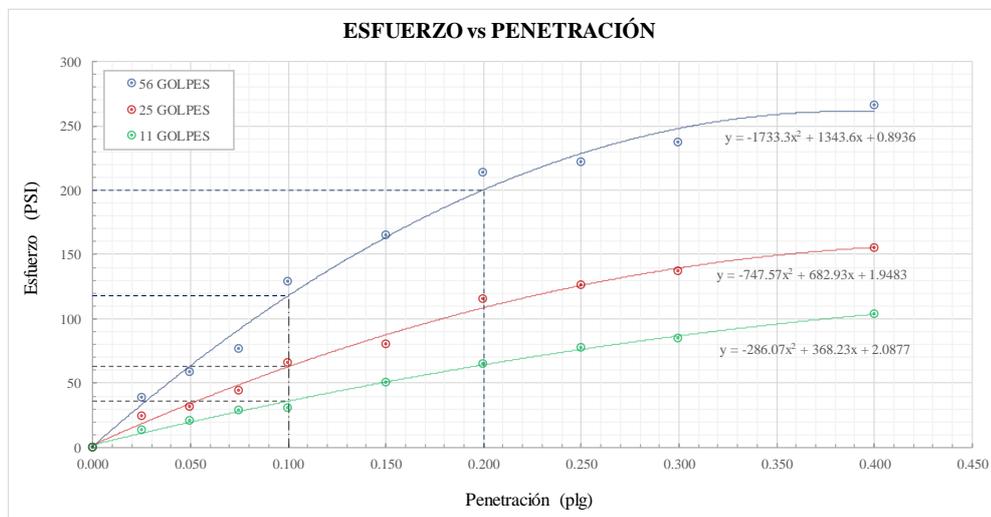
DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO	
El CBR para el diseño de pavimento es de 11.9%	
REALIZÓ:	REVISÓ:
Egdo. Kevin Adrian Celi Yanchapanta	Ing. Favio Portilla

Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

Anexo 52: CBR con 15% PET/PP/PE

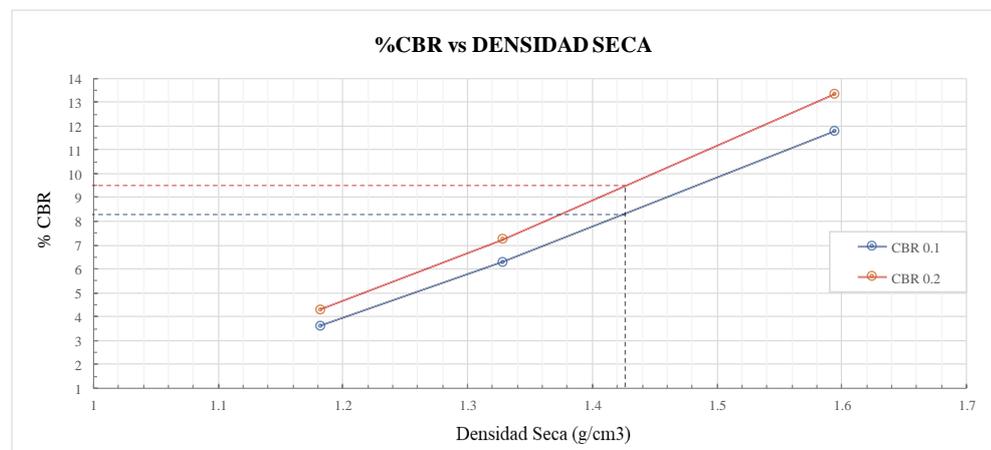
		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN											
Proyecto : Estabilización de suelos granulares de subrasante con finos de tereftalato de polietileno (PET), polipropileno (PP) y polietileno (PE).													
Provincia: Tungurahua				Numero de muestra: 18									
Cantón: Ambato				Coordenadas: 17 M, 769836.03 ; 9865167.7									
Sector: Izamba				Tipo: Subrasante									
Fecha: 20/nov/2020				Profundidad: 60 cm									
Norma: AASHTO T193-13				Finos PET/PP/PE: 15%									
				ASTM D1883-16									
DATOS													
ENSAYO DE RELACION DE SOPORTE CALIFORNIA DE LABORATORIO - CBR													
DATOS DE COMPACTACIÓN - PROCTOR													
Método:		MODIFICADO											
Densidad Máxima:		1501		Kg/m ³									
Humedad Óptima:		10.55 %											
CONTENIDO DE HUMEDAD Y PESO UNITARIO DE LA MUESTRA DE ENSAYO													
Molde N°	VA-12			BG			GH						
N° de Capas	5			5			5						
N° de golpes por capa	56			25			11						
Estado de la muestra	Antes de Remojar		Después de Remojar	Antes de Remojar		Después de Remojar	Antes de Remojar		Después de Remojar				
Peso muestra húmeda + molde (g)	11156		11588	10421		10793	10021		10385				
Peso del molde (g)	7234		7234	7098		7098	7112		7112				
Peso de muestra húmeda (g)	3922		4354	3323		3695	2909		3273				
Volumen muestra (cm ³)	2311		2311	2295		2295	2234		2234				
Peso unit. Húmedo, g/cm³	1.697		1.884	1.448		1.610	1.302		1.465				
Cant. De humedad de muestra del tarro N°	Fondo	Arriba	1" de Arriba	Fondo	Arriba	1" de Arriba	Fondo	Arriba	1" de Arriba				
	C-17	23	8	P-11	8	23	ML-2	W-5	P-11				
Peso de muestra humedad + tarro (g)	92.19	87.44	96.31	92.39	77.62	58.98	61.94	90.09	88.84				
Peso de muestra seca + tarro (g)	85.24	80.85	84.59	85.59	72.00	52.18	58.00	83.29	75.74				
Peso del agua (g)	6.95	6.59	11.72	6.80	5.62	6.80	3.94	6.80	13.10				
Peso del tarro (g)	20.16	20.12	20.00	21.08	20.00	20.12	20.40	20.14	21.08				
Peso de la muestra seca (g)	65.08	60.73	64.59	64.51	52.00	32.06	37.60	63.15	54.66				
Contenido de humedad %	10.68%	10.85%	18.15%	10.54%	10.81%	21.21%	10.48%	10.77%	23.97%				
Contenido de humedad promedio, %	10.77%		18.15%	10.67%		21.21%	10.62%		23.97%				
Peso Unit. Seco g/cm³	1.532		1.595	1.308		1.328	1.177		1.182				
DATOS DEL ESPONJAMIENTO (HINCHAMIENTO)													
Día del mes	Hora del día	Interv. De tiempo en días	Molde N° VA-12			Molde N° BG			Molde N° GH				
			Lectura del Indicador	Espanjamiento		Lectura del Indicador	Espanjamiento		Lectura del Indicador	Espanjamiento			
				Pulg.	%		Pulg.	%		Pulg.	%		
21/11/2020	14h00	1	1	0.001	0.0220	6	0.006	0.1320	8	0.008	0.1759		
22/11/2020	14h00	2	4	0.004	0.0880	9	0.009	0.1979	17	0.017	0.3739		
23/11/2020	14h00	3	6	0.006	0.1320	13	0.013	0.2859	21	0.021	0.4618		
24/11/2020	14h00	4	6	0.006	0.1320	11	0.011	0.2419	21	0.021	0.4618		
25/11/2020	14h00	5	6	0.006	0.1320	11	0.011	0.2419	21	0.021	0.4618		
DATOS DE ENSAYO DE CARGA CBR													
Penetración Pulgada	Carga Standard Lb	Molde N° VA-12			Molde N° BG			Molde N° GH					
		Carga del Ensayo	CBR Corr.	% CBR	Carga del Ensayo	CBR Corr.	% CBR	Carga del Ensayo	CBR Corr.	% CBR			
0.000		0	0		0	0		0	0				
0.025		117	39		75	25		43	14				
0.050		178	59		96	32		63	21				
0.075		231	77		134	45		88	29				
0.100	1000	389	130	117.92	11.79	198	66	62.77	6.28	92	31	36.05	3.61
0.150		497	166		241	80		153	51				
0.200	1500	641	214	200.28	13.35	348	116	108.63	7.24	197	66	64.29	4.29
0.250		665	222		381	127		234	78				
0.300		711	237		411	137		256	85				
0.400		798	266		467	156		311	104				
0.500		832	277		493	164		325	108				
0.600		876	292		511	170		341	114				

PORCENTAJES CBR CORREGIDOS						
Molde N°	CBR 0.1"			CBR 0.2"		
	Presión (PSI)	CBR %	Densidad Seca (g/cm3)	Presión (PSI)	CBR %	Densidad Seca (g/cm3)
VA-12	117.92	11.79	1.595	200.28	13.35	1.595
BG	62.77	6.28	1.328	108.63	7.24	1.328
GH	36.05	3.61	1.182	64.29	4.29	1.182



CBR			
DENSIDAD MÁXIMA (g/cm3)	CBR 0.1"	CBR 0.2"	% CBR MAYOR
Densidad al 100%: 1.501			
Densidad al 95%: 1.426	8.30	9.50	9.50

GRÁFICA CBR



DESCRIPCION DEL ENSAYO	
El CBR para el diseño de pavimento es de 9.5%	
REALIZÓ:	REVISÓ:
Egdo. Kevin Adrian Celi Yanchapanta	Ing. Favio Portilla

Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

Anexos

C.5. Gravedad Específica del Tereftalato de Polietileno (PET), Polipropileno (PP) Y Polietileno (PE)

ENSAYO DE LA DENSIDAD RELATIVA DEL PLÁSTICO SEGÚN NORMA ASTM D792

Desarrollo:

Para realizar este ensayo se aplicó el Principio de Arquímedes o llamado también método de desplazamiento. Se usó agua destilada como líquido de referencia cuya densidad es conocida la misma que trabajamos a 25°C.

El plástico se pesó en el aire (W_a), después se sumergió en el agua destilada y se volvió a pesar (W_s), en estas condiciones pesaba menos, ya que cualquier cuerpo sumergido en agua es empujado por una fuerza equivalente al peso del agua desplazada.

El volumen del líquido desalojado corresponde al volumen del sólido sumergido. La diferencia de $W_a - W_s$ es igual a la pérdida de peso producida por la inmersión en el agua destilada, o el peso de un volumen igual de agua destilada.

La fórmula $\frac{W_a}{(W_a - W_s)}$ es el peso específico del plástico. Dado que el peso específico es simplemente una relación. Para el cálculo de la densidad del plástico la ecuación utilizada es:

$$P_s = \frac{W_a}{(W_a - W_s)} * P_a + 0.0012$$

Donde:

W_a = *Peso del plástico en aire*

W_s = *Peso del plástico sumergido en el agua destilada*

P_a = *Densidad del agua destilada (0.9970479 gr/m³)*

0,0012 = *Corrección del empuje del aire cuando se pesa el plástico en el aire.*

Es importante mantener la temperatura a 25°C para que la densidad obtenida sea la correcta.

Datos para el ensayo:

$W_a = 150\text{gr}$

$W_s = 85\text{gr}$

$P_a = \text{Densidad del agua destilada } (0.9970479\text{gr/cm}^3)$

$$P_s = \frac{W_a}{(W_a - W_s)} * P_a + 0.0012$$

$$P_s = \frac{150}{(150 - 35)} * P_a + 0.0012$$

$$P_s = 1.302 \text{ gr/cm}^3$$

La densidad relativa es de 1.302 gr/cm^3 , su gravedad específica basados en la norma corresponde al mismo valor sin unidades debido a que se está trabajando con la densidad de agua.

Anexos

C.3. Tráfico

Anexo 53: Conteo vehicular sentido SUR-NORTE

GRACIELA ESCUDERO (SUR-NORTE)											
HORA	LIVIANOS	BUSES	PESADOS							Σ PESADOS	TOTAL
			2DA	2DB	V2DB	3A	3S2	3S3			
06H00-06H15	45	9	3	0	0	0	0	0	1	4	58
06H15-06H30	26	4	1	0	0	0	0	0	0	1	31
06H30-06H45	43	8	4	0	0	0	0	0	0	4	55
06H45-07H00	37	6	1	0	0	0	0	0	0	1	44
07H00-07H15	21	4	2	1	0	0	0	0	0	3	28
07H15-07H30	39	3	3	0	0	0	0	0	0	3	45
07H30-07H45	50	6	4	0	0	0	0	0	1	5	61
07H45-08H00	42	5	6	4	0	0	0	0	0	10	57
08H00-08H15	34	6	5	1	0	0	0	0	0	6	46
08H15-08H30	24	5	1	1	0	0	0	0	0	2	31
08H30-08H45	38	6	3	2	0	0	0	0	0	5	49
08H45-09H00	30	4	11	2	1	0	0	0	0	14	48
09H00-09H15	34	4	5	0	2	0	0	0	0	7	45
09H15-09H30	37	1	2	0	0	1	1	0	0	4	42
09H30-09H45	27	3	3	1	0	0	0	0	0	4	34
09H45-10H00	42	4	3	2	1	0	0	0	0	6	52
10H00-10H15	26	3	7	1	0	0	0	0	0	8	37
10H15-10H30	32	4	6	0	0	0	0	0	0	6	42
10H30-10H45	44	4	6	0	1	0	1	0	0	8	56
10H45-11H00	38	3	3	3	0	1	0	0	0	7	48
11H00-11H15	51	1	9	1	0	0	0	0	0	10	62
11H15-11H30	38	2	6	1	0	0	0	0	0	7	47
11H30-11H45	31	3	6	2	0	0	0	0	0	8	42
11H45-12H00	30	2	4	0	1	0	0	0	0	5	37
12H00-12H15	28	2	4	2	0	0	0	0	0	6	36
12H15-12H30	22	2	3	3	0	0	0	0	0	6	30
12H30-12H45	29	3	4	0	0	0	0	1	0	5	37
12H45-13H00	29	2	6	0	0	0	0	0	0	6	37
13H00-13H15	34	4	5	4	0	1	0	0	0	10	48
13H15-13H30	29	1	8	3	0	0	0	1	0	12	42
13H30-13H45	25	6	7	0	0	0	0	0	0	7	38
13H45-14H00	41	12	6	4	0	0	0	0	0	10	63
14H00-14H15	36	4	1	1	0	0	0	0	0	2	42
14H15-14H30	13	0	0	1	0	0	0	0	0	1	14
14H30-14H45	21	3	2	1	0	0	1	1	0	5	29
14H45-15H00	37	5	5	1	0	0	1	1	0	8	50
15H00-15H15	37	2	0	2	0	0	0	0	0	2	41
15H15-15H30	34	3	6	2	1	2	0	0	0	11	48
15H30-15H45	34	5	4	4	2	0	0	0	0	10	49
15H45-16H00	36	2	1	2	1	0	0	0	0	4	42
16H00-16H15	37	2	4	1	2	0	0	0	0	7	46
16H15-16H30	27	4	8	1	0	1	0	0	0	10	41
16H30-16H45	31	5	3	0	0	0	0	0	0	3	39
16H45-17H00	39	7	3	3	0	0	0	0	0	6	52
17H00-17H15	35	7	5	1	3	0	1	1	0	11	53
17H15-17H30	36	5	1	2	0	0	0	0	0	3	44
17H30-17H45	39	6	10	1	0	0	1	1	0	13	58
17H45-18H00	45	7	0	0	1	0	0	0	0	1	53

Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

Anexo 54: Conteo vehicular sentido NORTE-SUR

GRACIELA ESCUDERO (NORTE-SUR)										
HORA	LIVIANOS	BUSES	PESADOS							TOTAL
			2DA	2DB	V2DB	3A	3S2	3S3	Σ PESADOS	
06H00-06H15	26	7	1	2	0	0	0	0	3	36
06H15-06H30	25	6	2	1	0	1	0	0	4	35
06H30-06H45	29	5	3	0	0	0	0	0	3	37
06H45-07H00	39	4	1	1	0	1	1	0	4	47
07H00-07H15	34	5	3	3	2	0	0	0	8	47
07H15-07H30	31	7	2	1	0	0	1	0	4	42
07H30-07H45	35	3	5	0	0	0	0	0	5	43
07H45-08H00	32	9	4	1	0	0	0	0	5	46
08H00-08H15	30	4	5	2	1	0	0	0	8	42
08H15-08H30	40	4	3	1	2	0	0	0	6	50
08H30-08H45	33	3	4	0	0	0	0	0	4	40
08H45-09H00	43	6	2	0	0	0	0	0	2	51
09H00-09H15	38	8	2	0	0	0	0	0	2	48
09H15-09H30	25	4	3	0	2	0	0	0	5	34
09H30-09H45	26	6	5	1	1	0	0	0	7	39
09H45-10H00	41	4	3	1	0	0	0	0	4	49
10H00-10H15	23	3	4	1	0	0	0	0	5	31
10H15-10H30	23	4	3	1	0	0	0	0	4	31
10H30-10H45	27	5	7	0	0	1	0	0	8	40
10H45-11H00	29	12	6	1	0	0	0	0	7	48
11H00-11H15	33	4	4	2	1	1	0	1	9	46
11H15-11H30	27	6	2	0	0	0	0	0	2	35
11H30-11H45	36	3	4	2	0	0	2	0	8	47
11H45-12H00	20	3	3	1	0	0	0	1	5	28
12H00-12H15	32	4	4	0	0	1	0	0	5	41
12H15-12H30	30	6	5	3	0	1	0	1	10	46
12H30-12H45	30	4	6	0	0	0	0	0	6	40
12H45-13H00	24	7	3	1	0	0	0	0	4	35
13H00-13H15	36	5	4	0	1	0	0	0	5	46
13H15-13H30	25	6	6	1	1	0	0	0	8	39
13H30-13H45	34	4	8	5	0	0	0	0	13	51
13H45-14H00	63	16	6	0	0	0	0	1	7	86
14H00-14H15	16	1	0	0	0	0	0	0	0	17
14H15-14H30	5	1	0	1	0	0	0	0	1	7
14H30-14H45	26	6	3	2	0	2	0	0	7	39
14H45-15H00	21	3	3	1	0	1	0	0	5	29
15H00-15H15	32	3	2	0	0	0	0	0	2	37
15H15-15H30	30	7	4	0	1	0	0	0	5	42
15H30-15H45	26	3	4	0	1	0	0	0	5	34
15H45-16H00	37	8	5	1	0	0	0	0	6	51
16H00-16H15	36	4	5	1	0	0	0	0	6	46
16H15-16H30	35	4	5	2	3	0	0	0	10	49
16H30-16H45	24	10	5	0	1	0	0	0	6	40
16H45-17H00	37	8	6	2	0	1	0	0	9	54
17H00-17H15	53	8	8	6	1	0	0	0	15	76
17H15-17H30	34	3	2	1	1	0	0	0	4	41
17H30-17H45	51	7	4	0	2	1	0	0	7	65
17H45-18H00	32	1	5	0	4	0	0	1	10	43

Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

Anexos

C.3. Análisis Económico

Anexo 55: APU, Carpeta Asfáltica

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS						
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA CIVIL						
NOMBRE DE PROYECTO:		Estabilización de suelos granulares de subrasante con finos de tereftalato de polietileno (PET), polipropileno (PP) y polietileno (PE).				
RUBRO:		Capa de rodadura de hormigón asfáltico mezclado en planta de e= 10cm.				
					UNIDAD: m2	
EQUIPOS						
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO	
	A	B	C = A x B	R	D = C x R	
Cargadora frontal 110 HP.	1.00	28.20	28.20	0.0051	0.1435	
Rodillo de asfalto (dos tambores) - 107 HP.	1.00	47.42	47.42	0.0051	0.2414	
Rodillo neumático - 77 HP.	1.00	39.84	39.84	0.0051	0.2028	
Planta eléctrica 175 kVA - 260 HP.	1.00	32.59	32.59	0.0051	0.1659	
Terminadora de Asfalto - 95 HP.	1.00	88.51	88.51	0.0051	0.4505	
Planta de Asfalto - 90 ton./h	1.00	200.76	200.76	0.0051	1.0219	
Herramienta menor (3%)				0.0051	0.0001	
SUBTOTAL M					2.2261	
MANO DE OBRA						
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL /HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO	
	A	B	C = A x B	R	D = C x R	
Peón EO-E2 (OC I)	10.00	3.60	36.00	0.0051	0.1832	
Ayudante Maquinaria EO-D2 (OC III)	6.00	3.65	21.90	0.0051	0.1115	
Inspector de Obra EO-B3 (OC V)	1.00	4.05	4.05	0.0051	0.0206	
Operador cargadora frontal (Payloader sobre ruedas u oruga) EO-C1 (G1)	1.00	4.04	4.04	0.0051	0.0206	
Operador de equipo en general EO-C1 (G1)	1.00	4.04	4.04	0.0051	0.0206	
Operador Responsable de la planta asfáltica EO-C2 (G2)	1.00	3.85	3.85	0.0051	0.0196	
Operador de rodillo autopropulsado EP-C2 (G2)	2.00	3.85	7.70	0.0051	0.0392	
Operador acabadora de Pavimento asfáltico EO-C2 (G2)	1.00	3.85	3.85	0.0051	0.0196	
SUBTOTAL M					0.4349	
MATERIALES						
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO		
		A	B	C = A x B		
Asfalto	lt	13.1883	0.35	4.6159		
Material Triturado 3/4"	m3	0.0068	12.67	0.0859		
Agregado pasante #4 (4.75mm)	m3	0.0234	11.87	0.2779		
Material Triturado 3/8"	m3	0.1301	11.87	1.5439		
Diesel	lt	5.9850	0.26	1.5561		
					8.0797	
TRANSPORTE						
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	PES/VOL.	DISTANCIA	CANTIDAD	TARIFA	COSTO
		E	D	A	B	C = E x D x A x B
SUBTOTAL P						0.00
ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN EL IVA		TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)				10.7407
		COSTOS INDIRECTOS				0.0000
		COSTO TOTAL DEL RUBRO:				10.7400
		VALOR OFERTADO:				10.74
Diez dólares con setenta y cuatro centavos.						
REALIZÓ:			REVISÓ:			
Egdo. Kevin Adrian Celi Yanchapanta			Ing. Favio Portilla			

Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

Anexo 56: APU, Base clase II

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS						
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA CIVIL						
NOMBRE DE PROYECTO:		Estabilización de suelos granulares de subrasante con finos de tereftalato de polietileno (PET), polipropileno (PP) y polietileno (PE).				
RUBRO:		Base clase II				
						UNIDAD: m ³
EQUIPOS						
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO	
	A	B	C = A x B	R	D = C x R	
Rodillo vibratorio liso - 107 HP.	1.00	32.50	32.50	0.0080	0.2600	
Motoniveladora - 125 HP.	1.00	44.81	44.81	0.0080	0.3585	
Camión Cisterna 12000 lts - 170 HP.	1.00	27.71	27.71	0.0080	0.2217	
Herramienta menor (3%)				0.0080	0.0001	
SUBTOTAL M						0.8403
MANO DE OBRA						
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO	
	A	B	C = A x B	R	D = C x R	
Peón EO-E2 (OC I)	2.00	3.60	7.20	0.0080	0.0576	
Ayudante Maquinaria EO-D2 (OC III)	2.00	3.65	7.30	0.0080	0.0584	
Operador de motoniveladora EO-C1 (G1)	1.00	4.04	4.04	0.0080	0.0323	
Operador de rodillo autopropulsado EP-C2 (G2)	1.00	3.85	3.85	0.0080	0.0308	
Chofer tanquero EO-C1	1.00	5.29	5.29	0.0080	0.0423	
SUBTOTAL M						0.2214
MATERIALES						
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO		
		A	B	C = A x B		
Base clase III	m ³	1.2000	8.25	9.9000		
Agua	m ³	0.1000	0.55	0.0550		
						9.9550
TRANSPORTE						
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	PES/VOL.	DISTANCIA	CANTIDAD	TARIFA	COSTO
		E	D	A	B	C = E x D x A x B
SUBTOTAL P						0.00
ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN EL IVA		TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)				11.0167
		COSTOS INDIRECTOS				0.0000
		COSTO TOTAL DEL RUBRO:				11.0200
		VALOR OFERTADO:				11.02
Once dólares con dos centavos.						
REALIZÓ:				REVISÓ:		
Egdo. Kevin Adrian Celi Yanchapanta				Ing. Favio Portilla		

Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

Anexo 57: APU, Subbase clase III

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS								
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA CIVIL								
NOMBRE DE PROYECTO:		Estabilización de suelos granulares de subrasante con finos de tereftalato de polietileno (PET), polipropileno (PP) y polietileno (PE).						
RUBRO:		Subbase clase III						
						UNIDAD: m ³		
EQUIPOS								
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO			
	A	B	C = A x B	R	D = C x R			
Rodillo vibratorio liso - 107 HP.	1.00	32.50	32.50	0.0080	0.2600			
Motoniveladora - 125 HP.	1.00	44.81	44.81	0.0080	0.3585			
Camión Cisterna 12000 lts - 170 HP.	1.00	27.71	27.71	0.0080	0.2217			
Herramienta menor (3%)				0.0080	0.0001			
SUBTOTAL M						0.8403		
MANO DE OBRA								
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL /HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO			
	A	B	C = A x B	R	D = C x R			
Peón EO-E2 (OC I)	2.00	3.60	7.20	0.0080	0.0576			
Ayudante Maquinaria EO-D2 (OC III)	2.00	3.65	7.30	0.0080	0.0584			
Operador de motoniveladora EO-C1 (G1)	1.00	4.04	4.04	0.0080	0.0323			
Operador de rodillo autopropulsado EP-C2 (G2)	1.00	3.85	3.85	0.0080	0.0308			
Chofer tanquero EO-C1	1.00	5.29	5.29	0.0080	0.0423			
SUBTOTAL M						0.2214		
MATERIALES								
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO				
		A	B	C = A x B				
Subbase clase III	m ³	1.2000	6.25	7.5000				
Agua	m ³	0.1000	0.55	0.0550				
						7.5550		
TRANSPORTE								
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	PES/VOL.	DISTANCIA	CANTIDAD	TARIFA	COSTO		
		E	D	A	B	C = E x D x A x B		
						0.00		
SUBTOTAL P						0.00		
ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN EL IVA						TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)	8.6167	
						COSTOS INDIRECTOS	0%	0.0000
						COSTO TOTAL DEL RUBRO:		8.6200
						VALOR OFERTADO:		8.62
Ocho dólares con sesenta y dos centavos.								
REALIZÓ:				REVISÓ:				
Egdo. Kevin Adrian Celi Yanchapanta				Ing. Favio Portilla				

Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

Anexo 58: APU, Mejoramiento de Subrasante

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS							
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA CIVIL							
NOMBRE DE PROYECTO:		Estabilización de suelos granulares de subrasante con finos de tereftalato de polietileno (PET), polipropileno (PP) y polietileno (PE).					
RUBRO:		Mejoramiento de la Subrasante con material seleccionado (FINOS de PET/PP/PE)					
					UNIDAD: m ³		
EQUIPOS							
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO		
	A	B	C = A x B	R	D = C x R		
Rodillo vibratorio liso - 107 HP.	1.00	32.50	32.50	0.0080	0.2600		
Motoniveladora - 125 HP.	1.00	44.81	44.81	0.0080	0.3585		
Camión Cisterna 12000 lts - 170 HP.	1.00	27.71	27.71	0.0080	0.2217		
Herramienta menor (3%)				0.0080	0.0001		
SUBTOTAL M					0.8403		
MANO DE OBRA							
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL /HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO		
	A	B	C = A x B	R	D = C x R		
Peón EO-E2 (OC I)	2.00	3.60	7.20	0.0080	0.0576		
Ayudante Maquinaria EO-D2 (OC III)	2.00	3.65	7.30	0.0080	0.0584		
Operador de motoniveladora EO-C1 (G1)	1.00	4.04	4.04	0.0080	0.0323		
Operador de rodillo autopropulsado EP-C2 (G2)	1.00	3.85	3.85	0.0080	0.0308		
Chofer tanquero EO-C1	1.00	5.29	5.29	0.0080	0.0423		
SUBTOTAL M					0.2214		
MATERIALES							
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO			
		A	B	C = A x B			
Finos de PET/PP/PE	kg	115.0000	0.50	57.5000			
Agua	m ³	0.1500	0.55	0.0825			
					57.5825		
TRANSPORTE							
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	PES/VOL.	DISTANCIA	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
		E	D	A	B	C = E x D x A x B	
SUBTOTAL P						0.00	
ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN EL IVA					TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)	58.6442	
					COSTOS INDIRECTOS	0%	0.0000
					COSTO TOTAL DEL RUBRO:		58.6400
					VALOR OFERTADO:		58.64
Cincuenta y ocho dólares y sesenta y dos centavos.							
REALIZÓ:			REVISÓ:				
Egdo. Kevin Adrian Celi Yanchapanta			Ing. Favio Portilla				

Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

Anexo 59: Diseño 1 - Cuantificación

DIMENSIONES DE CARPETA ASFÁLTICA, PARA e=10cm.		
Ancho (m)	Largo (m)	TOTAL (m ²)
7.3	1000	7300

DISEÑO 1 DIMENSIONES DE CAPA BASE GRANULAR			
Ancho (m)	Largo (m)	Espesor (m)	TOTAL (m ³)
7.3	1000	0.2	1460

DISEÑO 1 DIMENSIONES DE CAPA SUBBASE GRANULAR			
Ancho (m)	Largo (m)	Espesor (m)	TOTAL (m ³)
7.3	1000	0.32	2336

Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

Anexo 60: Diseño 2 - Cuantificación

DIMENSIONES DE CARPETA ASFÁLTICA, PARA e=10cm.		
Ancho (m)	Largo (m)	TOTAL (m ²)
7.3	1000	7300

DISEÑO 2 DIMENSIONES DE CAPA BASE GRANULAR			
Ancho (m)	Largo (m)	Espesor (m)	TOTAL (m ³)
7.3	1000	0.18	1314

DISEÑO 2 DIMENSIONES DE CAPA SUBBASE GRANULAR			
Ancho (m)	Largo (m)	Espesor (m)	TOTAL (m ³)
7.3	1000	0.25	1825

DISEÑO 2 DIMENSIONES DE CAPA SUBRASANTE			
Ancho (m)	Largo (m)	Espesor (m)	TOTAL (m ³)
7.3	1000	0.15	1095

Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

Cuantificación de la cantidad de Finos de PET/PP/PE dentro de $1m^3$ de masa de la muestra seca.

Datos del Proyecto:

Densidad máxima seca= $1.589g/cm^3$

Volumen requerido= $1m^3$ (muestra seca + % finos)

Porcentaje de finos= 7.8%

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

$$1589kg/m^3 * 1m^3 = m_{suelo}$$

$m_{suelo} = 1589kg$ Corresponde al 100% de muestra seca + 7.8% de finos

$$m_{Finos} = \frac{1589kg * 7.8\%}{107.8\%} = 114.97kg \cong 115kg$$

Cuantificación de la cantidad de Agua dentro de $1m^3$ de masa de la muestra seca, para una densidad seca máxima de $1.589g/cm^3$.

Datos del Proyecto:

$$V_{agua} = 1589kg * 13\%$$

$$V_{agua} = 206.57 kg * \frac{1000cm^3}{1kg_{agua}} * \frac{1m^3}{(100cm)^3} = 0.206m^3$$

Debido a que el suelo no se encuentra totalmente seco in-situ se toma un 75% de este valor relacionando con la humedad obtenida en campo. El valor de la cantidad de agua que se utiliza para el APU es de $0.15m^3$.

Anexos

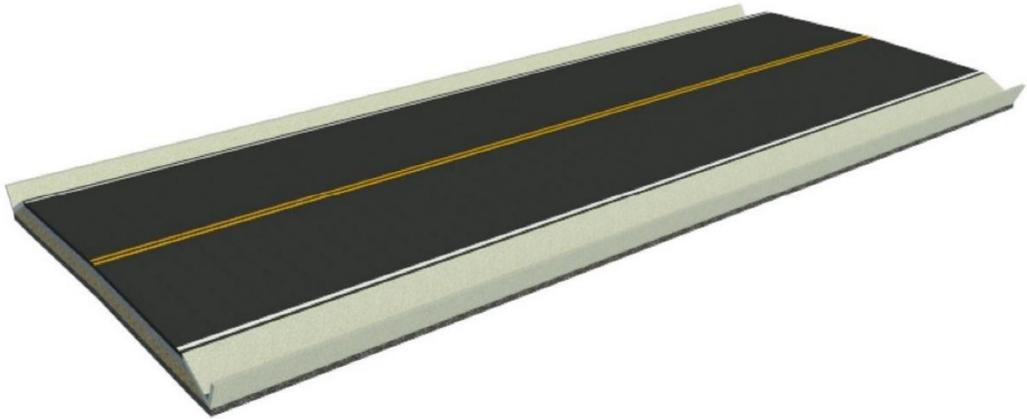
C.3. Renderizados

Anexo 61: Vista Frontal



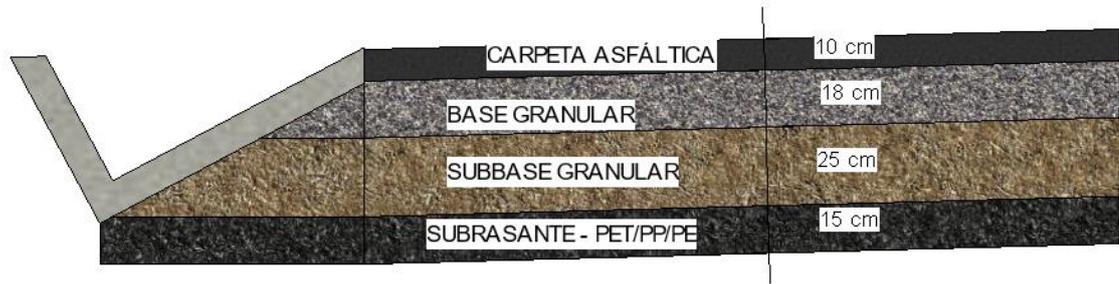
Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

Anexo 62: Vista Aérea



Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

Anexo 63: Corte Trasversal (Capas)



Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

Anexo 64: Despiece de la Estructura



Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

Anexos

C.3. Fotográficos

Anexo 65: Finos de PET/PP/PE



Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

Anexo 66: Excavación de pozo a cielo abierto



Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

Anexo 67: Medición de pozo a cielo abierto



Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

Anexo 68: Preparación para el ensayo de Cono y Arena



Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

Anexo 69: Ensayo de Límites de Atterberg



Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

Anexo 70: Ensayo de gravedad específica



Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

Anexo 71: Cuarteo para el ensayo de Proctor Modificado



Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

Anexo 72: Compactación de Proctor



Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

Anexo 73: Saturación de moldes de CBR



Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta

Anexo 74: Toma de lecturas de hinchamiento



Fuente: Kevin Adrian Celi Yanchapanta