



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

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

TEMA:

**“ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS Y CBR DE
SUELOS COHESIVOS DE SUBRASANTE MEZCLADOS CON
PARTÍCULAS DE TEREFTALATO DE POLIETILENO (PET)”**

AUTOR: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

TUTOR: Ing. Mg. Fidel Alberto Castro Solórzano

AMBATO – ECUADOR

Septiembre - 2021

CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Tutor del Trabajo Experimental, previo a la obtención del título de Ingeniera Civil, con el tema: “**ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS Y CBR DE SUELOS COHESIVOS DE SUBRASANTE MEZCLADOS CON PARTÍCULAS DE TEREFTALATO DE POLIETILENO (PET)**”, elaborado por la Srta. Nancy Patricia Ocampo Guerrero, portadora de la cédula de ciudadanía: C.I. 1804196622 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 autora.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Esta concluido en su totalidad.

Ambato, Septiembre 2021


Ing. Mg. Fidel Alberto Castro Solórzano

TUTOR

AUTORÍA DE LA INVESTIGACION

Yo, **Nancy Patricia Ocampo Guerrero**, con C.I. 1804196622 declaro que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente trabajo experimental con el tema **“ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS Y CBR DE SUELOS COHESIVOS DE SUBRASANTE MEZCLADOS CON PARTÍCULAS DE TEREFTALATO DE POLIETILENO (PET)”**, así como también los análisis estadísticos, gráficos, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autora del proyecto, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, Septiembre 2021



Nancy Patricia Ocampo Guerrero

C.I: 1804196622


AUTORA

DERECHOS DE AUTOR

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

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

Ambato, Septiembre 2021

A handwritten signature in blue ink that reads "Nancy Ocampo". The signature is enclosed within a blue oval. Below the signature is a horizontal dashed line.

Nancy Patricia Ocampo Guerrero

C.I: 1804196622

AUTORA

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Trabajo Experimental, realizado por la estudiante Nancy Patricia Ocampo Guerrero de la Carrera de Ingeniería Civil bajo el tema: **“ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS Y CBR DE SUELOS COHESIVOS DE SUBRASANTE MEZCLADOS CON PARTÍCULAS DE TEREFTALATO DE POLIETILENO (PET)”**

Ambato, Septiembre 2021

Para constancia firman:

Ing. Mg. Ruth Lorena Pérez Maldonado
Miembro Calificador

Ing. Mg. Alex Xavier Frias Torres
Miembro Calificador

DEDICATORIA

A Dios, por ser el apoyo incondicional en cada etapa de mi vida, mi guía y fortaleza, por brindarme su amor y bendecirme, por permitirme cumplir uno de mis sueños y objetivos; su bendición fue fundamental, ya que sin Él nada es posible.

A mis padres, María y Jorge por ser el pilar fundamental de mi vida, por estar conmigo, apoyarme y brindarme su amor incondicional, por enseñarme a luchar ante cada desafío que se ha presentado en mi vida; por su sacrificio, enseñanzas y por toda su paciencia.

A mis hermanos, Fernanda y Miguel por todo su amor, compañía y apoyo incondicional durante este proceso, por impulsarme a ser mejor; son mi mayor tesoro.

Nancy Patricia Ocampo Guerrero

AGRADECIMIENTO

Primeramente, agradezco a Dios por bendecirme con salud, por brindarme la sabiduría y fortaleza para superar cada una de las pruebas que se han presentado a lo largo de este camino.

A mi familia por ser mi apoyo incondicional, por brindarme su amor, por sus consejos, palabras de aliento y ayudarme a superar las pruebas que se han presentado a lo largo de mi vida.

A la Universidad Técnica de Ambato y a la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica por recibirme en sus instalaciones, a mis profesores por su paciencia, apoyo y por brindarme sus conocimientos formándome como profesional, a mis compañeros y amigos por todo su apoyo, cariño y amistad, los llevo en mi corazón.

A mi amiga Patricia, por compartir conmigo tantos momentos de felicidad, tristeza, triunfos y fracasos, por apoyarme y ayudarme cada que lo necesité, por brindarme su amistad y cariño, convirtiéndose en parte de mi familia.

Finalmente, quiero agradecer a cada una de las personas que directa o indirectamente me apoyaron en el desarrollo de mi vida estudiantil ayudándome a lograr mi sueño, Dios le Pague a cada una de ellas.

Nancy Patricia Ocampo Guerrero

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

PORTADA.....	i
CERTIFICACIÓN	ii
AUTORÍA DE LA INVESTIGACION	iii
DERECHOS DE AUTOR.....	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xviii
RESUMEN.....	xxi
ABSTRACT	xxii
CAPÍTULO I.- MARCO TEÓRICO	1
1.1 Antecedentes Investigativos	1
1.1.1 Antecedentes	1
1.1.2 Justificación.....	2
1.1.3 Fundamentación Teórica.....	4
1.1.3.1 El suelo	4
1.1.3.1.1. Composición del suelo.....	4
1.1.3.1.2. Propiedades índice del suelo.....	5
➤ Densidad.....	5
➤ Porosidad (n%).....	5
➤ Relación de vacíos (e)	6
➤ Contenido de humedad (w%).....	6
➤ Gravedad específica (Gs%)	6

➤	Peso volumétrico (γ_m)	6
➤	Peso volumétrico seco (γ_d)	7
➤	Grado de saturación del agua (Gw%).....	7
➤	Grado de saturación del aire (Ga%)	7
➤	Granulometría.....	8
➤	Diámetro efectivo	9
➤	Diámetro equiparable	9
➤	Diámetro dimensional	9
➤	Coefficiente de uniformidad (Cu).....	9
➤	Coefficiente de curvatura (Cc).....	9
➤	Límites de Atterberg.....	10
	Límite líquido (LL)	10
	Límite plástico (LP)	11
	Límite de contracción (LC).....	11
	Índice de plasticidad (Ip).....	11
1.1.3.1.3.	Propiedades físico - mecánicas del suelo.....	12
➤	Grado de compactación del suelo.....	12
➤	Esfuerzo de compactación del suelo.....	12
➤	Tipo de suelo	12
➤	Relación de Soporte de California CBR.....	12
1.1.3.1.4.	Propiedades físicas del suelo	13
➤	Color	13
➤	Forma.....	14
➤	Textura.....	15
1.1.3.1.5.	Sistema Unificado de Clasificación de Suelos SUCS	15
➤	Suelos Granulares o de grano grueso	15
➤	Suelos Cohesivos o de grano fino	15

1.1.3.1.6.	Clasificación de suelos AASHTO	16
➤	Grava	17
➤	Arena gruesa.....	17
➤	Arena fina	17
➤	Limos y arcillas	17
1.1.3.2.	Las vías	21
1.1.3.2.1.	Las vías en el Ecuador	21
1.1.3.2.2.	Análisis de tráfico	21
➤	Volumen de tránsito	22
➤	TPDA.....	23
➤	Clasificación de las vías en función del tráfico	23
1.1.3.2.3.	Estructura de una vía.....	24
➤	Carpeta asfáltica	25
➤	Losa de hormigón hidráulico.....	25
➤	Base	25
➤	Subbase.....	26
➤	Subrasante.....	26
1.1.3.2.4.	Tipos de pavimentos	27
➤	Pavimento Flexible.....	27
➤	Pavimento rígido	27
	Hormigón simple con juntas	27
	Hormigón armado con juntas.....	27
	Hormigón armado con refuerzo continuo	27
1.1.3.3.	Métodos de estabilización de suelos para subrasante	27
1.1.3.3.1.	Estabilización mecánica.....	28
-	Mezcla de suelos.....	28
-	Reemplazo	28

- Densificación.....	28
1.1.3.3.2. Estabilización con aditivos químicos.....	29
1.1.3.3.3. Estabilización con geosintéticos.....	30
1.1.3.3.4. Estabilización con fibras naturales.....	31
1.1.3.3.5. Estabilización con fibras sintéticas.....	31
1.1.3.4. Reciclado de plásticos.....	32
1.1.3.4.1. Tereftalato de Polietileno PET.....	33
1.1.3.4.2. Polietileno de alta Densidad HDPE.....	34
1.1.3.4.3. Cloruro de Polivinilo PVC.....	35
1.1.3.4.4. Polietileno de baja densidad LDPE.....	35
1.1.3.4.5. Polipropileno PP.....	36
1.1.3.4.6. Poliestireno PS.....	36
1.1.3.4.7. OTROS.....	37
1.1.4. Hipótesis.....	37
1.2. Objetivos:.....	38
1.2.1. Objetivo General.....	38
1.2.2. Objetivos Específicos.....	38
CAPÍTULO II.- METODOLOGÍA.....	39
2.1 Niveles de investigación.....	39
2.1.1 Investigación exploratoria.....	39
2.1.2 Investigación de laboratorio.....	39
2.1.3 Investigación de campo.....	39
2.1.4 Investigación analítica.....	39
2.2 Población y muestra.....	40
2.2.1 Población.....	40
2.2.2 Muestra.....	40
2.3 Equipos y materiales.....	42

2.4	Métodos	46
2.4.1	Plan de recolección de datos	46
2.4.2	Ensayos de campo y laboratorio	48
2.4.3	Plan de procesamiento y análisis de información	53
	Plan de procesamiento.....	53
	Análisis de información	53
CAPÍTULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN		54
3.1.	Análisis y discusión de los resultados	54
3.1.1	Análisis de los límites de Atterberg y clasificación de suelos	56
3.1.2	Análisis granulométrico	59
3.1.3	Análisis de compactación del suelo y CBR	60
3.1.4	Análisis de propiedades índice.....	67
3.2	Diseño de la estructura de un pavimento flexible según la AASHTO 93 ...	69
3.3	Verificación de hipótesis	102
CAPÍTULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		103
4.1	Conclusiones.....	103
4.2	Recomendaciones.....	106
BIBLIOGRAFÍA.....		107
ANEXOS.....		111
	Anexo N°1: Registro fotográfico del desarrollo del trabajo de titulación.....	111
	Anexo N°2: Registro de los ensayos realizados	120
	Anexo N°3: Registro del conteo vehicular.....	216

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Sistema de clasificación según el CBR.....	13
Tabla 2 Clasificación de los tipos de suelos según la SUCS	16
Tabla 3 Clasificación de suelos según la AASHTO	18
Tabla 4 Clasificación de las vías en función del TPDA.....	23
Tabla 5 Relación Función - Clase - TPDA	24
Tabla 6 Materiales para base en función del CBR.....	25
Tabla 7 Especificaciones para subbase	26
Tabla 8 Coordenadas de las calicatas.....	40
Tabla 9 Descripción de los materiales y equipos a usarse en los ensayos	42
Tabla 10 Plan de recolección de datos	46
Tabla 11 Ensayos de Laboratorio: Nomenclatura y Unidades.....	54
Tabla 12 Límites de Atterberg	56
Tabla 13 Granulometría	59
Tabla 14 Compactación del suelo	60
Tabla 15 Comparación entre el contenido de humedad inicial y contenido de humedad óptimo	62
Tabla 16 Análisis de CBR.....	63
Tabla 17 Comparación de CBR	63
Tabla 18 Propiedades índice	67
Tabla 19 Resumen del conteo vehicular	70
Tabla 20 Conteo vehicular - Hora pico	70
Tabla 21 Cálculo del tráfico actual	73
Tabla 22 Índice de incremento vehicular (%).....	73
Tabla 23 Tráfico actual en el primer año	75
Tabla 24 Tráfico generado	76

Tabla 25 Tráfico atraído.....	78
Tabla 26 Tráfico desarrollado	79
Tabla 27 Resumen del tráfico calculado	79
Tabla 28 Período de diseño	80
Tabla 29 Tráfico proyectado a 20 años.....	81
Tabla 30 Factor de daño de la vía	82
Tabla 31 Factor de distribución por carril D_L	83
Tabla 32 Ejes equivalentes W_{18}	84
Tabla 33 Clasificación de la vía según el TPDA	85
Tabla 34 Relación Función - Clase - TPDA	85
Tabla 35 Confiabilidad R	86
Tabla 36 Desviación estándar normal Z_R	86
Tabla 37 Módulo de resiliencia M_r según el CBR.....	88
Tabla 38 Tiempos de drenaje	92
Tabla 39 Coeficientes de drenaje para pavimentos flexibles.....	92
Tabla 40 Espesores mínimos D_1 y D_2	96
Tabla 41 Diseño de un pavimento flexible para muestra natural.....	97
Tabla 42 Diseño de un pavimento flexible para muestra combinada con PET	99
Tabla 43 Parámetros de la estructura vial	101
Tabla 44 Contenido de humedad, límites de Atterberg y clasificación de suelos, Calicata 1 – 0% PET	120
Tabla 45 Granulometría Calicata 1 – 0% PET.....	122
Tabla 46 Gravedad específica y densidad de campo Calicata 1 – 0% PET.....	123
Tabla 47 Compactación del suelo Calicata 1 – 0% PET.....	125
Tabla 48 CBR Calicata 1 – 0% PET	126

Tabla 49 Contenido de humedad, límites de Atterberg y clasificación de suelos Calicata 1 – 1,5 % PET	128
Tabla 50 Granulometría Calicata 1 – 1,5 % PET.....	130
Tabla 51 Gravedad específica y densidad de campo Calicata 1 – 1,5 % PET.....	131
Tabla 52 Compactación del suelo Calicata 1 – 1,5 % PET.....	133
Tabla 53 CBR Calicata 1 – 1,5 % PET	134
Tabla 54 Contenido de humedad, límites de Atterberg y clasificación de suelos Calicata 1 – 2,0 % PET	136
Tabla 55 Granulometría Calicata 1 – 2,0 % PET.....	138
Tabla 56 Gravedad específica y densidad de campo Calicata 1 – 2,0 % PET.....	139
Tabla 57 Compactación del suelo Calicata 1 – 2,0 % PET.....	141
Tabla 58 CBR Calicata 1 – 2,0 % PET	142
Tabla 59 Contenido de humedad, límites de Atterberg y clasificación de suelos Calicata 1 – 2,5 % PET	144
Tabla 60 Granulometría Calicata 1 – 2,5 % PET.....	146
Tabla 61 Gravedad específica y densidad de campo Calicata 1 – 2,5 % PET.....	147
Tabla 62 Compactación del suelo Calicata 1 – 2,5 % PET.....	149
Tabla 63 CBR Calicata 1 – 2,5 % PET	150
Tabla 64 Contenido de humedad, límites de Atterberg y clasificación de suelos Calicata 2 – 0 % PET	152
Tabla 65 Granulometría Calicata 2 – 0 % PET.....	154
Tabla 66 Gravedad específica y densidad de campo Calicata 2 – 0 % PET.....	155
Tabla 67 Compactación del suelo Calicata 2 – 0 % PET.....	157
Tabla 68 CBR Calicata 2 – 0 % PET	158
Tabla 69 Contenido de humedad, límites de Atterberg y clasificación de suelos Calicata 2 – 1,5 % PET	160
Tabla 70 Granulometría Calicata 2 – 1,5 % PET.....	162

Tabla 71 Gravedad específica y densidad de campo Calicata 2 – 1,5 % PET.....	163
Tabla 72 Compactación del suelo Calicata 2 – 1,5 % PET.....	165
Tabla 73 CBR Calicata 2 – 1,5 % PET.....	166
Tabla 74 Contenido de humedad, límites de Atterberg y clasificación de suelos Calicata 2 – 2,0 % PET.....	168
Tabla 75 Granulometría Calicata 2 – 2,0 % PET.....	170
Tabla 76 Gravedad específica y densidad de campo Calicata 2 – 2,0 % PET.....	171
Tabla 77 Compactación del suelo Calicata 2 – 2,0 % PET.....	173
Tabla 78 CBR Calicata 2 – 2,0 % PET.....	174
Tabla 79 Contenido de humedad, límites de Atterberg y clasificación de suelos Calicata 2 – 2,5 % PET.....	176
Tabla 80 Granulometría Calicata 2 – 2,5 % PET.....	178
Tabla 81 Gravedad específica y densidad de campo Calicata 2 – 2,5 % PET.....	179
Tabla 82 Compactación del suelo Calicata 2 – 2,5 % PET.....	181
Tabla 83 CBR Calicata 2 – 2,5 % PET.....	182
Tabla 84 Contenido de humedad, límites de Atterberg y clasificación de suelos Calicata 3 – 0 % PET.....	184
Tabla 85 Granulometría Calicata 3 – 0 % PET.....	186
Tabla 86 Gravedad específica y densidad de campo Calicata 3 – 0 % PET.....	187
Tabla 87 Compactación del suelo Calicata 3 – 0 % PET.....	189
Tabla 88 CBR Calicata 3 – 0 % PET.....	190
Tabla 89 Contenido de humedad, límites de Atterberg y clasificación de suelos Calicata 3 – 1,5 % PET.....	192
Tabla 90 Granulometría Calicata 3 – 1,5 % PET.....	194
Tabla 91 Gravedad específica y densidad de campo Calicata 3 – 1,5 % PET.....	195
Tabla 92 Compactación del suelo Calicata 3 – 1,5 % PET.....	197
Tabla 93 CBR Calicata 3 – 1,5 % PET.....	198

Tabla 94 Contenido de humedad, límites de Atterberg y clasificación de suelos Calicata 3 – 2,0 % PET	200
Tabla 95 Granulometría Calicata 3 – 2,0 % PET.....	202
Tabla 96 Gravedad específica y densidad de campo Calicata 3 – 2,0 % PET.....	203
Tabla 97 Compactación del suelo Calicata 3 – 2,0 % PET.....	205
Tabla 98 CBR Calicata 3 – 2,0 % PET	206
Tabla 99 Contenido de humedad, límites de Atterberg y clasificación de suelos Calicata 3 – 2,5 % PET	208
Tabla 100 Granulometría Calicata 3 – 2,5 % PET.....	210
Tabla 101 Gravedad específica y densidad de campo Calicata 3 – 2,5 % PET.....	211
Tabla 102 Compactación del suelo Calicata 3 – 2,5 % PET.....	213
Tabla 103 CBR Calicata 3 – 2,5 % PET	214
Tabla 104 Conteo vehicular día 1	216
Tabla 105 Conteo vehicular día 2	217
Tabla 106 Conteo vehicular día 3	218
Tabla 107 Conteo vehicular día 4	219
Tabla 108 Conteo vehicular día 5	220

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Composición del suelo.....	4
Figura 2 Curva Granulométrica	8
Figura 3 Límites de Atterberg.....	10
Figura 4 Copa de Casagrande	11
Figura 5 Valor de CBR para varios tipos de suelos	13
Figura 6 Relación entre límite líquido y límite plástico de la AASHTO para suelos finos.....	19
Figura 7 Determinación del Índice de grupo (IG) según la AASHTO	20
Figura 8 Modelo de la matriz de conteo vehicular.....	22
Figura 9 Estructura de la geomalla.....	30
Figura 10 Aplicación del geotextil en estructuras viales	31
Figura 11 Plástico PET reciclado.....	32
Figura 12 Clasificación de botellas recicladas.....	32
Figura 13 Sello PET.....	33
Figura 14 Identificación de la botella PET	34
Figura 15 Sello HDPE.....	34
Figura 16 Sello PVC	35
Figura 17 Sello LDPE.....	35
Figura 18 Sello PP.....	36
Figura 19 Sello PS.....	36
Figura 20 Sello OTROS.....	37
Figura 21 Ubicación de los puntos en el Cantón Morona.....	41
Figura 22 Ubicación de los puntos dentro de la parroquia Sevilla Don Bosco.....	41
Figura 23 Recolección de muestras.....	48
Figura 24 Pesado de las muestras.....	48

Figura 25 Colocación de la muestra a tamizar	49
Figura 26 Preparación de la muestra	49
Figura 27 Enrollado de la muestra de suelo	50
Figura 28 Enrazado del suelo con la espátula	50
Figura 29 Compactación del suelo	51
Figura 30 Preparación de la máquina de CBR	51
Figura 31 Extracción del aire	52
Figura 32 Colocación del cono y arena de Ottawa	52
Figura 33 Carta de plasticidad SUCS	57
Figura 34 Clasificación AASHTO	58
Figura 35 Relación entre el contenido de humedad óptimo y el porcentaje de PET añadido	61
Figura 36 Relación entre el CBR% y el porcentaje de PET añadido	64
Figura 37 Relación entre la densidad seca máxima y el porcentaje de PET añadido	65
Figura 38 Relación entre la densidad seca máxima y el contenido de humedad óptimo	66
Figura 39 Desarrollo del conteo vehicular	69
Figura 40 Registro de vehículos livianos	69
Figura 41 Coeficiente estructural de capas asfálticas en función del módulo resiliente	89
Figura 42 Relación entre el coeficiente estructural para base granular y distintos parámetros resistentes	90
Figura 43 Relación entre el coeficiente estructural para sub - base granular y distintos parámetros resistentes	91
Figura 44 Cálculo de SN para CBR% de 8,9	94
Figura 45 Cálculo de SN para CBR% de 18,8	95
Figura 46 Estructura de un pavimento flexible	98

Figura 47 Estructura de un pavimento flexible con subrasante mejorada	101
Figura 48 Extracción de muestras de suelo natural.....	111
Figura 49 Separación y rotulado de muestras	111
Figura 50 Registro de pesos	112
Figura 51 Tamizado de muestras	112
Figura 52 Ranurado de la muestra	113
Figura 53 Conteo del número de golpes	113
Figura 54 Humectación de la muestra de suelo	114
Figura 55 Colocación en capas de la muestra	114
Figura 56 Pesado de muestras	115
Figura 57 Armado del molde de 6”	115
Figura 58 Combinación de suelo, agua y plástico.....	116
Figura 59 Compactación del suelo.....	116
Figura 60 Selección de muestras.....	117
Figura 61 Limpieza de moldes.....	117
Figura 62 Compactación de muestras	118
Figura 63 Enraizado del molde	118
Figura 64 Tomando la temperatura de la muestra.....	119
Figura 65 Recolección de muestras.....	119

RESUMEN

El presente trabajo experimental tiene como finalidad analizar las propiedades físico-mecánicas y CBR de suelos cohesivos naturales y suelos cohesivos combinados con partículas de tereftalato de polietileno (PET), para emplearlos en la conformación de subrasantes.

Para la investigación se tomaron 4 muestras de suelo natural de 3 puntos diferentes dentro de la parroquia Sevilla don Bosco en el Cantón Morona, provincia de Morona Santiago con un total de 12 muestras de suelo cohesivo, para lo que se retiró la capa vegetal y recolectó aproximadamente 40 kilogramos de muestra natural; al igual que se recolectaron botellas de tereftalato de polietileno (PET) que fueron trituradas en la recicladora Proplasticmax S.A.

Se realizaron ensayos de campo y laboratorio con muestras de suelo natural y muestras de suelo combinadas con partículas de tereftalato de polietileno (PET), determinando: el tipo de suelo, características, propiedades físico-mecánicas y CBR. Se observó un aumento en el CBR de 8,4 por ciento a 11,4 por ciento

Los resultados obtenidos en el ensayo de CBR, junto con los resultados del análisis vehicular se emplearon en el diseño de la estructura de un pavimento flexible y se compararon estos espesores obteniendo una reducción de 5 centímetros en el espesor total de la estructura vial.

Palabras Clave: CBR, PET, Tereftalato de polietileno, Propiedades físicas, Propiedades mecánicas, Suelo natural, Conteo vehicular, Pavimento flexible, Suelo cohesivo, Vías

ABSTRACT

The purpose of this experimental work is to analyze the physical-mechanical and CBR properties of natural cohesive soils and cohesive soils combined with polyethylene terephthalate (PET) particles, to be used in the formation of subgrade.

For the research, 4 samples of natural soil were taken from 3 different points within the Sevilla don Bosco parish in Morona Canton, province of Morona Santiago with a total of 12 samples of cohesive soil, for which the topsoil was removed and approximately 40 kilograms of the natural sample were collected; polyethylene terephthalate (PET) bottles were also collected and crushed at the Proplasticmax S.A. recycling company.

Field and laboratory tests were carried out with natural soil samples and soil samples combined with polyethylene terephthalate (PET) particles, determining: soil type, characteristics, physical-mechanical properties, and CBR. An increase in CBR from 8.4 percent to 11.4 percent was observed.

The results obtained in the CBR test, together with the results of the vehicular analysis, were used in the design of the structure of flexible pavement and these thicknesses were compared, obtaining a reduction of 5 centimeters in the total thickness of the road structure.

Keywords: CBR, PET, Polyethylene terephthalate, Physical properties, Mechanical properties, Natural soil, Vehicular count, Flexible pavement, Cohesive soil, Roadways

CAPÍTULO I.- MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes Investigativos

1.1.1 Antecedentes

Las vías han sido uno de los componentes más importantes para el progreso de las comunidades, ya que permiten la comunicación, el desarrollo social y económico de las mismas; por eso es primordial un correcto análisis, diseño y posterior a su construcción el mantenimiento adecuado para asegurar que las mismas se conserven en buen estado.

Según varias investigaciones los suelos cohesivos, por sus características mecánicas, no son aptos para emplearlos en una estructura vial, por lo que se deben realizar procesos de estabilización implementando elementos, ya sean naturales o artificiales para resistir los diferentes esfuerzos sin colapsar. [1]

La estabilización de suelos consiste en mejorar las propiedades de suelos inestables mediante procedimientos mecánicos y la incorporación de productos permitiendo incrementar la capacidad de carga, controlar deformaciones y acelerar la consolidación del suelo, asegurando que se mantengan durante la vida útil de la vía. Este procedimiento se puede lograr combinando 2 o más tipos de suelo, suelo – cemento, suelo – asfalto o suelo - tereftalato de polietileno (PET) y otros procesos mecánicos. [2]

La producción masiva de implementos plásticos y el poco interés que se le ha brindado al posterior tratamiento que deberían recibir, ha convertido al uso de botellas plásticas en uno de los mayores contaminantes, ya que al ser un derivado del petróleo su tiempo de degradación es muy prolongado; y debido a que el consumo de botellas plásticas aumenta por la comodidad que éstas brindan en el desarrollo de las actividades diarias de la población, es primordial implementar e incentivar una cultura de reciclaje, el cual podría ser practicado en varias industrias e instituciones públicas y privadas, permitiendo reducir el impacto ambiental que este causa. [3]

En varias investigaciones se ha determinado que el emplear polímeros como el tereftalato de polietileno (PET) para estabilizar suelos cohesivos para subrasante es

una gran opción, como lo indica Gabriel Ramos [2] en su investigación “Mejoramiento de subrasantes de baja capacidad portante mediante el uso de polímeros reciclados en carreteras, Paucará Huancavelica” en donde concluye que, al añadir polímeros triturados, como lo es el PET se puede mejorar las propiedades físicas y mecánicas de suelos que son considerados problemáticos para la conformación de subrasantes debido a que su composición granulométrica no cumple con los parámetros mínimos para el diseño de la estructura vial, por lo que el autor sugiere añadir 1.5% del peso total en estado seco, de polímeros triturados, observando un aumento del CBR en un 26% y mayor resistencia al corte. [2]

Al igual que José López Ortiz [4] en su proyecto de investigación “Suelos arcillosos reforzados con materiales de plástico reciclado (PET)” concluye que para aplicar suelos cohesivos en proyectos estructurales se pueden reforzar con partículas de plástico reciclado, como el tereftalato de polietileno (PET), mejorando las propiedades mecánicas de suelos arcillosos; al igual que propone los porcentajes ideales que varían entre 0.2% y 2,0% del peso de la muestra seca, siempre considerando las propiedades iniciales del suelo analizado. [4]

1.1.2 Justificación

El presente trabajo de investigación tiene por objeto analizar el comportamiento de suelos cohesivos para conformación de subrasante al implementar partículas de tereftalato de polietileno (PET) como agente estabilizador, observando como éste influye en sus propiedades físico – mecánicas y CBR.

La estabilización de suelos es un punto importante a considerar en el diseño y construcción de vías, independientemente de la importancia de estas, mejora varias de sus propiedades como la resistencia y durabilidad, permitiendo que las deformaciones que se produzcan sean mínimas, reduciendo el mantenimiento que éstas deban recibir durante su vida útil. [5]

La estabilización de suelos consiste en mejorar las propiedades de suelos inestables mediante procedimientos mecánicos y la incorporación de productos permitiendo incrementar la capacidad de carga, controlar deformaciones y acelerar la consolidación del suelo. Este procedimiento se puede lograr combinando suelo - tereftalato de

polietileno (PET), seguido por un proceso de compactación que permite reducir el volumen de vacíos al mínimo, permitiendo una mejor distribución de esfuerzos. [2]

La subrasante es la fundación de la estructura vial; de la resistencia y estabilidad de esta capa dependerá el espesor de las capas superiores ya se diseñe un pavimento rígido o flexible, la cual deberá resistir las cargas que se producen por el tránsito. [2]

Cuando el suelo destinado a conformar la subrasante presenta valores bajos de CBR se deberá realizar un mejoramiento, esto sucede en suelos cohesivos, que según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) son los limos y arcillas; y debido a las características mecánicas de este tipo de suelos como su baja plasticidad y alta compresibilidad no se pueden emplear directamente en la estructura de una vía. [6] [7]

Los suelos arcillosos sufren cambios volumétricos dependiendo de su contenido de humedad, perdiendo cohesión y deformándose con gran facilidad al aplicar cargas relativamente bajas, poseen baja resistencia y baja capacidad portante por lo que son denominados como no aptos para emplearse en la construcción. [1]

El consumo de envases plásticos ha sido uno de los mayores contaminantes a nivel mundial, cada año se producen 500 millones de botellas de plástico en el mundo. En Ecuador el 36% de los plásticos recolectados representan a botellas desechables, convirtiéndose en un gran problema, ya que expuestos a rayos solares que generan gases de tipo metano, uno de los causantes del cambio climático. [8] Una de las alternativas para reducir el impacto que esta causa es producir el denominado plástico reciclado PET (tereftalato de polietileno), patentado por J.R. Whinfield y J.T. Dickson en 1941 como un sustituto del algodón en la industria textil. [9] Se lo puede obtener de botellas de bebidas deportivas, refrescos, agua, etc. [2]

Las propiedades del tereftalato de polietileno (PET) como su alta resistencia al desgaste, resistencia al calor, bajo contenido de humedad, material liviano, baja densidad, alta resistencia química, alta resistencia a la corrosión, a esfuerzos permanentes y transitorios permitirán reforzar las propiedades físicas y mecánicas del suelo destinado a conformar la subrasante y aumentar los valores del índice CBR soportando cargas mayores. [9] [10]

El proyecto de investigación se desarrollará en la parroquia Sevilla Don Bosco, en el cantón Morona (Macas), provincia de Morona Santiago, esta parroquia fue elegida debido a que es la más extensa del cantón, con una superficie de 2305.44 km². El suelo encontrado corresponde a combinaciones como franco arcilloso (35% arcilla), arcillo arenoso y arcillo limoso. [11]

1.1.3 Fundamentación Teórica

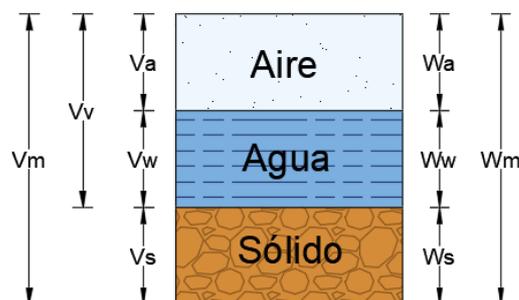
1.1.3.1 El suelo

El suelo es producto de la erosión de las rocas que se encuentran en la parte exterior de la corteza terrestre, los procesos físico – químicos y los agentes atmosféricos como el viento y la lluvia han permitido durante millones de años el desprendimiento de partículas orgánicas y minerales los cuales son clasificados por sus tamaños y composiciones. [13]

1.1.3.1.1. Composición del suelo

El suelo es considerado como un material trifásico no consolidado, debido a que dependiendo de las condiciones del ambiente se lo encuentra en estado sólido, líquido o gaseoso. [12] Por la materia orgánica que se puede encontrar en su composición se alteran sus propiedades físicas, ya que con el paso del tiempo llegarán a descomponerse, provocando desestabilidad en la estructura de la que son parte. [13]

Figura 1 Composición del suelo



Fuente: Análisis comparativo de la estabilización de un suelo cohesivo (arcilloso) por tres métodos químicos cal, cloruro de calcio y sulfato de calcio (yeso) [14]

La nomenclatura está conformada por 2 letras, la primera está en mayúscula y se refiere a la propiedad a considerarse Volumen (V) o Peso (W), mientras que la segunda

está en minúscula y se considera la fase del suelo que se estudia, Aire (a), Agua (w) y Sólidos (s); la masa total está considerada como (m). [14]

1.1.3.1.2. Propiedades índice del suelo

Las propiedades de los diferentes tipos de suelos encontrados en zonas habitadas y deshabitadas alrededor del mundo permiten clasificarlos e identificarlos.

➤ Densidad

Mediante esta propiedad se puede determinar el peso y el volumen de los sólidos, líquidos y gases; ya que representa la relación entre estos, su unidad de medida es (g/cm³) [15]

Densidad real

Esta propiedad depende del estado sólido del suelo y de su composición química; está relacionando la unidad de peso y la unidad de volumen de la muestra [15]

Densidad aparente

Esta propiedad analiza la porosidad del suelo, relacionando la unidad de peso y la unidad de volumen. [15]

➤ Porosidad (n%)

Esta propiedad permite determinar el porcentaje de vacíos que posee el suelo en relación a su volumen total de la masa, se la puede representar y encontrar en referencias bibliográficas de forma porcentual o decimal, si la relación entre el volumen de vacíos (V_v) y el volumen total (V_t) presenta porcentajes bajos el suelo se encuentra compactado ya que el espacio entre sus partículas es reducido, pero si este porcentaje es alto, quiere decir que el suelo se encuentra poco consolidado ya que el espacio entre sus partículas es mayor. [14] [15]

$$n\% = \frac{V_v}{V_t}$$

Fuente: Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil [16]

➤ **Relación de vacíos (e)**

Esta propiedad se representa como decimal y permite determinar el grado de compactación del suelo, ya que si la relación entre el volumen de vacíos (V_v) y el volumen de sólidos (V_s) presenta valores altos el suelo analizado se encuentra poco compactado o suelto y si presenta valores bajos el suelo se encuentra muy compactado o consolidado. [14] [15]

$$e = \frac{V_v}{V_s}$$

Fuente: Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil [16]

➤ **Contenido de humedad (w%)**

Esta propiedad permite conocer la cantidad de agua que posee una muestra, es decir el porcentaje de saturación del suelo; relaciona el peso del agua (W_w) y el peso de los sólidos que se encuentran en la muestra (W_s). Esta propiedad depende principalmente de la precipitación y humedad de la zona a analizar. [14] [15]

$$w\% = \frac{W_w}{W_s} * 100$$

Fuente: Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil [16]

➤ **Gravedad específica (Gs%)**

Esta propiedad se relaciona con la densidad, es un valor adimensional. Relaciona el peso unitario del suelo (γ_s) y el peso unitario del agua destilada a 4°C (γ_w). Esta propiedad permite calcular la relación de vacíos y el peso unitario del suelo. [15]

$$G_s\% = \frac{\gamma_s}{\gamma_w}$$

Fuente: Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil [16]

➤ **Peso volumétrico (γ_m)**

Esta propiedad se la conoce también como peso específico, relaciona el peso de la masa (W_m) y el volumen de la misma (V_m). [14]

$$\gamma_m = \frac{W_m}{V_m}$$

Fuente: Análisis comparativo de la estabilización de un suelo cohesivo (arcilloso) por tres métodos químicos cal, cloruro de calcio y sulfato de calcio (yeso) [14]

➤ **Peso volumétrico seco (γ_d)**

Esta propiedad se la conoce también como densidad seca, es la diferencia entre el peso de la masa (W_m) y el peso del agua (W_w). [14]

$$\gamma_d = W_m - W_w$$

Fuente: Análisis comparativo de la estabilización de un suelo cohesivo (arcilloso) por tres métodos químicos cal, cloruro de calcio y sulfato de calcio (yeso) [14]

➤ **Grado de saturación del agua ($G_w\%$)**

Mediante esta propiedad se puede determinar el porcentaje de vacíos que se encuentran saturados en la muestra de suelo, ya que es la relación entre el volumen del agua (V_w) y el volumen de vacíos (V_v). Si este porcentaje es 0% el suelo está completamente seco, si el porcentaje se encuentra en valores intermedios, el suelo que se está analizando está parcialmente seco o con saturación parcial, si por el contrario el porcentaje es 100% la muestra se encuentra saturada y si se observa que las partículas de suelo flotan en el contenido de agua se conoce como suspensión, es decir los porcentajes son mayores a 100%. [13] [14] [15]

$$G_w\% = \frac{V_w}{V_v} * 100$$

Fuente: Análisis comparativo de la estabilización de un suelo cohesivo (arcilloso) por tres métodos químicos cal, cloruro de calcio y sulfato de calcio (yeso) [14]

➤ **Grado de saturación del aire ($G_a\%$)**

Esta propiedad permite determinar el porcentaje de aire que presenta la muestra analizada, relacionando el volumen de aire (V_a) y el volumen de vacíos (V_v). Cuando el suelo se encuentra saturado por agua, la saturación de aire se reduce, pero si el suelo se encuentra seco o parcialmente seco encontramos saturación de aire, permitiendo conocer cuan consolidado se encuentra el suelo ya que si el grado de saturación es bajo

el suelo está altamente consolidado y si el grado de saturación es alto el suelo se encuentra poco consolidado. [13] [14]

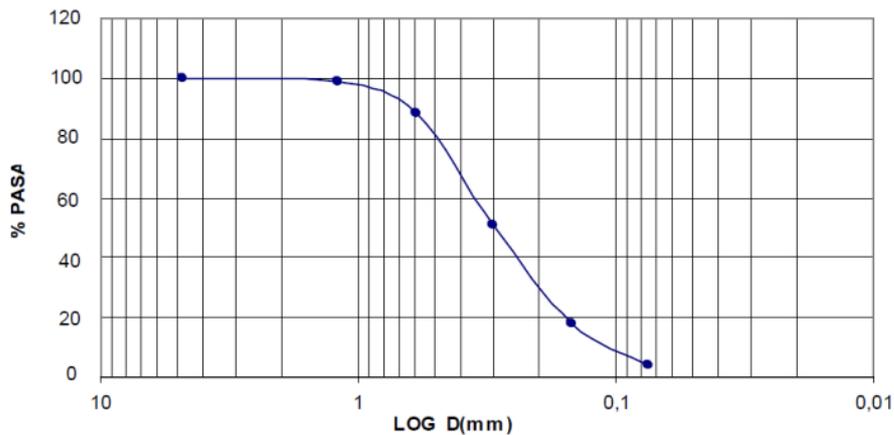
$$Ga\% = \frac{Va}{Vv} * 100$$

Fuente: Análisis comparativo de la estabilización de un suelo cohesivo (arcilloso) por tres métodos químicos cal, cloruro de calcio y sulfato de calcio (yeso) [14]

➤ Granulometría

Es la clasificación del suelo en función de su tamaño, empleando tamices de diferentes aberturas, por los que pasan piedras de gran tamaño hasta granos de tamaños microscópicos. En los trabajos de ingeniería esta propiedad es de gran importancia ya que el suelo analizado debe tener una correcta distribución entre la fracción fina y la fracción gruesa. [13] [15] Este análisis se lo realiza mediante la curva granulométrica en la que el eje de las abscisas se encuentra en escala logarítmica y se colocan los tamices que se usaron, mientras que el eje de las ordenadas se grafica en escala normal y se colocan los porcentajes de muestra que pasaron por cada uno de los tamices. Para una correcta distribución granulométrica la curva debería pasar por las aberturas de los agregados gruesos y los agregados finos. [17]

Figura 2 Curva Granulométrica



Fuente: Correlación entre el CBR y las propiedades índice y mecánicas en suelos granulares, de las parroquias: Constantino Fernández y Pinllo, cantón Ambato, provincia de Tungurahua [17]

➤ **Diámetro efectivo**

Se representa como D10, es obtenido a partir de la curva granulométrica y representa el 10% del material que pasa por el diámetro expresado en mm que empata en el eje de las abscisas en la curva. [17]

➤ **Diámetro equiparable**

Este valor representado en mm se lo identifica como D30, se refiere al tamiz que pasa el 30% de la muestra total, expresado en mm. [17]

➤ **Diámetro dimensional**

En la curva se lo representa como D60 y al igual que los diámetros anteriores está expresado en mm; corresponde al tamiz por el que pasa el 60% de la muestra total. [17]

➤ **Coefficiente de uniformidad (Cu)**

Relaciona el diámetro dimensional (D60) y el diámetro efectivo (D10), permitiendo determinar el grado de granulometría de la muestra. Si este valor es menor a 5 significa que la granulometría de la muestra es uniforme, si varía entre 5 y 20 se considera como granulometría poco uniforme y si es mayor a 20 significa que la muestra de suelo tiene una correcta granulometría. [17]

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

Fuente: Correlación entre el CBR y las propiedades índice y mecánicas en suelos granulares, de las parroquias: Constantino Fernández y Pinllo, cantón Ambato, provincia de Tungurahua [17]

➤ **Coefficiente de curvatura (Cc)**

Esta fórmula incluye los 3 diámetros analizados anteriormente. Para que la muestra de suelo se considere que tiene una correcta granulometría el resultado debe encontrarse entre 1 y 3. [17]

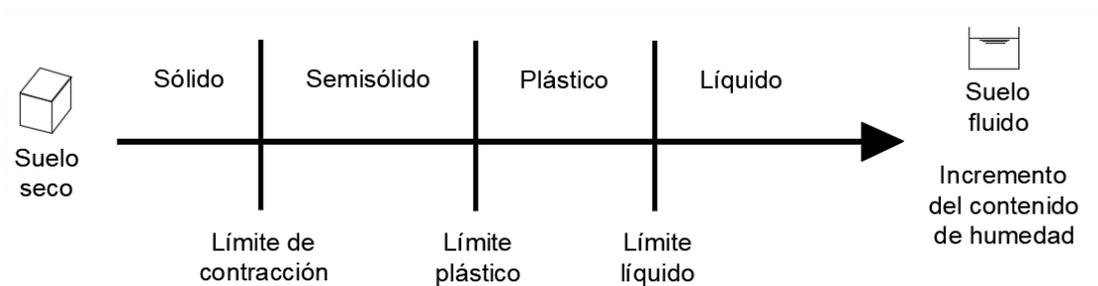
$$Cc = \frac{D_{30}^2}{D_{10} * D_{60}}$$

Fuente: Correlación entre el CBR y las propiedades índice y mecánicas en suelos granulares, de las parroquias: Constantino Fernández y Pinllo, cantón Ambato, provincia de Tungurahua [17]

➤ Límites de Atterberg

Albert Mauritz Atterberg analizó cómo la humedad afecta a la consistencia de los suelos arcillosos y en el año de 1946 estableció cuatro límites que permiten conocer el estado en el que se encuentran y su comportamiento estructural. También son conocidos como límites de consistencia. Esta propiedad se asocia con otra que se describió anteriormente, que es el contenido de humedad que le permite al suelo pasar de un estado a otro. Los suelos arcillosos tienden a comportarse de forma diferente dependiendo del porcentaje de agua que poseen, por lo que si contienen cantidades bajas el suelo se agrieta y si posee cantidades altas el suelo adopta características de un elemento líquido. [13] [18]

Figura 3 Límites de Atterberg



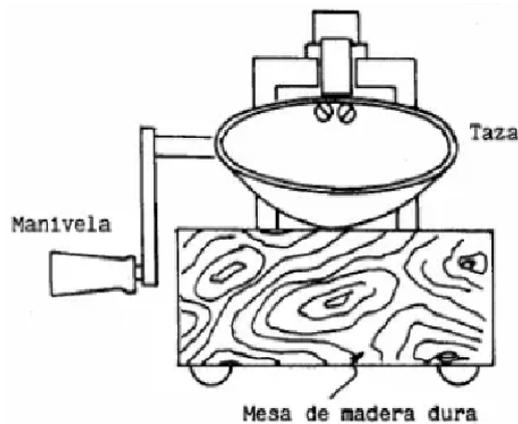
Fuente: Fundamentos de Ingeniería Geotécnica [18]

Suelos, Fundaciones y Muros [13]

Límite líquido (LL)

Separa los estados líquido y plástico. Esta propiedad se determina en la Copa de Casagrande, el cual es en un recipiente de latón sobre una base dura de madera, el cual se acciona mediante una manivela. Esta propiedad permite determinar el contenido de humedad en el que la muestra fluye al aplicarse determinada fuerza. [13][15] [18]

Figura 4 Copa de Casagrande



Fuente: Suelos, Fundaciones y Muros [13]

Límite plástico (LP)

El límite plástico se encuentra entre en estado plástico y el estado semisólido. En este estado el suelo puede ser amasado manualmente y conformar rollitos largos y delgados. Los suelos que pasan este ensayo son suelos conformados en su mayoría por partículas arcillosas, es decir suelos cohesivos; el contenido de humedad determina la capacidad portante de estos suelos, si éste es menor la capacidad portante será mayor, y si es mayor la capacidad portante reducirá. Si se rompen o forman grietas son considerados como suelos no plásticos. [13] [15]

Límite de contracción (LC)

Conocido también como límite de retracción. Representa que el suelo se encuentra entre los estados semisólido y sólido. El contenido de humedad de los suelos que se encuentran en este estado es el suficiente para llenar los poros o vacíos que posee la muestra. [13]

Índice de plasticidad (Ip)

Esta propiedad se obtiene mediante la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico. [13]

$$Ip = LL - LP$$

Fuente: Fundamentos de Ingeniería Geotécnica [18]

1.1.3.1.3. Propiedades físico - mecánicas del suelo

➤ Grado de compactación del suelo

Esta propiedad se mide mediante el peso unitario seco. Una de las propiedades índice que influyen directamente en el grado de compactación es el contenido de humedad, ya que el agua permite que las partículas del suelo se suavicen facilitando el proceso de conformación y compactación. [14] [18]

➤ Esfuerzo de compactación del suelo

Se refiere a la energía por unidad de volumen que requiere el suelo para ser compactado exitosamente, el esfuerzo de compactación presenta una relación directamente proporcional con el peso unitario seco y una relación inversamente proporcional con el contenido óptimo de humedad y con el grado de compactación del suelo. [18]

➤ Tipo de suelo

Esta propiedad está conectada con el peso específico, granulometría, forma de las partículas y composición del suelo, ya que la correcta distribución permitirá al suelo resistir los esfuerzos que serán aplicados. [18]

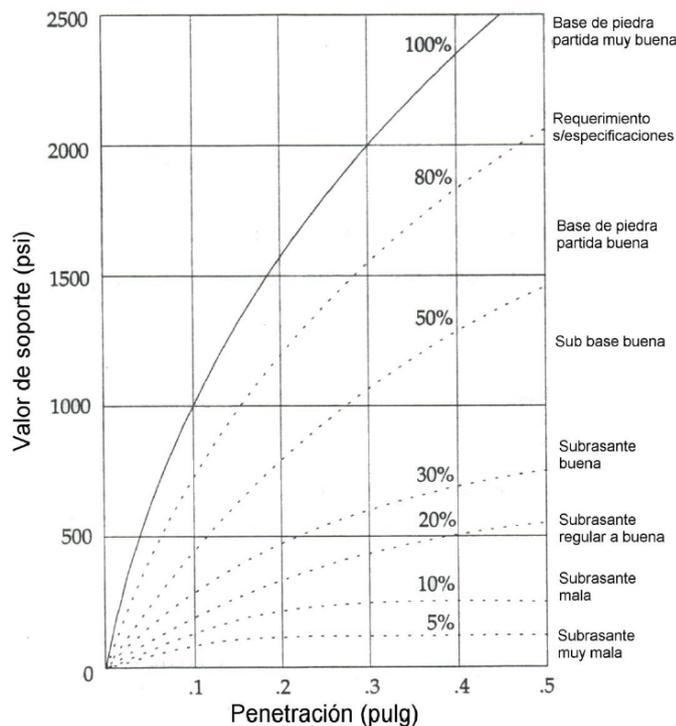
➤ Relación de Soporte de California CBR

Esta propiedad determina la resistencia al corte que poseen las partículas del suelo ante la aplicación de un esfuerzo cortante, se la determina en porcentaje y relaciona la carga unitaria que necesita el suelo a analizar para ser deformado con el valor de la carga unitaria de un suelo patrón. Este valor se emplea en el diseño de pavimentos. [14] [16] [19]

$$CBR = \frac{\text{carga unitaria del ensayo}}{\text{carga unitaria patrón}} * 100$$

Fuente: Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil [16]

Figura 5 Valor de CBR para varios tipos de suelos



Fuente: Diseño de Pavimento (AASHTO – 93) [19]

Tabla 1 Sistema de clasificación según el CBR

N° CBR	Clasificación general	Usos	Sistema de clasificación	
			Unificado	AASHTO
0 - 3	Muy pobre	Subrasante	OH, CH, MH, OL	A5, A6, A7
3 - 7	Pobre a regular	Subrasante	OH, CH, MH, OL	A4, A5, A6, A7
7 - 20	Regular	Sub - base	OL, CL, ML, SC, SM, SP	A2, A4, A6, A7
20 - 50	Bueno	Base, sub - base	GM, GC, SW, SM, SP, GP	A1b, A2-5, A3, A2-6
> 50	Excelente	Base	GW, GM	A1a, A2-4, A3

Fuente: Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil [16]

1.1.3.1.4. Propiedades físicas del suelo

➤ Color

Esta es una de las propiedades más notorias de los suelos, proporcionando información como el tipo de suelos y su composición; esta propiedad puede variar dependiendo el contenido de humedad de la muestra, siendo más oscuro cuando el contenido de humedad es alto y más claro cuando el contenido de humedad es bajo. Entre los colores que se pueden encontrar están: [13] [15]

- Rojizo, estos suelos presentan un buen drenaje; tienen en su composición óxidos de hierro no hidratados, conocido también como hematita.
- Amarillo o marrón amarillento, este tipo de suelos, contrario a los anteriores presentan un mal drenaje; en su composición se puede encontrar hierro hidratado.
- Negro o marrón oscuro, en estos suelos predomina la materia orgánica.
- Blanco, este tipo de suelos presenta sílice, cal o aluminio en su composición.
- Azul grisáceo o gris amarillento, este tipo de suelos presentan un mal drenaje.
- Púrpura, estos suelos presentan manganeso en su composición. [13] [15]

➤ **Forma**

No es posible determinar una única forma para los distintos tipos de suelos, encontrando una gran variedad de formas como: esféricas, hojas, cúbicos, etc. La forma de cada una de las partículas influye en el comportamiento del suelo y la capacidad portante que este tiene, siendo de las características más comunes: [13]

- Esfericidad, incluye a las partículas redondas o las que más se acercan a la figura de una esfera
- Angulosidad
- Planeidad, comúnmente se colocan una sobre otra y poseen buenas resistencias al aplicarse cargas perpendiculares a su plano [13]

En el campo de la ingeniería se los puede dividir como:

- Redondeadas, esféricas.
- De cantos vivos, en esta clasificación se pueden encontrar las piedras obtenidas mediante trituración mecánica, o las arenas que han sufrido procesos de erosión.
- De cantos redondeados, se obtienen por la erosión que sufren los cantos vivos.
- Laminares o en escamas, estos se reconocen por su similitud con el de hojas secas, se obtienen por la erosión de minerales arcillosos
- Alargadas o en bastones, estas partículas se alían en una sola dirección, provocando deslizamientos, comúnmente en este grupo se encuentran las arcillas dispersas. [13]

➤ **Textura**

Esta propiedad se va formando por efectos de la erosión y los distintos procesos que sufren los suelos, se puede diferenciar una de otra al contacto con la piel, se presentan varios tipos de texturas, encontrando:

- Rugosa
- Lisa
- Estriada
- Picada
- Pulida [13]

1.1.3.1.5. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos SUCS

Este sistema fue desarrollado en base a la distribución propuesta por Casagrande, sus especificaciones la encontramos en la norma ASTM D – 2487 – 93, el cual se divide en dos grandes grupos, suelos de grano grueso y suelos de grano fino, y se representa mediante símbolos, compuesto por dos letras, la primera representa el tipo de partículas y la segunda el estado del suelo. [16] [18]

➤ **Suelos Granulares o de grano grueso**

En esta clasificación se encuentran la grava (G) y la arena (S) en su estado natural, la muestra que pasa por el tamiz N° 200 debe ser menor al 50%. [16] [18]

➤ **Suelos Cohesivos o de grano fino**

En este grupo se encuentran las partículas de suelo que pasan más del 50% de la muestra por el tamiz N° 200, como los limos, las arcillas y los suelos orgánicos.

El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos SUCS también presenta símbolos para determinar el estado como:

W, suelo bien graduado

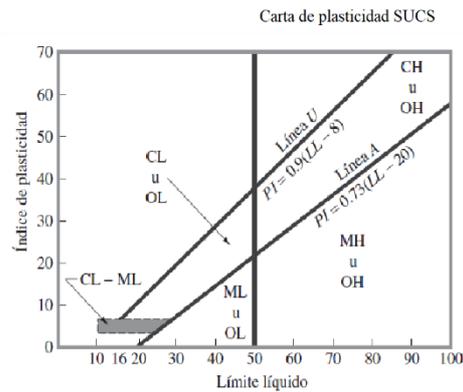
P, suelo mal graduado

L, suelo con baja plasticidad, $LL < 50$

H, suelo con alta plasticidad, $LL > 50$ [16][18]

Tabla 2 Clasificación de los tipos de suelos según la SUCS

DIVISIÓN MAYOR		Simbolo	NOMBRES TÍPICOS	CRITERIO DE CLASIFICACIÓN EN EL LABORATORIO	
SUELOS DE PARTÍCULAS GRUESAS Más de la mitad del material es retenido en la malla número 200 @	GRAVAS Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por la malla No. 4 PARA CLASIFICACIÓN VISUAL, PUEDE USARSE 1/2 cm. COMO EQUIVALENTE A LA ABERTURA DE LA MALLA No. 4	GW	Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de finos	<p>DETERMINESE LOS PORCENTAJES DE GRAVA Y ARENA DE LA CURVA GRANULOMÉTRICA, DEPENDIENDO DEL PORCENTAJE DE FINOS (fracción que pasa por la malla No. 200) LOS SUELOS GRUESOS SE CLASIFICAN COMO SIGUE: Menos del 5%: GW, GP, SW, SP; más del 12%: GM, GC, SM, SC. Entre 5% y 12%: Casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles **</p> <p>COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD Cu: mayor de 4. COEFICIENTE DE CURVATURA Cc: entre 1 y 3. $Cu = D_{60} / D_{10}$ $Cc = (D_{30})^2 / (D_{10})(D_{60})$</p> <p>NO SATISFACEN TODOS LOS REQUISITOS DE GRADUACIÓN PARA GW.</p> <p>LÍMITES DE ATTERBERG ABAJO DE LA "LÍNEA A" O I.P. MENOR QUE 4.</p> <p>LÍMITES DE ATTERBERG ARRIBA DE LA "LÍNEA A" CON I.P. MAYOR QUE 7.</p> <p>Arriba de la "línea A" y con I.P. entre 4 y 7 son casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles.</p> <p>$Cu = D_{60} / D_{10}$ mayor de 6 ; $Cc = (D_{30})^2 / (D_{10})(D_{60})$ entre 1 y 3.</p> <p>No satisfacen todos los requisitos de graduación para SW</p> <p>LÍMITES DE ATTERBERG ABAJO DE LA "LÍNEA A" O I.P. MENOR QUE 4.</p> <p>LÍMITES DE ATTERBERG ARRIBA DE LA "LÍNEA A" CON I.P. MAYOR QUE 7.</p> <p>Arriba de la "línea A" y con I.P. entre 4 y 7 son casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles.</p>	
		GP	Gravas mal graduadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de finos		
		* GM d u	Gravas limosas, mezclas de grava, arena y limo		
		GC	Gravas arcillosas, mezclas de gravas, arena y arcilla		
		ARENAS Más de la mitad de la fracción gruesa pasa por la malla No. 4 PARA CLASIFICACIÓN VISUAL, PUEDE USARSE 1/2 cm. COMO EQUIVALENTE A LA ABERTURA DE LA MALLA No. 4	SW		Arenas bien graduadas, arena con gravas, con poca o nada de finos.
	ARENAS Más de la mitad de la fracción gruesa pasa por la malla No. 4 PARA CLASIFICACIÓN VISUAL, PUEDE USARSE 1/2 cm. COMO EQUIVALENTE A LA ABERTURA DE LA MALLA No. 4	SP	Arenas mal graduadas, arena con gravas, con poca o nada de finos.		
		* SM d u	Arenas limosas, mezclas de arena y limo.		
		SC	Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.		
		ARENA LIMPYA Poco o nada de partículas finas	ML		Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos.
		ARENA CON FINOS Cantidad apreciable de partículas finas	CL		Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres.
SUELOS DE PARTÍCULAS FINAS Más de la mitad del material pasa por la malla número 200 @ Las partículas de 0.074 mm de diámetro (la malla No. 200) son, aproximadamente, las más pequeñas visibles a simple vista.	LIMOS Y ARCILLAS Límite Líquido menor de 50	OL	Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad.		
		LIMOS Y ARCILLAS Límite Líquido Mayor de 50	MH	Limos inorgánicos, limos micáceos o diatomáceos, más elásticos.	
			CH	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas francas.	
	OH		Arcillas orgánicas de media o alta plasticidad, limos orgánicos de media plasticidad.		
	SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS	P	Turbas y otros suelos altamente orgánicos.		



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

Fuente: Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil [16]

1.1.3.1.6. Clasificación de suelos AASHTO

Este sistema de clasificación toma en cuenta las propiedades índice de los suelos, basándose principalmente en la granulometría y plasticidad de los suelos. Divide a las partículas en 4 grupos: [16] [19]

➤ **Grava**

El tamaño del suelo analizado en este grupo debe encontrarse entre material que pasa por el tamiz de 3" o 76.2mm y el material retenido en el tamiz N° 10 o 2mm

➤ **Arena gruesa**

Para considerarse arena gruesa, la muestra de suelo se debe encontrar entre el material que pasa por el tamiz N° 10 o 2mm y el material retenido en el tamiz N° 40 o 0.425mm

➤ **Arena fina**

Las arenas finas se encuentran entre el material que pasa por el tamiz N° 40 o 0.425mm y el material retenido en el tamiz N° 200 o 0.075mm

➤ **Limos y arcillas**

Este material es el más fino de esta clasificación, son todas las partículas que pasan por el tamiz N° 200 o 0.075mm

Esta norma considera como suelo fino al que está compuesto por más del 35% del material que pasa por el tamiz N° 200 o 0.075mm, y suelo grueso a aquel que pasa el 35% o menos del total, siendo la plasticidad la propiedad de mayor relevancia para el análisis de suelos finos y la granulometría para el análisis de los suelos gruesos.
[16][19]

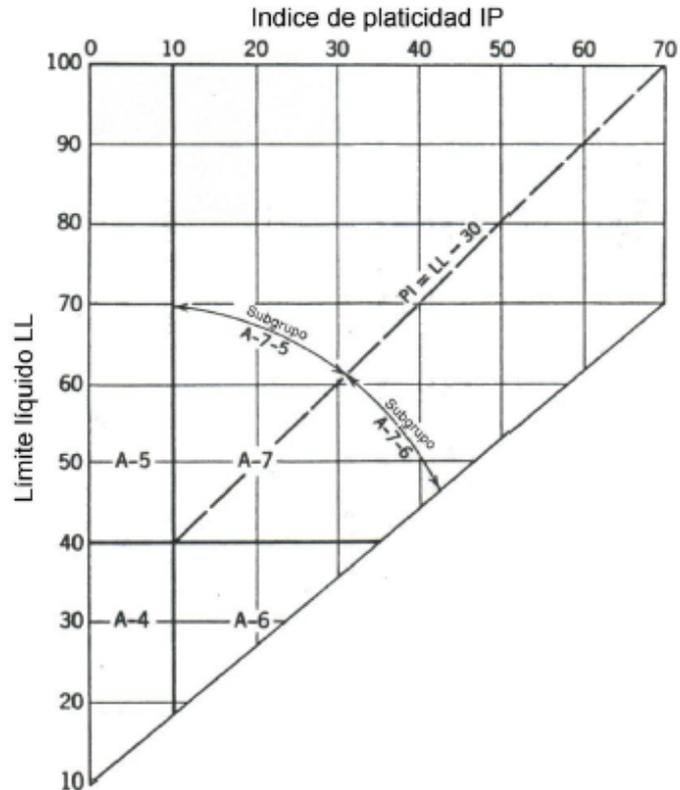
Tabla 3 Clasificación de suelos según la AASHTO

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos del total pasa el tamiz N° 200)							Materiales limo – arcillosos (más del 35% del total pasa el tamiz N° 200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A6	A7
Clasificación de grupo	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5° A-7-6
Porcentaje de material que pasa el tamiz											
N° 10	50 máx.										
N° 40	30 máx.	50 máx.	51 mín.								
N° 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Características de la fracción que pasa el tamiz N° 40											
Límite líquido				40 máx.	41 máx.	40 máx.	41 máx.	40 máx.	41 máx.	40 máx.	41 máx.
Índice plástico	6 máx.		NP	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Índice de grupo	0		0	0		4 máx.		8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.

Fuente: Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil [16]

El tipo de suelo fino según la clasificación de la AASHTO se determina mediante la figura 6, en el eje de las X se coloca el índice de plasticidad, mientras que en eje Y el límite líquido.

Figura 6 Relación entre límite líquido y límite plástico de la AASHTO para suelos finos



Fuente: Diseño de Pavimentos (AASHTO – 93) [19]

El índice de grupo permite comparar los diferentes tipos de suelos, ya que varios tipos pueden compartir las mismas propiedades; mientras más alto sea el resultado del índice de grupo significa que el suelo analizado no se debe emplear en una estructura vial; el valor obtenido debe ser redondeado al máximo superior y si es un valor negativo se lo reemplaza por 0, se puede calcular mediante el método gráfico y mediante fórmula. [16][17]

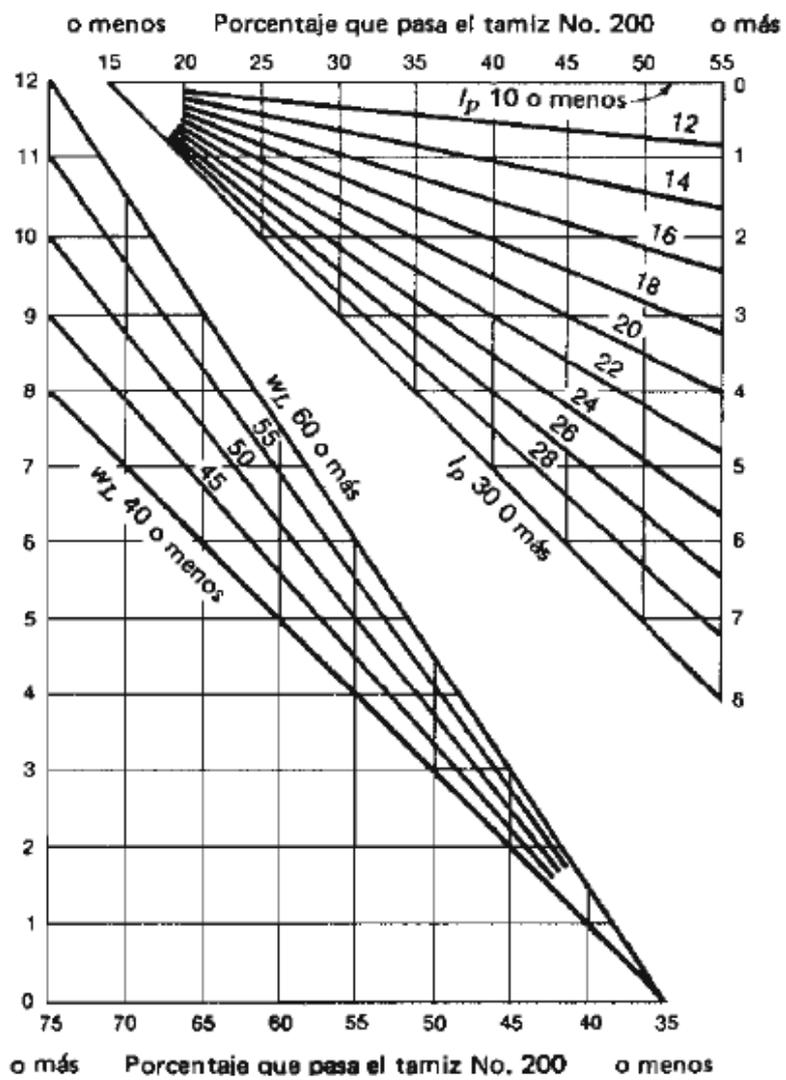
- El método gráfico consiste en colocar en un ábaco los porcentajes de suelo que pasan por el tamiz N° 200 y los límites líquido e índice de plasticidad.

Para obtener el índice de plasticidad se deben sumar los valores obtenidos en los 2 ábacos [16]

$$IG = a + b$$

Fuente: Manual de laboratorio de suelos en Ingeniería Civil [16]

Figura 7 Determinación del Índice de grupo (IG) según la AASHTO



Fuente: Manual de laboratorio de suelos en Ingeniería Civil [16]

- Para determinar el índice de grupo mediante fórmula se emplea el porcentaje de suelo que pasa por el tamiz N°200 (F), el límite líquido (LL) y el índice de plasticidad (IP) [16]

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

Fuente: Manual de laboratorio de suelos en Ingeniería Civil [16]

1.1.3.2. Las vías

Son uno de los principales medios de comunicación y desarrollo de las comunidades, pueblos, ciudades y países, ya sean estos pequeños caminos lastrados o grandes autopistas. Cumplen con condiciones y características como geometría, pendientes, estructura, etc. que permiten el libre acceso y circulación vehicular. [20]

1.1.3.2.1. Las vías en el Ecuador

Entre los problemas que más destacaban en las principales vías que conectan al país hace algunos años fue el ancho de estas, ya que al estar formadas por uno y dos carriles se notaba el desarrollo inevitable del tráfico.

La red vial nacional ha mejorado progresivamente, permitiendo que una mayor cantidad de vehículos circulen a diario, evitando grandes embotellamientos y reduciendo el tiempo de transporte de un destino a otro, logrando reducir la cantidad de accidentes. La red vial se divide en estatal (primarias y secundarias), en las que se registra la mayor parte del tránsito, provincial y cantonal. [21]

La Sierra ecuatoriana cuenta con la estructura vial de mayor extensión. El Ministerio de Transporte y Obras Públicas MTOP es el encargado de administrar la distribución y construcción de la red estatal, el consejo provincial de administrar las redes provinciales y las entidades municipales se encargan de la administración de las redes cantonales. [21]

1.1.3.2.2. Análisis de tráfico

Para determinar la importancia de una vía se debe realizar un conteo de tráfico, el cual se lo puede realizar manualmente mediante el registro en una matriz de conteo y electrónicamente los que deberán ser comparados con los conteos manuales ya que estos contabilizan los ejes que transitan por los sensores, con la información de

➤ **TPDA**

Para contabilizar los vehículos sería ideal tener información de una estación de conteo, que proporcione valores diarios, mensuales, anuales, etc., al igual que un registro del avance y aumento del volumen de tráfico a través del tiempo.

El tráfico promedio diario anual (TPDA) representa la cantidad de vehículos que transitan una vía, calle o carretera en un día representativo del año, es decir un día que se produzca un elevado volumen de tránsito. [22]

➤ **Clasificación de las vías en función del tráfico**

Tabla 4 Clasificación de las vías en función del TPDA

CLASIFICACIÓN DE CARRETERAS EN FUNCIÓN DEL TRÁFICO PROYECTADO	
Clase de Carretera	Tráfico proyectado TPDA
R-I o R-II	Más de 8000
I	De 3000 a 8000
II	De 1000 a 3000
III	De 300 a 1000
IV	De 100 a 300
V	Menos de 100

El TPDA indicado es el volumen de tráfico promedio diario anual proyectado a 15 o 20 años. Cuando el pronóstico de tráfico para el año 10 sobrepasa los 7000 vehículos debe investigarse la posibilidad de construir una autopista. Para la determinación de la capacidad de una carretera, cuando se efectúa el diseño definitivo, debe usarse tráfico en vehículos equivalentes.

Fuente: Las normas de diseño geométrico 2003 [22]

Tabla 5 Relación Función - Clase - TPDA

Función	Clase de carretera (según MOP)	TPDA (año final de diseño)
Corredor arterial	RI – RII	> 8000
Corredor arterial – Colectora	I	3000 - 8000
Corredor arterial – Colectora	II	1000 - 3000
Colectora	III	300 - 1000
Colectora - Vecinal	IV	100 - 300
Vecinal	V	< 100

Fuente: Las normas de diseño geométrico 2003 [22]

- RI – RII, se refiere a autopistas.
- Corredor arterial, en esta clasificación se encuentran las autopistas, y las carreteras de clase I y II; son vías estatales y provinciales principales; cuentan con circulación vehicular en ambos sentidos, asegurando que las especificaciones de los espaldones se cumplan, ya que estos permitirán la comodidad y seguridad vial, se puede presenciar zonas con carriles adicionales, acceso a vías alternas, de servicio y rampas. [22]
- Colectora, en esta clasificación encontramos las vías o carreteras de clase I, II, III y IV; estas vías son provinciales secundarias o interprovinciales, conectan a las comunidades que no se conectan directamente con las vías del corredor arterial. [22]
- Vecinal, a este grupo pertenecen las carreteras de clase IV y V. Se consideran parte de esta clasificación a todas las vías, caminos y carreteras que permiten la comunicación entre poblaciones, que no son parte de las colectoras o el corredor arterial. [22]

1.1.3.2.3. Estructura de una vía

Corresponde a cada una de las capas horizontales de espesor definido que conforman una vía, dependiendo si estas son parte de un pavimento rígido o flexible. Cada capa debe asegurar un correcto desempeño el cual depende del material que conforma cada una de las capas, asegurando el correcto funcionamiento como un solo elemento,

cuando el suelo no cumple con las propiedades físicas y mecánicas las vías sufren agrietamientos o deformaciones. [23]

➤ **Carpeta asfáltica**

Esta capa está en contacto directo con la superficie, el ambiente y los vehículos que transitan diario por ella; proporciona seguridad y comodidad a cada uno de los diferentes tipos de vehículos que la transitan. Recibe y absorbe directamente el esfuerzo provocado por el tránsito, esta capa transmite los esfuerzos horizontales y parte de los esfuerzos verticales a la base. Está conformada por agregado grueso y fino, combinados con una mezcla bituminosa que es mezclada a altas temperaturas. [23]

➤ **Losa de hormigón hidráulico**

Esta capa al igual que la carpeta asfáltica está en contacto directo con el ambiente y los vehículos, recibe las cargas producidas por el tránsito y las transmite a la subrasante. La mezcla de hormigón para formar la losa puede ser realizada en mezcladoras y debe cumplir con las especificaciones de la norma ASTM C 94. [24]

➤ **Base**

Esta capa es la encargada de recibir los esfuerzos de la carpeta asfáltica. En la conformación de esta capa encontramos material granular como grava natural, las cuales deben respetar parámetros granulométricos que permiten verificar la resistencia a corte y el CBR. Se debe asegurar la protección contra la acción del agua, asegurando la vida útil para la que fue diseñada. [19]

Tabla 6 Materiales para base en función del CBR

Base tipo	CBR diseño %
Piedra partida bien graduada	100
Macadam c/agua	100
Macadam seco	100
Bases bituminosas intermedias y superficiales en caliente	100
Roca caliza	80 - 100
Estabilizado granular	80

Fuente: Diseño de Pavimentos (AASHTO – 93) [19]

➤ **Subbase**

Esta capa se encuentra sobre la subrasante, una de sus funciones principales es permitir un correcto drenaje de las capas superiores, evitando que llegue a la subrasante. Esta capa está conformada por suelo granular, es decir gravas y arenas. [19]

Tabla 7 Especificaciones para subbase

	Máximo CBR de diseño	Tamaño de agregado máximo	Pasa tamiz Valor máximo		LL	IP
			2.0 mm No. 10	0.075 mm No. 200		
	%	mm	%	%	%	%
Subbase	50	76(3")	50	15	25	5
Subbase	40	76(3")	80	15	25	5
Subbase	30	76(3")	100	15	25	5
S selecc	20	76(3")	---	25	25	12

Fuente: Diseño de pavimento método AASHTO 93 [19]

➤ **Subrasante**

Se considera como la cimentación de la estructura vial. En esta capa se debe asegurar un correcto drenaje para que la capacidad portante no se vea afectada. Cuando el material que conforma esta capa tiende a hincharse o congelarse se producen levantamientos, aumentos de rugosidad y disminución en la servicialidad, comúnmente se produce en suelos cohesivos. La calidad del material usado para subrasante es inversamente proporcional al valor del índice de grupo (IG), valor que se determina según el método de clasificación de la AASHTO. [18]

La resistencia de la subrasante ayudará a determinar los espesores de las capas superiores a esta. Si se obtienen valores de CBR en esta capa de 0 – 3 se considera como muy pobre y si son de 3 – 7 se considera de pobre a regular. [16] Los esfuerzos que llegarán a la subrasante, provocados por el tránsito constante de vehículos serán mínimos, ya que la mayoría son absorbidos por las capas superiores. [19] [23]

1.1.3.2.4. Tipos de pavimentos

➤ Pavimento Flexible

Este tipo de estructuras presentan un sistema de multicapas, conformadas por material granular, con características específicas dependiendo del tipo de vía a diseñar; la capa más superficial que es la carpeta asfáltica, seguido por la base, la subbase y finalmente la subrasante. Las capas inferiores son de menor calidad y las capas superiores presentan mejor calidad, todas las capas deben encontrarse correctamente estabilizadas para resistir las cargas provocadas por el tránsito de los automóviles y la estructura de la vía. [19] [23]

➤ Pavimento rígido

Este tipo de pavimentos presentan como capa superior una losa de hormigón hidráulico el cual soporta la capacidad portante de la vía, gracias a la uniformidad y rigidez que esta capa presenta las cargas por el tránsito son distribuidas uniformemente a la subrasante provocando tensiones y deformaciones bajas. Se divide en: [19]

Hormigón simple con juntas

En este tipo de losa no se incluye refuerzo estructural, teniendo un espaciamiento de 2.5 m a 5m entre juntas, sin elementos que permitan la transferencia de cargas. [19]

Hormigón armado con juntas

Estas losas incluyen refuerzo estructural para disminuir al mínimo o evitar el agrietamiento por contracción. Los espaciamientos que se permiten entre las juntas son de 5m a 12m. [19]

Hormigón armado con refuerzo continuo

El refuerzo estructural de estas losas es continuo, gracias a que este tipo de losas solo presentan juntas de construcción. El refuerzo transversal es opcional para este tipo de pavimento rígido. [19]

1.1.3.3. Métodos de estabilización de suelos para subrasante

Se han desarrollado varios métodos para estabilización de suelos, los cuales buscan mediante la modificación de la composición inicial mejorar la calidad del suelo,

incrementar las propiedades físico – mecánicas como la capacidad de carga, reducir deformaciones, asentamientos, etc., entre los métodos que se pueden emplear encontramos la estabilización mecánica, con aditivos químicos y con geotextiles y geo sintéticos, entre otros. [12]

1.1.3.3.1. Estabilización mecánica

Consiste en adicionar un material granular al suelo a estabilizar, el cual debe ser mezclado correctamente y compactado. Se pueden combinar varios tipos de suelos, lo que permite mejorar sus propiedades. Otras formas de realizar este tipo de estabilización incluyen maquinaria pesada, algunos de los métodos se describen a continuación: [12] [15]

- Mezcla de suelos

Dos tipos de suelos: se combinan varios porcentajes de granulometría gruesa y granulometría fina que han sido calculados y trabajando conjuntamente cumplen con las propiedades para subrasante. [15]

Tres tipos de suelos: al igual que la combinación de dos tipos de suelos este también cumple con los porcentajes de granulometría de suelo de grano grueso y grano fino más un tercer elemento que son los limos o también conocido como material llenador, que le permitirá al suelo resistir las cargas externas y de la estructura vial. [15]

- Reemplazo

Este método consiste en retirar el suelo inestable por un suelo que ya ha sido analizado y que cumple con las especificaciones como el peso y granulometría; conformando una estructura más estable y evitando agrietamientos o asentamientos prematuros. Con este método se pueden obtener presupuestos elevados, ya que debe ser analizado y transportado desde su lugar de origen hasta el lugar de estabilización. [9]

- Densificación

Se aplica principalmente en suelos granulares de malas características, los procedimientos se dividen para las capas superficiales que se densifican mediante maquinaria pesada; y las de mayor profundidad que están conformadas por arena y la cual soportará pilotes cortos de madera. [9]

1.1.3.3.2. Estabilización con aditivos químicos

En este método se emplean aditivos para mejorar las propiedades como la resistencia a deformarse, capacidad de carga, consistencia, etc.; este procedimiento de compactación es considerado barato. Como agentes estabilizadores se pueden encontrar al cemento, cal, mezclas asfálticas, entre otros; los cuales mediante reacciones químicas y un procedimiento de consolidación empleando maquinaria pesada, permiten mejorar las propiedades físico – químicas. Los porcentajes de aditivos que se emplearán para la estabilización de suelos dependerán de las propiedades iniciales del suelo analizado. Para cada tipo de estabilización química se debe asegurar la correcta combinación entre las partículas para obtener resultados más reales. [9] [12]

- Suelo – cemento

Se debe verificar en la granulometría que las partículas no deben ser mayores a 7.5 cm, entre los Límites de Atterberg se debe revisar el límite líquido que no sobrepase el 40% y el índice plástico el 18% asegurando la trabajabilidad y plasticidad de la muestra a analizar. [12]

- Suelo – cal

Está dirigido a mejorar el esfuerzo de corte, el cual resiste las cargas que provoca el tránsito y evitar cambios volumétricos que son provocados principalmente por el clima de la región, con este método se reduce el límite líquido, índice de plasticidad y aumentan el límite plástico, de contracción, la trabajabilidad y la resistencia en el suelo que conforma la subrasante. Para este método se puede emplear distintos tipos de cal, como la cal viva, cal hidratada alta en calcio, etc. [9]

- Suelo – yeso

Este aditivo se lo emplea en la estabilización de suelos arcillosos, reduciendo la contracción que se produce por los cambios volumétricos debido a las variaciones del contenido de humedad. Este aditivo es de rápido fraguado, lo que permite realizar trabajos con mayor rapidez, reduciendo costos de producción. [14]

1.1.3.3.3. Estabilización con geosintéticos

Se emplean en la estabilización de suelos, mejorando el drenaje de la subrasante y reforzando las propiedades de la capa; son tejidas de plástico, hule, fibras de vidrio, etc. Entre los geosintéticos encontramos: [25]

- **Geomallas**

La geomalla se describe como un material tejido a base de polímeros que tiene forma de cuadrilátero, este geosintético permite inmovilizar el material distribuyendo uniformemente las cargas, se pueden encontrar geomallas de un sentido (uniaxial), en las cuales se aprovecha la resistencia a la tensión cuando se conoce la dirección de los esfuerzos, o dos sentidos (biaxial) en forma de red, sus características son las mismas en ambos sentidos, posee resistencia a la tracción y los nudos le proporcionan tanto rigidez como un buen confinamiento a la capa que se esté conformando, ambos tipos de geomallas poseen aberturas en la parte central como se puede observar en la figura 9. [25]

Figura 9 Estructura de la geomalla



Fuente: Uso de geomalla para reforzamiento de suelos [25]

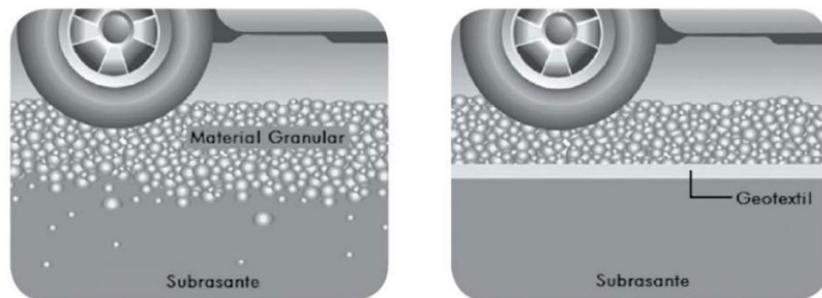
- **Geomembranas**

Estos al igual que las geomallas son tejidos a base de polímeros como Polietileno, Polietileno de alta Densidad (HDPE) o Cloruro de Polivinilo PVC, pero con la diferencia que no poseen las aberturas intermedias, son láminas continuas que permiten mantener la impermeabilidad de las capas, presentan alta durabilidad y resistencia a desgastes químicos y radiación ultravioleta. [25]

- Geotextiles

Al igual que las clasificaciones anteriores los encontramos fabricados a base de polímeros, las fibras son conformadas de forma que los sólidos no se trasladen de un lado a otro, evitando que las capas se contaminen; pero permite el paso de los líquidos, ayudando de esta forma a que se disipe la formación de presiones en la lámina. [25]

Figura 10 Aplicación del geotextil en estructuras viales



Fuente: Uso de geomalla para reforzamiento de suelos [25]

1.1.3.3.4. Estabilización con fibras naturales

Las fibras naturales que se emplean en la estabilización de suelos son obtenidas de materia vegetal y se consideran residuos en las industrias alimenticias. Por su composición orgánica tienden a degradarse con mayor facilidad, por lo que su uso es limitado a proyectos que requieran menores resistencias o proyectos provisionales; en las estabilizaciones se puede emplear la cascarilla de arroz, fibra de coco, bagazo de caña, semillas y otros más. Este método es considerado uno de los más económicos. [26]

1.1.3.3.5. Estabilización con fibras sintéticas

Este sistema de estabilización emplea fibras que han sido industrializadas, en las que encontramos el Polipropileno (PP), Polietileno, Nylon, etc. sus propiedades como resistencia a reacciones químicas, baja densidad y durabilidad, permiten que el suelo a estabilizar sea apto para ser usado en una estructura vial. [26]

- Estabilización de suelos cohesivos con PET

Este método requiere el uso de botellas plásticas de Tereftalato de Polietileno (PET), las cuales han sido parte de reciclaje, se deben desechar las tapas y etiquetas ya que su

composición comprende otros polímeros; estos envases deberán pasar por un procedimiento de triturado, el cual permitirá obtener cristales de (PET). [26]

Figura 11 Plástico PET reciclado



Fuente: LIDEM, molino triturador compacto para botellas PET [27]

1.1.3.4. Reciclado de plásticos

Los diferentes envases plásticos que se pueden encontrar en centros de reciclaje no tienen la misma composición, ya que son diseñados específicamente para contener diferentes tipos de sustancias. [27]

Figura 12 Clasificación de botellas recicladas



Fuente: RECOUP [27]

1.1.3.4.1. Tereftalato de Polietileno PET

Fue descubierto en 1941 por Whinfield y Dickson como un material textil que reemplace al algodón; el tereftalato de polietileno es empleado en la producción de botellas plásticas, envases para alimentos, fibras textiles, láminas para películas fotográficas, láminas para rayos X, etc. [9]

El PET transparente o cristalino es el que más se recicla, debido a que sus aplicaciones son mayores, mientras que los colores oscuros u opacos no son tan aceptados. Cuando son empleados para la conformación de botellas o envases plásticos se los reconoce con el número 1, seguido por las siglas PET o por la formación de un bulto en la base de la botella como se puede observar en la figura 13. Las etiquetas, tapas y agarraderas comúnmente están fabricados de polipropileno o polietileno. [27] [28]

Figura 13 Sello PET



Fuente: RECOUP [27]

➤ Características

- Resistencia al calor
- Temperatura de fusión 250 – 260 °C
- Resistencia a la corrosión
- Resistencia al desgaste
- Resistente al impacto
- Poca o nula absorción de humedad
- Cristalizable y liviano
- Fácil pigmentación
- Las botellas de este material se las puede distinguir mediante un bulto que se encuentra en la base. [27] [28]

Figura 14 Identificación de la botella PET



Fuente: Tipos de PET. ¿Cómo identificar las botellas de PET? [28]

1.1.3.4.2. Polietileno de alta Densidad HDPE

Estos envases se los pueden encontrar como transparentes, en blanco y de colores; se los identifica con el número 2 y con las siglas HDPE. Para reciclaje se debe evitar juntar este tipo de plásticos con Polipropileno (PP). Los envases que son a base Polietileno de alta Densidad (HDPE) se pueden encontrar en botellas de detergente, productos de aseo personal, botellas para leche u otros productos lácteos. [29]

Figura 15 Sello HDPE



Fuente: RECOUP [27]

➤ Características

- Temperatura de fusión 130°C
- Presenta gran dureza
- Material rígido [29]

1.1.3.4.3. Cloruro de Polivinilo PVC

A estos envases se los reconoce por el número 3, seguido de las siglas PVC. Se debe evitar combinar este material con partículas (Tereftalato de Polietileno) PET, ya que no son compatibles. Comúnmente el material de las tapas de estos envases es de Polietileno de alta Densidad (HDPE), Polietileno de baja Densidad (LDPE) o Polipropileno (PP). De este material se pueden hacer tarjetas de crédito, tubos, envases, botellas, etc. [27] [30]

Figura 16 Sello PVC



Fuente: RECOUP [27]

➤ Características

- Resistencia baja o nula al calor
- Acabados brillantes
- Fácil pigmentación
- Buena resistencia a esfuerzos de tensión y flexión [30]

1.1.3.4.4. Polietileno de baja densidad LDPE

El número que identifica a este grupo es el 4, con las siglas LDPE. Este material es empleado en la producción de fundas plásticas. [29]

Figura 17 Sello LDPE



Fuente: RECOUP [27]

1.1.3.4.5. Polipropileno PP

Este grupo tiene asignado el número 5, con las siglas PP. Como fue mencionado anteriormente, este material no es compatible con el Polietileno de alta Densidad (HDPE). Se puede emplear en la elaboración de tubos, cubiertas, juguetes, tapas de botellas, etc. [27] [30]

Figura 18 Sello PP



Fuente: RECOUP [27]

➤ **Características**

- Temperatura de fusión 160°C - 170°C
- Resistente a los materiales ácidos y bases
- Alta resistencia a la tensión [30]

1.1.3.4.6. Poliestireno PS

A esta clasificación se la define con el número 6 y las siglas PS. Con este material se puede elaborar juguetes, material escolar, adornos, etc. [27] [30]

Figura 19 Sello PS



Fuente: RECOUP [27]

➤ **Características**

- Baja resistencia a impactos
- Material frágil [30]

1.1.3.4.7. OTROS

El número que representa a este grupo es el 7, acompañado de la palabra OTROS. En esta clasificación se encuentran los plásticos rígidos, distintos a botellas o envases plásticos de las clasificaciones anteriores, por lo que es importante diferenciar un envase normal de uno rígido. [27]

Figura 20 Sello OTROS



Fuente: RECOUP [27]

1.1.4. Hipótesis

- 1.1.4.1. El incremento de partículas de tereftalato de polietileno (PET) a los suelos cohesivos destinados a la conformación de subrasante incrementan los valores de CBR.
- 1.1.4.2. Los espesores de la estructura del pavimento flexible que se colocan sobre la subrasante de suelo cohesivo estabilizada con partículas de Tereftalato de Polietileno (PET) son menores que los espesores iniciales de la estructura del pavimento flexible.

1.2. Objetivos:

1.2.1. Objetivo General

Analizar las propiedades fisico-mecánicas y CBR de suelos cohesivos de subrasante mezclados con partículas de tereftalato de polietileno (PET).

1.2.2. Objetivos Específicos

- 1.2.2.1. Determinar las propiedades fisico-mecánicas de suelos cohesivos de subrasante en estado natural y combinados con partículas de tereftalato de polietileno (PET).
- 1.2.2.2. Analizar la influencia de los diferentes porcentajes de partículas PET, en la densidad seca máxima y humedad óptima de las muestras de suelos cohesivos estudiados.
- 1.2.2.3. Obtener los valores de CBR de laboratorio de las muestras de suelos cohesivos en estado natural y combinados con partículas PET.
- 1.2.2.4. Comparar los espesores de la estructura de un pavimento flexible diseñado con el CBR de subrasante en estado natural y el CBR del suelo mezclado con partículas PET.

CAPÍTULO II.- METODOLOGÍA

2.1 Niveles de investigación

2.1.1 Investigación exploratoria

El presente trabajo experimental cuenta con investigación exploratoria, ya que se requiere explorar la parroquia Sevilla Don Bosco en el cantón Morona, determinando la ubicación de los puntos; con un total de 3, para extraer 4 muestras de suelo de cada uno. Al igual que encontrar una empresa en la ciudad de Ambato que brinde el servicio de trituración de botellas PET, el cual será empleado en los ensayos de laboratorio.

2.1.2 Investigación de laboratorio

Una vez obtenidas las muestras del suelo a estudiar se deben realizar varios ensayos como contenido de humedad, granulometría, límites de consistencia del suelo, gravedad específica de sólidos, Proctor y CBR, que serán ejecutados en el Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, los que permitirán obtener las propiedades físico – mecánicas y CBR

2.1.3 Investigación de campo

La investigación de campo se presenta con la obtención de muestra natural de suelo denominado muestreo in situ y el ensayo del Cono y Arena de Ottawa con el cual se obtendrá la densidad de campo.

2.1.4 Investigación analítica

Los resultados obtenidos de los ensayos, tanto en el laboratorio como en campo, serán procesados y analizados, determinando las propiedades físico – mecánicas y CBR de las muestras naturales y combinadas con las partículas de Tereftalato de Polietileno (PET).

2.2 Población y muestra

2.2.1 Población

La zona de estudio se encuentra ubicada en el Oriente Ecuatoriano, en la Provincia de Morona Santiago, cantón Morona que también es conocido como Macas, parroquia Sevilla Don Bosco, la que cuenta con una superficie de 2305.44 km² y una población de 13413 habitantes. [11] [31]

2.2.2 Muestra

Las muestras de suelo natural para el análisis de subrasante serán extraídas de 3 puntos diferentes, de cada punto se deberá recoger 4 muestras de suelo natural, con un peso aproximado de 40Kg para realizar los ensayos correspondientes.

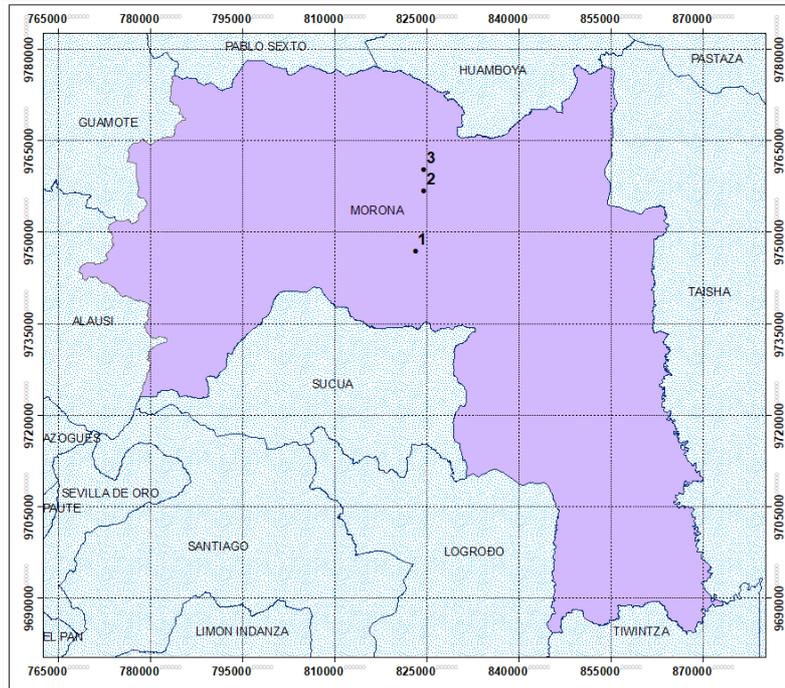
Para la selección de los puntos a estudiar se recorrerá gran parte de la parroquia, una vez determinada su ubicación es necesario contar con autorización del propietario del terreno para la toma de muestras, se deberá limpiar la capa exterior correspondiente a la capa vegetal del suelo, rotular claramente cada contenedor (sacos o saquillos) con el número del punto del que se está recogiendo la muestra.

Tabla 8 Coordenadas de las calicatas

N° Calicata	Coordenadas		N° de muestras
	X	Y	
1	823185,134	9746849,454	4
2	824610,815	9756740,340	4
3	824561,443	9760318,760	4

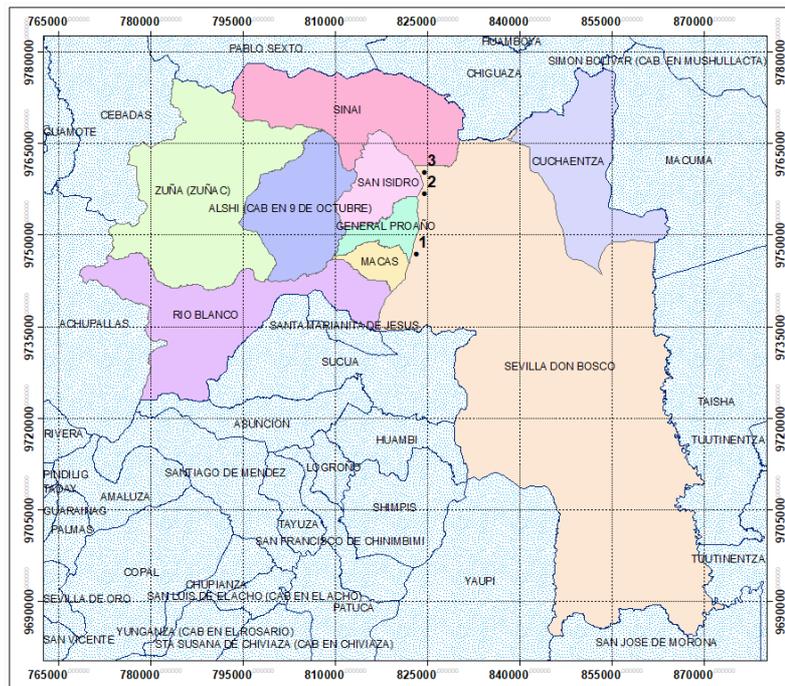
Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

Figura 21 Ubicación de los puntos en el Cantón Morona



Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

Figura 22 Ubicación de los puntos dentro de la parroquia Sevilla Don Bosco



Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

2.3 Equipos y materiales

Tabla 9 Descripción de los materiales y equipos a usarse en los ensayos

Ensayo	Norma	Equipo	Materiales
Muestreo in situ	NTE INEN-ISO 10381-2	- Pala - Pico - Barra - Rotulador - Costales	- Muestra de suelo
Contenido de humedad	AASHTO T 265 2015	- Recipientes metálicos de aluminio - Espátula - Horno - Balanza	- Muestra de suelo
Granulometría	NTE INEN-696 AASHTO T-87-70 ASTMD D-421-58	- Balanza - Tamices de distintos tamaños - Fuente - Tamizadora eléctrica - Brocha - Palustre - Recipientes metálicos - Horno	- Muestra de suelo
Límite líquido	AASHTO T-90-70 ASTM D-424-71 INEN 691	- Tamiz # 40 - Brocha - Recipientes metálicos de aluminio o latón - Copa de Casagrande - Ranurador o acanalador - Espátula - Balanza - Mortero de porcelana	- Muestra de suelo - Agua

		<ul style="list-style-type: none"> - Pistillo con recubrimiento de caucho - Horno 	
Límite plástico	<p>AASHTO T-90-70</p> <p>ASTM D-424-59-74</p> <p>INEN 691</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Tamiz # 40 - Brocha - Recipientes metálicos de aluminio - Espátula - Balanza - Placa de vidrio templado - Calibrador pie de rey - Mortero de porcelana - Pistillo con recubrimiento de caucho - Horno 	<ul style="list-style-type: none"> - Muestra de suelo - Agua
Límite de contracción	<p>AASHTO T-92-68</p> <p>ASTM D-427</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Tamiz # 40 - Brocha - Recipientes metálicos de aluminio - Espátula - Balanza - Cápsula de contracción - Placa triple' - Cristal de Lucita - Mortero de porcelana - Pistillo con recubrimiento de caucho - Horno 	<ul style="list-style-type: none"> - Muestra de suelo - Agua - Mercurio - Guantes

<p>Proctor modificado tipo B</p>	<p>AASHTO T-180</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Molde (Ø=6") - Base - Collarín - Martillo cilíndrico de 10 lb (4.5 Kg) - Probeta 500 cm³ - Balanza - Horno - Recipientes metálicos de aluminio - Calibrador pie de rey - Enrazador - Fuente metálica - Tamiz - Palustre - Pala - Brocha - Horno 	<ul style="list-style-type: none"> - Muestra de suelo - Agua - Partículas de tereftalato de polietileno (PET)
<p>California Bearing Ratio CBR</p>	<p>ASTM D 1883-07 AASHTO T-193</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Molde (Ø=6") - Base - Collarín - Martillo cilíndrico de 10 lb (4.5 Kg) - Probeta 500 cm³ - Balanza - Horno - Recipientes metálicos de aluminio - Calibrador pie de rey - Enrazador - Fuente metálica - Tamiz - Palustre 	<ul style="list-style-type: none"> - Muestra de suelo - Agua - Partículas de tereftalato de polietileno (PET)

		<ul style="list-style-type: none"> - Pala - Brocha - Horno - Máquina de compresión 	
Gravedad específica de sólidos	AASHTO T 100-70 2015	<ul style="list-style-type: none"> - Picnómetro de 500 cm³ - Pipeta - Termómetro - Embudo - Recipientes metálicos - Balanza - Espátula - Horno 	<ul style="list-style-type: none"> - Muestra de suelo - Agua
Densidad de campo (cono y arena de Ottawa)	AASHTO T 191 2014	<ul style="list-style-type: none"> - Placa metálica - Cono y arena de Ottawa - Cincel - Martillo - Cuchara - Recipientes metálicos de aluminio - Balanza - Horno - Clavos - Brocha 	<ul style="list-style-type: none"> - Muestra de suelo - Fundas plásticas

Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

2.4 Métodos

2.4.1 Plan de recolección de datos

Tabla 10 Plan de recolección de datos

PREGUNTAS BÁSICAS	EXPLICACIÓN
¿Para qué?	Comparar las propiedades de suelo natural y suelo combinado con partículas de tereftalato de polietileno (PET).
¿A quién?	Las muestras de suelo cohesivo tomadas de la parroquia Sevilla Don Bosco, cantón Morona.
¿Sobre qué aspectos?	Analizar las propiedades del suelo natural y suelo combinado con partículas de tereftalato de polietileno (PET); y los espesores de pavimento flexible que serán diseñados a partir de estas propiedades.
¿Quién?	Nancy Patricia Ocampo Guerrero (Tesisista).
¿Cuándo?	<p>Ensayos de campo:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Recolección de muestras: 12 de diciembre de 2020 - Densidad de campo: 26 de junio de 2021 <p>Ensayos de laboratorio</p> <ul style="list-style-type: none"> - Desde el 16 de diciembre hasta el 07 de julio de 2021 <p>Conteo vehicular</p> <ul style="list-style-type: none"> - Desde el 08 de julio de 2021 hasta el 12 de julio de 2021 <p>Procesamiento de datos y resultados</p> <ul style="list-style-type: none"> - Desde el 13 de abril de 2021 hasta el 16 de julio de 2021
¿Dónde?	<ul style="list-style-type: none"> - Parroquia Sevilla don Bosco – Cantón Morona.

	<p>- Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.</p>
<p>¿Técnicas de Recolección?</p>	<p>Muestreo In Situ (NTE INEN-ISO 10381-2) para el cual se deberá retirar la capa vegetal y recolectar 4 muestras de 3 puntos, con un total de 12 muestras, cada una de aproximadamente 40 Kg;</p> <p>Densidad de campo (cono y arena de Ottawa - AASHTO T 191 2014), para el que es necesario retirar la capa vegetal, nivelar la superficie de estudio, excavar un agujero del diámetro de la placa metálica y llenarlo con arena de Ottawa, este ensayo permite determinar las propiedades índice del suelo.</p> <p>Granulometría (NTE INEN-696 AASHTO T-87-70) para que la muestra de suelo cohesivo pase por el juego de tamices debe estar seca y molida (pulverizada).</p> <p>Contenido de humedad (AASHTO T 265 2015) para desarrollar este ensayo la muestra de suelo es secada en horno, esta propiedad junto con los resultados del ensayo Proctor es empleada en el desarrollo del ensayo de California Bearing Ratio CBR.</p> <p>Límites de consistencia del suelo se dividen en 3, Límite líquido (AASHTO T-90-70, ASTM D-424-71, INEN 691) Límite plástico (AASHTO T-90-70, ASTM D-424-59-74, INEN 691) y Límite de contracción (AASHTO T-92-68, ASTM D-427), para realizar estos ensayos la muestra debe pasar por el tamiz N°40, que permiten determinar el tipo de suelo de estudio.</p> <p>Gravedad específica de sólidos (AASHTO T 100-70 2015) la muestra a emplearse en este ensayo debe estar seca y pasar por el tamiz N°4.</p>

Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

2.4.2 Ensayos de campo y laboratorio

a) Muestreo in situ

Figura 23 Recolección de muestras



Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

b) Contenido de humedad

Figura 24 Pesado de las muestras



Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

c) Granulometría

Figura 25 Colocación de la muestra a tamizar



Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

d) Límite líquido

Figura 26 Preparación de la muestra



Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

e) Límite plástico

Figura 27 Enrollado de la muestra de suelo



Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

f) Límite de contracción

Figura 28 Enraizado del suelo con la espátula



Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

g) Proctor modificado tipo B

Figura 29 Compactación del suelo



Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

h) California Bearing Ratio (CBR)

Figura 30 Preparación de la máquina de CBR



Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

i) Gravedad específica de sólidos

Figura 31 Extracción del aire



Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

j) Densidad de campo (cono y arena de Ottawa)

Figura 32 Colocación del cono y arena de Ottawa



Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

2.4.3 Plan de procesamiento y análisis de información

Plan de procesamiento

En el desarrollo del presente trabajo se realizarán ensayos de campo y laboratorio, al igual que el conteo vehicular manual; para lo cual se requiere un plan de procesamiento que se detalla a continuación.

- Elegir 3 puntos de la parroquia Sevilla don Bosco, de los que se recolectarán 4 muestras de suelo de cada punto, teniendo un total de 12 muestras a analizar.
- Recolectar la cantidad suficiente de botellas PET, las cuales serán trituradas en Proplasticmax S.A. obteniendo las partículas de tereftalato de polietileno (PET) para emplearlas en los ensayos de laboratorio.
- Desarrollar los ensayos de campo y laboratorio anteriormente especificados.
- Recolección y tabulación de datos y resultados, para lo que se emplearán recursos como material de oficina y software como Word, Excel y ArcGIS.

Análisis de información

Para analizar los datos y resultados recolectados en los ensayos de campo y laboratorio se debe:

- Comparar los resultados de las muestras naturales y las muestras combinadas con tereftalato de polietileno (PET) mediante tablas y diagramas.
- Emplear estos resultados en el diseño de un pavimento flexible y comparar los espesores obtenidos.
- Formular las conclusiones y recomendaciones que serán apoyadas en las comparaciones de las propiedades físico – mecánicas, CBR y diseño de un pavimento flexible entre el suelo natural y el suelo combinado con tereftalato de polietileno (PET)

CAPÍTULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Análisis y discusión de los resultados

Una vez realizados los ensayos de campo y laboratorio, detallados en el Capítulo II – Metodología, se presentan los resultados de los 3 puntos analizados, correspondientes a la parroquia Sevilla Don Bosco, cantón Morona; de los que se obtuvieron propiedades físico – mecánicas, propiedades índice y CBR de muestras de suelo natural y muestras de suelo combinadas con varios porcentajes de partículas de tereftalato de polietileno (PET); al igual que la comparación entre las propiedades del suelo natural y el suelo combinado con tereftalato de polietileno (PET).

En la siguiente tabla se describen la nomenclatura y unidades empleados en los ensayos de campo y laboratorio.

Tabla 11 Ensayos de Laboratorio: Nomenclatura y Unidades

Ensayo o propiedad	Nomenclatura	Unidad
Contenido de humedad	W%	%
Contenido de humedad inicial	Wo%	%
Contenido de humedad óptimo	W% OPT	%
Diámetro efectivo	D10	mm
Diámetro equiparable	D30	mm
Diámetro dimensional	D60	mm
Coefficiente de uniformidad	Cu	S/U
Coefficiente de curvatura	Cc	S/U
Tamaño Nominal Máximo	TNM	mm
Límite líquido	LL	%
Límite plástico	LP	%

Índice plástico	IP	%
Límite de contracción	LC	%
Densidad de campo	γ_{dcampo}	gr/cm ³
Densidad seca máxima	γ_{dmax}	gr/cm ³
Grado de compactación	Gc%	%
California Bearing Ratio	CBR	%
California Bearing Ratio para 1 pulgada	% CBR 0,1 plg	%
California Bearing Ratio para 2 pulgada	% CBR 0,2 plg	%
Gravedad específica de sólidos	Gs	S/U
Tereftalato de polietileno	PET	S/U

Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

3.1.1 Análisis de los límites de Atterberg y clasificación de suelos

Tabla 12 Límites de Atterberg

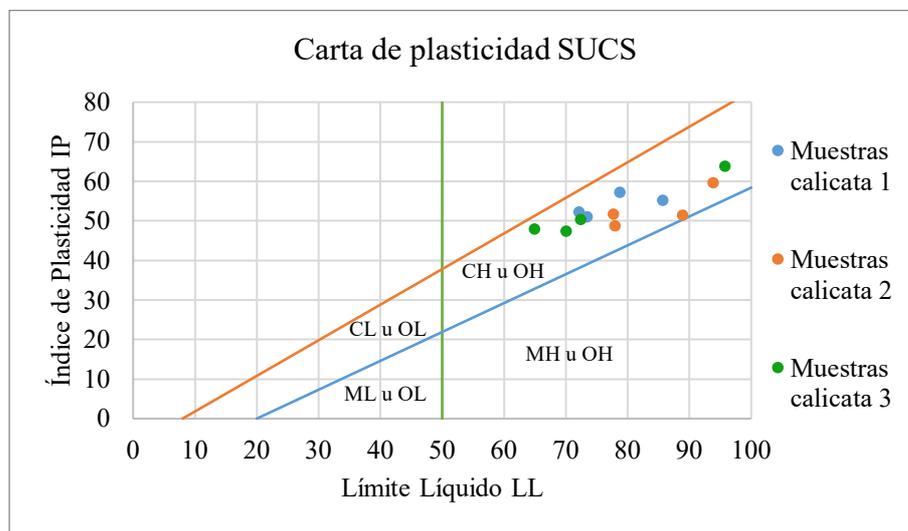
Calicata	Porcentaje de PET	Contenido de humedad	Límite Líquido	Límite Plástico	Índice de Plasticidad	Límite de contracción	Clasificación SUCS	Clasificación AASHTO
1	0	257,14	85,70	55,11	30,59	39,42	CH	A7-5
	1,5	249,65	78,76	57,05	21,71	36,09	CH	A7-5
	2	240,15	73,45	50,93	22,52	34,02	CH	A7-5
	2,5	232,26	72,14	52,12	20,02	32,15	CH	A7-5
2	0	262,32	93,81	59,48	34,34	31,28	CH	A7-5
	1,5	252,13	88,87	51,26	37,61	30,39	CH	A7-5
	2	243,65	77,72	51,60	26,12	29,57	CH	A7-5
	2,5	236,73	77,96	48,57	29,38	27,55	CH	A7-5
3	0	179,47	95,77	63,74	32,03	36,72	CH	A7-5
	1,5	176,25	72,39	50,24	22,15	34,06	CH	A7-5
	2	172,48	70,02	47,21	22,81	33,13	CH	A7-5
	2,5	168,10	64,94	47,87	17,07	32,16	CH	A7-5

Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

Se realizaron los ensayos de laboratorio a las muestras naturales y muestras con adiciones de 1,5% 2,0% y 2,5% de tereftalato de polietileno (PET) en función del peso seco del suelo; se eligieron estos porcentajes en base a la consulta bibliográfica realizada en el Capítulo I.- Marco Teórico y la investigación realizada por Gabriel Ramos [2] y José López Ortiz [4], en las que sugieren que los porcentajes ideales son de 1,5% y de 0,2% a 2,0% respectivamente.

Se desarrollaron los ensayos de límite líquido, límite plástico y límite de contracción, los que permitirán clasificar el suelo de las tres calicatas estudiadas de la parroquia Sevilla Don Bosco, perteneciente a la ciudad de Morona, en el oriente ecuatoriano.

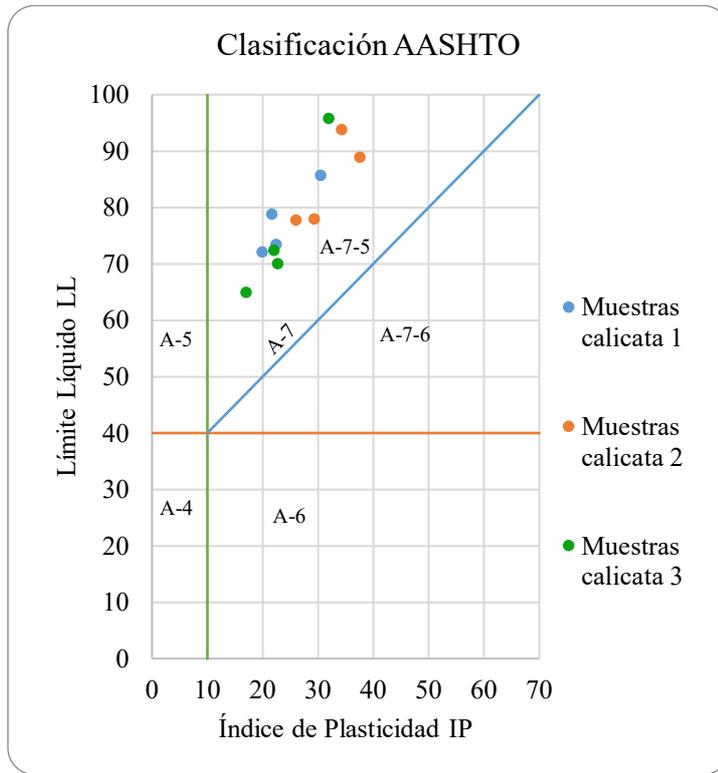
Figura 33 Carta de plasticidad SUCS



Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

Fuente: Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil [16]

Figura 34 Clasificación AASHTO



Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

Fuente: Diseño de Pavimentos (AASHTO – 93) [19]

Mediante la carta de plasticidad del Sistema Unificado de Clasificación de suelos (SUCS), que usa como parámetros al límite líquido e índice plástico, se pudo determinar la clasificación de suelos, como se puede observar en la figura 33; obteniendo como resultado un suelo CH para las muestras naturales y combinadas con partículas PET, es decir arcillas inorgánicas de alta plasticidad y arcillas francas, comprobando la información bibliográfica en la que Gonzalo Naweck afirma que el suelo de Morona consta de combinaciones como franco arcilloso (35% arcilla), arcillo arenoso y arcillo limoso [11]

Empleando el sistema de clasificación según la AASHTO, el cual usa los resultados de índice de plasticidad y límite plástico, como se observa en la figura 34; se determinó que las 12 muestras (naturales y combinadas con PET) pertenecen a un suelo A7 al subgrupo A7-5, al que pertenecen las arcillas expansivas y compresibles, lo que se comprueba también con los resultados obtenidos en el ensayo de contenido de humedad, ya que presentan valores entre 168,10% y 262,32%. [33]

Según los resultados observados en el ensayo de límite de contracción se determinó que las muestras naturales de las calicatas 1, 2 y 3 requieren de un 39,42%, 31,28% y 36,72% de agua respectivamente para llenar los poros de las muestras; y para las muestras que incluyen el 2,5% de Tereftalato de polietileno (PET) en su composición se requiere un 32,15%, 27,55% y 32,16 de agua para las calicatas 1, 2 y 3 respectivamente, siendo estas muestras las que requieren porcentajes más bajos de agua.

3.1.2 Análisis granulométrico

Tabla 13 Granulometría

Calicata	Porcentaje de PET	% pasa por el tamiz 200	D10	D30	D60	Cu	Cc	TNM (mm)
1	0%	62,38	0,035	0,046	0,072	2,057	0,84	0,300
	1,50%	66,08	0,034	0,044	0,067	1,971	0,85	0,250
	2%	65,78	0,035	0,045	0,067	1,914	0,86	0,300
	2,50%	62,29	0,034	0,047	0,072	2,118	0,90	0,300
2	0%	61,55	0,036	0,046	0,074	2,056	0,79	0,250
	1,50%	60,21	0,035	0,046	0,075	2,143	0,81	0,300
	2%	61,13	0,035	0,046	0,074	2,114	0,82	0,300
	2,50%	55,13	0,035	0,048	0,085	2,429	0,77	0,425
3	0%	65,23	0,034	0,045	0,069	2,029	0,86	0,250
	1,50%	60,02	0,035	0,047	0,075	2,143	0,84	0,425
	2%	71,38	0,034	0,044	0,064	1,882	0,89	0,300
	2,50%	68,88	0,034	0,045	0,065	1,912	0,92	0,300

Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

En la tabla 13 se pueden observar los resultados del ensayo granulométrico que se realizó a las 12 muestras establecidas, comprobando que el suelo analizado corresponde a un material fino, ya que más del 50% de la muestra de cada uno de los especímenes pasa por el tamiz N° 200.

Mediante las gráficas realizadas de las muestras de suelo natural y suelo combinado con partículas de tereftalato de polietileno (PET), las cuales se pueden revisar en la

sección de anexos, se determinó que las muestras presentan una granulometría uniforme, debido a que el coeficiente de uniformidad (Cu) presenta valores entre 1,882 y 2,429, lo que quiere decir que el suelo se encuentra en un rango de tamaño reducido; el coeficiente de curvatura (Cc) refleja que las muestras analizadas no tienen una correcta granulometría, ya que los resultados obtenidos son menores a 1; la muestra que más se acerca al valor mínimo pertenece a la tercera calicata, con un 2,5% de Tereftalato de polietileno (PET) en su composición, el cual alcanzó un valor de 0,92.

3.1.3 Análisis de compactación del suelo y CBR

Tabla 14 Compactación del suelo

Calicata	Porcentaje de PET %	Contenido de humedad óptimo %	Densidad seca máxima	Grado de compactación
1	0	37	1,111	99,18%
	1,5	26,6	1,105	97,33%
	2	24,5	1,093	98,35%
	2,5	23,8	1,087	99,05%
2	0	36,1	1,129	97,99%
	1,5	31,9	1,114	97,35%
	2	29,4	1,105	99,72%
	2,5	26	1,084	99,91%
3	0	30	1,146	98,54%
	1,5	28,1	1,269	96,37%
	2	27,8	1,225	98,54%
	2,5	26,6	1,184	98,13%

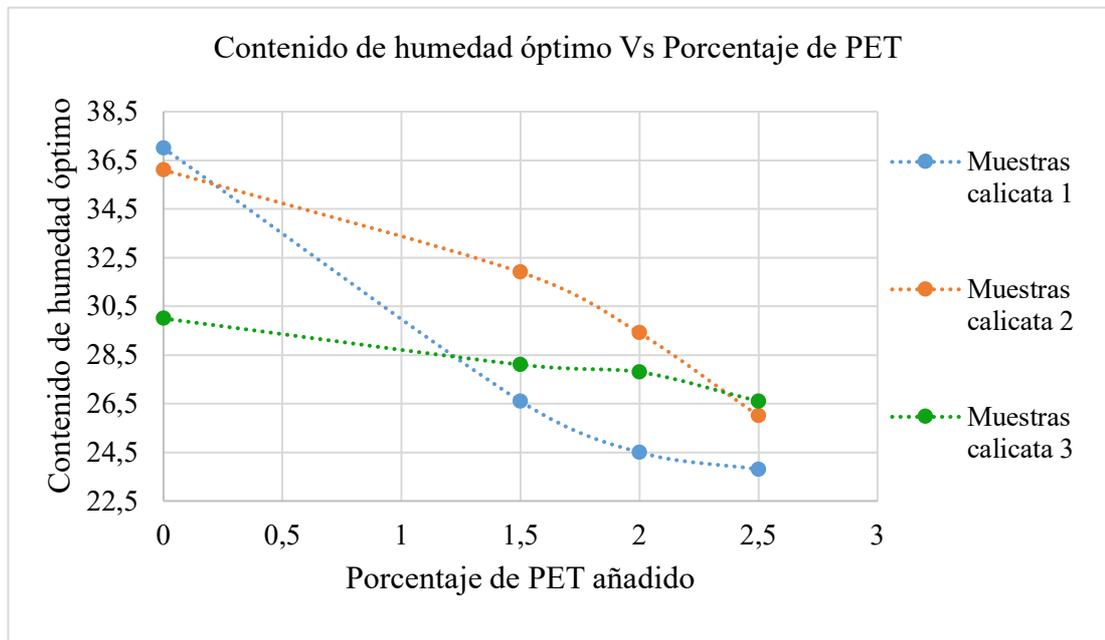
Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

Se realizó el ensayo de compactación mediante el ensayo de Proctor modificado método B a las 12 muestras propuestas, como se observa en la tabla 14, determinando el contenido de humedad óptimo que requiere cada una de las muestras naturales y combinadas con los distintos porcentajes de partículas de tereftalato de polietileno

(PET) para alcanzar la densidad seca máxima, observando una reducción de 0,024, 0,045 y 0,085 en las muestras de las calicatas 1, 2 y 3 respectivamente.

Comparando los resultados obtenidos del grado de compactación, entre las muestras de suelo natural la primera calicata presenta una compactación mayor, con un 99,18%; mientras que entre las combinaciones de suelo natural y partículas de tereftalato de polietileno (PET), la muestra que presenta el mayor grado de compactación es la calicata 2 con un 2,5% de tereftalato de polietileno (PET) con un del 99,91%.

Figura 35 Relación entre el contenido de humedad óptimo y el porcentaje de PET añadido



Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

Como se puede observar en la figura 35 en la que se grafican las muestras de las 3 calicatas con la adición de los distintos porcentajes de PET; el contenido de humedad óptimo disminuye a medida que el porcentaje de tereftalato de polietileno (PET) aumenta, lo que indica que mantienen una relación inversamente proporcional, evidenciando una diferencia mayor del contenido de humedad entre las muestras pertenecientes a la primera calicata y una diferencia menor entre las muestras pertenecientes a la tercera calicata.

Tabla 15 Comparación entre el contenido de humedad inicial y contenido de humedad óptimo

Calicata	Porcentaje de PET	Contenido de humedad inicial	Contenido de humedad óptimo	Relación $\frac{W_o\%}{W\%opt}$
1	0	257,14	37,00	6,95
	1,5	249,65	26,60	9,39
	2	240,15	24,50	9,80
	2,5	232,26	23,80	9,76
2	0	262,32	36,10	7,27
	1,5	252,13	31,90	7,90
	2	243,65	29,40	8,29
	2,5	236,73	26,00	9,11
3	0	179,47	30,00	5,98
	1,5	176,25	28,10	6,27
	2	172,48	27,80	6,20
	2,5	168,10	26,60	6,32

Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

Como se puede observar en la tabla 15 en la que se compara el contenido de humedad inicial ($W_o\%$) de las muestras y el contenido de humedad óptimo ($W\%opt$) obtenido en el ensayo de compactación del suelo, se determina que el suelo natural cuenta con una humedad de entre 5,98 y 9,80 veces el contenido de humedad óptimo, lo que indica que el suelo cohesivo no puede ser empleado directamente en la conformación de una subrasante después de su extracción, debido a que se encuentra sobresaturado; por lo que es necesario secarlo ya sea al ambiente o en un laboratorio.

Tabla 16 Análisis de CBR

Calicata	Porcentaje de PET	Densidad seca máxima (gr/cm ³)	90% Densidad seca máxima		95% Densidad seca máxima		% CBR mayor
			% CBR 0,1 plg	% CBR 0,2 plg	% CBR 0,1 plg	% CBR 0,2 plg	
1	0	1,111	5,80	6,90	6,40	8,30	8,30
	1,5	1,105	10,90	9,50	13,60	11,80	13,60
	2	1,093	9,60	11,30	11,90	13,90	13,90
	2,5	1,087	10,10	11,50	12,00	14,10	14,10
2	0	1,129	6,00	5,60	7,00	7,20	7,20
	1,5	1,114	6,80	7,60	11,00	11,30	11,30
	2	1,105	9,10	8,90	14,80	14,00	14,80
	2,5	1,084	8,80	8,40	13,80	13,60	13,80
3	0	1,146	7,10	6,60	8,90	8,40	8,90
	1,5	1,269	8,20	9,00	9,40	10,00	10,00
	2	1,225	8,60	10,50	12,30	13,60	13,60
	2,5	1,184	16,00	14,90	18,80	18,20	18,80

Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

Se realizó el ensayo de CBR a las 12 muestras propuestas, obteniendo la densidad seca máxima y los valores de CBR al 90% y 95% a 0,1 plg y 0,2 plg, como se puede observar en la tabla 16, empleando los porcentajes de contenido de humedad óptimo que se observan en la tabla 14.

Tabla 17 Comparación de CBR

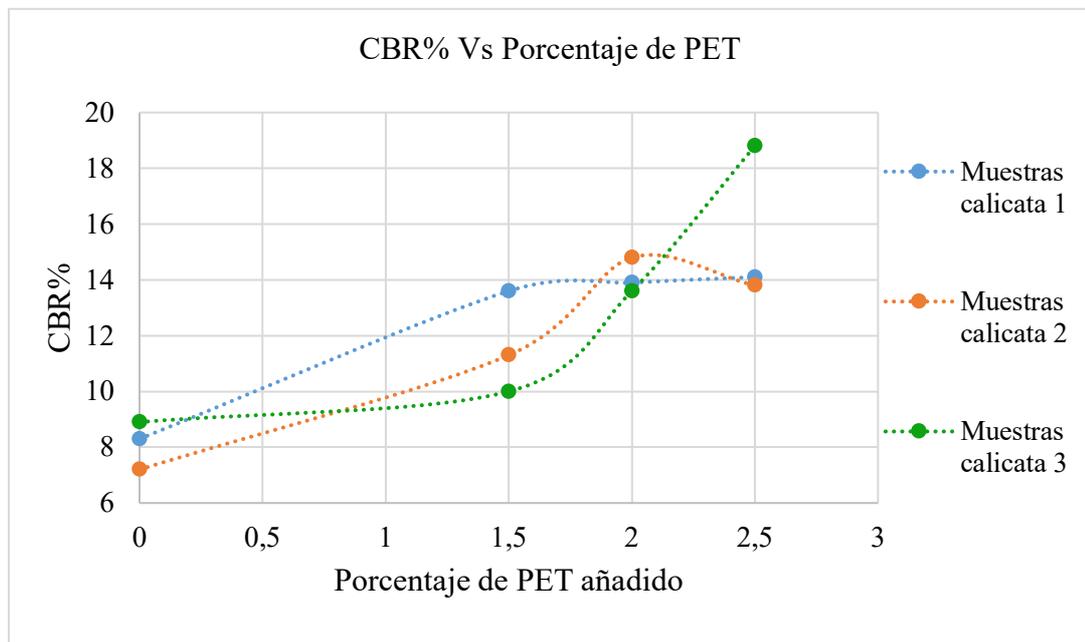
Calicata	CBR%				CBR Mayor
	Muestra natral	Adición de 1,5% PET	Adición de 2% PET	Adición de 2,5% PET	
1	8,3	13,6	13,9	14,1	14,1
2	7,2	11,3	14,8	13,8	14,8
3	8,9	10,0	13,6	18,8	18,8

Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

Los resultados obtenidos en el ensayo de CBR, que se pueden observar en las tablas 16 y 17, complementándose con la figura 36 evidencian que la adición de plástico PET al material arcilloso incrementa los porcentajes de CBR; observando que el incremento inicial pasa de 8,3% a 13,6% en la primera calicata, de 7,2% a 11,3% en la segunda calicata y de 8,9% a 10,0% en la tercera calicata con la adición del 1,5% de tereftalato de polietileno (PET), siendo la primera calicata la que obtiene un mayor incremento inicial.

Los porcentajes de CBR inicial, según los datos de la tabla 1 se califican como regular, empleándolos en la conformación de subrasantes de calidad mala según la clasificación de la figura 5, debido a que presentan valores menores al 10%; los porcentajes de CBR final se clasifican como regulares y pueden ser parte de la conformación de sub – bases y subrasantes de calidad regular a buena, ya que presentan valores de CBR entre el 10% y 20%

Figura 36 Relación entre el CBR% y el porcentaje de PET añadido

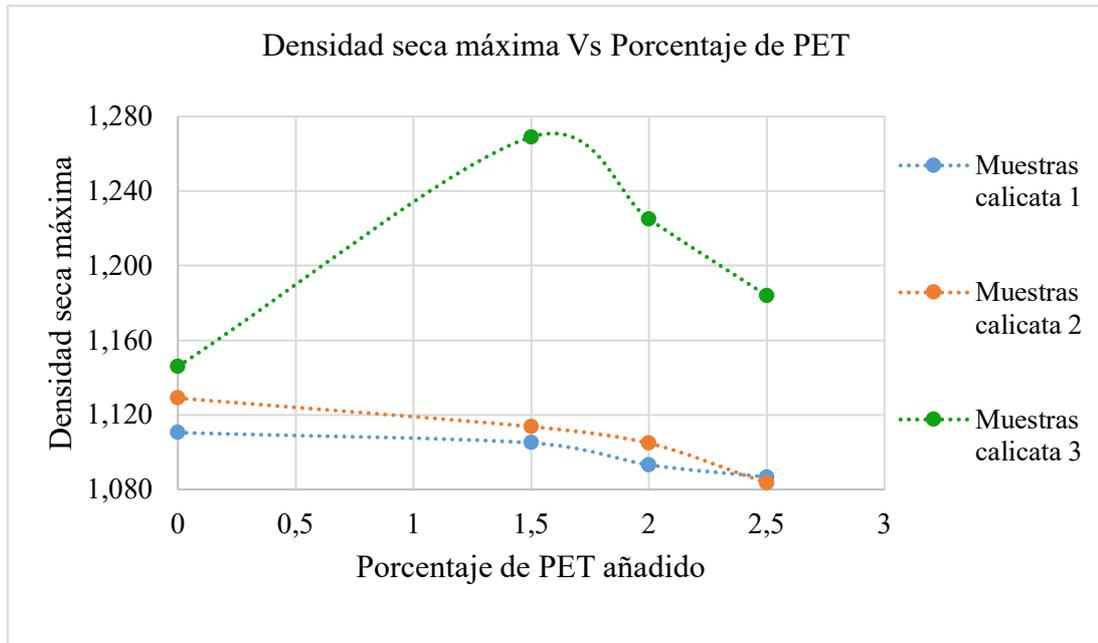


Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

Se observa un mayor incremento en los resultados de CBR de la tercera calicata, pasando de 8,9% a 18,8% con la combinación del 2,5% de PET al material arcilloso, comprobando de esta forma que se ha producido un mejoramiento de suelo debido a que las muestras de suelo alteradas con partículas de tereftalato de polietileno (PET)

pueden soportar cargas mayores, permitiendo que se puedan emplear en la conformación de estructuras viales de mayor importancia en la red vial nacional del Ecuador.

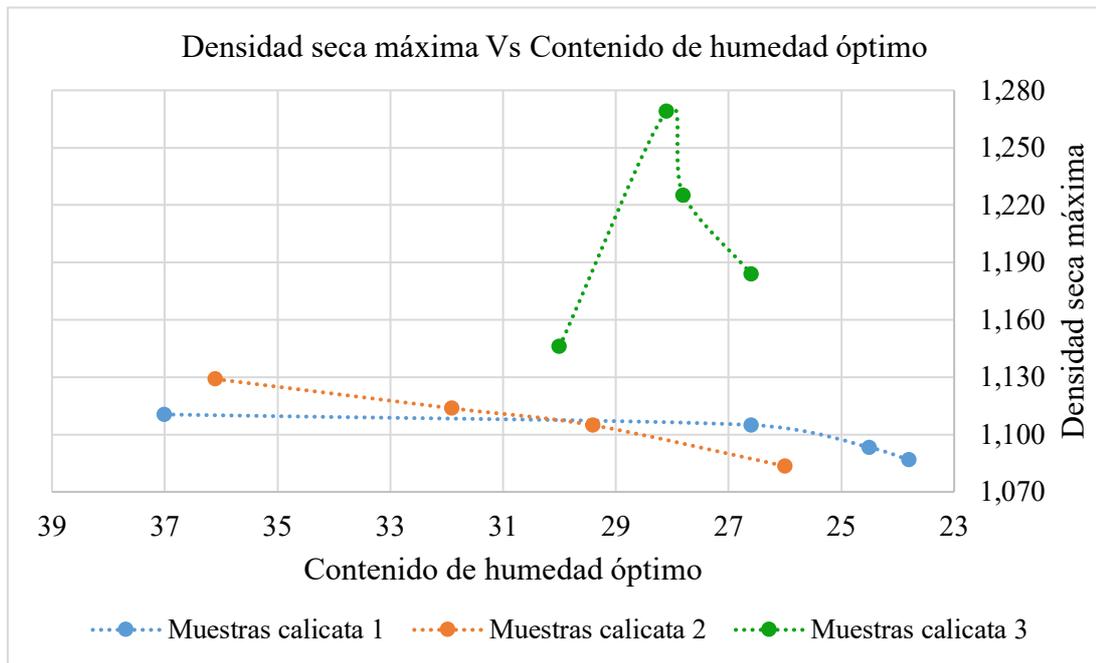
Figura 37 Relación entre la densidad seca máxima y el porcentaje de PET añadido



Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

Se observa en la figura 37 que en las muestras que pertenecen a las calicatas 1 y 2 la densidad seca máxima disminuye al agregar porcentajes mayores de partículas de tereftalato de polietileno (PET), observando que la adición inicial de 0% a 1,5% presenta una mayor reducción de la densidad seca máxima; las muestras de la tercera calicata presentan valores mayores en comparación con las 2 anteriores, observando un incremento en la densidad seca máxima al agregar 1,5% de partículas PET a las muestras naturales, pero al agregar cantidades mayores estos valores se reducen.

Figura 38 Relación entre la densidad seca máxima y el contenido de humedad óptimo



Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

Como se observa en la figura 38 se relacionó el comportamiento de la densidad seca máxima y el contenido de humedad óptimo, determinando que la reducción de las densidades se produce por la reducción del contenido de humedad óptimo que poseía la muestra natural y las muestras combinadas con partículas de tereftalato de polietileno (PET), este comportamiento se ve reflejado en las muestras de las calicatas 1 y 2; en la tercera calicata al igual que en la comparación anterior se observa un incremento en la densidad seca máxima al agregar el 1,5% de partículas PET y conforme este porcentaje crece la densidad disminuye.

Se optó por invertir los valores del eje x, permitiendo diferenciar el comportamiento de la densidad seca máxima en relación con el contenido de humedad óptimo.

3.1.4 Análisis de propiedades índice

Tabla 18 Propiedades índice

Calicata	Contenido de humedad %	Peso volumétrico de la masa de suelo	Peso volumétrico seco	Relación de vacíos	Porosidad	Grado de saturación del agua	Grado de saturación del aire	Porcentaje de PET	Gravedad específica
1	90,41	0,993	0,521	4,30	81,14	58,46	41,54	0	2,720
								1,5	2,714
								2	2,693
								2,5	2,615
2	106,04	1,063	0,516	4,43	81,59	68,18	31,82	0	2,743
								1,5	2,721
								2	2,667
								2,5	2,627
3	103,68	1,041	0,511	4,26	81,00	64,06	35,94	0	2,759
								1,5	2,727
								2	2,713
								2,5	2,702

Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

Se calcularon las propiedades índice para determinar el estado del suelo inalterado, obteniendo los resultados que se observan en la tabla 18.

Ya que el grado de saturación del agua presenta valores mayores a 50%, el peso volumétrico de la masa y la densidad seca presentan valores bajos el suelo cohesivo estudiado se encuentra en un estado de saturación parcial, por lo que es considerado como un suelo compresible e inestable, y debido a que el grado de saturación del aire presenta valores cercanos al 50% y la porosidad presenta porcentajes altos el suelo se encuentra poco consolidado, presentando grandes espacios entre sus partículas.

3.2 Diseño de la estructura de un pavimento flexible según la AASHTO 93

Para el diseño de una estructura vial, se requiere realizar un conteo vehicular de 12 horas diarias, durante 5 días entre las 7h00 am y las 7h00 pm, el cual permitirá determinar el día de mayor flujo vehicular y la hora pico. La estación de conteo se ubicó en la vía a Guapula, en el km 2 desde la Ruta Panamericana o E45

Figura 39 Desarrollo del conteo vehicular



Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

Figura 40 Registro de vehículos livianos



Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

Tabla 19 Resumen del conteo vehicular

Día	Livianos	Buses	Camiones	Maquinaria pesada	Total de vehículos	Hora Pico	N° de vehículos hora pico
1	60	7	14	25	106	8h00 - 9h00	16
2	71	9	22	33	135	7h00 - 8h00	22
3	61	5	13	31	110	7h00 - 8h00	14
4	55	6	9	28	98	7h00 - 8h00	11
5	53	9	17	27	106	7h00 - 8h00	16

Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

Tabla 20 Conteo vehicular - Hora pico

Hora	Livianos	Buses	Camiones			Maquinaria pesada	Total de vehículos	Total Hora Pico
			2 ejes	3 ejes	4 ejes	Volquetas		
7h00 - 7h15	5	1	1	0	0	1	8	22
7h15 - 7h30	2	1	0	0	0	2	5	
7h30 - 7h45	1	0	0	0	1	1	3	
7h45 - 8h00	3	0	0	1	0	2	6	
Total	11	2	1	1	1	6	22	

Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

Como se puede observar en la tabla 19 el día de mayor tráfico en la hora pico corresponde al segundo día de conteo, con un volumen de 22 vehículos por día en el horario de 7h00 a 8h00.

Cálculos

- **Factor horario de máxima demanda (FHMD) de la hora pico, para intervalos de 15 minutos**

$$FHMD = \frac{VHMD}{N * Qmáx}$$

Fuente: Las normas de diseño geométrico 2003 [22]

$$FHMD = \frac{22}{4 * 8}$$

$$FHMD = 0,69$$

En donde:

VHMD: volumen horario de máxima demanda de la hora pico

Qmáx: volumen máximo

N: Número de períodos

El cálculo del tráfico promedio diario anual TPDA permitirá determinar el tipo de vía a diseñar, su importancia y el tráfico futuro que se espera soporte la vía.

- **Volumen de tráfico a la 30^{va} hora (Tráfico actual TA)**

$$TA = \frac{\sum \text{Volumenparcial} * FHMD}{15\%}$$

Fuente: Las normas de diseño geométrico 2003 [22]

Tránsito liviano:

$$TA = \frac{11 * 0,69}{15\%}$$

$$TA = 50,6 \cong 51 \text{ veh\u00edculos}$$

Buses:

$$TA = \frac{2 * 0,69}{15\%}$$

$$TA = 9,2 \cong 9 \text{ veh\u00edculos}$$

Camiones de 2 ejes:

$$TA = \frac{1 * 0,69}{15\%}$$

$$TA = 4,6 \cong 5 \text{ veh\u00edculos}$$

Camiones de 3 ejes:

$$TA = \frac{1 * 0,69}{15\%}$$

$$TA = 4,6 \cong 5 \text{ veh\u00edculos}$$

Camiones de 4 ejes:

$$TA = \frac{1 * 0,69}{15\%}$$

$$TA = 4,6 \cong 5 \text{ veh\u00edculos}$$

Maquinaria pesada, volquetas

$$TA = \frac{6 * 0,69}{15\%}$$

$$TA = 27,6 \cong 28 \text{ veh\u00edculos}$$

Tr\u00e1fico actual

$$TA = \sum TA \text{ parciales}$$

$$TA = 51 + 9 + 5 + 5 + 5 + 28$$

$$TA = 103 \text{ veh\u00edculos}$$

Tabla 21 Cálculo del tráfico actual

TA						
Livianos	Buses	Camiones			Maquinaria pesada	Total de vehículos
		2 ejes	3 ejes	4 ejes	Volquetas	
51	9	5	5	5	28	103

Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

Tráfico actual en el primer año (TA1a)

Tabla 22 Índice de incremento vehicular (%)

Período	Livianos	Buses	Camiones
2011-2016	5,53	2,7	2,7
2017-2021	4,2	2,7	2,7
2022-2031	3,22	2,7	2,7
2032-2041	3,22	2,7	2,7

Fuente: Estudios para realizar el mejoramiento de la carretera 9 de octubre - Macas, con una longitud aproximada de 26 Km, ubicada en la provincia de Morona Santiago [34]

$$TA1a = TA * (1 + i)^n$$

Fuente: Las normas de diseño geométrico 2003 [22]

En donde

n: número de años proyectados

i: tasa de incremento del tráfico

Tránsito liviano:

$$TA1a = 51 * (1 + 0,042)^1$$

$$TA1a = 53,142 \cong 53 \text{ veh\u00edculos}$$

Buses:

$$TA1a = 9 * (1 + 0,027)^1$$

$$TA1a = 9,243 \cong 9 \text{ veh\u00edculos}$$

Camiones 2 ejes:

$$TA1a = 5 * (1 + 0,027)^1$$

$$TA1a = 5,135 \cong 5 \text{ veh\u00edculos}$$

Camiones 3 ejes:

$$TA1a = 5 * (1 + 0,027)^1$$

$$TA1a = 5,135 \cong 5 \text{ veh\u00edculos}$$

Camiones 4 ejes:

$$TA1a = 5 * (1 + 0,027)^1$$

$$TA1a = 5,135 \cong 5 \text{ veh\u00edculos}$$

Maquinaria pesada, volquetas

$$TA1a = 28 * (1 + 0,027)^1$$

$$TA1a = 28,756 \cong 29 \text{ veh\u00edculos}$$

Tr\u00e1fico actual en el primer a\u00f1o

$$TA1a = \sum TA1a \text{ parciales}$$

$$TA1a = 53 + 9 + 5 + 5 + 5 + 29$$

$$TA1a = 106 \text{ veh\u00edculos}$$

Tabla 23 Tráfico actual en el primer año

TA1a						
Livianos	Buses	Camiones			Maquinaria pesada	Total de vehículos
		2 ejes	3 ejes	4 ejes	Volquetas	
53	9	5	5	5	29	106

Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

- **Tráfico generado (TG)**

$$TG = TA1a * 20\%$$

Fuente: Las normas de diseño geométrico 2003 [22]

Tránsito liviano:

$$TG = 53 * 20\%$$

$$TG = 10,6 \cong 11 \text{ veh\u00edculos}$$

Buses:

$$TG = 9 * 20\%$$

$$TG = 1,8 \cong 2 \text{ veh\u00edculos}$$

Camiones 2 ejes:

$$TG = 5 * 20\%$$

$$TG = 1 \text{ veh\u00edculo}$$

Camiones 3 ejes:

$$TG = 5 * 20\%$$

$$TG = 1 \text{ veh\u00edculo}$$

Camiones 4 ejes:

$$TG = 5 * 20\%$$

$$TG = 1 \text{ veh\u00edculo}$$

Maquinaria pesada, volquetas

$$TG = 29 * 20\%$$

$$TG = 5,8 \cong 6 \text{ veh\u00edculos}$$

Tr\u00e1fico generado

$$TG = \sum TG \text{ parciales}$$

$$TG = 11+2+1+1+1+6$$

$$TG = 22 \text{ veh\u00edculos}$$

Tabla 24 Tr\u00e1fico generado

TG						
Livianos	Buses	Camiones			Maquinaria pesada	Total de veh\u00edculos
		2 ejes	3 ejes	4 ejes	Volquetas	
11	2	1	1	1	6	22

Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

- Tr\u00e1fico atra\u00eddo (TAt)

$$TAt = TA1a * 10\%$$

Fuente: Las normas de dise\u00f1o geom\u00e9trico 2003 [22]

Tr\u00e1nsito liviano:

$$TAt = 53 * 10\%$$

$$TAt = 5,3 \cong 5 \text{ veh\u00edculos}$$

Buses:

$$TAt = 9 * 10\%$$

$$TAt = 0,9 \cong 1 \text{ veh\u00edculo}$$

Camiones 2 ejes:

$$TAt = 5 * 10\%$$

$$TAt = 0,5 \cong 1 \text{ veh\u00edculo}$$

Camiones 3 ejes:

$$TAt = 5 * 10\%$$

$$TAt = 0,5 \cong 1 \text{ veh\u00edculo}$$

Camiones 4 ejes:

$$TAt = 5 * 10\%$$

$$TAt = 0,5 \cong 1 \text{ veh\u00edculo}$$

Maquinaria pesada, volquetas

$$TAt = 29 * 10\%$$

$$TA1a = 2,9 \cong 3 \text{ veh\u00edculos}$$

Tr\u00e1fico atra\u00eddo

$$TAt = \sum TAt \text{ parciales}$$

$$TAt = 5 + 1 + 1 + 1 + 1 + 3$$

$$TAt = 12$$

Tabla 25 Tráfico atraído

TAt						
Livianos	Buses	Camiones			Maquinaria pesada	Total de vehículos
		2 ejes	3 ejes	4 ejes	Volquetas	
5	1	1	1	1	3	12

Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

- **Tráfico desarrollado (TD)**

$$TD = TA1a * 5\%$$

Fuente: Las normas de diseño geométrico 2003 [22]

Tránsito liviano:

$$TD = 53 * 5\%$$

$$TD = 2,65 \cong 3 \text{ veh\u00edculos}$$

Buses:

$$TD = 9 * 5\%$$

$$TD = 0,45 \cong 1 \text{ veh\u00edculo}$$

Camiones 2 ejes:

$$TD = 5 * 5\%$$

$$TD = 0,25 \cong 1 \text{ veh\u00edculo}$$

Camiones 3 ejes:

$$TD = 5 * 5\%$$

$$TD = 0,25 \cong 1 \text{ veh\u00edculo}$$

Camiones 4 ejes:

$$TD = 5 * 5\%$$

$$TD = 0,25 \cong 1 \text{ veh\u00edculo}$$

Maquinaria pesada, volquetas

$$TD = 29 * 5\%$$

$$TA1a = 1,45 \cong 2 \text{ veh\u00edculos}$$

Tr\u00e1fico desarrollado

$$TD = \sum TD \text{ parciales}$$

$$TD = 3 + 1 + 1 + 1 + 1 + 2$$

$$TD = 9 \text{ veh\u00edculos}$$

Tabla 26 Tr\u00e1fico desarrollado

TD						
Livianos	Buses	Camiones			Maquinaria pesada	Total de veh\u00edculos
		2 ejes	3 ejes	4 ejes	Volquetas	
3	1	1	1	1	2	9

Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

Tabla 27 Resumen del tr\u00e1fico calculado

Condici\u00f3n	Livianos	Buses	Camiones			Maquinaria pesada	Total de veh\u00edculos
			2 ejes	3 ejes	4 ejes	Volquetas	
TA	51	9	5	5	5	28	103
TA1a	53	9	5	5	5	29	106
TG	11	2	1	1	1	6	22
TAt	5	1	1	1	1	3	12
TD	3	1	1	1	1	2	9
Total	72	13	8	8	8	40	149

Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

- **Selección de período de diseño**

Tabla 28 Período de diseño

Tipo de camino	Período de análisis (años)
Gran volumen de tránsito urbano	30 – 50
Gran volumen de tránsito rural	20 – 50
Bajo volumen pavimentado	15 - 25

Fuente: Diseño de Pavimentos – AASHTO 93 [19]

En el documento Diseño de Pavimentos – AASHTO 93 se presenta el período de diseño según las características de la vía en estudio, seleccionando la categoría como bajo volumen pavimentado, con un rango de 15 a 25 años, tomando el período de diseño de 20 años.

- Tráfico proyectado a 20 años

Tabla 29 Tráfico proyectado a 20 años

Año	Índice de incremento vehicular (%)			TPDA						
	Livianos	Buses	Camiones	Livianos	Buses	Camiones			Volquetas	Total
						2 ejes	3 ejes	4 ejes		
2021	4,2	2,7	2,7	72	13	8	8	8	40	149
2022	3,22	2,7	2,7	77	14	8	8	8	42	157
2023	3,22	2,7	2,7	79	14	9	9	9	43	163
2024	3,22	2,7	2,7	82	14	9	9	9	45	168
2025	3,22	2,7	2,7	84	15	9	9	9	46	172
2026	3,22	2,7	2,7	87	15	9	9	9	47	176
2027	3,22	2,7	2,7	90	16	10	10	10	48	184
2028	3,22	2,7	2,7	93	16	10	10	10	50	189
2029	3,22	2,7	2,7	96	17	10	10	10	51	194
2030	3,22	2,7	2,7	99	17	10	10	10	52	198
2031	3,22	2,7	2,7	102	17	11	11	11	54	206
2032	3,22	2,7	2,7	105	18	11	11	11	55	211
2033	3,22	2,7	2,7	109	18	11	11	11	57	217
2034	3,22	2,7	2,7	112	19	12	12	12	58	225
2035	3,22	2,7	2,7	116	10	12	12	12	60	222
2036	3,22	2,7	2,7	120	20	12	12	12	61	237
2037	3,22	2,7	2,7	123	20	13	13	13	63	245
2038	3,22	2,7	2,7	127	21	13	13	13	65	252
2039	3,22	2,7	2,7	131	22	13	13	13	66	258
2040	3,22	2,7	2,7	136	22	14	14	14	68	268
2041	3,22	2,7	2,7	140	23	14	14	14	70	275

Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

- **Factor de daño (FD)**

Este factor permitirá calcular el daño ocasionado por el transitar de los vehículos, al igual que da paso al cálculo del eje equivalente W18.

La tabla 30 Factor de daño de la vía se desarrolló a partir de los vehículos observados durante el conteo vehicular y los valores de carga por eje se obtuvieron del manual NEVI – 12, Volumen N° 2 – Libro A “Norma para estudios y diseños viales”

Tabla 30 Factor de daño de la vía

Tipo	Simple		Simple doble		Tandem		Tridem		Factor de daño (FD)
	P (Tn)	$(\frac{P}{6,6})^4$	P (Tn)	$(\frac{P}{8,2})^4$	P (Tn)	$(\frac{P}{15})^4$	P (Tn)	$(\frac{P}{23})^4$	
A	3	0,04							0,04
B	4	0,13	8	0,91					1,04
C-2M (2DA)	3	0,04	7	0,53					0,57
C-3 (3-A)	7	1,27			20	3,16			4,43
C-4 (4-C)	7	1,27					24	1,19	2,45
V2DB	7	1,27	11	3,24					4,50

Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

Fuente: Norma para estudios y diseños viales, NEVI – 12 [35]

&Pavimentos, texto guía [36]

En donde:

A: Representa a motocicletas y automóviles

B: Representa a buses y busetas

C: Representa a camiones [36]

C-2M (2DA): Camión de 2 ejes mediano

C-3 (3-A): Camión de 3 ejes

C-4 (4-C): Camión de 4 ejes

V2DB: Volqueta de 2 ejes [35]

- **Ejes equivalentes W18**

El cálculo de los ejes equivalentes busca convertir el volumen vehicular del período de diseño al peso que soportaría la estructura vial; para lo que se usan ejes capaces de soportar cargas de 18 kips u 8,2 Tn.

$$W18 = \sum(TPDA * 365 * FD)$$

Fuente: Pavimentos, texto guía [36]

- **Factor de distribución por carril D_L**

Tabla 31 Factor de distribución por carril D_L

Número de carriles en cada dirección	W18 por carril D_L
1	1,00
2	0,80 – 1,00
3	0,60 – 0,80
4 o más	0,50 – 0,75

Fuente: Diseño de pavimento método - AASHTO 93 [19]

El factor de distribución por carril de la vía a Guapula, perteneciente a la parroquia Sevilla Don Bosco es de 1,00 o el 100%, debido a que la vía tiene un carril en cada dirección.

Tabla 32 Ejes equivalentes W18

Año	Índice de incremento vehicular (%)			TPDA							W18		
	Livianos	Buses	Camiones	Livianos	Buses	Camiones			Volquetas	Total	Por año	Acumulado	De diseño
						2 ejes	3 ejes	4 ejes					
2021	4,2	2,7	2,7	72	13	8	8	8	40	149	93570	93570	46785
2022	3,22	2,7	2,7	77	14	8	8	8	42	157	97315	190885	95443
2023	3,22	2,7	2,7	79	14	9	9	9	43	163	101710	292595	146298
2024	3,22	2,7	2,7	82	14	9	9	9	45	168	105044	397639	198820
2025	3,22	2,7	2,7	84	15	9	9	9	46	172	107099	504738	252369
2026	3,22	2,7	2,7	87	15	9	9	9	47	176	108790	613528	306764
2027	3,22	2,7	2,7	90	16	10	10	10	48	184	113580	727108	363554
2028	3,22	2,7	2,7	93	16	10	10	10	50	189	116914	844022	422011
2029	3,22	2,7	2,7	96	17	10	10	10	51	194	118984	963006	481503
2030	3,22	2,7	2,7	99	17	10	10	10	52	198	120675	1083681	541841
2031	3,22	2,7	2,7	102	17	11	11	11	54	206	126729	1210410	605205
2032	3,22	2,7	2,7	105	18	11	11	11	55	211	128799	1339209	669605
2033	3,22	2,7	2,7	109	18	11	11	11	57	217	132149	1471358	735679
2034	3,22	2,7	2,7	112	19	12	12	12	58	225	136939	1608297	804149
2035	3,22	2,7	2,7	116	10	12	12	12	60	222	136870	1745167	872584
2036	3,22	2,7	2,7	120	20	12	12	12	61	237	142375	1887542	943771
2037	3,22	2,7	2,7	123	20	13	13	13	63	245	148429	2035971	1017986
2038	3,22	2,7	2,7	127	21	13	13	13	65	252	152159	2188130	1094065
2039	3,22	2,7	2,7	131	22	13	13	13	66	258	154245	2342375	1171188
2040	3,22	2,7	2,7	136	22	14	14	14	68	268	160330	2502705	1251353
2041	3,22	2,7	2,7	140	23	14	14	14	70	275	164060	2666765	1333383

Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

- **Clasificación de la vía según el TPDA**

Tabla 33 Clasificación de la vía según el TPDA

Clase de Carretera	Tráfico proyectado TPDA
R-I o R-II	Más de 8000
I	De 3000 a 8000
II	De 1000 a 3000
III	De 300 a 1000
IV	De 100 a 300
V	Menos de 100

El TPDA indicado es el volumen de tráfico promedio diario anual proyectado a 15 o 20 años. Cuando el pronóstico de tráfico para el año 10 sobrepasa los 7000 vehículos debe investigarse la posibilidad de construir una autopista. Para la determinación de la capacidad de una carretera, cuando se efectúa el diseño definitivo, debe usarse tráfico en vehículos equivalentes.

Fuente: Las normas de diseño geométrico 2003 [22]

Tabla 34 Relación Función - Clase - TPDA

Función	Clase de carretera (según MOP)	TPDA (año final de diseño)
Corredor arterial	RI – RII	> 8000
Corredor arterial – Colectora	I	3000 - 8000
Corredor arterial – Colectora	II	1000 - 3000
Colectora	III	300 - 1000
Colectora - Vecinal	IV	100 - 300
Vecinal	V	< 100

Fuente: Las normas de diseño geométrico 2003 [22]

La vía a Guapula al obtener un TPDA de diseño de 275 vehículos por día clasifica como una carretera tipo IV y una colectora vecinal según la clasificación otorgada por el MOP.

- **Confiabilidad R**

Tabla 35 Confiabilidad R

Tipo de camino	Confiabilidad recomendada	
	Zona Urbana	Zona Rural
Rutas interestatales y autopistas	85 – 99,9	80 – 99,9
Arterias principales	80 - 99	75 - 99
Colectoras	80 – 95	75 – 95
Locales	50 - 80	50 - 80

Fuente: Diseño de pavimento método AASHTO 93 [19]

La confiabilidad de la vía a Guapula es de 70, ya que es un camino vecinal o local y pertenece a una zona rural.

- **Desviación estándar normal Z_R**

Tabla 36 Desviación estándar normal Z_R

Confiabilidad R, %	Desviación estándar normal Z_R
50	0,000
60	-0,253
70	-0,524
75	-0,674
80	-0,841
85	-1,037
90	-1,282
91	-1,340
92	-1,405
93	-1,476
94	-1,555
95	-1,645
96	-1,751
97	-1,881
98	-2,054

99	-2,327
99,9	-3,090
99,99	-3,750

Fuente: Diseño de pavimento método AASHTO 93 [19]

Al tener una confiabilidad del 70%, el resultado de la desviación normal es de -0,524.

- **Desviación estándar global S_o**

El diseño de la vía pertenece a un pavimento flexible, por lo que la desviación estándar global debe encontrarse entre 0,40 y 0,50; usando 0,45 como lo recomienda la norma.

- **Índice de Serviciabilidad (PSI)**

$$\Delta PSI = PSI_o - PSI_f$$

Fuente: Pavimentos, texto guía [36]

En dónde:

ΔPSI : Variación de Serviciabilidad

PSI_o : Índice de Serviciabilidad inicial

PSI_f : Índice de Serviciabilidad final

Los valores recomendados según la norma AASHTO, de índice de serviciabilidad inicial para pavimentos flexibles es de 4,2 e índice de serviciabilidad final para caminos secundarios es de 2,0.

$$\Delta PSI = 4,2 - 2,0$$

$$\Delta PSI = 2,2$$

- **Módulo de resiliencia**

Tabla 37 Módulo de resiliencia Mr según el CBR

Muestra natural, punto 3	Muestra con adición del 2,5% de PET, punto 3
CBR = 8,9	CBR = 18,8
$Mr = 1500 * CBR$	$Mr = 3000 * CBR^{0,65}$
$Mr = 1500 * 8,9$	$Mr = 3000 * 18,8^{0,65}$
Mr = 13350	Mr = 20198,72
Mr = 13,35 Ksi	Mr = 20,20 Ksi

Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

Fuente Diseño de pavimento método AASHTO 93 [19]

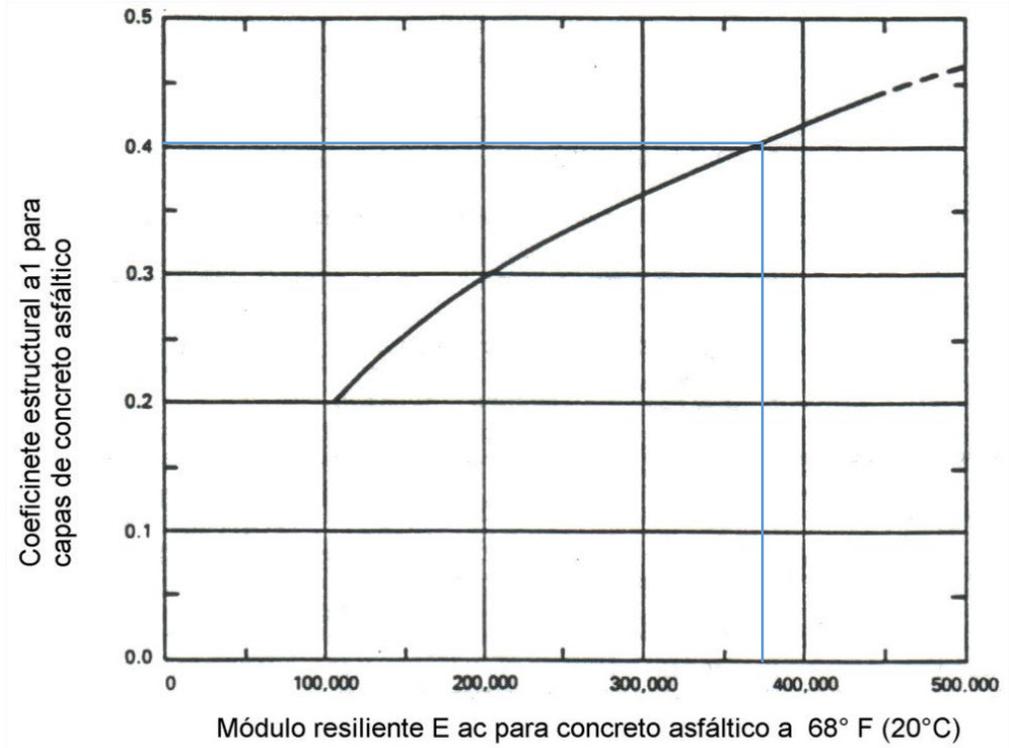
Las fórmulas de Módulo de resiliencia según el CBR empleado en el diseño de la estructura vial se recuperaron del libro “Diseño de pavimento método AASHTO 93”.

- **Coefficientes estructurales**

Debido a que el cálculo de CBR% está enfocado en el diseño de subrasante, se requieren los valores de CBR% correspondientes a base y sub-base, para continuar con el cálculo de los espesores de la estructura vial. Por lo que se tomará un valor de CBR% de 80 para base y CBR% de 20 para sub-base; al igual que 375000 PSI como módulo de elasticidad de la capa asfáltica. [36]

- **Coefficiente estructural a1**

Figura 41 Coeficiente estructural de capas asfálticas en función del módulo resiliente

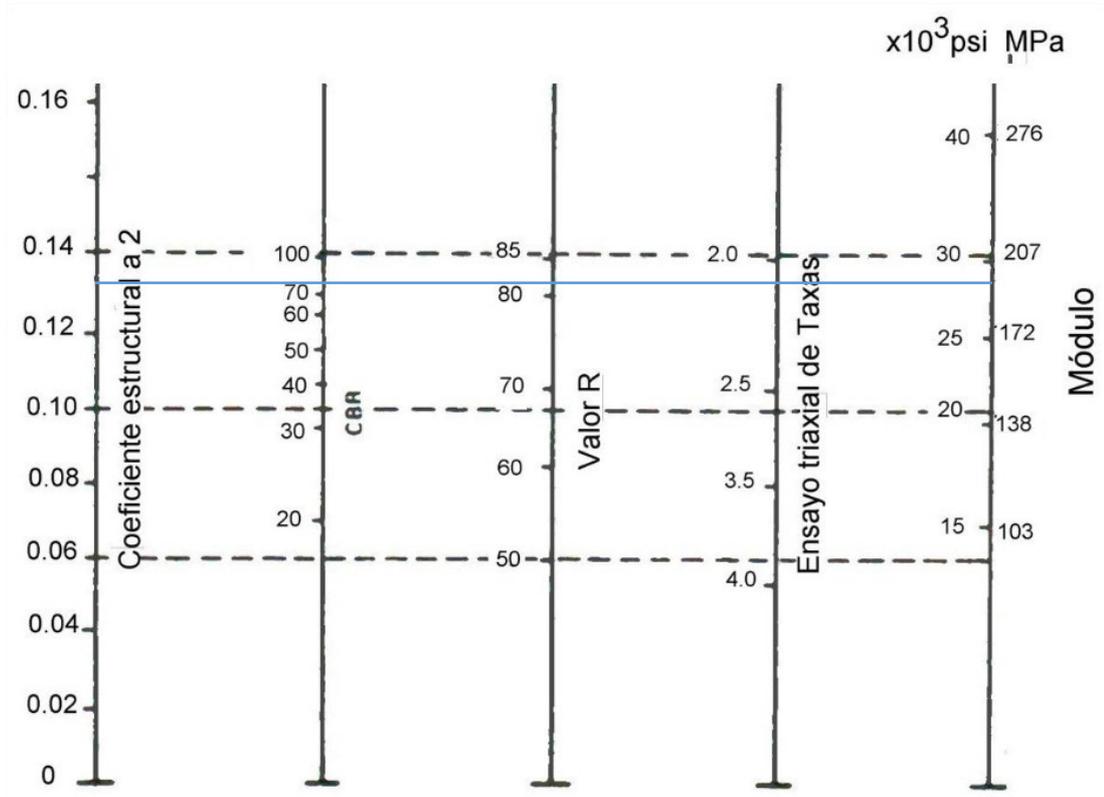


Fuente: Diseño de pavimento método AASHTO 93 [19]

Según la figura 41 que emplea el módulo de elasticidad de la capa asfáltica para determinar el coeficiente estructural a_1 se obtiene un valor de 0,403

○ **Coefficiente estructural a2**

Figura 42 Relación entre el coeficiente estructural para base granular y distintos parámetros resistentes

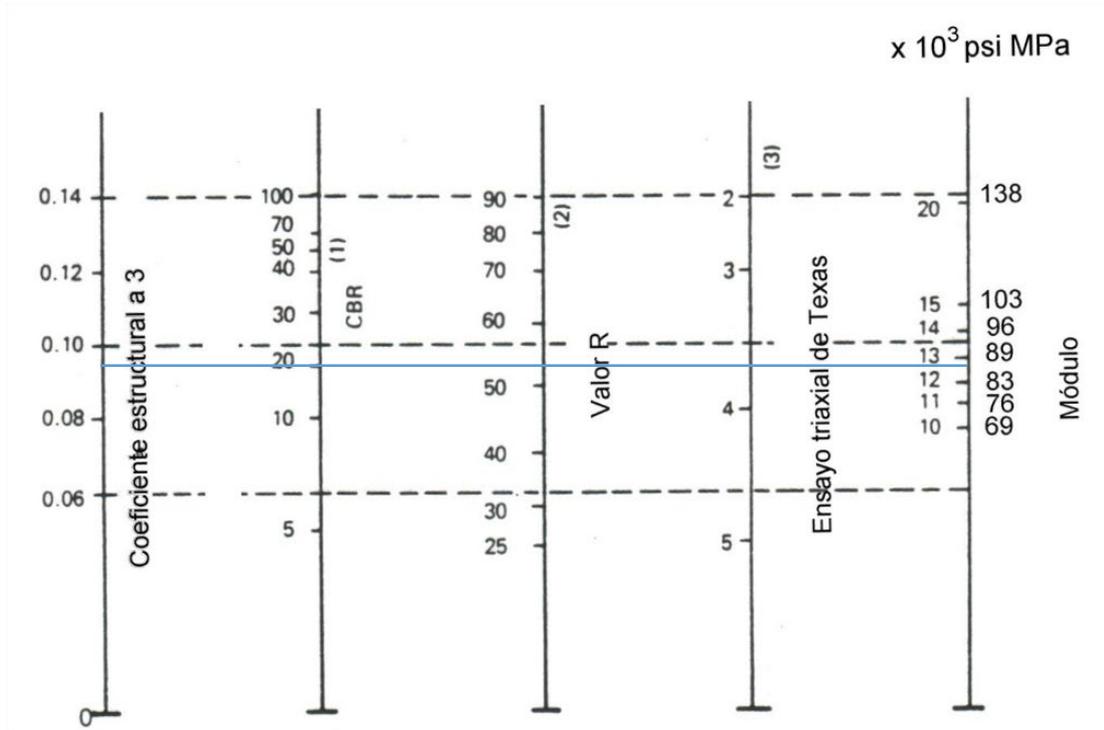


Fuente: Diseño de pavimento método AASHTO 93 [19]

Según los resultados obtenidos en el gráfico, para un CBR% de 80, perteneciente a la base, se obtienen valores para a_2 de 0,132 y para el módulo de resiliencia M_r de 28,5 KSI

○ **Coefficiente estructural a3**

Figura 43 Relación entre el coeficiente estructural para sub - base granular y distintos parámetros resistentes



Fuente: Diseño de pavimento método AASHTO 93 [19]

Según los resultados obtenidos en el gráfico, para un CBR% de 20, perteneciente a la sub - base, se obtienen valores para a3 de 0,095 y para el módulo de resiliencia Mr de 12,6 KSI

- **Coefficiente de drenaje**

De la capacidad de drenaje del material depende la capacidad portante de la subrasante, cuando el drenaje es alto, la capacidad portante también es alta, permitiendo que los espesores de las capas superiores sean menores. Diseño de pavimento método AASHTO 93

Tabla 38 Tiempos de drenaje

Calidad de drenaje	50% de saturación en	80% 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	Más de 10 horas
Muy pobre	El agua no drena	Mucho más de 10 horas

Fuente: Diseño de pavimento método AASHTO 93 [19]

Tabla 39 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 pavimento método AASHTO 93 [19]

El suelo estudiado tiene una calidad de drenaje regular, con un coeficiente de drenaje m_2 y m_3 de 0,9.

- **Número estructural (SN)**

Para el cálculo del número estructural se empleará el software “Ecuación AASHTO 93”, el cual fue facilitado por el Ingeniero Fricson Moreira en la materia de Pavimentos, en el desarrollo de octavo semestre de la carrera de Ingeniería Civil; en este software se aplicarán los parámetros calculados anteriormente.

El software “Ecuación AASHTO 93” está basado en la ecuación que propone la AASHTO 93:

$$\log W_{18} = Z_r S_0 + 9,36 \log(SN + 1) - 0,20 + \frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4,2 - 1,5}\right)}{0,40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5,19}}} + 2,32 * \log(M_r) - 8,07$$

Fuente: Diseño de pavimento método AASHTO 93 [19]

En dónde:

W_{18} = ejes equivalentes de diseño o número de aplicaciones de cargas de 80 KN

Z_r = Desviación estándar normal

S_0 = Desviación estándar global

SN = Número Estructural

ΔPSI = Índice de Serviciabilidad

M_r = Módulo de resiliencia [19]

- **Número estructural (SN) para un CBR% de 8,9 y Mr de 13350**

Figura 44 Cálculo de SN para CBR% de 8,9

The screenshot shows the 'Ecuación AASHTO 93' software window. It is divided into several sections for inputting design parameters:

- Tipo de Pavimento:** Radio buttons for 'Pavimento flexible' (selected) and 'Pavimento rígido'.
- Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So):** A dropdown menu set to '70 % Zr=-0.524' 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' (2.0).
- Módulo resiliente de la subrasante:** A text box for 'Mr' with the value '13350' and the unit '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'. A text box shows 'W18 = 1333383'.
- Número Estructural:** A large text box displays the result 'SN = 2.51'.

At the bottom, there are two buttons: 'Calcular' and 'Salir'.

Fuente: Diseño de pavimento método AASHTO 93 [19]

Se obtiene un número estructural de 2,51 para la muestra de CBR% de 8,9

- **Número estructural (SN) para un CBR% de 18,8 y Mr de 20198,72**

Figura 45 Cálculo de SN para CBR% de 18,8

The screenshot shows the 'Ecuación AASHTO 93' software window. It is divided into several sections for input and output:

- Tipo de Pavimento:** Radio buttons for 'Pavimento flexible' (selected) and 'Pavimento rígido'.
- Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So):** A dropdown menu set to '70 % Zr=-0.524' 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' (2.0).
- Módulo resiliente de la subrasante:** A text box for 'Mr' with the value '20198.72' and the unit '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'. The 'Calcular SN' option shows 'W18 = 1333383'.
- Número Estructural:** A large text box showing 'SN = 2.16'.
- Buttons:** 'Calcular' and 'Salir' buttons at the bottom.

Fuente: Diseño de pavimento método AASHTO 93 [19]

Se obtiene un número estructural de 2,16 para la muestra analizada con un CBR% de 18,8%

- **Cálculo de la estructura del pavimento flexible**

Primero se deben revisar los espesores mínimos para la carpeta asfáltica D1 y para la base D2 en función del W18

Tabla 40 Espesores mínimos D1 y D2

W18	Concreto asfáltico, D1	Base, D2
< 50000	2,5 cm	10,0 cm
50001 – 150000	5,0 cm	10,0 cm
150001 – 500000	6,5 cm	10,0 cm
500001 – 2000000	7,5 cm	15,0 cm
2000001 - 7000000	9,0 cm	15,0 cm
>7000000	10,0 cm	15,0 cm

Fuente: Diseño de pavimento método AASHTO 93 [19]

Ya que el W18 de diseño de la vía es de 1333383, los espesores mínimos son 7,5 cm para la carpeta asfáltica y 15,0 cm para la base.

○ **Espesores para un CBR% de 8,9**

Tabla 41 Diseño de un pavimento flexible para muestra natural

DATOS DE ENTRADA :			
1. CARACTERISTICAS DE MATERIALES			DATOS
A. MODULO DE ELASTICIDAD DE LA MEZCLA ASFALTICA (ksi)			375,00
B. MODULO DE ELASTICIDAD DE LA BASE GRANULAR (ksi)			28,50
C. MODULO DE ELASTICIDAD DE LA SUB-BASE (ksi)			12,60
2. DATOS DE TRAFICO Y PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE			
A. NUMERO DE EJES EQUIVALENTES TOTAL (W18)			1 333 383
B. FACTOR DE CONFIABILIDAD (R)			70%
DESVIACION ESTANDAR NORMAL (Zr)			-0,524
DESVIACION ESTANDAR GLOBAL (So)			0,45
C. MODULO DE RESILIENCIA DE LA SUBRASANTE (Mr, ksi)			13,35
D. SERVICIABILIDAD INICIAL (pi)			4,2
E. SERVICIABILIDAD FINAL (pt)			2,0
F. PERIODO DE DISEÑO (Años)			20
3. DATOS PARA ESTRUCTURACION DEL REFUERZO			
A. COEFICIENTES ESTRUCTURALES DE CAPA			
Concreto Asfáltico Convencional (a1)			0,403
Base granular (a2)			0,132
Subbase (a3)			0,095
B. COEFICIENTES DE DRENAJE DE CAPA			
Base granular (m2)			0,900
Subbase (m3)			0,900
DATOS DE SALIDA :			
NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO TOTAL (SN _{REQ})	2,51		
NUMERO ESTRUCTURAL CARPETA ASFALTICA (SN _{CA})	1,89		
NUMERO ESTRUCTURAL BASE GRANULAR (SN _{BG})	0,68		
NUMERO ESTRUCTURAL SUB BASE (SN _{SB})	-0,06		
ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO			
		PROPUESTA	
	TEORICO	ESPESOR	SN*
ESPESOR CARPETA ASFALTICA (cm)	11,9 cm	7,5 cm	1,19
ESPESOR BASE GRANULAR (cm)	14,4 cm	15,0 cm	0,70
ESPESOR SUB BASE GRANULAR (cm)	-1,6 cm	20,0 cm	0,67
ESPESOR TOTAL (cm)		42,5 cm	2,56
DISEÑADO POR : Nancy Patricia Ocampo Guerrero			<i>fm</i>

Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

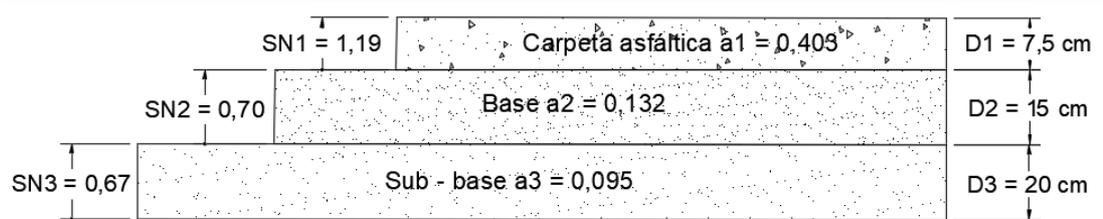
Fuente Diseño de pavimento método AASHTO 93 [19]

SN calculado \leq SN propuesto

$$2,51 \leq 2,56$$

Si cumple

Figura 46 Estructura de un pavimento flexible



Fuente: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

○ **Espesores para un CBR% de 18,8**

Tabla 42 Diseño de un pavimento flexible para muestra combinada con PET

DATOS DE ENTRADA :			
1. CARACTERISTICAS DE MATERIALES			DATOS
A. MODULO DE ELASTICIDAD DE LA MEZCLA ASFALTICA (ksi)			375,00
B. MODULO DE ELASTICIDAD DE LA BASE GRANULAR (ksi)			28,50
C. MODULO DE ELASTICIDAD DE LA SUB-BASE (ksi)			12,60
2. DATOS DE TRAFICO Y PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE			
A. NUMERO DE EJES EQUIVALENTES TOTAL (W18)			1 333 383
B. FACTOR DE CONFIABILIDAD (R)			70%
DESVIACION ESTANDAR NORMAL (Zr)			-0,524
DESVIACION ESTANDAR GLOBAL (So)			0,45
C. MODULO DE RESILIENCIA DE LA SUBRASANTE (Mr, ksi)			20,20
D. SERVICIABILIDAD INICIAL (pi)			4,2
E. SERVICIABILIDAD FINAL (pt)			2,0
F. PERIODO DE DISEÑO (Años)			20
3. DATOS PARA ESTRUCTURACION DEL REFUERZO			
A. COEFICIENTES ESTRUCTURALES DE CAPA			
Concreto Asfáltico Convencional (a ₁)			0,403
Base granular (a ₂)			0,132
Subbase (a ₃)			0,095
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})		2,16	
NUMERO ESTRUCTURAL CARPETA ASFALTICA (SN _{CA})		1,89	
NUMERO ESTRUCTURAL BASE GRANULAR (SN _{BG})		0,68	
NUMERO ESTRUCTURAL SUB BASE (SN _{SB})		-0,41	
ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO			
		PROPUESTA	
	TEORICO	ESPESOR	SN*
ESPESOR CARPETA ASFALTICA (cm)	11,9 cm	7,5 cm	1,19
ESPESOR BASE GRANULAR (cm)	14,4 cm	15,0 cm	0,70
ESPESOR SUB BASE GRANULAR (cm)	-12,0 cm	10,0 cm	0,34
ESPESOR TOTAL (cm)		32,5 cm	2,23
DISEÑADO POR : Nancy Patricia Ocampo Guerrero			<i>fm</i>

Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

Fuente Diseño de pavimento método AASHTO 93 [19]

$$SN \text{ calculado} \leq SN \text{ propuesto}$$

$$2,16 \leq 2,23$$

Si cumple

- **Cálculo del espesor de la subrasante mejorada**

En el documento “Diseño estructural de pavimentos hidráulicos y asfálticos” se detalla el procedimiento para calcular el espesor de la capa mejorada, obteniendo las siguientes fórmulas. [37]

$$E = \frac{\Delta SN}{a4 * m4}$$

$$\Delta SN = SNe - SNm$$

Fuente: Diseño estructural de pavimentos hidráulicos y asfalto [37]

En donde:

E: Espesor de capa en cm

ΔSN : Diferencia del número estructural entre los diseños

SNe : Número estructural del primer diseño

SNm : Número estructural del segundo diseño

$a4$: Coeficiente estructural para subrasante mejorada, obteniendo un valor de 0,030 ya que la subrasante es reemplazada de un CBR% de 8,9 por un CBR% de 18,8.

$m4$: Coeficiente de drenaje, se emplea el mismo valor que $m2$ y $m3$ [37]

$$\Delta SN = 2,56 - 2,23$$

$$\Delta SN = 0,33$$

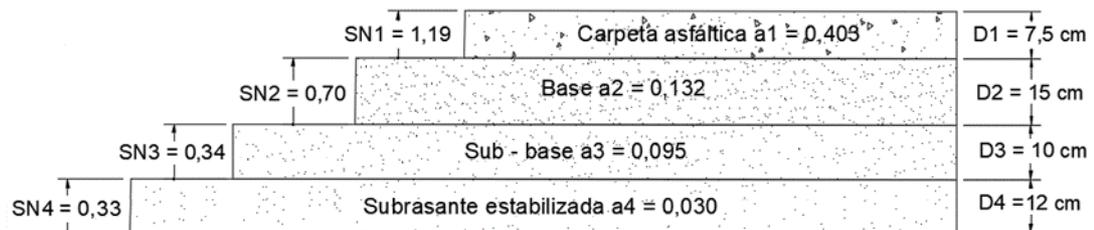
$$E = \frac{0,33}{0,030 * 0,9}$$

$$E = 12,22 \text{ cm}$$

$$E = 12 \text{ cm}$$

Se obtiene un espesor de 12 cm para la subrasante mejorada con un 2,5% de partículas de PET

Figura 47 Estructura de un pavimento flexible con subrasante mejorada



Fuente: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

- Resumen del cálculo de la estructura vial

Tabla 43 Parámetros de la estructura vial

TPDA ₂₀	275	
W18	1333383	
Tipo de carretera	IV, Colectora - Vecinal	
Confiability R	70%	
Desviación estándar normal Z _R	-0,524	
Desviación estándar global S _o	0,45	
Índice de Serviciabilidad inicial PSI _o	4,2	
Índice de Serviciabilidad final PSI _f	2,0	
Índice de Serviciabilidad ΔPSI	2,2	
CBR% Base	80	
CBR% Sub - base	20	
CBR% Subrasante	8,9	18,8
Módulo de resiliencia Mr	13,35 Ksi	20,20 Ksi
a1	0,403	
a2	0,132	

Mr	28,5	
a3	0,095	
Mr	12,6	
m2, m3	0,9	
SN calculado	2,51	2,16
Espesor carpeta asfáltica	7,50 cm	7,50 cm
Espesor base	15,00 cm	15,00 cm
Espesor sub - base	20,00 cm	10,00 cm
Espesor estructura vial	42,50 cm	32,50 cm
SN propuesto	2,56	2,23
Espesor Subrasante	12,00 cm	

Fuente: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

3.3 Verificación de hipótesis

- 3.3.1 Los valores de CBR de suelos cohesivos incrementan con la adición de tereftalato de polietileno (PET), como se observa en la tabla 17; obteniendo incrementos de 8,3% a 14,1% en la calicata 1, de 7,2% a 14,8% en la calicata 2 y de 8,9% a 18,8% en la calicata 3; observando un mejoramiento en su capacidad portante.
- 3.3.2 Se observa una disminución en los espesores de la estructura del pavimento flexible entre el diseño realizado con un CBR de 8,9% y 18,8%; obteniendo un espesor de 7,50 cm para la carpeta asfáltica que se mantiene en ambos casos, un espesor de 15,00 cm para la base en los dos análisis y una reducción de 20,00 cm a 10,00 cm en espesor de la sub – base.

CAPÍTULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Se aplicaron los ensayos descritos en la tabla 9 a las muestras de suelo cohesivo en estado natural y suelo cohesivo combinado con partículas de tereftalato de polietileno (PET), los cuales permitieron determinar las propiedades físico – mecánicas y CBR
- Según los resultados obtenidos en los límites de consistencia del suelo, aplicando los parámetros del Sistema Unificado de Clasificación de suelos (SUCS) las muestras analizadas pertenecen a un suelo CH, es decir arcillas inorgánicas de alta plasticidad y arcillas francas; al igual que aplicando los parámetros de clasificación de la AASHTO se obtiene un suelo A7-5 denominado como arcillas expansivas.
- Las muestras analizadas presentan una granulometría uniforme, debido a que la mayor parte de las partículas pertenecen a una graduación menor a 0,075 mm y los resultados de los coeficientes de uniformidad (Cu) y curvatura (Cc) presentan valores menores al mínimo. Permitiendo determinar que mediante la adición de porcentajes mayores a 2,5% o partículas más grandes de PET, es decir mayores al tamiz N°4, se puede alcanzar una correcta granulometría.
- Se obtuvieron mediante el ensayo de Proctor modificado tipo B los valores de contenido de humedad óptimo, el cual varía entre 30% y 37% para muestras naturales, al igual que varía entre 23,80% y 31,9% para muestras combinadas con partículas de tereftalato de polietileno (PET).
- Se compararon los porcentajes del grado de compactación, obteniendo 99,18% para muestras naturales y 99,91% para muestras combinadas con el 2,5% de tereftalato de polietileno (PET), observando que las muestras alteradas presentan un mejoramiento en la compactación del 0,73%.

- Se concluye que el suelo extraído de la parroquia Sevilla Don Bosco no puede ser aplicado directamente en la conformación de subrasantes después de su extracción, debido a que el contenido de humedad inicial presenta valores entre 5,98 y 9,80 veces el contenido de humedad óptimo.
- Al incrementar el porcentaje de partículas de tereftalato de polietileno (PET), se reduce la cantidad de muestra natural, disminuyendo de esta forma el contenido de humedad óptimo que requiere el suelo cohesivo en estudio para llegar a la densidad seca máxima, observando que la diferencia de contenido de humedad es mayor al incrementar el porcentaje de partículas de tereftalato de polietileno (PET), en el caso de estudio se aplicó un máximo del 2,5% de PET del peso del suelo en estado seco
- El comportamiento de la densidad seca máxima en relación con el contenido de humedad óptimo permite evidenciar que estas propiedades están relacionadas de forma directamente proporcional, ya que para conseguir densidades menores es necesario reducir el contenido de humedad óptimo, lo que a su vez se consigue incrementando los porcentajes de partículas de tereftalato de polietileno (PET).
- Se obtuvieron los porcentajes de CBR de las muestras naturales con un valor máximo de 8,9 y en muestras combinadas con partículas de tereftalato de polietileno (PET) con un valor máximo de 18,8 con una adición de 2,5% de PET, como se puede evidenciar en la tabla 16.
- Se obtuvo un TPDA proyectado a 20 años de 275 vehículos por día y un W18 de diseño de 1333383, perteneciendo a una carretera tipo IV y según la clasificación del MOP es una colectora - vecinal, cumpliendo con sus funciones de conectar a los pueblos y comunidades que no son interceptados por vías colectoras de mayor importancia o corredores arteriales
- En el diseño de la estructura vial de un pavimento flexible, para el cálculo de los coeficientes estructurales se tomó valor de CBR% de 80 para base y CBR% de 20 para sub - base.

- Se calcularon los espesores de la estructura de un pavimento flexible para un CBR de 8,9% y 18,8% para subrasante, obteniendo 7,50 cm para la carpeta asfáltica en ambos casos, 15,00 cm en el espesor de la base en los dos casos de estudio y una reducción de 10,00 cm en el espesor de la sub – base, alcanzando una reducción total de 10,00 cm en el espesor de la estructura vial.
- Mediante investigación bibliográfica se encontraron los parámetros para el cálculo del espesor de la subrasante mejorada, el cual emplea los números estructurales calculados para los valores de CBR de diseño 8,9% y 18,8%, un coeficiente estructural que dependerá del CBR de reemplazo y el coeficiente de drenaje de la vía, obteniendo un espesor de 12,00 cm.

4.2 Recomendaciones

- Se recomienda repasar la información que presentan las normas de los ensayos a realizar, preparando los equipos y materiales requeridos, para evitar inconvenientes al momento de su ejecución.
- Al extraer las muestras de suelo natural es recomendable rotular claramente cada recipiente, evitando confusiones en el traslado de las muestras al lugar de almacenamiento.
- Se recomienda contactar con la empresa encargada de triturar las botellas plásticas un mes antes de iniciar los ensayos de laboratorio, evitando retrasos en el desarrollo de éstos.
- Es recomendable verificar que los equipos y materiales que se usarán en el laboratorio de Mecánica de Suelos de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica se encuentran en óptimo estado antes y después de desarrollar los ensayos.
- Usar correctamente la máquina para el desarrollo del ensayo de CBR, evitando errores en la colocación de muestras, programación del ensayo y retiro de las muestras a analizar.
- Se recomienda revisar los espesores mínimos que establece la norma AASHTO 93 para el diseño estructural de un pavimento flexible en función del W18 de diseño

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Municipalidad Provincial Mariscal Nieto, *Conociendo los suelos de Moquegua*, 2004.
- [2] G. Ramos, «Mejoramiento de subrasantes de baja capacidad portante mediante el uso de polímeros reciclados en carreteras, Paucará Huancavelica 2014,» *Universidad Nacional del Centro de Perú*, 2014.
- [3] E. Zambrano, «Análisis del impacto económico ambiental en las industrias plásticas del Ecuador: Diseño de una planta reprocesadora de residuos plásticos PET que impulse el consumo local,» *Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil*, 2013.
- [4] M. Espinosa, «Suelos arcillosos reforzados con materiales de plástico reciclado (PET),» *Escuela de Ingeniería de Antioquía*, 2013.
- [5] M. Quispe, A. Brigitte, R. Justo y E. Josias, «Estabilización química de suelos arcillosos con cal para su uso como subrasante en vías terrestres de la localidad de Villa Rica,» *Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC)*, 2019.
- [6] A. Ortiz, «Instructivo del proceso constructivo de una vía en pavimento flexible,» *Universidad Distrital Francisco José de Caldas*, 2017.
- [7] A. García, «Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS),» *Universidad Autónoma de Querétaro*.
- [8] V. Naranjo, «Lo cotidiano está ligado a los plásticos,» *El Telégrafo*, 2020.
- [9] G. Sherwell, «Estudio del uso de Polietileno Tereftalato (PET) como material de refuerzo de estructuras térreas conformadas por suelo fino,» *Ciudad Universitaria*, 2014.
- [10] E. Gil y I. Nuñez, «Influencia de la adición de fibras de PET reciclado sobre la resistencia, cohesión y ángulo de fricción interna de suelos arcillosos aplicado a la estabilidad de taludes,» *Universidad Nacional de Trujillo*, 2018.

- [11] G. Naweck, «Plan de desarrollo y ordenamiento territorial 2014 - 2019,» *GAD Parroquial Rural, Sevilla Don Bosco*.
- [12] M. Fratelli, Suelos, Fundaciones y Muros.
- [13] E. Serrano y E. Padilla, «Análisis de los cambios en las propiedades mecánicas demateriales de subrasante por la adición de materiales polímeros reciclados,» *Ingeniería Solidaria*, 2019.
- [14] T. Fiallos, «Análisis comparativo de la estabilización de un suelo cohesivo (arcilloso) por tres métodos químicos cal, cloruro de calcio y sulfato de calcio (yeso),» *Universidad Técnica de Ambato*, 2016.
- [15] D. Hidalgo, «Análisis comparativo de los procesos de estabilización de suelo con enzimas orgánicas y suelo - cemento, aplicado a suelos arcillosos de subrasante,» *Universidad Técnica de Ambato*, 2016.
- [16] J. Bowles, Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil, McGraw - Hill.
- [17] J. Llumitasig, «Correlación entre el CBR y las propiedades índice y mecánicas en suelos granulares, de las parroquias: Constantino Fernández y Pinllo, cantón Ambato, provincia de Tungurahua,» *Universidad Técnica de Ambato*, 2020.
- [18] B. Das, Fundamentos de Ingeniería Geotécnica.
- [19] AASHTO, Diseño de Pavimentos (AASHTO - 93), 2006.
- [20] C. Crespo, Vías de comunicación. Caminos, Ferrocarriles, Aeropuertos, Puentes y Puertos, LIMUSA, 2004.
- [21] Banco de desarrollo de América Latina, Análisis de inversiones en el sector transporte terrestre interurbano latinoamericano a 2040.CAF, Ed.
- [22] ASTEC, Normas de diseño geométrico de carreteras - 2003, Quito, 2003.
- [23] R. Moll, «Bases del procedimiento para determinar la resistencia del conjunto sbbase-subrasante, para el cálculo de los espesores de reciclado con asfalto

espumado; a partir de la evaluación de la estructura existente, con el Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP),» Diciembre 2010.

- [24] Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTOPE), «Manual de construcción de pavimentos rígidos,» octubre 2012. [En línea]. Available: https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/04/LOTAIP2015_tomo_2__normas.pdf. [Último acceso: diciembre 2020].
- [25] J. Chacón, «Uso de geomateriales para reforzamiento de suelos,» *Universidad de Cuenca*, 2012.
- [26] J. Arbelaez y D. Gongora, «Refuerzo de estructuras terreas utilizando tertelato de polietileno (PET),» *Universidad de Ibagué*, 2019.
- [27] LIDEM Construcciones Mecánicas S.L, «LIDEM,» [En línea]. Available: <https://www.lidem.com/molino-triturador-compacto-para-botellas-pet/>.
- [28] RECOUP, «Envases de plástico. Diseña para reciclar,» [En línea]. Available: https://www.ecoembes.com/sites/default/files/archivos_publicaciones_empresas/guia-envases-de-plastico-disena-para-reciclar.pdf. [Último acceso: diciembre 2020].
- [29] Expertos en reciclaje de plástico, «Tipos de PET. ¿Cómo identificar las botellas de PET?,» [En línea]. Available: https://www.youtube.com/watch?v=-R_-TuiDyys. [Último acceso: diciembre 2020].
- [30] L. Reyes, «Reciclado de plástico para la agricultura,» *Centro de investigación en Química Aplicada (CIQA)*, 2008.
- [31] J. Madrigal, «Manual de plásticos para diseñadores,» *Universidad Autónoma de San Luis de Potosí*.
- [32] Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), «Información Censal,» 2010. [En línea]. Available: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/search/POBLACION+POR+SEX>

O,+SEG%C3%9AN+PROVINCIA,+PARROQUIA+Y+CANT%C3%93N+D
E+EMPADRONAMIENTO/. [Último acceso: Enero 2021].

- [33] G. Alvarado, Clasificación de suelos SUCS y AASHTO, 2019.
- [34] R. Almeida, «Estudios para realizar el mejoramiento de la carretera 9 de octubre - Macas, con una longitud aproximada de 26 Km, ubicada en la provincia de Morona Santiago,» Morona.
- [35] Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO), *Norma ecuatoriana vial NEVI - 12 MTO. Norma para estudios y diseños viales*, Vols. %1 de %22 - Libro A, Quito, 2013.
- [36] Universidad Mayor de San Simón, Facultad de Ciencias y Tecnología, Pavimentos, texto guía, 2004.
- [37] M. Montalvo Farfán, Diseño estructural de Pavimentos hidráulicos asfálticos, Lima.

ANEXOS

Anexo N°1: Registro fotográfico del desarrollo del trabajo de titulación

- Muestreo

Figura 48 Extracción de muestras de suelo natural



Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

Figura 49 Separación y rotulado de muestras



Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

- **Contenido de humedad**

Figura 50 Registro de pesos



Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

- **Granulometría**

Figura 51 Tamizado de muestras



Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

- Límite líquido

Figura 52 Ranurado de la muestra



Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

Figura 53 Conteo del número de golpes



Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

- **Límite plástico**

Figura 54 Humectación de la muestra de suelo



Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

- **Límite de contracción**

Figura 55 Colocación en capas de la muestra



Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

- **Proctor modificado tipo B**

Figura 56 Pesado de muestras



Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

Figura 57 Armado del molde de 6”



Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

Figura 58 Combinación de suelo, agua y plástico



Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

Figura 59 Compactación del suelo



Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

- **California Bearing Ratio (CBR)**

Figura 60 Selección de muestras



Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

Figura 61 Limpieza de moldes



Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

Figura 62 Compactación de muestras



Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

Figura 63 Enraizado del molde



Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

- **Gravedad específica**

Figura 64 Tomando la temperatura de la muestra



Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

- **Densidad de campo**

Figura 65 Recolección de muestras



Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

Anexo N°2: Registro de los ensayos realizados

Calicata 1 – 0% de tereftalato de polietileno (PET)

Tabla 44 Contenido de humedad, límites de Atterberg y clasificación de suelos, Calicata 1 – 0% PET

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN								
Tema: Análisis de las propiedades físico-mecánicas y CBR de suelos cohesivos de subrasante mezclados con partículas de tereftalato de polietileno (PET)								
Provincia: Morona Santiago			%PET: 0					
Cantón: Morona			Coordenadas: 823185,134; 9746849,454					
Parroquia: Sevilla Don Bosco			Realizado por: Nancy Patricia Ocampo Guerrero					
Muestra N°: 1			Revisado por: Ing. Fidel Castro					
Contenido de humedad								
Peso suelo húmedo + recipiente	80,50			84,70				
Peso suelo seco + recipiente	44,50			48,70				
Peso recipiente	30,50			34,70				
Peso del agua	36,00			36,00				
Peso de los sólidos	14,00			14,00				
Contenido de humedad	257,14			257,14				
Contenido de humedad promedio	257,14							
Límite Líquido								
Número de golpes	17		26		30		42	
Recipiente N°	75geo	79	21geo	8 ^a	66	39	20	65
Peso suelo hum. + rec.	15,50	14,70	15,10	13,90	14,90	15,10	16,20	14,20
Peso suelo seco + rec.	13,30	13,10	13,10	12,50	13,10	13,60	14,00	13,00
Peso recipiente	10,90	11,30	11,00	11,00	10,90	11,70	11,30	10,90
Peso del agua	2,20	1,60	2,00	1,40	1,80	1,50	2,20	1,20
Peso de los sólidos	2,40	1,80	2,10	1,50	2,20	1,90	2,70	2,10
W%	91,67	88,89	95,24	93,33	81,82	78,95	81,48	57,14
W% promedio	90,28		94,29		80,38		69,31	
Límite Líquido								

Límite Plástico					
Recipiente N°	14	27	29	19	31
Peso suelo hum. + rec.	29,70	26,70	40,60	29,80	28,20
Peso suelo seco + rec.	27,90	25,90	38,70	28,20	26,80
Peso recipiente	24,60	24,50	35,50	24,90	24,30
Peso del agua	1,80	0,80	1,90	1,60	1,40
Peso de los sólidos	3,30	1,40	3,20	3,30	2,50
W%	54,55	57,14	59,37	48,48	56,00
W% promedio	55,11				
Límite de Contracción					
Determinación del volumen del suelo					
N° de cápsula de contracción	16		3		
Peso de la cápsula de contracción con mercurio	285,10		270,00		
Peso de la cápsula de contracción	22,10		23,40		
Peso del mercurio	263,00		246,60		
Densidad del mercurio	13,40		13,40		
Volumen de la masa (Vm)	19,63		18,40		
Determinación del contenido de humedad del suelo					
Peso muestra húmeda + recipiente (Wm+Wr)	44,90		44,80		
Peso muestra seca + recipiente (Ws+Wr)	34,30		34,90		
Peso del agua (Ww)	10,60		9,90		
Peso del recipiente (Wr)	22,10		23,40		
Peso de la muestra seca (Ws)	12,20		11,50		
Contenido de Humedad W%	86,89		86,09		
Determinación del volumen del suelo seco moldeado					
Peso cristal Lucita lleno mercurio	751,80		751,80		
Peso cristal Lucita con desalojo mercurio	567,70		575,90		
Peso mercurio desalojado	184,10		175,90		
Densidad del mercurio	13,40		13,40		
Volumen del suelo contraído (Vo)	13,74		13,13		
Determinación del límite de contracción					
Límite de contracción %	38,62		40,21		
Límite de contracción promedio %	39,42				
Resultados					
Límite Líquido %	85,70				
Límite Plástico %	55,11				
Índice de plasticidad %	30,59				
Límite de contracción %	39,42				
Clasificación					
SUCS			AASHTO		
CH			A7-5		

Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

Tabla 45 Granulometría Calicata 1 – 0% PET

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN						
Tema: Análisis de las propiedades físico-mecánicas y CBR de suelos cohesivos de subrasante mezclados con partículas de tereftalato de polietileno (PET)						
Provincia: Morona Santiago			%PET: 0			
Cantón: Morona			Coordenadas: 823185,134; 9746849,454			
Parroquia: Sevilla Don Bosco			Realizado por: Nancy Patricia Ocampo Guerrero			
Muestra N°: 1			Revisado por: Ing. Fidel Castro			
Granulometría						
Tamaño de la muestra			1000 gr			
Tamiz	Tamaño en mm	Pesos retenidos acumulados	Peso retenido	% Retenido Acumulado	% Retenido	% Que pasa
4	4,76	0	0	0	0	100
8	2,38	0	0	0	0	100
10	2	0	0	0	0	100
16	1,18	1,1	1,1	0,11	0,11	99,89
30	0,6	4,1	3	0,41	0,3	99,59
40	0,425	17,5	13,4	1,75	1,34	98,25
50	0,3	74,8	57,3	7,48	5,73	92,52
60	0,25	119,6	44,8	11,96	4,48	88,04
100	0,15	242,1	122,5	24,21	12,25	75,79
200	0,075	376,2	134,1	37,62	13,41	62,38
Fuente	0,03	1000	623,8	100	62,38	0,00

CURVA GRANULOMÉTRICA					
D10	0,035mm	D30	0,046mm	D60	0,072mm
Cu	2,06mm	Cc	0,84mm	TNM	0,3mm

Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

Tabla 46 Gravedad específica y densidad de campo Calicata 1 – 0% PET

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN			
Tema: Análisis de las propiedades físico-mecánicas y CBR de suelos cohesivos de subrasante mezclados con partículas de tereftalato de polietileno (PET)			
Provincia: Morona Santiago	%PET: 0		
Cantón: Morona	Coordenadas: 823185,134; 9746849,454		
Parroquia: Sevilla Don Bosco	Realizado por: Nancy Patricia Ocampo Guerrero		
Muestra N°: 1	Revisado por: Ing. Fidel Castro		
Gravedad específica			
Peso picnómetro + agua (Wbw)	662,30	662,00	662,20
Peso Picnómetro + agua + suelo sumergido (Wbws)	692,60	691,90	693,40
Peso desplazamiento de agua (Dw)	19,70	20,10	18,80
Temperatura °C	19,10	19,50	20,00
Factor de corrección por temperatura K	0,998	0,998	0,998
N° de recipiente	78,00	41,00	1,00
Peso del recipiente	144,80	111,80	110,40
Peso del recipiente + suelo sumergido	669,00	629,50	636,00
Peso del recipiente + suelo seco	193,10	159,00	159,30
Peso del suelo seco (Ws)	48,30	47,20	48,90
Gravedad específica (Gs)	2,68	2,72	2,76
Gravedad específica promedio (Gs)	2,72		
Densidad de campo			
Muestra	1		
Peso de la masa de suelo + recipiente	1418,00		
Peso del recipiente	5,20		
Peso de la masa de suelo	1412,80		
Lectura inicial frasco + cono + arena	6116,60		
Lectura final frasco + cono + arena	3934,00		
Peso de arena en el cono	664,60		
Peso de arena en la muestra	853,40		
Densidad de la arena de Ottawa	1,582		
Volumen de la masa extraída	1422,83		
N° de recipiente	89B	10	
Peso Recipiente	31,40	30,00	
Peso muestra Húmeda + Rec.	92,10	147,20	
Peso muestra Seca + Recipiente	63,10	91,90	
Peso Agua	29,00	55,30	
Peso muestra Seca	31,70	61,90	
Contenido de Humedad (%)	91,48	89,34	
W% promedio	90,41		
Peso vol. de la masa de suelo	0,993		
Peso volumétrico seco	0,521		

Gráfico representativo		Volumen	Peso
Vv		49,60	-
Va		20,60	0
Vw		29,00	29,00
Vs		11,53	31,70
Vm		61,13	60,70
Relación de vacíos		4,30	
Porosidad		81,14	
Grado de saturación del agua		58,46	
Grado de saturación del aire		41,54	
Nota: Al ser un ensayo de campo, se realizó en las muestras naturales			

Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

Tabla 47 Compactación del suelo Calicata 1 – 0% PET

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN																				
Tema: Análisis de las propiedades físico-mecánicas y CBR de suelos cohesivos de subrasante mezclados con partículas de tereftalato de polietileno (PET)																				
Provincia: Morona Santiago			%PET: 0																	
Cantón: Morona			Coordenadas: 823185,134; 9746849,454																	
Parroquia: Sevilla Don Bosco			Realizado por: Nancy Patricia Ocampo Guerrero																	
Muestra N°: 1			Revisado por: Ing. Fidel Castro																	
Proctor Modificado B - AASHTO T-180																				
N° de Golpes:	56			Peso Molde:		12730														
Altura de Caída: 18"	1,5			Peso Martillo:		10														
N° de Capas:	5			Volumen del Molde:		2287,14														
Ensayo N°	1		2		3		4													
Peso Inicial Deseado	6000		6000		6000		6000													
Humedad Estimada	12		16		20		24													
Peso Molde+Suelo Hum	15974		16101		16204		16309													
Peso Suelo Húmedo	3244		3371		3474		3579													
Peso Vol. Hum.	1,418		1,474		1,519		1,565													
Peso Vol. Seco	1,092		1,106		1,111		1,096													
W%	a	b	c	d	e	f	g	h												
Recipiente N°	36	35	38	39	40	41	34	37												
Peso Recipiente	32	33	32	34	33	33	34	36												
Peso suelo Hum + Rec.	90	101	136	115	127	119	118	119												
Peso suelo Seca + Rec.	77	85	111	94	104	94	93	94												
Peso Agua	13	16	25	21	23	25	25	25												
Peso suelo seco	45	52	79	60	71	61	59	58												
W%	28,89	30,77	31,65	35,00	32,39	40,98	42,37	43,10												
Promedio W%	29,83		33,32		36,69		42,74													
Contenido de humedad óptimo	Peso específico seco			Grado de compactación																
37,00%	1,1105 gr/cm ³			99,18%																
Curva de compactación																				
<table border="1"> <caption>Datos de la Curva de Compactación</caption> <thead> <tr> <th>Contenido de Humedad (%)</th> <th>Peso específico seco (gr/cm³)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>28,89</td> <td>1,092</td> </tr> <tr> <td>30,77</td> <td>1,105</td> </tr> <tr> <td>31,65</td> <td>1,1105</td> </tr> <tr> <td>35,00</td> <td>1,1105</td> </tr> <tr> <td>40,98</td> <td>1,096</td> </tr> </tbody> </table>									Contenido de Humedad (%)	Peso específico seco (gr/cm ³)	28,89	1,092	30,77	1,105	31,65	1,1105	35,00	1,1105	40,98	1,096
Contenido de Humedad (%)	Peso específico seco (gr/cm ³)																			
28,89	1,092																			
30,77	1,105																			
31,65	1,1105																			
35,00	1,1105																			
40,98	1,096																			

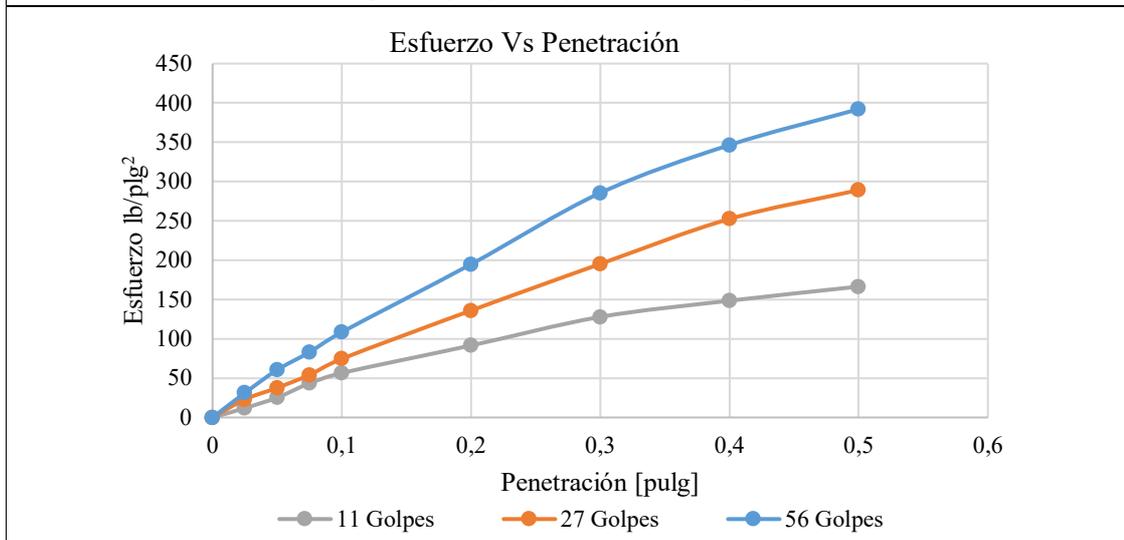
Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

Tabla 48 CBR Calicata 1 – 0% PET

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO						
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA						
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
PROYECTO DE TITULACIÓN						
Tema: Análisis de las propiedades físico-mecánicas y CBR de suelos cohesivos de subrasante mezclados con partículas de tereftalato de polietileno (PET)						
Provincia: Morona Santiago	%PET: 0					
Cantón: Morona	Coordenadas: 823185,134; 9746849,454					
Parroquia: Sevilla Don Bosco	Realizado por: Nancy Patricia Ocampo Guerrero					
Muestra N°: 1	Revisado por: Ing. Fidel Castro					
Ensayo CBR - AASHTO T-180						
N° Molde	7		5		6	
Número de golpes (N)	56		27		11	
Peso suelo + recipiente (gr)	12998		11701		8858	
Peso del recipiente (gr)	9119		8180		5759	
Peso de la masa de suelo Wm (gr)	3879		3521		3099	
Volumen de la muestra Vm (cm ³)	2298,43		2316,67		2287,14	
Peso unitario húmedo (gr/cm ³)	1,688		1,520		1,355	
Peso Volumétrico Seco	1,219		1,093		0,978	
Contenido de Humedad	Base	Molde	Base	Molde	Base	Molde
Peso Recipiente	30,8	32,9	33,2	32,7	33,5	30,6
Peso muestra Húmeda + Rec.	99,3	105	94,1	86,3	118,1	87,4
Peso muestra Seca + Recipiente	80,2	85,1	76,9	71,3	94,3	71,8
Peso Agua	19,1	19,9	17,2	15	23,8	15,6
Peso muestra Seca	49,4	52,2	43,7	38,6	60,8	41,2
Contenido de Humedad (%)	38,66	38,12	39,36	38,86	39,14	37,86
Promedio W%	38,39		39,11		38,50	
Datos después de la saturación						
Peso muestra Húmeda + Molde	13196		12087		9346	
Peso muestra Húmeda	4077		3907		3587	
Peso agua absorbida	198		386		488	
Porcentaje de humedad absorbido	5,10		10,96		15,75	
Contenido de Humedad	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Peso Recipiente	31,2	31,2	30,9	31,2	30,6	33
Peso muestra Húmeda + Rec.	57,3	77,4	73,9	71,1	89,1	130,3
Peso muestra Seca + Recipiente	49,4	63,3	59,8	57,9	68,7	95,7
Peso Agua	7,9	14,1	14,1	13,2	20,4	34,6
Peso muestra Seca	18,2	32,1	28,9	26,7	38,1	62,7
Contenido de Humedad (%)	43,41	43,93	48,79	49,44	53,54	55,18
Promedio W%	43,67		49,11		54,36	
Ensayo de CBR						
N° Molde	7		5		6	
Penetración [pulg]	Lbf	lb/plg ²	Lbf	lb/plg ³	Lbf	lb/plg ⁴
0	0	0,00	0	0	0	0
0,025	93,8	31,28	68,9	22,96	35,8	11,94
0,05	181,5	60,50	113,2	37,72	76,0	25,32
0,075	248,9	82,97	162,3	54,11	130,4	43,45
0,1	325,5	108,50	223,8	74,59	169,6	56,55
0,2	584,4	194,79	407,9	135,97	274,7	91,55
0,3	856,4	285,48	585,7	195,23	383,6	127,87

0,4	1039,4	346,46	757,3	252,44	445,4	148,47
0,5	1176,2	392,07	867,5	289,17	499,3	166,43

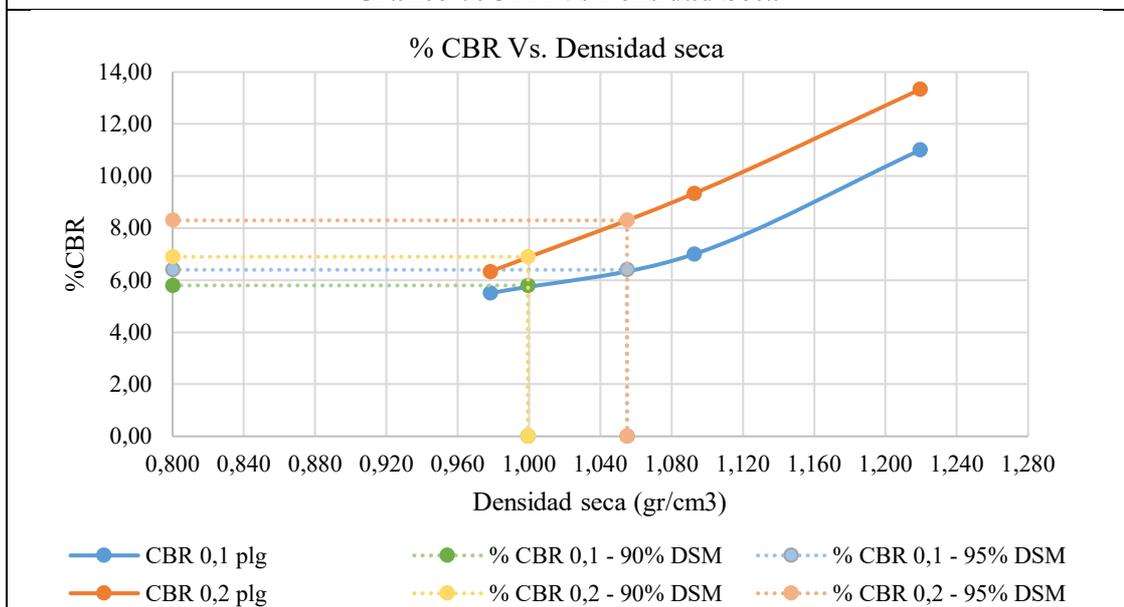
Gráfico Esfuerzo Vs Penetración



Porcentaje CBR corregido

Molde N°	Presión lb/plg²	CBR 0,1 plg	Densidad seca (gr/cm³)	Presión lb/plg²	CBR 0,2 plg	Densidad seca (gr/cm³)
7	110,00	11,00	1,219	200,00	13,33	1,219
5	70,00	7,00	1,093	140,00	9,33	1,093
6	55,00	5,50	0,978	95,00	6,33	0,978
Densidad seca máxima (gr/cm³)				1,1105		

Gráfico %CBR Vs Densidad Seca



Densidad seca máxima (gr/cm³)	% CBR 0,1 plg	% CBR 0,2 plg	% CBR mayor
95%	1,055	6,4	8,3
90%	0,999	5,8	6,9
CBR de diseño %			8,3

Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

Calicata 1 – 1,5% de tereftalato de polietileno (PET)

Tabla 49 Contenido de humedad, límites de Atterberg y clasificación de suelos
Calicata 1 – 1,5 % PET

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN								
Tema: Análisis de las propiedades físico-mecánicas y CBR de suelos cohesivos de subrasante mezclados con partículas de tereftalato de polietileno (PET)								
Provincia: Morona Santiago			%PET: 1,5					
Cantón: Morona			Coordenadas: 823185,134; 9746849,454					
Parroquia: Sevilla Don Bosco			Realizado por: Nancy Patricia Ocampo Guerrero					
Muestra N°: 1			Revisado por: Ing. Fidel Castro					
Contenido de humedad								
Peso suelo húmedo + recipiente	79,90			83,00				
Peso suelo seco + recipiente	44,20			47,30				
Peso recipiente	29,90			33,00				
Peso del agua	35,70			35,70				
Peso de los sólidos	14,30			14,30				
Contenido de humedad	249,65			249,65				
Contenido de humedad promedio	249,65							
Límite Líquido								
Número de golpes	7		22		37		40	
Recipiente N°	15	49	47	39	10	3F	46	43
Peso suelo hum. + rec.	12,80	13,30	35,30	35,10	13,80	15,90	36,10	37,30
Peso suelo seco + rec.	11,80	12,40	33,80	34,60	12,90	14,10	34,60	34,80
Peso recipiente	10,70	11,30	32,10	34,00	11,60	11,40	32,30	32,10
Peso del agua	1,00	0,90	1,50	0,50	0,90	1,80	1,50	2,50
Peso de los sólidos	1,10	1,10	1,70	0,60	1,30	2,70	2,30	2,70
W%	90,91	81,82	88,24	83,33	69,23	66,67	65,22	92,59
W% promedio	86,36		85,78		67,95		78,90	
Límite Líquido								
<p>Gráfico de Límite Líquido que muestra el contenido de humedad (%) en función del número de golpes. El eje X es el número de golpes (logarítmico) y el eje Y es el contenido de humedad (%). Se muestra una línea de tendencia con la ecuación $y = -7,331\ln(x) + 102,36$ y $R^2 = 0,4734$. Un punto específico está marcado con un triángulo naranja en (22, 78,76), etiquetado como LL=78,76.</p>								

Límite Plástico					
Recipiente N°	7	43	11	36A	16
Peso suelo hum. + rec.	13,80	36,10	9,10	34,70	9,60
Peso suelo seco + rec.	11,10	35,30	8,20	33,70	8,80
Peso recipiente	7,20	33,60	6,60	31,90	7,40
Peso del agua	2,70	0,80	0,90	1,00	0,80
Peso de los sólidos	3,90	1,70	1,60	1,80	1,40
W%	69,23	47,06	56,25	55,56	57,14
W% promedio	57,05				
Límite de Contracción					
Determinación del volumen del suelo					
N° de cápsula de contracción	18		7		
Peso de la cápsula de contracción con mercurio	289,20		289,90		
Peso de la cápsula de contracción	23,10		22,50		
Peso del mercurio	266,10		267,40		
Densidad del mercurio	13,40		13,40		
Volumen de la masa (Vm)	19,86		19,96		
Determinación del contenido de humedad del suelo					
Peso muestra húmeda + recipiente (Wm+Wr)	50,80		50,10		
Peso muestra seca + recipiente (Ws+Wr)	38,60		38,10		
Peso del agua (Ww)	12,20		12,00		
Peso del recipiente (Wr)	23,10		22,50		
Peso de la muestra seca (Ws)	15,50		15,60		
Contenido de Humedad W%	78,71		76,92		
Determinación del volumen del suelo seco moldeado					
Peso cristal Lucita lleno mercurio	754,50		754,50		
Peso cristal Lucita con desalojo mercurio	576,70		572,70		
Peso mercurio desalojado	177,80		181,80		
Densidad del mercurio	13,40		13,40		
Volumen del suelo contraído (Vo)	13,27		13,57		
Determinación del límite de contracción					
Límite de contracción %	36,20		35,97		
Límite de contracción promedio %	36,09				
Resultados					
Límite Líquido %	78,76				
Límite Plástico %	57,05				
Índice de plasticidad	21,71				
Límite de contracción %	36,09				
Clasificación					
SUCS			AASHTO		
CH			A7-5		

Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

Tabla 50 Granulometría Calicata 1 – 1,5 % PET

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN						
Tema: Análisis de las propiedades físico-mecánicas y CBR de suelos cohesivos de subrasante mezclados con partículas de tereftalato de polietileno (PET)						
Provincia: Morona Santiago			%PET: 1,5			
Cantón: Morona			Coordenadas: 823185,134; 9746849,454			
Parroquia: Sevilla Don Bosco			Realizado por: Nancy Patricia Ocampo Guerrero			
Muestra N°: 1			Revisado por: Ing. Fidel Castro			
Granulometría						
Tamaño de la muestra			1000 gr			
Tamiz	Tamaño en mm	Pesos retenidos acumulados	Peso retenido	% Retenido Acumulado	% Retenido	% Que pasa
4	4,76	0	0	0	0,00	100
8	2,38	1,1	1,1	0,11	0,11	99,89
10	2	6,4	5,3	0,64	0,53	99,36
16	1,18	8,3	1,9	0,83	0,19	99,17
30	0,6	14,9	6,6	1,49	0,66	98,51
40	0,425	23,1	8,2	2,31	0,82	97,69
50	0,3	41,8	18,7	4,18	1,87	95,82
60	0,25	103,9	62,1	10,39	6,21	89,61
100	0,15	236,8	132,9	23,68	13,29	76,32
200	0,075	339,2	102,4	33,92	10,24	66,08
Fuente	0,03	999,7	660,5	99,97	66,05	0,03

CURVA GRANULOMÉTRICA

El gráfico muestra la curva granulométrica con el eje Y etiquetado como 'Porcentaje que pasa %' (rango 0-110) y el eje X etiquetado como 'Tamaño del tamiz en mm' (rango logarítmico 10-0,01). La curva principal es una línea azul con círculos. Se marcan tres puntos clave: D10 (10% que pasa a 0,034 mm), D30 (30% que pasa a 0,044 mm) y D60 (60% que pasa a 0,067 mm). Cada punto está conectado al eje X por una línea de puntos horizontal y al eje Y por una línea de puntos vertical.

D10	0,034mm	D30	0,044mm	D60	0,067mm
Cu	1,97mm	Cc	0,85mm	TNM	0,25mm

Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

Tabla 51 Gravedad específica y densidad de campo Calicata 1 – 1,5 % PET

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN			
Tema: Análisis de las propiedades físico-mecánicas y CBR de suelos cohesivos de subrasante mezclados con partículas de tereftalato de polietileno (PET)			
Provincia: Morona Santiago	%PET: 1,5		
Cantón: Morona	Coordenadas: 823185,134; 9746849,454		
Parroquia: Sevilla Don Bosco	Realizado por: Nancy Patricia Ocampo Guerrero		
Muestra N°: 1	Revisado por: Ing. Fidel Castro		
Gravedad específica			
Peso picnómetro + agua (Wbw)	662,70	661,90	662,80
Peso Picnómetro + agua + suelo sumergido (Wbws)	692,90	692,70	691,40
Peso desplazamiento de agua (Dw)	19,80	19,20	21,40
Temperatura °C	19,60	23,20	21,10
Factor de corrección por temperatura K	0,998	0,998	0,998
N° de recipiente	26,00	53,00	11,00
Peso del recipiente	48,00	57,00	47,00
Peso del recipiente + suelo sumergido	570,80	562,00	568,00
Peso del recipiente + suelo seco	95,80	105,70	92,20
Peso del suelo seco (Ws)	47,80	48,70	45,20
Gravedad específica (Gs)	2,71	2,71	2,72
Gravedad específica promedio (Gs)	2,71		
Densidad de campo			
Muestra	1		
Peso de la masa de suelo + recipiente	1418,00		
Peso del recipiente	5,20		
Peso de la masa de suelo	1412,80		
Lectura inicial frasco + cono + arena	6116,60		
Lectura final frasco + cono + arena	3934,00		
Peso de arena en el cono	664,60		
Peso de arena en la muestra	853,40		
Densidad de la arena de Ottawa	1,582		
Volumen de la masa extraída	1422,83		
N° de recipiente	89B	10	
Peso Recipiente	31,40	30,00	
Peso muestra Húmeda + Rec.	92,10	147,20	
Peso muestra Seca + Recipiente	63,10	91,90	
Peso Agua	29,00	55,30	
Peso muestra Seca	31,70	61,90	
Contenido de Humedad (%)	91,48	89,34	
W% promedio	90,41		
Peso vol. de la masa de suelo	0,993		
Peso volumétrico seco	0,521		

Gráfico representativo		Volumen	Peso
Vv		49,60	-
Va		20,60	0
Vw		29,00	29,00
Vs		11,53	31,70
Vm		61,13	60,70
Relación de vacíos		4,30	
Porosidad		81,14	
Grado de saturación del agua		58,46	
Grado de saturación del aire		41,54	
Nota: Al ser un ensayo de campo, se realizó en las muestras naturales			

Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

Tabla 52 Compactación del suelo Calicata 1 – 1,5 % PET

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN								
Tema: Análisis de las propiedades físico-mecánicas y CBR de suelos cohesivos de subrasante mezclados con partículas de tereftalato de polietileno (PET)								
Provincia: Morona Santiago				%PET: 1,5				
Cantón: Morona				Coordenadas: 823185,134; 9746849,454				
Parroquia: Sevilla Don Bosco				Realizado por: Nancy Patricia Ocampo Guerrero				
Muestra N°: 1				Revisado por: Ing. Fidel Castro				
Proctor Modificado B - AASHTO T-180								
N° de Golpes:	56			Peso Molde:		12730		
Altura de Caída: 18"	1,5			Peso Martillo:		10		
N° de Capas:	5			Volumen del Molde:		2287,14		
Ensayo N°	1		2		3		4	
Peso Inicial Deseado	6000		6000		6000		6000	
Humedad Estimada	10		14		18		22	
Peso Molde+Suelo Hum	15476		15758		15889		15981	
Peso Suelo Húmedo	2746		3028		3159		3251	
Peso Vol. Hum.	1,201		1,324		1,381		1,421	
Peso Vol. Seco	1,019		1,085		1,100		1,098	
W%	a	b	c	d	e	f	g	h
Recipiente N°	43	45	44	39	41	40	38	34
Peso Recipiente	34,1	33,5	36,9	32,8	29,4	32,5	31,2	33,9
Peso suelo Hum + Rec.	98,5	105,1	100,8	98,3	99,7	101,4	85,2	88,1
Peso suelo Seca + Rec.	89,06	93,9	89,3	86,4	85,3	87,5	72,8	75,9
Peso Agua	9,44	11,2	11,5	11,9	14,4	13,9	12,4	12,2
Peso suelo seco	54,96	60,4	52,4	53,6	55,9	55	41,6	42
W%	17,18	18,54	21,95	22,20	25,76	25,27	29,81	29,05
Promedio W%	17,86		22,07		25,52		29,43	
Contenido de humedad óptimo	Peso específico seco			Grado de compactación				
26,60%	1,105 gr/cm ³			97,33%				
Curva de compactación								

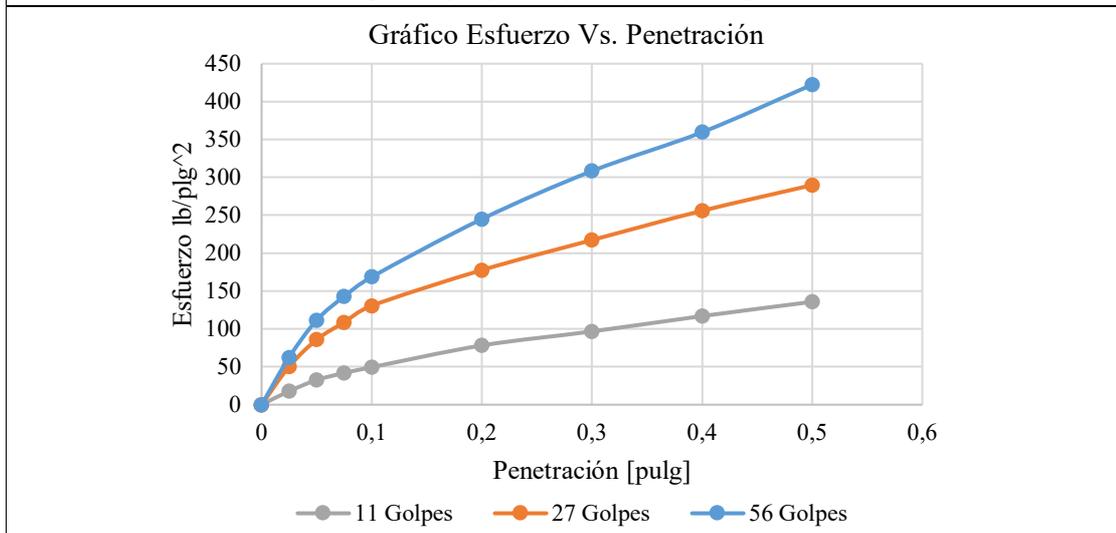
Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

Tabla 53 CBR Calicata 1 – 1,5 % PET

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN						
Tema: Análisis de las propiedades físico-mecánicas y CBR de suelos cohesivos de subrasante mezclados con partículas de tereftalato de polietileno (PET)						
Provincia: Morona Santiago	%PET: 1,5					
Cantón: Morona	Coordenadas: 823185,134; 9746849,454					
Parroquia: Sevilla Don Bosco	Realizado por: Nancy Patricia Ocampo Guerrero					
Muestra N°: 1	Revisado por: Ing. Fidel Castro					
Ensayo CBR - AASHTO T-180						
N° Molde	3		5		7	
Número de golpes (N)	56		27		11	
Peso suelo + recipiente (gr)	10291		11185		9289	
Peso del recipiente (gr)	6937		8207		6745	
Peso de la masa de suelo Wm (gr)	3354		2978		2544	
Volumen de la muestra Vm (cm ³)	2307,41		2259,38		2274,36	
Peso unitario húmedo (gr/cm ³)	1,454		1,318		1,119	
Peso Volumétrico Seco	1,146		1,046		0,885	
Contenido de Humedad	Base	Molde	Base	Molde	Base	Molde
Peso Recipiente	32,6	33	31,4	32,5	33,5	30,6
Peso muestra Húmeda + Rec.	119,3	128,4	147,6	132,8	141,7	103,8
Peso muestra Seca + Recipiente	101,2	108	123,2	112,5	117,8	89,4
Peso Agua	18,1	20,4	24,4	20,3	23,9	14,4
Peso muestra Seca	68,6	75	91,8	80	84,3	58,8
Contenido de Humedad (%)	26,38	27,20	26,58	25,38	28,35	24,49
Promedio W%	26,79		25,98		26,42	
Datos después de la saturación						
Peso muestra Húmeda + Molde	10421		11349		9505	
Peso muestra Húmeda	3484		3142		2760	
Peso agua absorbida	130		164		216	
Porcentaje de humedad absorbido	3,88		5,51		8,49	
Contenido de Humedad	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Peso Recipiente	33,1	33,3	31,4	32,5	32	32,6
Peso muestra Húmeda + Rec.	94,4	105,5	92,3	96,5	107,7	101,7
Peso muestra Seca + Recipiente	79,6	88,3	77,3	81,3	87,3	82,8
Peso Agua	14,8	17,2	15	15,2	20,4	18,9
Peso muestra Seca	46,5	55	45,9	48,8	55,3	50,2
Contenido de Humedad (%)	31,83	31,27	32,68	31,15	36,89	37,65
Promedio W%	31,55		31,91		37,27	
Ensayo de CBR						
N° Molde	3		5		7	
Penetración [pulg]	Lbf	lb/plg ²	Lbf	lb/plg ³	Lbf	lb/plg ⁴
0	0	0,00	0	0	0	0
0,025	187,3	62,42	150,8	50,25	53,4	17,81
0,05	334,5	111,50	257,3	85,76	97,7	32,58
0,075	428,8	142,92	326,4	108,81	125,4	41,81
0,1	505,7	168,56	391,6	130,55	148,4	49,47
0,2	734,8	244,92	532,8	177,62	234,5	78,17
0,3	924,8	308,28	651,7	217,23	290,0	96,66

0,4	1078,6	359,52	767,6	255,86	350,8	116,93
0,5	1266,8	422,28	869,2	289,75	407,2	135,73

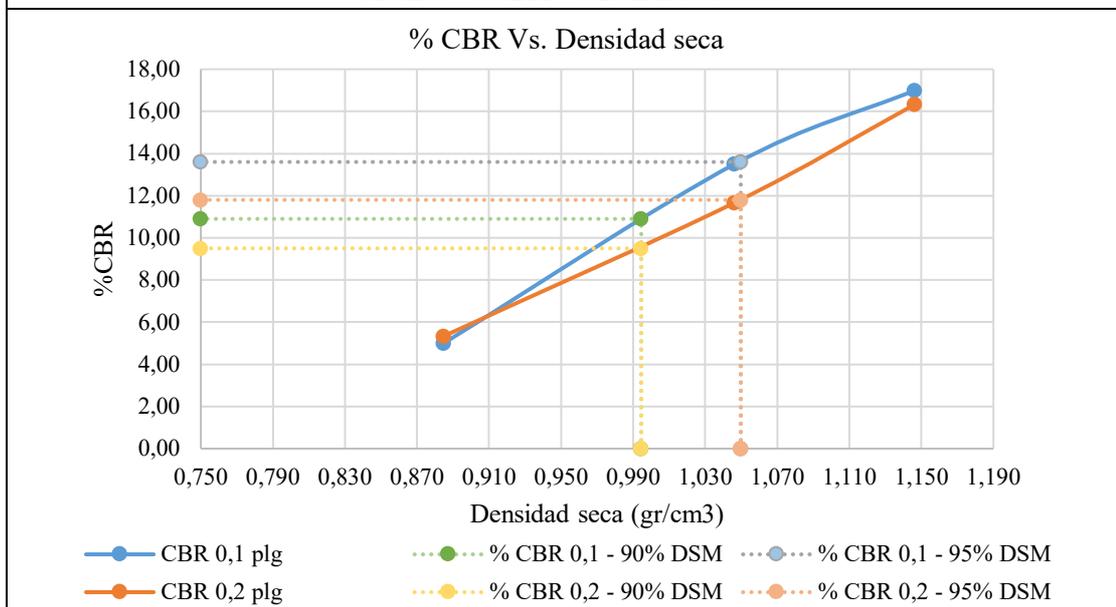
Gráfico Esfuerzo Vs Penetración



Porcentaje CBR corregido

Molde N°	Presión lb/plg ²	CBR 0,1 plg	Densidad seca (gr/cm ³)	Presión lb/plg ²	CBR 0,2 plg	Densidad seca (gr/cm ³)
3	170,00	17,00	1,146	245,00	16,33	1,146
5	135,00	13,50	1,046	175,00	11,67	1,046
7	50,00	5,00	0,885	80,00	5,33	0,885
Densidad seca máxima (gr/cm ³)			1,105			

Gráfico %CBR Vs Densidad Seca



Densidad seca máxima (gr/cm ³)	% CBR 0,1 plg	% CBR 0,2 plg	% CBR mayor	
95%	1,050	13,6	11,8	13,6
90%	0,995	10,9	9,5	10,9
CBR de diseño %		13,6		

Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

Calicata 1 – 2,0% de tereftalato de polietileno (PET)

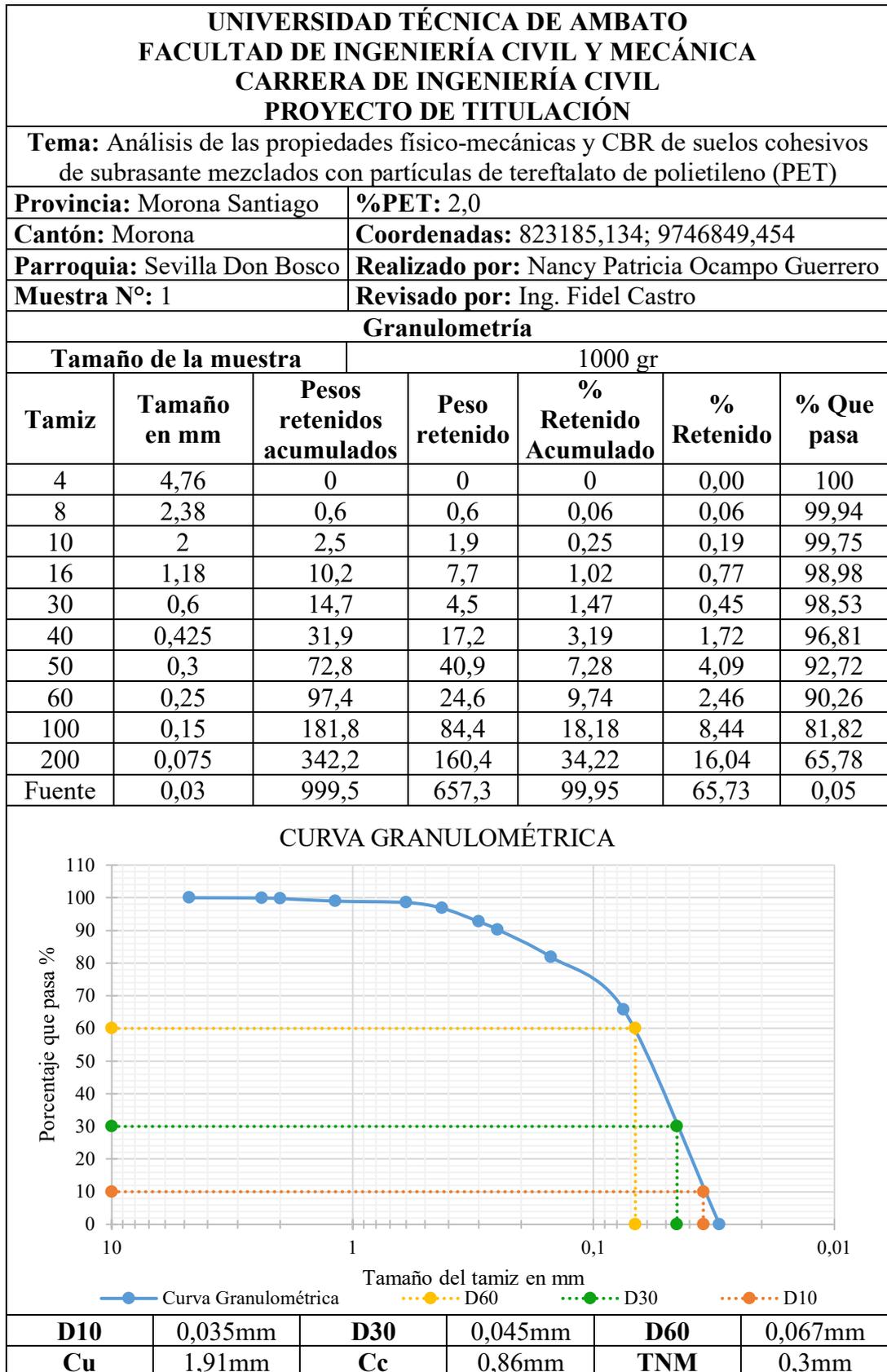
Tabla 54 Contenido de humedad, límites de Atterberg y clasificación de suelos
Calicata 1 – 2,0 % PET

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN								
Tema: Análisis de las propiedades físico-mecánicas y CBR de suelos cohesivos de subrasante mezclados con partículas de tereftalato de polietileno (PET)								
Provincia: Morona Santiago			%PET: 2,0					
Cantón: Morona			Coordenadas: 823185,134; 9746849,454					
Parroquia: Sevilla Don Bosco			Realizado por: Nancy Patricia Ocampo Guerrero					
Muestra N°: 1			Revisado por: Ing. Fidel Castro					
Contenido de humedad								
Peso suelo húmedo + recipiente	83,20			82,50				
Peso suelo seco + recipiente	47,80			47,30				
Peso recipiente	33,20			32,50				
Peso del agua	35,40			35,20				
Peso de los sólidos	14,60			14,80				
Contenido de humedad	242,47			237,84				
Contenido de humedad promedio	240,15							
Límite Líquido								
Número de golpes	15		19		28		38	
Recipiente N°	8	37	50	51	42	31	74	1
Peso suelo hum. + rec.	16,30	15,00	31,30	29,10	16,80	15,10	14,70	13,80
Peso suelo seco + rec.	14,50	13,50	29,60	26,90	14,50	13,60	13,00	12,40
Peso recipiente	12,40	11,60	27,10	24,00	10,90	11,40	10,80	10,50
Peso del agua	1,80	1,50	1,70	2,20	2,30	1,50	1,70	1,40
Peso de los sólidos	2,10	1,90	2,50	2,90	3,60	2,20	2,20	1,90
W%	85,71	78,95	68,00	75,86	63,89	68,18	77,27	73,68
W% promedio	82,33		71,93		66,04		75,48	
Límite Líquido								
<p>El gráfico muestra el contenido de humedad (%) en el eje Y (rango 60-85) frente al número de golpes en el eje X (rango 10-100). Se observan cinco puntos de datos azules. Una línea de tendencia negra se ajusta a los datos con la ecuación $y = -7,84\ln(x) + 98,682$ y $R^2 = 0,2243$. Una línea horizontal punteada naranja indica el valor de LL = 73,45, que se proyecta hacia abajo hasta el eje X.</p>								

Límite Plástico					
Recipiente N°	115	60	54	51	49
Peso suelo hum. + rec.	9,40	30,30	32,20	27,30	27,40
Peso suelo seco + rec.	8,20	29,90	30,80	26,60	26,20
Peso recipiente	6,10	29,00	28,10	25,10	24,00
Peso del agua	1,20	0,40	1,40	0,70	1,20
Peso de los sólidos	2,10	0,90	2,70	1,50	2,20
W%	57,14	44,44	51,85	46,67	54,55
W% promedio	50,93				
Límite de Contracción					
Determinación del volumen del suelo					
N° de cápsula de contracción	9		5		
Peso de la cápsula de contracción con mercurio	287,40		286,00		
Peso de la cápsula de contracción	22,60		22,40		
Peso del mercurio	264,80		263,60		
Densidad del mercurio	13,40		13,40		
Volumen de la masa (Vm)	19,76		19,67		
Determinación del contenido de humedad del suelo					
Peso muestra húmeda + recipiente (Wm+W _r)	51,10		49,70		
Peso muestra seca + recipiente (Ws+W _r)	39,30		38,50		
Peso del agua (Ww)	11,80		11,20		
Peso del recipiente (W _r)	22,60		22,40		
Peso de la muestra seca (Ws)	16,70		16,10		
Contenido de Humedad W%	70,66		69,57		
Determinación del volumen del suelo seco moldeado					
Peso cristal Lucita lleno mercurio	754,40		754,40		
Peso cristal Lucita con desalojo mercurio	572,60		566,50		
Peso mercurio desalojado	181,80		187,90		
Densidad del mercurio	13,40		13,40		
Volumen del suelo contraído (V _o)	13,57		14,02		
Determinación del límite de contracción					
Límite de contracción %	33,57		34,48		
Límite de contracción promedio %	34,02				
Resultados					
Límite Líquido %	73,45				
Límite Plástico %	50,93				
Índice de plasticidad	22,52				
Límite de contracción %	34,02				
Clasificación					
SUCS			AASHTO		
CH			A7-5		

Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

Tabla 55 Granulometría Calicata 1 – 2,0 % PET



Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

Tabla 56 Gravedad específica y densidad de campo Calicata 1 – 2,0 % PET

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN			
Tema: Análisis de las propiedades físico-mecánicas y CBR de suelos cohesivos de subrasante mezclados con partículas de tereftalato de polietileno (PET)			
Provincia: Morona Santiago	%PET: 2,0		
Cantón: Morona	Coordenadas: 823185,134; 9746849,454		
Parroquia: Sevilla Don Bosco	Realizado por: Nancy Patricia Ocampo Guerrero		
Muestra N°: 1	Revisado por: Ing. Fidel Castro		
Gravedad específica			
Peso picnómetro + agua (Wbw)	662,10	661,90	662,30
Peso Picnómetro + agua + suelo sumergido (Wbws)	692,60	691,80	692,60
Peso desplazamiento de agua (Dw)	19,50	20,10	19,70
Temperatura °C	23,90	20,90	20,20
Factor de corrección por temperatura K	0,997	0,998	0,998
N° de recipiente	8,00	5,00	22,00
Peso del recipiente	256,10	258,50	47,20
Peso del recipiente + suelo sumergido	779,40	783,10	570,70
Peso del recipiente + suelo seco	304,50	306,10	95,30
Peso del suelo seco (Ws)	48,40	47,60	48,10
Gravedad específica (Gs)	2,70	2,68	2,70
Gravedad específica promedio (Gs)	2,69		
Densidad de campo			
Muestra	1		
Peso de la masa de suelo + recipiente	1418,00		
Peso del recipiente	5,20		
Peso de la masa de suelo	1412,80		
Lectura inicial frasco + cono + arena	6116,60		
Lectura final frasco + cono + arena	3934,00		
Peso de arena en el cono	664,60		
Peso de arena en la muestra	853,40		
Densidad de la arena de Ottawa	1,582		
Volumen de la masa extraída	1422,83		
N° de recipiente	89B	10	
Peso Recipiente	31,40	30,00	
Peso muestra Húmeda + Rec.	92,10	147,20	
Peso muestra Seca + Recipiente	63,10	91,90	
Peso Agua	29,00	55,30	
Peso muestra Seca	31,70	61,90	
Contenido de Humedad (%)	91,48	89,34	
W% promedio	90,41		
Peso vol. de la masa de suelo	0,993		
Peso volumétrico seco	0,521		

Gráfico representativo		Volumen	Peso
Vv		49,60	-
Va		20,60	0
Vw		29,00	29,00
Vs		11,53	31,70
Vm		61,13	60,70
Relación de vacíos		4,30	
Porosidad		81,14	
Grado de saturación del agua		58,46	
Grado de saturación del aire		41,54	
Nota: Al ser un ensayo de campo, se realizó en las muestras naturales			

Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

Tabla 57 Compactación del suelo Calicata 1 – 2,0 % PET

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN																		
Tema: Análisis de las propiedades físico-mecánicas y CBR de suelos cohesivos de subrasante mezclados con partículas de tereftalato de polietileno (PET)																		
Provincia: Morona Santiago			%PET: 2,0															
Cantón: Morona			Coordenadas: 823185,134; 9746849,454															
Parroquia: Sevilla Don Bosco			Realizado por: Nancy Patricia Ocampo Guerrero															
Muestra N°: 1			Revisado por: Ing. Fidel Castro															
Proctor Modificado B - AASHTO T-180																		
N° de Golpes:	56			Peso Molde:		12730												
Altura de Caída: 18"	1,5			Peso Martillo:		10												
N° de Capas:	5			Volumen del Molde:		2287,14												
Ensayo N°	1		2		3		4											
Peso Inicial Deseado	6000		6000		6000		6000											
Humedad Estimada	10		14		18		22											
Peso Molde+Suelo Hum	15559		15734		15872		15899											
Peso Suelo Húmedo	2829		3004		3142		3169											
Peso Vol. Hum.	1,237		1,313		1,374		1,386											
Peso Vol. Seco	1,053		1,082		1,095		1,071											
W%	a	b	c	d	e	f	g	h										
Recipiente N°	35	36	37	54	17	36	22	12										
Peso Recipiente	32,9	33,4	34,1	28,5	33,5	38,3	33,2	35,9										
Peso suelo Hum + Rec.	109,9	99,5	99,8	83,2	101,8	119,9	121,4	125,8										
Peso suelo Seca + Rec.	98,6	89,5	88,2	73,6	88,1	103,2	101,5	105,2										
Peso Agua	11,3	10	11,6	9,6	13,7	16,7	19,9	20,6										
Peso suelo seco	65,7	56,1	54,1	45,1	54,6	64,9	68,3	69,3										
W%	17,20	17,83	21,44	21,29	25,09	25,73	29,14	29,73										
Promedio W%	17,51		21,36		25,41		29,43											
Contenido de humedad óptimo	Peso específico seco			Grado de compactación														
24,50 %	1,0932 gr/cm ³			97,33%														
Curva de compactación																		
<p>El gráfico muestra la curva de compactación para el suelo Calicata 1 con 2,0% de PET. El eje vertical representa el peso específico seco en gr/cm³, variando de 1,05 a 1,1. El eje horizontal representa el contenido de humedad en %, variando de 15 a 35. La curva, representada por una línea punteada azul, comienza en un punto a 15% de humedad y 1,053 gr/cm³, sube hasta un punto máximo de 24,50% de humedad y 1,0932 gr/cm³, y luego desciende. Se muestran también los datos experimentales como puntos azules.</p> <table border="1"> <caption>Datos experimentales de la curva de compactación</caption> <thead> <tr> <th>Contenido de Humedad (%)</th> <th>Peso específico seco (gr/cm³)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>15</td> <td>1,053</td> </tr> <tr> <td>21,29</td> <td>1,082</td> </tr> <tr> <td>24,50</td> <td>1,0932</td> </tr> <tr> <td>25,73</td> <td>1,071</td> </tr> </tbody> </table>									Contenido de Humedad (%)	Peso específico seco (gr/cm³)	15	1,053	21,29	1,082	24,50	1,0932	25,73	1,071
Contenido de Humedad (%)	Peso específico seco (gr/cm³)																	
15	1,053																	
21,29	1,082																	
24,50	1,0932																	
25,73	1,071																	

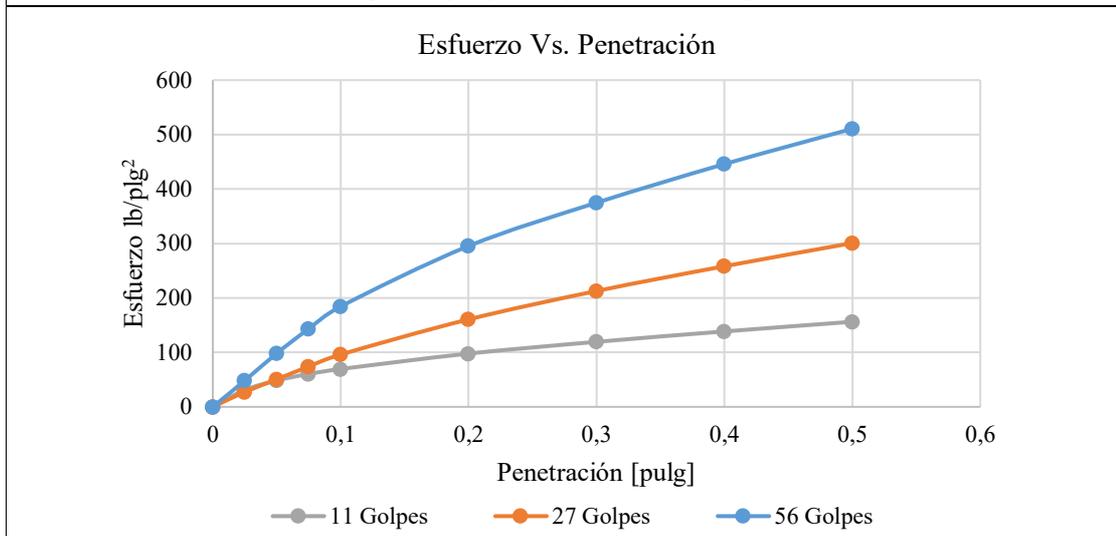
Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

Tabla 58 CBR Calicata 1 – 2,0 % PET

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN						
Tema: Análisis de las propiedades físico-mecánicas y CBR de suelos cohesivos de subrasante mezclados con partículas de tereftalato de polietileno (PET)						
Provincia: Morona Santiago	%PET: 2,0					
Cantón: Morona	Coordenadas: 823185,134; 9746849,454					
Parroquia: Sevilla Don Bosco	Realizado por: Nancy Patricia Ocampo Guerrero					
Muestra N°: 1	Revisado por: Ing. Fidel Castro					
Ensayo CBR - AASHTO T-180						
N° Molde	6		8		9	
Número de golpes (N)	56		27		11	
Peso suelo + recipiente (gr)	9106		9910		9093	
Peso del recipiente (gr)	5759		7002		6582	
Peso de la masa de suelo Wm (gr)	3347		2908		2511	
Volumen de la muestra Vm (cm ³)	2287,14		2353,15		2286,28	
Peso unitario húmedo (gr/cm ³)	1,463		1,236		1,098	
Peso Volumétrico Seco	1,176		0,996		0,887	
Contenido de Humedad	Base	Molde	Base	Molde	Base	Molde
Peso Recipiente	31,8	32	33,5	31,8	32,6	34,4
Peso muestra Húmeda + Rec.	108,1	115,6	127,2	131,6	145,1	137,3
Peso muestra Seca + Recipiente	92,5	99,9	108,8	112,5	123,2	117,8
Peso Agua	15,6	15,7	18,4	19,1	21,9	19,5
Peso muestra Seca	60,7	67,9	75,3	80,7	90,6	83,4
Contenido de Humedad (%)	25,70	23,12	24,44	23,67	24,17	23,38
Promedio W%	24,41		24,05		23,78	
Datos después de la saturación						
Peso muestra Húmeda + Molde	9224		10189		9499	
Peso muestra Húmeda	3465		3187		2917	
Peso agua absorbida	118		279		406	
Porcentaje de humedad absorbido	5,16		11,86		17,76	
Contenido de Humedad	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Peso Recipiente	32,4	33,4	31,5	34,4	33,6	31,5
Peso muestra Húmeda + Rec.	107,8	117,8	107,2	114,1	117,6	150,9
Peso muestra Seca + Recipiente	89,9	97,3	86,7	93,4	94,4	118,2
Peso Agua	17,9	20,5	20,5	20,7	23,2	32,7
Peso muestra Seca	57,5	63,9	55,2	59	60,8	86,7
Contenido de Humedad (%)	31,13	32,08	37,14	35,08	38,16	37,72
Promedio W%	31,61		36,11		37,94	
Ensayo de CBR						
N° Molde	6		8		9	
Penetración [pulg]	Lbf	lb/plg ²	Lbf	lb/plg ³	Lbf	lb/plg ⁴
0	0	0,00	0	0	0	0
0,025	145,0	48,32	81,8	27,28	92,8	30,95
0,05	294,9	98,30	151,8	50,60	144,9	48,32
0,075	430,1	143,38	222,8	74,27	181,4	60,48
0,1	553,3	184,43	288,3	96,11	208,5	69,50
0,2	886,1	295,36	482,0	160,67	293,4	97,82
0,3	1124,6	374,86	638,2	212,72	358,2	119,40

0,4	1337,5	445,83	774,8	258,25	415,5	138,51
0,5	1532,0	510,68	902,4	300,79	468,7	156,24

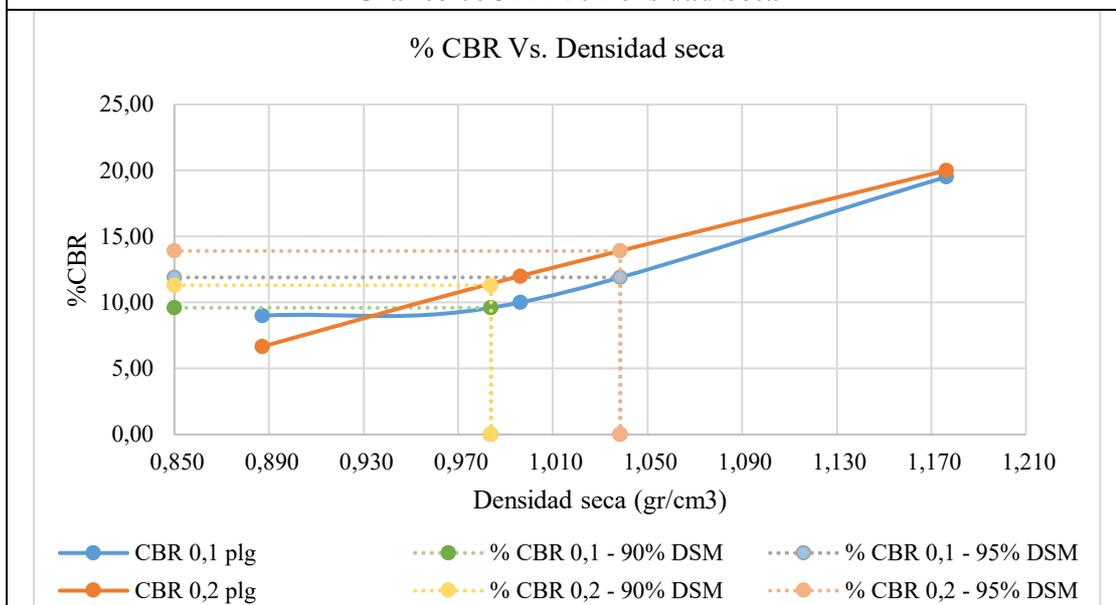
Gráfico Esfuerzo Vs Penetración



Porcentaje CBR corregido

Molde N°	Presión lb/plg²	CBR 0,1 plg	Densidad seca (gr/cm³)	Presión lb/plg²	CBR 0,2 plg	Densidad seca (gr/cm³)
6	195,00	19,50	1,176	300,00	20,00	1,176
8	100,00	10,00	0,996	180,00	12,00	0,996
9	90,00	9,00	0,887	100,00	6,67	0,887
Densidad seca máxima (gr/cm³)					1,0932	

Gráfico %CBR Vs Densidad Seca



Densidad seca máxima (gr/cm³)	% CBR 0,1 plg	% CBR 0,2 plg	% CBR mayor
95%	1,039	11,9	13,9
90%	0,984	9,6	11,3
CBR de diseño %			13,9

Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

Calicata 1 – 2,5% de tereftalato de polietileno (PET)

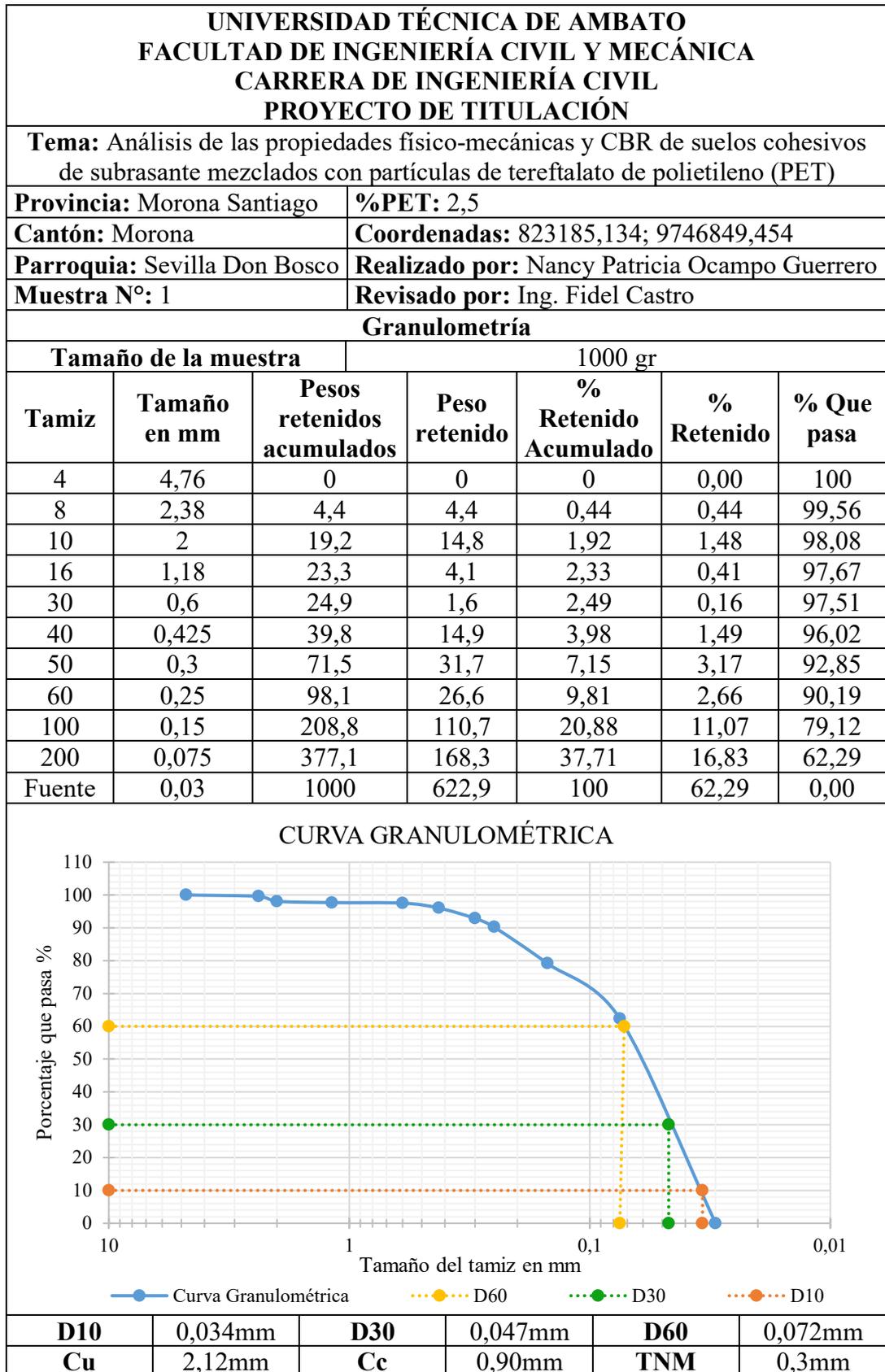
Tabla 59 Contenido de humedad, límites de Atterberg y clasificación de suelos
Calicata 1 – 2,5 % PET

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN								
Tema: Análisis de las propiedades físico-mecánicas y CBR de suelos cohesivos de subrasante mezclados con partículas de tereftalato de polietileno (PET)								
Provincia: Morona Santiago			%PET: 2,5					
Cantón: Morona			Coordenadas: 823185,134; 9746849,454					
Parroquia: Sevilla Don Bosco			Realizado por: Nancy Patricia Ocampo Guerrero					
Muestra N°: 1			Revisado por: Ing. Fidel Castro					
Contenido de humedad								
Peso suelo húmedo + recipiente	79,00			80,80				
Peso suelo seco + recipiente	44,20			45,70				
Peso recipiente	29,00			30,80				
Peso del agua	34,80			35,10				
Peso de los sólidos	15,20			14,90				
Contenido de humedad	228,95			235,57				
Contenido de humedad promedio	232,26							
Límite Líquido								
Número de golpes	17		24		26		42	
Recipiente N°	38	40	15	25	39	43	28	34
Peso suelo hum. + rec.	35,70	36,30	53,20	52,70	37,10	36,40	50,00	53,10
Peso suelo seco + rec.	33,90	34,80	51,60	51,40	35,70	35,10	49,00	51,40
Peso recipiente	31,40	32,80	49,50	49,80	33,60	33,10	47,00	49,50
Peso del agua	1,80	1,50	1,60	1,30	1,40	1,30	1,00	1,70
Peso de los sólidos	2,50	2,00	2,10	1,60	2,10	2,00	2,00	1,90
W%	72,00	75,00	76,19	81,25	66,67	65,00	50,00	89,47
W% promedio	73,50		78,72		65,83		69,74	
Límite Líquido								

Límite Plástico					
Recipiente N°	48	44	42	37	35A
Peso suelo hum. + rec.	35,30	39,40	36,10	36,90	36,20
Peso suelo seco + rec.	34,20	38,20	34,70	35,60	35,10
Peso recipiente	31,90	36,00	32,10	33,10	33,00
Peso del agua	1,10	1,20	1,40	1,30	1,10
Peso de los sólidos	2,30	2,20	2,60	2,50	2,10
W%	47,83	54,55	53,85	52,00	52,38
W% promedio	52,12				
Límite de Contracción					
Determinación del volumen del suelo					
N° de cápsula de contracción				6	16
Peso de la cápsula de contracción con mercurio				286,00	286,00
Peso de la cápsula de contracción				22,30	22,00
Peso del mercurio				263,70	264,00
Densidad del mercurio				13,40	13,40
Volumen de la masa (Vm)				19,68	19,70
Determinación del contenido de humedad del suelo					
Peso muestra húmeda + recipiente (Wm+W _r)				48,70	48,50
Peso muestra seca + recipiente (Ws+W _r)				38,40	38,20
Peso del agua (Ww)				10,30	10,30
Peso del recipiente (W _r)				22,30	22,00
Peso de la muestra seca (Ws)				16,10	16,20
Contenido de Humedad W%				63,98	63,58
Determinación del volumen del suelo seco moldeado					
Peso cristal Lucita lleno mercurio				754,10	754,10
Peso cristal Lucita con desalojo mercurio				558,90	558,50
Peso mercurio desalojado				195,20	195,60
Densidad del mercurio				13,40	13,40
Volumen del suelo contraído (Vo)				14,57	14,60
Determinación del límite de contracción					
Límite de contracción %				32,22	32,07
Límite de contracción promedio %				32,15	
Resultados					
Límite Líquido %				72,14	
Límite Plástico %				52,12	
Índice de plasticidad				20,02	
Límite de contracción %				32,15	
Clasificación					
SUCS			AASHTO		
CH			A7-5		

Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

Tabla 60 Granulometría Calicata 1 – 2,5 % PET



Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

Tabla 61 Gravedad específica y densidad de campo Calicata 1 – 2,5 % PET

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN			
Tema: Análisis de las propiedades físico-mecánicas y CBR de suelos cohesivos de subrasante mezclados con partículas de tereftalato de polietileno (PET)			
Provincia: Morona Santiago	%PET: 2,5		
Cantón: Morona	Coordenadas: 823185,134; 9746849,454		
Parroquia: Sevilla Don Bosco	Realizado por: Nancy Patricia Ocampo Guerrero		
Muestra N°: 1	Revisado por: Ing. Fidel Castro		
Gravedad específica			
Peso picnómetro + agua (Wbw)	662,90	662,90	650,90
Peso Picnómetro + agua + suelo sumergido (Wbws)	692,90	692,70	681,20
Peso desplazamiento de agua (Dw)	20,00	20,20	19,70
Temperatura °C	22,00	21,30	22,10
Factor de corrección por temperatura K	0,998	0,998	0,998
N° de recipiente	10,00	6,00	3,00
Peso del recipiente	49,50	52,50	256,30
Peso del recipiente + suelo sumergido	569,80	570,30	779,10
Peso del recipiente + suelo seco	98,00	100,90	305,10
Peso del suelo seco (Ws)	48,50	48,40	48,80
Gravedad específica (Gs)	2,62	2,60	2,63
Gravedad específica promedio (Gs)	2,62		
Densidad de campo			
Muestra	1		
Peso de la masa de suelo + recipiente	1418,00		
Peso del recipiente	5,20		
Peso de la masa de suelo	1412,80		
Lectura inicial frasco + cono + arena	6116,60		
Lectura final frasco + cono + arena	3934,00		
Peso de arena en el cono	664,60		
Peso de arena en la muestra	853,40		
Densidad de la arena de Ottawa	1,582		
Volumen de la masa extraída	1422,83		
N° de recipiente	89B	10	
Peso Recipiente	31,40	30,00	
Peso muestra Húmeda + Rec.	92,10	147,20	
Peso muestra Seca + Recipiente	63,10	91,90	
Peso Agua	29,00	55,30	
Peso muestra Seca	31,70	61,90	
Contenido de Humedad (%)	91,48	89,34	
W% promedio	90,41		
Peso vol. de la masa de suelo	0,993		
Peso volumétrico seco	0,521		

Gráfico representativo		Volumen	Peso
Vv		49,60	-
Va		20,60	0
Vw		29,00	29,00
Vs		11,53	31,70
Vm		61,13	60,70
Relación de vacíos		4,30	
Porosidad		81,14	
Grado de saturación del agua		58,46	
Grado de saturación del aire		41,54	
Nota: Al ser un ensayo de campo, se realizó en las muestras naturales			

Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

Tabla 62 Compactación del suelo Calicata 1 – 2,5 % PET

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN								
Tema: Análisis de las propiedades físico-mecánicas y CBR de suelos cohesivos de subrasante mezclados con partículas de tereftalato de polietileno (PET)								
Provincia: Morona Santiago			%PET: 2,5					
Cantón: Morona			Coordenadas: 823185,134; 9746849,454					
Parroquia: Sevilla Don Bosco			Realizado por: Nancy Patricia Ocampo Guerrero					
Muestra N°: 1			Revisado por: Ing. Fidel Castro					
Proctor Modificado B - AASHTO T-180								
N° de Golpes:	56			Peso Molde:		12730		
Altura de Caída: 18"	1,5			Peso Martillo:		10		
N° de Capas:	5			Volumen del Molde:		2287,14		
Ensayo N°	1		2		3		4	
Peso Inicial Deseado	6000		6000		6000		6000	
Humedad Estimada	12		16		20		24	
Peso Molde+Suelo Hum	15642		15777		15850		15891	
Peso Suelo Húmedo	2912		3047		3120		3161	
Peso Vol. Hum.	1,273		1,332		1,364		1,382	
Peso Vol. Seco	1,071		1,086		1,084		1,064	
W%	a	b	c	d	e	f	g	h
Recipiente N°	47	46	49	48	50	51	2	42
Peso Recipiente	32,9	33,4	25,4	26	25,8	24,1	38,3	34,1
Peso suelo Hum + Rec.	89,4	92,3	84,1	85,4	80,5	61,6	133,5	108,8
Peso suelo Seca + Rec.	81,1	82,3	73,3	74,4	68,8	54,2	111,4	91,8
Peso Agua	8,3	10	10,8	11	11,7	7,4	22,1	17
Peso suelo seco	48,2	48,9	47,9	48,4	43	30,1	73,1	57,7
W%	17,22	20,45	22,55	22,73	27,21	24,58	30,23	29,46
Promedio W%	18,83		22,64		25,90		29,85	
Contenido de humedad óptimo	Peso específico seco			Grado de compactación				
23,80 %	1,0867 gr/cm ³			99,05%				

Curva de compactación													
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Contenido de Humedad %</th> <th>Peso específico seco gr/cm³</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>15</td> <td>1,086</td> </tr> <tr> <td>18</td> <td>1,072</td> </tr> <tr> <td>23,80</td> <td>1,0867</td> </tr> <tr> <td>26</td> <td>1,084</td> </tr> <tr> <td>30</td> <td>1,064</td> </tr> </tbody> </table>	Contenido de Humedad %	Peso específico seco gr/cm ³	15	1,086	18	1,072	23,80	1,0867	26	1,084	30	1,064
Contenido de Humedad %	Peso específico seco gr/cm ³												
15	1,086												
18	1,072												
23,80	1,0867												
26	1,084												
30	1,064												

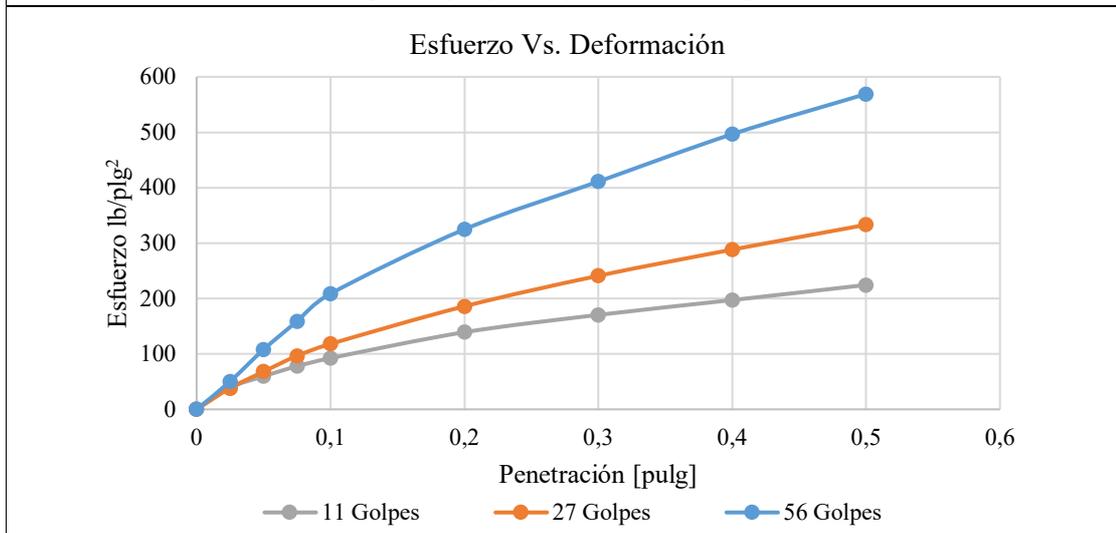
Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

Tabla 63 CBR Calicata 1 – 2,5 % PET

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO						
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA						
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
PROYECTO DE TITULACIÓN						
Tema: Análisis de las propiedades físico-mecánicas y CBR de suelos cohesivos de subrasante mezclados con partículas de tereftalato de polietileno (PET)						
Provincia: Morona Santiago	%PET: 2,5					
Cantón: Morona	Coordenadas: 823185,134; 9746849,454					
Parroquia: Sevilla Don Bosco	Realizado por: Nancy Patricia Ocampo Guerrero					
Muestra N°: 1	Revisado por: Ing. Fidel Castro					
Ensayo CBR - AASHTO T-180						
N° Molde	5		9		6	
Número de golpes (N)	56		27		11	
Peso suelo + recipiente (gr)	11358		9492		8347	
Peso del recipiente (gr)	8207		6582		5749	
Peso de la masa de suelo Wm (gr)	3151		2910		2598	
Volumen de la muestra Vm (cm ³)	2259,38		2286,28		2287,14	
Peso unitario húmedo (gr/cm ³)	1,395		1,273		1,136	
Peso Volumétrico Seco	1,116		1,014		0,907	
Contenido de Humedad	Base	Molde	Base	Molde	Base	Molde
Peso Recipiente	31,6	45,7	30,1	33,5	33,4	32,3
Peso muestra Húmeda + Rec.	106,9	111,5	129,3	98,6	133,3	112,2
Peso muestra Seca + Recipiente	91,9	98,3	108,9	85,5	112,5	96,6
Peso Agua	15	13,2	20,4	13,1	20,8	15,6
Peso muestra Seca	60,3	52,6	78,8	52	79,1	64,3
Contenido de Humedad (%)	24,88	25,10	25,89	25,19	26,30	24,26
Promedio W%	24,99		25,54		25,28	
Datos después de la saturación						
Peso muestra Húmeda + Molde	11461		9695		8598	
Peso muestra Húmeda	3254		3113		2849	
Peso agua absorbida	103		203		251	
Porcentaje de humedad absorbido	4,56		8,88		10,97	
Contenido de Humedad	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Peso Recipiente	32,4	33,4	31,5	34,4	33,6	31,5
Peso muestra Húmeda + Rec.	106,9	116,8	108,2	114,1	116,3	148,9
Peso muestra Seca + Recipiente	89,9	97,3	86,7	93,4	94,4	118,2
Peso Agua	17	19,5	21,5	20,7	21,9	30,7
Peso muestra Seca	57,5	63,9	55,2	59	60,8	86,7
Contenido de Humedad (%)	29,57	30,52	38,95	35,08	36,02	35,41
Promedio W%	30,04		37,02		35,71	
Ensayo de CBR						
N° Molde	5		9		6	
Penetración [pulg]	Lbf	lb/plg ²	Lbf	lb/plg ³	Lbf	lb/plg ⁴
0	0	0,00	0	0	0	0
0,025	151,3	50,44	114,7	38,24	117,5	39,15
0,05	323,6	107,86	204,2	68,06	178,8	59,61
0,075	476,6	158,85	289,8	96,60	233,6	77,88
0,1	625,9	208,65	354,1	118,03	277,3	92,43
0,2	974,3	324,77	557,8	185,94	417,5	139,17
0,3	1232,8	410,95	722,9	240,97	511,4	170,46

0,4	1489,6	496,55	864,6	288,22	591,6	197,19
0,5	1707,2	569,08	998,9	332,97	673,3	224,43

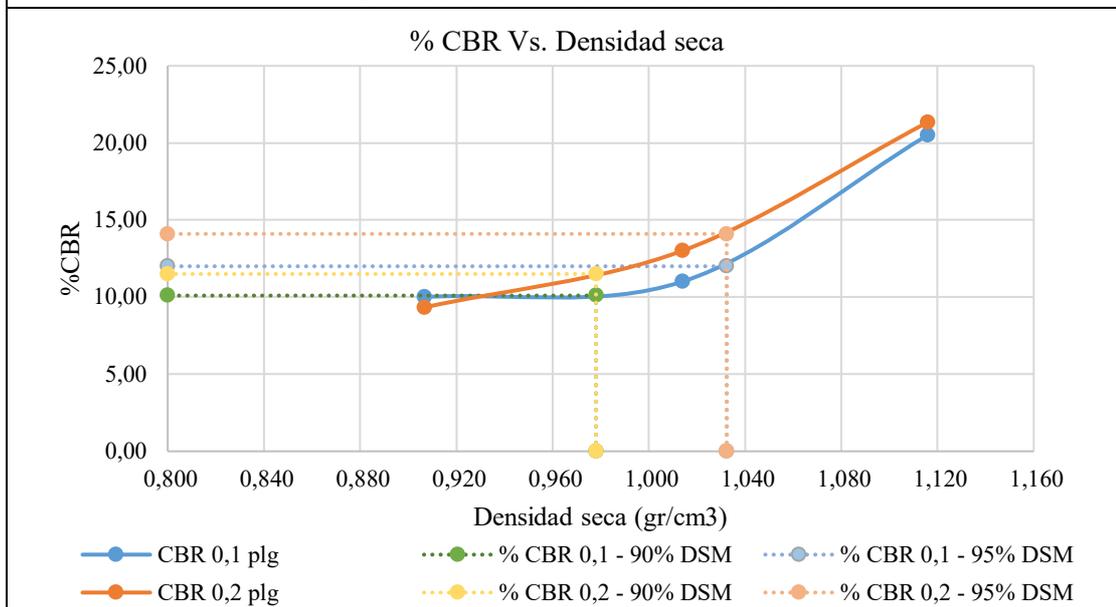
Gráfico Esfuerzo Vs Penetración



Porcentaje CBR corregido

Molde N°	Presión lb/plg ²	CBR 0,1 plg	Densidad seca (gr/cm ³)	Presión lb/plg ²	CBR 0,2 plg	Densidad seca (gr/cm ³)
5	205,00	20,50	1,116	320,00	21,33	1,116
9	110,00	11,00	1,014	195,00	13,00	1,014
6	100,00	10,00	0,907	140,00	9,33	0,907
Densidad seca máxima (gr/cm ³)				1,0867		

Gráfico %CBR Vs Densidad Seca



Densidad seca máxima (gr/cm ³)	% CBR 0,1 plg	% CBR 0,2 plg	% CBR mayor
95%	1,032	12	14,1
90%	0,978	10,1	11,5
CBR de diseño %		14,1	

Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

Calicata 2 – 0% de tereftalato de polietileno (PET)

Tabla 64 Contenido de humedad, límites de Atterberg y clasificación de suelos
Calicata 2 – 0 % PET

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN									
Tema: Análisis de las propiedades físico-mecánicas y CBR de suelos cohesivos de subrasante mezclados con partículas de tereftalato de polietileno (PET)									
Provincia: Morona Santiago			%PET: 0						
Cantón: Morona			Coordenadas: 824610,815; 9756740,340						
Parroquia: Sevilla Don Bosco			Realizado por: Nancy Patricia Ocampo Guerrero						
Muestra N°: 2			Revisado por: Ing. Fidel Castro						
Contenido de humedad									
Peso suelo húmedo + recipiente		75,30			80,60				
Peso suelo seco + recipiente		39,10			44,40				
Peso recipiente		25,30			30,60				
Peso del agua		36,20			36,20				
Peso de los sólidos		13,80			13,80				
Contenido de humedad		262,32			262,32				
Contenido de humedad promedio		262,32							
Límite Líquido									
Número de golpes		8		21		28		39	
Recipiente N°		36,30	36,40	36,50	35,30	38,60	41,40	50,20	66,60
Peso suelo hum. + rec.		34,90	35,00	34,90	33,80	35,50	39,40	49,30	64,50
Peso suelo seco + rec.		33,50	33,70	32,80	32,10	32,80	37,30	48,30	62,10
Peso recipiente		1,40	1,40	1,60	1,50	3,10	2,00	0,90	2,10
Peso del agua		1,40	1,30	2,10	1,70	2,70	2,10	1,00	2,40
Peso de los sólidos		100,00	107,69	76,19	88,24	114,81	95,24	90,00	87,50
W%		36,30	36,40	36,50	35,30	38,60	41,40	50,20	66,60
W% promedio		103,85		82,21		105,03		88,75	
Límite Líquido									
<p>Contenido de humedad %</p> <p>$y = -6,681\ln(x) + 115,32$ $R^2 = 0,1749$</p> <p>LL=93,81</p> <p>Número de golpes</p>									

Límite Plástico					
Recipiente N°	25	33	24	35	22
Peso suelo hum. + rec.	47,10	26,90	28,90	27,20	46,80
Peso suelo seco + rec.	45,20	25,50	28,10	26,30	45,70
Peso recipiente	42,40	23,10	26,70	24,60	43,90
Peso del agua	1,90	1,40	0,80	0,90	1,10
Peso de los sólidos	2,80	2,40	1,40	1,70	1,80
W%	67,86	58,33	57,14	52,94	61,11
W% promedio	59,48				
Límite de Contracción					
Determinación del volumen del suelo					
N° de cápsula de contracción	13		9		
Peso de la cápsula de contracción con mercurio	281,50		286,10		
Peso de la cápsula de contracción	22,30		22,60		
Peso del mercurio	259,20		263,50		
Densidad del mercurio	13,40		13,40		
Volumen de la masa (Vm)	19,34		19,66		
Determinación del contenido de humedad del suelo					
Peso muestra húmeda + recipiente (Wm+Wr)	44,70		45,40		
Peso muestra seca + recipiente (Ws+Wr)	34,50		34,90		
Peso del agua (Ww)	10,20		10,50		
Peso del recipiente (Wr)	22,30		22,60		
Peso de la muestra seca (Ws)	12,20		12,30		
Contenido de Humedad W%	83,61		85,37		
Determinación del volumen del suelo seco moldeado					
Peso cristal Lucita lleno mercurio	751,80		751,80		
Peso cristal Lucita con desalojo mercurio	577,40		578,20		
Peso mercurio desalojado	174,40		173,60		
Densidad del mercurio	13,40		13,40		
Volumen del suelo contraído (Vo)	13,01		12,96		
Determinación del límite de contracción					
Límite de contracción %	31,73		30,82		
Límite de contracción promedio %	31,28				
Resultados					
Límite Líquido %	93,81				
Límite Plástico %	59,48				
Índice de plasticidad	34,34				
Límite de contracción %	31,28				
Clasificación					
SUCS			AASHTO		
CH			A7-5		

Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

Tabla 65 Granulometría Calicata 2 – 0 % PET

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN						
Tema: Análisis de las propiedades físico-mecánicas y CBR de suelos cohesivos de subrasante mezclados con partículas de tereftalato de polietileno (PET)						
Provincia: Morona Santiago			%PET: 0			
Cantón: Morona			Coordenadas: 824610,815; 9756740,340			
Parroquia: Sevilla Don Bosco			Realizado por: Nancy Patricia Ocampo Guerrero			
Muestra N°: 2			Revisado por: Ing. Fidel Castro			
Granulometría						
Tamaño de la muestra			1000 gr			
Tamiz	Tamaño en mm	Pesos retenidos acumulados	Peso retenido	% Retenido Acumulado	% Retenido	% Que pasa
4	4,76	0	0	0	0,00	100
8	2,38	0	0	0,00	0	100
10	2	0	0	0,00	0	100
16	1,18	0	0	0,00	0	100
30	0,6	0,3	0,3	0,03	0,03	99,97
40	0,425	3,9	3,6	0,39	0,36	99,61
50	0,3	22,8	18,9	2,28	1,89	97,72
60	0,25	75,7	52,9	7,57	5,29	92,43
100	0,15	198,1	122,4	19,81	12,24	80,19
200	0,075	384,5	186,4	38,45	18,64	61,55
Fuente	0,03	998,9	614,4	99,89	61,44	0,11

CURVA GRANULOMÉTRICA					
D10	0,036mm	D30	0,046mm	D60	0,074mm
Cu	2,06mm	Cc	0,79mm	TNM	0,25mm

Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

Tabla 66 Gravedad específica y densidad de campo Calicata 2 – 0 % PET

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN			
Tema: Análisis de las propiedades físico-mecánicas y CBR de suelos cohesivos de subrasante mezclados con partículas de tereftalato de polietileno (PET)			
Provincia: Morona Santiago	%PET: 0		
Cantón: Morona	Coordenadas: 824610,815; 9756740,340		
Parroquia: Sevilla Don Bosco	Realizado por: Nancy Patricia Ocampo Guerrero		
Muestra N°: 2	Revisado por: Ing. Fidel Castro		
Gravedad específica			
Peso picnómetro + agua (Wbw)	661,70	661,80	662,20
Peso Picnómetro + agua + suelo sumergido (Wbws)	692,90	693,00	693,50
Peso desplazamiento de agua (Dw)	18,80	18,80	18,70
Temperatura °C	21,30	21,60	19,40
Factor de corrección por temperatura K	0,998	0,998	0,998
N° de recipiente	23,00	52,00	17,00
Peso del recipiente	47,50	62,90	48,30
Peso del recipiente + suelo sumergido	568,20	584,00	570,10
Peso del recipiente + suelo seco	96,50	112,00	97,50
Peso del suelo seco (Ws)	49,00	49,10	49,20
Gravedad específica (Gs)	2,75	2,74	2,74
Gravedad específica promedio (Gs)	2,74		
Densidad de campo			
Muestra	2		
Peso de la masa de suelo + rec.	1459,00		
Peso del recipiente	5,30		
Peso de la masa de suelo	1453,70		
Lectura inicial frasco + cono + arena	6116,60		
Lectura final frasco + cono + arena	4071,10		
Peso de arena en el cono	313,40		
Peso de arena en la muestra	1418,70		
Densidad de la arena de Ottawa	1,58		
Volumen de la masa extraída	1368,11		
N° de recipiente	95	2	
Peso Recipiente	33,40	30,60	
Peso muestra Húmeda + Rec.	135,60	130,90	
Peso muestra Seca + Recipiente	82,10	80,20	
Peso Agua	53,50	50,70	
Peso muestra Seca	48,70	49,60	
Contenido de Humedad (%)	109,86	102,22	
W% promedio	106,04		
Peso vol. de la masa de suelo	1,063		
Peso volumétrico seco	0,516		

Gráfico representativo		Volumen	Peso
Vv		78,47	-
Va		24,97	0
Vw		53,50	53,50
Vs		17,71	48,70
Vm		96,18	102,20
Relación de vacíos		4,43	
Porosidad		81,59	
Grado de saturación del agua		68,18	
Grado de saturación del aire		31,82	
Nota: Al ser un ensayo de campo, se realizó en las muestras naturales			

Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

Tabla 67 Compactación del suelo Calicata 2 – 0 % PET

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN								
Tema: Análisis de las propiedades físico-mecánicas y CBR de suelos cohesivos de subrasante mezclados con partículas de tereftalato de polietileno (PET)								
Provincia: Morona Santiago			%PET: 0					
Cantón: Morona			Coordenadas: 824610,815; 9756740,340					
Parroquia: Sevilla Don Bosco			Realizado por: Nancy Patricia Ocampo Guerrero					
Muestra N°: 2			Revisado por: Ing. Fidel Castro					
Proctor Modificado B - AASHTO T-180								
N° de Golpes:	56		Peso Molde:		12730			
Altura de Caída: 18"	1,5		Peso Martillo:		10			
N° de Capas:	5		Volumen del Molde:		2287,14			
Ensayo N°	1		2		3		4	
Peso Inicial Deseado	6000		6000		6000		6000	
Humedad Estimada	10		14		18		22	
Peso Molde+Suelo Hum	15850		16045		16221		16286	
Peso Suelo Húmedo	3120		3315		3491		3556	
Peso Vol. Hum.	1,364		1,449		1,526		1,555	
Peso Vol. Seco	1,069		1,105		1,132		1,119	
W%	a	b	c	d	e	f	g	h
Recipiente N°	46	47	48	49	42	43	44	45
Peso Recipiente	34	32	33	25	33	33	37	33
Peso suelo Hum + Rec.	122	113	105	103	109	142	128	134
Peso suelo Seca + Rec.	102,43	95,97	88,19	84,18	89	114,3	102,68	105,53
Peso Agua	19,57	17,03	16,81	18,82	20	27,7	25,32	28,47
Peso suelo seco	68,43	63,97	55,19	59,18	56	81,3	65,68	72,53
W%	28,60	26,62	30,46	31,80	35,71	34,07	38,55	39,25
Promedio W%	27,61		31,13		34,89		38,90	
Contenido de humedad óptimo	Peso específico seco			Grado de compactación				
36,1 %	1,129 gr/cm ³			97,99%				

Curva de compactación

Contenido de Humedad (%)	Peso específico seco (gr/cm³)
28,60	1,069
26,62	1,069
30,46	1,105
31,80	1,105
35,71	1,132
34,07	1,132
38,55	1,119
39,25	1,119
36,1 (Óptimo)	1,129

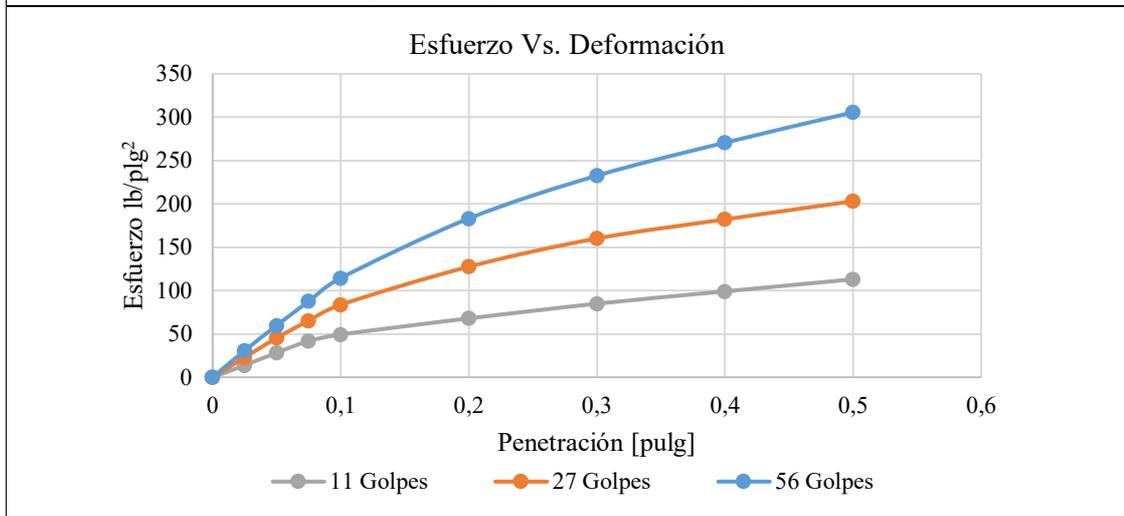
Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

Tabla 68 CBR Calicata 2 – 0 % PET

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO						
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA						
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
PROYECTO DE TITULACIÓN						
Tema: Análisis de las propiedades físico-mecánicas y CBR de suelos cohesivos de subrasante mezclados con partículas de tereftalato de polietileno (PET)						
Provincia: Morona Santiago	%PET: 0					
Cantón: Morona	Coordenadas: 824610,815; 9756740,340					
Parroquia: Sevilla Don Bosco	Realizado por: Nancy Patricia Ocampo Guerrero					
Muestra N°: 2	Revisado por: Ing. Fidel Castro					
Ensayo CBR - AASHTO T-180						
N° Molde	8		9		10	
Número de golpes (N)	56		27		11	
Peso suelo + recipiente (gr)	10718		9781		8825	
Peso del recipiente (gr)	6976		6345		5792	
Peso de la masa de suelo Wm (gr)	3742		3436		3033	
Volumen de la muestra Vm (cm ³)	2353,15		2286,28		2305,61	
Peso unitario húmedo (gr/cm ³)	1,590		1,503		1,315	
Peso Volumétrico Seco	1,163		1,113		0,961	
Contenido de Humedad	Base	Molde	Base	Molde	Base	Molde
Peso Recipiente	29	31,6	32,5	30,4	31,5	33,2
Peso muestra Húmeda + Rec.	99,2	108,3	135,8	80,9	128,9	110,6
Peso muestra Seca + Recipiente	80,3	87,7	108,6	68	102,6	89,8
Peso Agua	18,9	20,6	27,2	12,9	26,3	20,8
Peso muestra Seca	51,3	56,1	76,1	37,6	71,1	56,6
Contenido de Humedad (%)	36,84	36,72	35,74	34,31	36,99	36,75
Promedio W%	36,78		35,03		36,87	
Datos después de la saturación						
Peso muestra Húmeda + Molde	10843		9968		9081	
Peso muestra Húmeda	3867		3623		3289	
Peso agua absorbida	125		187		256	
Porcentaje de humedad absorbido	5,31		8,18		11,10	
Contenido de Humedad	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Peso Recipiente	30,8	32,4	30,9	30,9	31,7	32,6
Peso muestra Húmeda + Rec.	111,6	116,1	87,5	82,2	128,3	128,5
Peso muestra Seca + Recipiente	87,1	91,2	70,3	66,4	96,9	97
Peso Agua	24,5	24,9	17,2	15,8	31,4	31,5
Peso muestra Seca	56,3	58,8	39,4	35,5	65,2	64,4
Contenido de Humedad (%)	43,52	42,35	43,65	44,51	48,16	48,91
Promedio W%	42,93		44,08		48,54	
Ensayo de CBR						
N° Molde	8		9		10	
Penetración [pulg]	Lbf	lb/plg ²	Lbf	lb/plg ³	Lbf	lb/plg ⁴
0	0	0,00	0	0	0	0
0,025	92,5	30,83	68,6	22,85	41,5	13,83
0,05	179,2	59,72	136,0	45,33	85,1	28,36
0,075	262,9	87,63	196,0	65,33	125,5	41,82
0,1	343,4	114,46	251,0	83,66	147,9	49,31
0,2	549,5	183,18	382,7	127,57	203,8	67,92
0,3	697,8	232,59	480,3	160,11	254,6	84,86

0,4	812,0	270,67	546,4	182,14	297,3	99,11
0,5	916,9	305,64	609,4	203,12	338,9	112,97

Gráfico Esfuerzo Vs Penetración

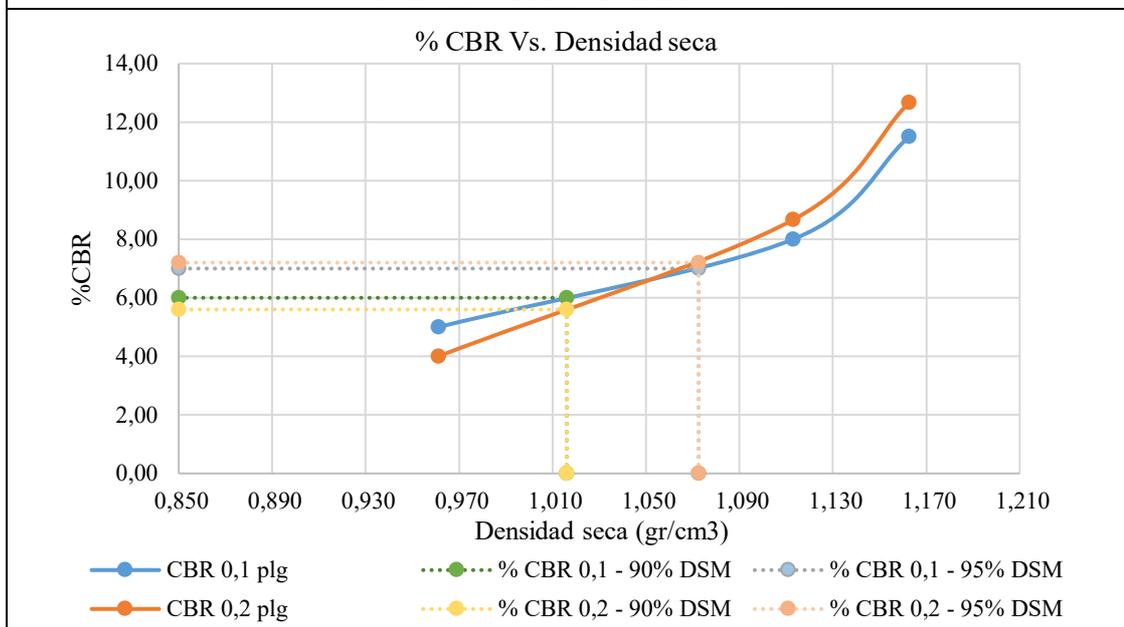


Porcentaje CBR corregido

Molde N°	Presión lb/plg ²	CBR 0,1 plg	Densidad seca (gr/cm ³)	Presión lb/plg ²	CBR 0,2 plg	Densidad seca (gr/cm ³)
8	115,00	11,50	1,163	190,00	12,67	1,163
9	80,00	8,00	1,113	130,00	8,67	1,113
10	50,00	5,00	0,961	60,00	4,00	0,961

Densidad seca máxima (gr/cm³) 1,129

Gráfico %CBR Vs Densidad Seca



Densidad seca máxima (gr/cm ³)	% CBR 0,1 plg	% CBR 0,2 plg	% CBR mayor
95%	1,073	7	7,2
90%	1,016	6	6
CBR de diseño %		7,2	

Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

Calicata 2 – 1,5% de tereftalato de polietileno (PET)

Tabla 69 Contenido de humedad, límites de Atterberg y clasificación de suelos
Calicata 2 – 1,5 % PET

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN									
Tema: Análisis de las propiedades físico-mecánicas y CBR de suelos cohesivos de subrasante mezclados con partículas de tereftalato de polietileno (PET)									
Provincia: Morona Santiago			%PET: 1,5						
Cantón: Morona			Coordenadas: 824610,815; 9756740,340						
Parroquia: Sevilla Don Bosco			Realizado por: Nancy Patricia Ocampo Guerrero						
Muestra N°: 2			Revisado por: Ing. Fidel Castro						
Contenido de humedad									
Peso suelo húmedo + recipiente			73,10			76,50			
Peso suelo seco + recipiente			37,20			40,80			
Peso recipiente			23,10			26,50			
Peso del agua			35,90			35,70			
Peso de los sólidos			14,10			14,30			
Contenido de humedad			254,61			249,65			
Contenido de humedad promedio			252,13						
Límite Líquido									
Número de golpes		16		22		27		34	
Recipiente N°		37	13LA	50	38	49	60	51	54
Peso suelo hum. + rec.		13,90	13,10	34,20	30,40	26,80	31,10	26,10	31,30
Peso suelo seco + rec.		12,10	12,40	32,50	29,20	25,70	29,90	25,20	30,40
Peso recipiente		10,20	11,70	30,70	28,10	24,20	28,50	24,10	29,30
Peso del agua		1,80	0,70	1,70	1,20	1,10	1,20	0,90	0,90
Peso de los sólidos		1,90	0,70	1,80	1,10	1,50	1,40	1,10	1,10
W%		94,74	100,00	94,44	109,09	73,33	85,71	81,82	81,82
W% promedio		97,37		101,77		79,52		81,82	
Límite Líquido									
<p>Contenido de humedad %</p> <p>Número de golpes</p> <p>$y = -26,36\ln(x) + 173,72$ $R^2 = 0,5774$</p> <p>LL=88,87</p>									

Límite Plástico					
Recipiente N°	14	11	26	54	42
Peso suelo hum. + rec.	26,00	7,30	40,80	29,90	33,70
Peso suelo seco + rec.	25,50	7,10	40,30	29,20	33,20
Peso recipiente	24,60	6,70	39,10	28,10	32,10
Peso del agua	0,50	0,20	0,50	0,70	0,50
Peso de los sólidos	0,90	0,40	1,20	1,10	1,10
W%	55,56	50,00	41,67	63,64	45,45
W% promedio	51,26				
Límite de Contracción					
Determinación del volumen del suelo					
N° de cápsula de contracción	2		4A		
Peso de la cápsula de contracción con mercurio	264,70		284,10		
Peso de la cápsula de contracción	21,30		22,50		
Peso del mercurio	243,40		261,60		
Densidad del mercurio	13,40		13,40		
Volumen de la masa (Vm)	18,16		19,52		
Determinación del contenido de humedad del suelo					
Peso muestra húmeda + recipiente (Wm+Wr)	47,10		50,60		
Peso muestra seca + recipiente (Ws+Wr)	37,10		39,60		
Peso del agua (Ww)	10,00		11,00		
Peso del recipiente (Wr)	21,30		22,50		
Peso de la muestra seca (Ws)	15,80		17,10		
Contenido de Humedad W%	63,29		64,33		
Determinación del volumen del suelo seco moldeado					
Peso cristal Lucita lleno mercurio	754,10		754,10		
Peso cristal Lucita con desalojo mercurio	580,50		570,10		
Peso mercurio desalojado	173,60		184,00		
Densidad del mercurio	13,40		13,40		
Volumen del suelo contraído (Vo)	12,96		13,73		
Determinación del límite de contracción					
Límite de contracción %	30,32		30,46		
Límite de contracción promedio %	30,39				
Resultados					
Límite Líquido %	88,87				
Límite Plástico %	51,26				
Índice de plasticidad	37,61				
Límite de contracción %	30,39				
Clasificación					
SUCS			AASHTO		
CH			A7-5		

Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

Tabla 70 Granulometría Calicata 2 – 1,5 % PET

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN						
Tema: Análisis de las propiedades físico-mecánicas y CBR de suelos cohesivos de subrasante mezclados con partículas de tereftalato de polietileno (PET)						
Provincia: Morona Santiago			%PET: 1,5			
Cantón: Morona			Coordenadas: 824610,815; 9756740,340			
Parroquia: Sevilla Don Bosco			Realizado por: Nancy Patricia Ocampo Guerrero			
Muestra N°: 2			Revisado por: Ing. Fidel Castro			
Granulometría						
Tamaño de la muestra			1000 gr			
Tamiz	Tamaño en mm	Pesos retenidos acumulados	Peso retenido	% Retenido Acumulado	% Retenido	% Que pasa
4	4,76	0	0	0	0,00	100
8	2,38	0,5	0,5	0,05	0,05	99,95
10	2	3,1	2,6	0,31	0,26	99,69
16	1,18	10,9	7,8	1,09	0,78	98,91
30	0,6	19,7	8,8	1,97	0,88	98,03
40	0,425	36	16,3	3,60	1,63	96,40
50	0,3	143,2	107,2	14,32	10,72	85,68
60	0,25	200,6	57,4	20,06	5,74	79,94
100	0,15	289,1	88,5	28,91	8,85	71,09
200	0,075	397,9	108,8	39,79	10,88	60,21
Fuente	0,03	999,1	601,2	99,91	60,12	0,09

CURVA GRANULOMÉTRICA					
D10	0,035mm	D30	0,046mm	D60	0,075mm
Cu	2,14mm	Cc	0,81mm	TNM	0,3mm

Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

Tabla 71 Gravedad específica y densidad de campo Calicata 2 – 1,5 % PET

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN			
Tema: Análisis de las propiedades físico-mecánicas y CBR de suelos cohesivos de subrasante mezclados con partículas de tereftalato de polietileno (PET)			
Provincia: Morona Santiago	%PET: 1,5		
Cantón: Morona	Coordenadas: 824610,815; 9756740,340		
Parroquia: Sevilla Don Bosco	Realizado por: Nancy Patricia Ocampo Guerrero		
Muestra N°: 2	Revisado por: Ing. Fidel Castro		
Gravedad específica			
Peso picnómetro + agua (Wbw)	662,00	662,20	645,10
Peso Picnómetro + agua + suelo sumergido (Wbws)	692,90	693,00	675,30
Peso desplazamiento de agua (Dw)	19,10	19,20	19,80
Temperatura °C	23,70	22,10	21,40
Factor de corrección por temperatura K	0,997	0,998	0,998
N° de recipiente	29,00	3,00	69,00
Peso del recipiente	46,90	48,00	259,30
Peso del recipiente + suelo sumergido	567,80	569,00	781,30
Peso del recipiente + suelo seco	95,70	96,50	307,10
Peso del suelo seco (Ws)	48,80	48,50	47,80
Gravedad específica (Gs)	2,72	2,73	2,71
Gravedad específica promedio (Gs)	2,72		
Densidad de campo			
Muestra	2		
Peso de la masa de suelo + rec.	1459,00		
Peso del recipiente	5,30		
Peso de la masa de suelo	1453,70		
Lectura inicial frasco + cono + arena	6116,60		
Lectura final frasco + cono + arena	4071,10		
Peso de arena en el cono	313,40		
Peso de arena en la muestra	1418,70		
Densidad de la arena de Ottawa	1,58		
Volumen de la masa extraída	1368,11		
N° de recipiente	95	2	
Peso Recipiente	33,40	30,60	
Peso muestra Húmeda + Rec.	135,60	130,90	
Peso muestra Seca + Recipiente	82,10	80,20	
Peso Agua	53,50	50,70	
Peso muestra Seca	48,70	49,60	
Contenido de Humedad (%)	109,86	102,22	
W% promedio	106,04		
Peso vol. de la masa de suelo	1,063		
Peso volumétrico seco	0,516		

Gráfico representativo		Volumen	Peso
Vv		78,47	-
Va		24,97	0
Vw		53,50	53,50
Vs		17,71	48,70
Vm		96,18	102,20
Relación de vacíos		4,43	
Porosidad		81,59	
Grado de saturación del agua		68,18	
Grado de saturación del aire		31,82	
Nota: Al ser un ensayo de campo, se realizó en las muestras naturales			

Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

Tabla 72 Compactación del suelo Calicata 2 – 1,5 % PET

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO									
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA									
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL									
PROYECTO DE TITULACIÓN									
Tema: Análisis de las propiedades físico-mecánicas y CBR de suelos cohesivos de subrasante mezclados con partículas de tereftalato de polietileno (PET)									
Provincia: Morona Santiago				%PET: 1,5					
Cantón: Morona				Coordenadas: 824610,815; 9756740,340					
Parroquia: Sevilla Don Bosco				Realizado por: Nancy Patricia Ocampo Guerrero					
Muestra N°: 2				Revisado por: Ing. Fidel Castro					
Proctor Modificado B - AASHTO T-180									
N° de Golpes:		56		Peso Molde:		12730			
Altura de Caída: 18"		1,5		Peso Martillo:		10			
N° de Capas:		5		Volumen del Molde:		2287,14			
Ensayo N°		1		2		3		4	
Peso Inicial Deseado		6000		6000		6000		6000	
Humedad Estimada		8		12		16		20	
Peso Molde+Suelo Hum		15671		15904		16051		16139	
Peso Suelo Húmedo		2941		3174		3321		3409	
Peso Vol. Hum.		1,286		1,388		1,452		1,491	
Peso Vol. Seco		1,036		1,091		1,107		1,103	
W%		a	b	c	d	e	f	g	h
Recipiente N°		49	50	51	54	34A	35A	37	48
Peso Recipiente		24,6	26,9	24,6	25,7	26,1	26,3	24,6	24,1
Peso suelo Hum + Rec.		70,1	71,3	71,1	70,8	83,2	79,6	71,1	76,3
Peso suelo Seca + Rec.		61,1	62,8	60,9	61,4	69,7	66,9	59,3	62,4
Peso Agua		9	8,5	10,2	9,4	13,5	12,7	11,8	13,9
Peso suelo seco		36,5	35,9	36,3	35,7	43,6	40,6	34,7	38,3
W%		24,66	23,68	28,10	26,33	30,96	31,28	34,01	36,29
Promedio W%		24,17		27,21		31,12		35,15	
Contenido de humedad óptimo		Peso específico seco				Grado de compactación			
31,9%		1,1137 gr/cm ³				97,35%			

Curva de compactación

El gráfico muestra una curva de compactación con los siguientes datos:

Contenido de humedad (%)	Peso específico seco (gr/cm³)
24,66	1,036
23,68	1,091
28,10	1,107
26,33	1,103
30,96	1,1137
31,28	1,1137
34,01	1,103
36,29	1,103

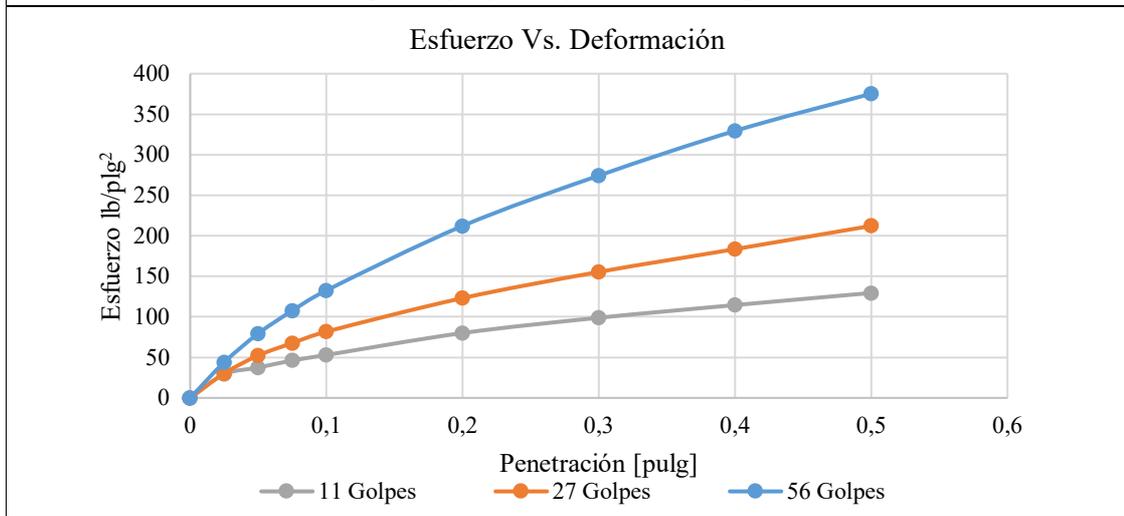
Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

Tabla 73 CBR Calicata 2 – 1,5 % PET

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO						
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA						
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
PROYECTO DE TITULACIÓN						
Tema: Análisis de las propiedades físico-mecánicas y CBR de suelos cohesivos de subrasante mezclados con partículas de tereftalato de polietileno (PET)						
Provincia: Morona Santiago	%PET: 1,5					
Cantón: Morona	Coordenadas: 824610,815; 9756740,340					
Parroquia: Sevilla Don Bosco	Realizado por: Nancy Patricia Ocampo Guerrero					
Muestra N°: 2	Revisado por: Ing. Fidel Castro					
Ensayo CBR - AASHTO T-180						
N° Molde	7		10		8	
Número de golpes (N)	56		27		11	
Peso suelo + recipiente (gr)	9965		9138		9794	
Peso del recipiente (gr)	6734		5992		7022	
Peso de la masa de suelo Wm (gr)	3231		3146		2772	
Volumen de la muestra Vm (cm ³)	2274,36		2305,61		2353,15	
Peso unitario húmedo (gr/cm ³)	1,421		1,364		1,178	
Peso Volumétrico Seco	1,075		1,025		0,890	
Contenido de Humedad	Base	Molde	Base	Molde	Base	Molde
Peso Recipiente	30,6	30,8	31,1	32,2	33	30,2
Peso muestra Húmeda + Rec.	102,8	95,1	104	137,4	174,4	155,7
Peso muestra Seca + Recipiente	85,2	79,5	86	111,1	139,7	125,2
Peso Agua	17,6	15,6	18	26,3	34,7	30,5
Peso muestra Seca	54,6	48,7	54,9	78,9	106,7	95
Contenido de Humedad (%)	32,23	32,03	32,79	33,33	32,52	32,11
Promedio W%	32,13		33,06		32,31	
Datos después de la saturación						
Peso muestra Húmeda + Molde	10089		9334		10176	
Peso muestra Húmeda	3355		3342		3154	
Peso agua absorbida	124		196		382	
Porcentaje de humedad absorbido	5,45		8,50		16,23	
Contenido de Humedad	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Peso Recipiente	30,8	31,7	31,2	32,2	30,7	33,1
Peso muestra Húmeda + Rec.	115,8	112,7	95,7	98,8	104,8	107,3
Peso muestra Seca + Recipiente	93,4	90,5	76,7	78,9	80,4	83,1
Peso Agua	22,4	22,2	19	19,9	24,4	24,2
Peso muestra Seca	62,6	58,8	45,5	46,7	49,7	50
Contenido de Humedad (%)	35,78	37,76	41,76	42,61	49,09	48,40
Promedio W%	36,77		42,19		48,75	
Ensayo de CBR						
N° Molde	7		10		8	
Penetración [pulg]	Lbf	lb/plg ²	Lbf	lb/plg ³	Lbf	lb/plg ⁴
0	0	0,00	0	0	0	0
0,025	131,8	43,92	90,8	30,27	87,3	29,09
0,05	238,4	79,47	157,2	52,41	112,3	37,43
0,075	323,0	107,66	202,9	67,63	138,6	46,20
0,1	397,9	132,62	245,2	81,74	158,9	52,97
0,2	636,6	212,20	369,5	123,17	240,2	80,06
0,3	822,8	274,28	466,3	155,42	296,7	98,90

0,4	988,5	329,49	550,7	183,56	343,6	114,54
0,5	1126,0	375,33	636,7	212,25	388,4	129,47

Gráfico Esfuerzo Vs Penetración



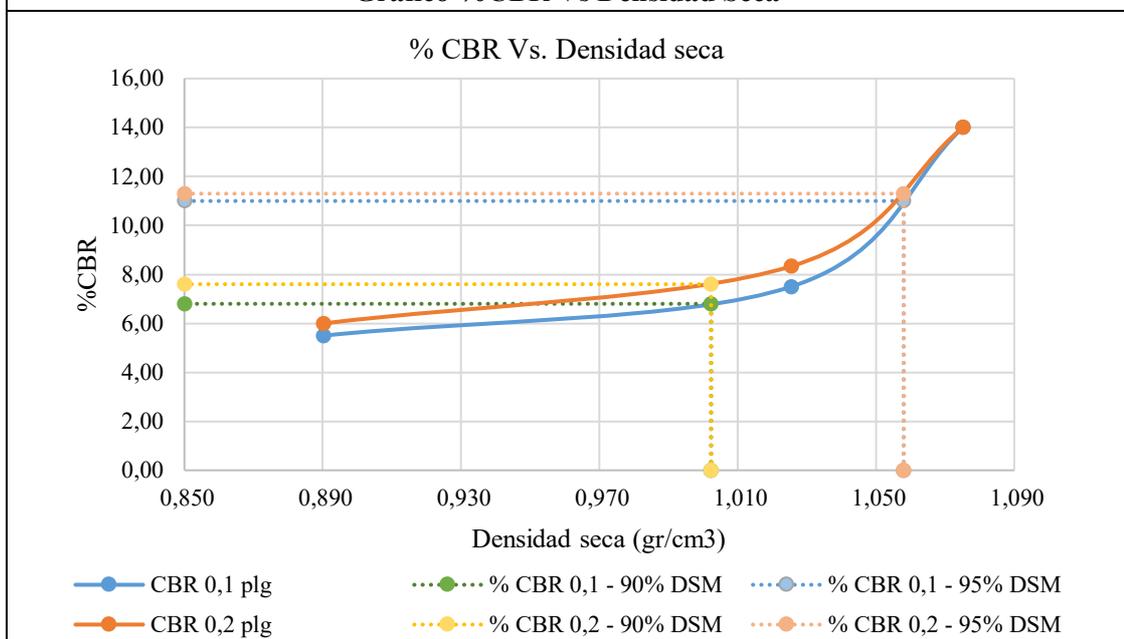
Porcentaje CBR corregido

Molde N°	Presión lb/plg ²	CBR 0,1 plg	Densidad seca (gr/cm ³)	Presión lb/plg ²	CBR 0,2 plg	Densidad seca (gr/cm ³)
7	140,00	14,00	1,075	210,00	14,00	1,075
10	75,00	7,50	1,025	125,00	8,33	1,025
8	55,00	5,50	0,890	90,00	6,00	0,890

Densidad seca máxima (gr/cm³)

1,1137

Gráfico %CBR Vs Densidad Seca



Densidad seca máxima (gr/cm ³)	% CBR 0,1 plg	% CBR 0,2 plg	% CBR mayor
95%	1,058	11	11,3
90%	1,002	6,8	7,6
CBR de diseño %		11,3	

Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

Calicata 2 – 2,0% de tereftalato de polietileno (PET)

Tabla 74 Contenido de humedad, límites de Atterberg y clasificación de suelos
Calicata 2 – 2,0 % PET

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN								
Tema: Análisis de las propiedades físico-mecánicas y CBR de suelos cohesivos de subrasante mezclados con partículas de tereftalato de polietileno (PET)								
Provincia: Morona Santiago			%PET: 2,0					
Cantón: Morona			Coordenadas: 824610,815; 9756740,340					
Parroquia: Sevilla Don Bosco			Realizado por: Nancy Patricia Ocampo Guerrero					
Muestra N°: 2			Revisado por: Ing. Fidel Castro					
Contenido de humedad								
Peso suelo húmedo + recipiente	80,70			81,90				
Peso suelo seco + recipiente	45,20			46,50				
Peso recipiente	30,70			31,90				
Peso del agua	35,50			35,40				
Peso de los sólidos	14,50			14,60				
Contenido de humedad	244,83			242,47				
Contenido de humedad promedio	243,65							
Límite Líquido								
Número de golpes	15		22		27		45	
Recipiente N°	70	18	35	14	16	37	73	27
Peso suelo hum. + rec.	13,70	14,90	14,90	13,90	15,00	14,50	15,20	16,40
Peso suelo seco + rec.	12,40	13,30	13,30	12,80	13,20	13,20	13,60	13,90
Peso recipiente	10,90	11,50	11,20	11,10	11,20	11,40	11,20	10,60
Peso del agua	1,30	1,60	1,60	1,10	1,80	1,30	1,60	2,50
Peso de los sólidos	1,50	1,80	2,10	1,70	2,00	1,80	2,40	3,30
W%	86,67	88,89	76,19	64,71	90,00	72,22	66,67	75,76
W% promedio	87,78		70,45		81,11		71,21	
Límite Líquido								
<p>Contenido de humedad %</p> <p>Número de golpes</p> <p>$y = -12,36\ln(x) + 117,51$ $R^2 = 0,4621$</p> <p>LL=77,72</p>								

Límite Plástico					
Recipiente N°	57	113	9LA	82	11
Peso suelo hum. + rec.	6,30	6,50	8,90	6,70	8,40
Peso suelo seco + rec.	5,70	5,80	8,20	5,80	7,80
Peso recipiente	4,50	4,30	6,90	4,10	6,70
Peso del agua	0,60	0,70	0,70	0,90	0,60
Peso de los sólidos	1,20	1,50	1,30	1,70	1,10
W%	50,00	46,67	53,85	52,94	54,55
W% promedio	51,60				
Límite de Contracción					
Determinación del volumen del suelo					
N° de cápsula de contracción			1	13	
Peso de la cápsula de contracción con mercurio			286,60	282,10	
Peso de la cápsula de contracción			22,60	22,30	
Peso del mercurio			264,00	259,80	
Densidad del mercurio			13,40	13,40	
Volumen de la masa (Vm)			19,70	19,39	
Determinación del contenido de humedad del suelo					
Peso muestra húmeda + recipiente (Wm+Wr)			40,90	49,30	
Peso muestra seca + recipiente (Ws+Wr)			34,30	39,50	
Peso del agua (Ww)			6,60	9,80	
Peso del recipiente (Wr)			22,60	22,30	
Peso de la muestra seca (Ws)			11,70	17,20	
Contenido de Humedad W%			56,41	56,98	
Determinación del volumen del suelo seco moldeado					
Peso cristal Lucita lleno mercurio			754,70	754,70	
Peso cristal Lucita con desalojo mercurio			533,70	556,70	
Peso mercurio desalojado			221,00	198,00	
Densidad del mercurio			13,40	13,40	
Volumen del suelo contraído (Vo)			16,49	14,78	
Determinación del límite de contracción					
Límite de contracción %			28,98	30,16	
Límite de contracción promedio %			29,57		
Resultados					
Límite Líquido %			77,72		
Límite Plástico %			51,60		
Índice de plasticidad			26,12		
Límite de contracción %			29,57		
Clasificación					
SUCS			AASHTO		
CH			A7-5		

Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

Tabla 75 Granulometría Calicata 2 – 2,0 % PET

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO						
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA						
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
PROYECTO DE TITULACIÓN						
Tema: Análisis de las propiedades físico-mecánicas y CBR de suelos cohesivos de subrasante mezclados con partículas de tereftalato de polietileno (PET)						
Provincia: Morona Santiago			%PET: 2,0			
Cantón: Morona			Coordenadas: 824610,815; 9756740,340			
Parroquia: Sevilla Don Bosco			Realizado por: Nancy Patricia Ocampo Guerrero			
Muestra N°: 2			Revisado por: Ing. Fidel Castro			
Granulometría						
Tamaño de la muestra			1000 gr			
Tamiz	Tamaño en mm	Pesos retenidos acumulados	Peso retenido	% Retenido Acumulado	% Retenido	% Que pasa
4	4,76	0	0	0	0,00	100
8	2,38	0,9	0,9	0,09	0,09	99,91
10	2	1,4	0,5	0,14	0,05	99,86
16	1,18	9,4	8	0,94	0,80	99,06
30	0,6	11,9	2,5	1,19	0,25	98,81
40	0,425	29,9	18	2,99	1,80	97,01
50	0,3	77,6	47,7	7,76	4,77	92,24
60	0,25	99,2	21,6	9,92	2,16	90,08
100	0,15	190,2	91	19,02	9,10	80,98
200	0,075	388,7	198,5	38,87	19,85	61,13
Fuente	0,03	997,9	609,2	99,79	60,92	0,21

CURVA GRANULOMÉTRICA

El gráfico muestra la curva granulométrica con el eje X representando el tamaño del tamiz en mm (logaritmo) y el eje Y representando el porcentaje que pasa (%). La curva principal es una línea azul con puntos. Se marcan los puntos D10 (10%), D30 (30%) y D60 (60%) con líneas de trazo discontinuo y puntos de color correspondiente (naranja, verde y amarillo).

D10	0,035mm	D30	0,046mm	D60	0,074mm
Cu	2,11mm	Cc	0,82mm	TNM	0,3mm

Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

Tabla 76 Gravedad específica y densidad de campo Calicata 2 – 2,0 % PET

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN			
Tema: Análisis de las propiedades físico-mecánicas y CBR de suelos cohesivos de subrasante mezclados con partículas de tereftalato de polietileno (PET)			
Provincia: Morona Santiago	%PET: 2,0		
Cantón: Morona	Coordenadas: 824610,815; 9756740,340		
Parroquia: Sevilla Don Bosco	Realizado por: Nancy Patricia Ocampo Guerrero		
Muestra N°: 2	Revisado por: Ing. Fidel Castro		
Gravedad específica			
Peso picnómetro + agua (Wbw)	662,10	662,10	662,00
Peso Picnómetro + agua + suelo sumergido (Wbws)	692,70	692,60	692,30
Peso desplazamiento de agua (Dw)	19,40	19,50	19,70
Temperatura °C	18,70	18,50	19,00
Factor de corrección por temperatura K	0,998	0,999	0,998
N° de recipiente	56,00	57,00	55,00
Peso del recipiente	64,40	62,80	62,10
Peso del recipiente + suelo sumergido	587,20	585,70	585,10
Peso del recipiente + suelo seco	113,00	111,50	110,90
Peso del suelo seco (Ws)	48,60	48,70	48,80
Gravedad específica (Gs)	2,70	2,67	2,63
Gravedad específica promedio (Gs)	2,67		
Densidad de campo			
Muestra	2		
Peso de la masa de suelo + rec.	1459,00		
Peso del recipiente	5,30		
Peso de la masa de suelo	1453,70		
Lectura inicial frasco + cono + arena	6116,60		
Lectura final frasco + cono + arena	4071,10		
Peso de arena en el cono	313,40		
Peso de arena en la muestra	1418,70		
Densidad de la arena de Ottawa	1,58		
Volumen de la masa extraída	1368,11		
N° de recipiente	95	2	
Peso Recipiente	33,40	30,60	
Peso muestra Húmeda + Rec.	135,60	130,90	
Peso muestra Seca + Recipiente	82,10	80,20	
Peso Agua	53,50	50,70	
Peso muestra Seca	48,70	49,60	
Contenido de Humedad (%)	109,86	102,22	
W% promedio	106,04		
Peso vol. de la masa de suelo	1,063		
Peso volumétrico seco	0,516		

Gráfico representativo		Volumen	Peso
Vv		78,47	-
Va		24,97	0
Vw		53,50	53,50
Vs		17,71	48,70
Vm		96,18	102,20
Relación de vacíos		4,43	
Porosidad		81,59	
Grado de saturación del agua		68,18	
Grado de saturación del aire		31,82	
Nota: Al ser un ensayo de campo, se realizó en las muestras naturales			

Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

Tabla 77 Compactación del suelo Calicata 2 – 2,0 % PET

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN								
Tema: Análisis de las propiedades físico-mecánicas y CBR de suelos cohesivos de subrasante mezclados con partículas de tereftalato de polietileno (PET)								
Provincia: Morona Santiago			%PET: 2,0					
Cantón: Morona			Coordenadas: 824610,815; 9756740,340					
Parroquia: Sevilla Don Bosco			Realizado por: Nancy Patricia Ocampo Guerrero					
Muestra N°: 2			Revisado por: Ing. Fidel Castro					
Proctor Modificado B - AASHTO T-180								
N° de Golpes:	56			Peso Molde:		12730		
Altura de Caída: 18"	1,5			Peso Martillo:		10		
N° de Capas:	5			Volumen del Molde:		2287,14		
Ensayo N°	1		2		3		4	
Peso Inicial Deseado	6000		6000		6000		6000	
Humedad Estimada	10		14		18		22	
Peso Molde+Suelo Hum	15844		15959		16039		16101	
Peso Suelo Húmedo	3114		3229		3309		3371	
Peso Vol. Hum.	1,362		1,412		1,447		1,474	
Peso Vol. Seco	1,099		1,104		1,105		1,099	
W%	a	b	c	d	e	f	g	h
Recipiente N°	47	46	42	26	5	8	32	29
Peso Recipiente	30,6	33,7	28,7	29,1	51,2	50	48,3	43,1
Peso suelo Hum + Rec.	84,1	86	73,7	99,5	116,5	107,9	119,3	108,7
Peso suelo Seca + Rec.	73,9	75,8	64,1	83,8	101,2	94,1	101,5	91,8
Peso Agua	10,2	10,2	9,6	15,7	15,3	13,8	17,8	16,9
Peso suelo seco	43,3	42,1	35,4	54,7	50	44,1	53,2	48,7
W%	23,56	24,23	27,12	28,70	30,60	31,29	33,46	34,70
Promedio W%	23,89		27,91		30,95		34,08	
Contenido de humedad óptimo	Peso específico seco			Grado de compactación				
29,4%	1,1048 gr/cm ³			99,72%				

Curva de compactación

Contenido de humedad (%)	Peso específico seco (gr/cm³)
23,56	1,099
24,23	1,1048
27,12	1,104
28,70	1,105
30,60	1,104
31,29	1,104
33,46	1,099

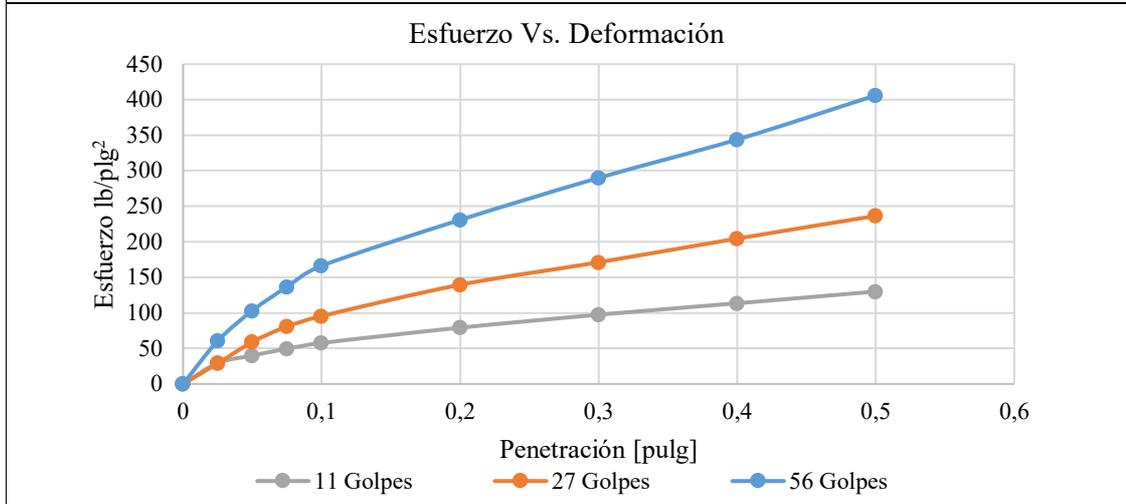
Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

Tabla 78 CBR Calicata 2 – 2,0 % PET

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO						
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA						
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
PROYECTO DE TITULACIÓN						
Tema: Análisis de las propiedades físico-mecánicas y CBR de suelos cohesivos de subrasante mezclados con partículas de tereftalato de polietileno (PET)						
Provincia: Morona Santiago	%PET: 2,0					
Cantón: Morona	Coordenadas: 824610,815; 9756740,340					
Parroquia: Sevilla Don Bosco	Realizado por: Nancy Patricia Ocampo Guerrero					
Muestra N°: 2	Revisado por: Ing. Fidel Castro					
Ensayo CBR - AASHTO T-180						
N° Molde	6		9		6	
Número de golpes (N)	56		27		11	
Peso suelo + recipiente (gr)	8958		9334		8094	
Peso del recipiente (gr)	5820		6350		5759	
Peso de la masa de suelo Wm (gr)	3138		2984		2335	
Volumen de la muestra Vm (cm ³)	2287,14		2286,28		2287,14	
Peso unitario húmedo (gr/cm ³)	1,372		1,305		1,021	
Peso Volumétrico Seco	1,057		1,004		0,789	
Contenido de Humedad	Base	Molde	Base	Molde	Base	Molde
Peso Recipiente	31,9	30,6	32,5	31,7	33,3	32
Peso muestra Húmeda + Rec.	103,8	95,7	139,1	158,1	139,7	136,7
Peso muestra Seca + Recipiente	87,1	80,9	114,6	128,9	115,4	113,1
Peso Agua	16,7	14,8	24,5	29,2	24,3	23,6
Peso muestra Seca	55,2	50,3	82,1	97,2	82,1	81,1
Contenido de Humedad (%)	30,25	29,42	29,84	30,04	29,60	29,10
Promedio W%	29,84		29,94		29,35	
Datos después de la saturación						
Peso muestra Húmeda + Molde	9061		9552		8404	
Peso muestra Húmeda	3241		3202		2645	
Peso agua absorbida	103		218		310	
Porcentaje de humedad absorbido	4,50		9,54		13,55	
Contenido de Humedad	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Peso Recipiente	30,8	31,1	32,5	31,7	33,3	32
Peso muestra Húmeda + Rec.	159,7	147	106,8	120,9	159,4	132,5
Peso muestra Seca + Recipiente	126,4	116,4	85,6	96,4	121,9	102,1
Peso Agua	33,3	30,6	21,2	24,5	37,5	30,4
Peso muestra Seca	95,6	85,3	53,1	64,7	88,6	70,1
Contenido de Humedad (%)	34,83	35,87	39,92	37,87	42,33	43,37
Promedio W%	35,35		38,90		42,85	
Ensayo de CBR						
N° Molde	6		9		6	
Penetración [pulg]	Lbf	lb/plg ²	Lbf	lb/plg ³	Lbf	lb/plg ⁴
0	0	0	0	0	0	0
0,025	181,6	60,5	86,9	29,0	88,2	29,4
0,05	309,2	103,1	177,1	59,0	119,8	39,9
0,075	410,1	136,7	242,6	80,9	148,5	49,5
0,1	498,7	166,2	286,3	95,4	172,9	57,6
0,2	692,4	230,8	418,6	139,5	237,4	79,1
0,3	869,8	289,9	513,6	171,2	292,2	97,4

0,4	1031,9	344,0	613,7	204,6	340,6	113,5
0,5	1218,2	406,1	709,6	236,5	389,9	130,0

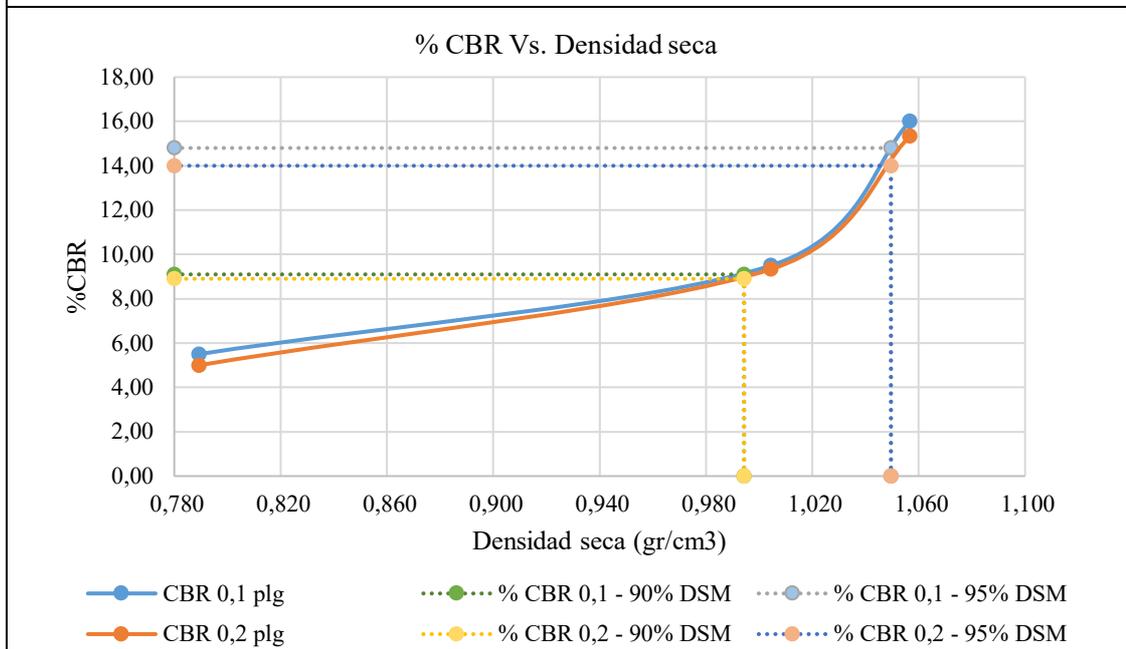
Gráfico Esfuerzo Vs Penetración



Porcentaje CBR corregido

Molde N°	Presión lb/plg²	CBR 0,1 plg	Densidad seca (gr/cm³)	Presión lb/plg²	CBR 0,2 plg	Densidad seca (gr/cm³)
6	160,00	16,00	1,057	230,00	15,33	1,057
9	95,00	9,50	1,004	140,00	9,33	1,004
6	55,00	5,50	0,789	75,00	5,00	0,789
Densidad seca máxima (gr/cm³)				1,1048		

Gráfico %CBR Vs Densidad Seca



Densidad seca máxima (gr/cm³)	% CBR 0,1 plg	% CBR 0,2 plg	% CBR mayor	
95%	1,050	14,8	14	14,8
90%	0,994	9,1	8,9	9,1
CBR de diseño %			7,3	

Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

Calicata 2 – 2,5% de tereftalato de polietileno (PET)

Tabla 79 Contenido de humedad, límites de Atterberg y clasificación de suelos
Calicata 2 – 2,5 % PET

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN									
Tema: Análisis de las propiedades físico-mecánicas y CBR de suelos cohesivos de subrasante mezclados con partículas de tereftalato de polietileno (PET)									
Provincia: Morona Santiago			%PET: 2,5						
Cantón: Morona			Coordenadas: 824610,815; 9756740,340						
Parroquia: Sevilla Don Bosco			Realizado por: Nancy Patricia Ocampo Guerrero						
Muestra N°: 2			Revisado por: Ing. Fidel Castro						
Contenido de humedad									
Peso suelo húmedo + recipiente			82,80		82,30				
Peso suelo seco + recipiente			47,80		47,00				
Peso recipiente			32,80		32,30				
Peso del agua			35,00		35,30				
Peso de los sólidos			15,00		14,70				
Contenido de humedad			233,33		240,14				
Contenido de humedad promedio			236,73						
Límite Líquido									
Número de golpes		17		23		29		34	
Recipiente N°		15,30	13,90	31,20	38,40	14,70	14,50	28,20	32,80
Peso suelo hum. + rec.		13,60	12,20	29,70	35,80	13,40	12,80	26,50	30,80
Peso suelo seco + rec.		11,50	10,20	27,60	32,50	11,80	10,90	23,80	28,10
Peso recipiente		1,70	1,70	1,50	2,60	1,30	1,70	1,70	2,00
Peso del agua		2,10	2,00	2,10	3,30	1,60	1,90	2,70	2,70
Peso de los sólidos		80,95	85,00	71,43	78,79	81,25	89,47	62,96	74,07
W%		15,30	13,90	31,20	38,40	14,70	14,50	28,20	32,80
W% promedio		82,98		75,11		85,36		68,52	
Límite Líquido									

Límite Plástico					
Recipiente N°	43	34	41	36A	40
Peso suelo hum. + rec.	35,50	36,40	36,20	35,30	36,80
Peso suelo seco + rec.	34,90	35,90	35,90	34,70	36,10
Peso recipiente	33,60	35,00	35,20	33,60	34,50
Peso del agua	0,60	0,50	0,30	0,60	0,70
Peso de los sólidos	1,30	0,90	0,70	1,10	1,60
W%	46,15	55,56	42,86	54,55	43,75
W% promedio	48,57				
Límite de Contracción					
Determinación del volumen del suelo					
N° de cápsula de contracción	17		6a		
Peso de la cápsula de contracción con mercurio	285,70		290,80		
Peso de la cápsula de contracción	22,50		22,70		
Peso del mercurio	263,20		268,10		
Densidad del mercurio	13,40		13,40		
Volumen de la masa (Vm)	19,64		20,01		
Determinación del contenido de humedad del suelo					
Peso muestra húmeda + recipiente (Wm+Wr)	50,10		50,10		
Peso muestra seca + recipiente (Ws+Wr)	40,40		40,50		
Peso del agua (Ww)	9,70		9,60		
Peso del recipiente (Wr)	22,50		22,70		
Peso de la muestra seca (Ws)	17,90		17,80		
Contenido de Humedad W%	54,19		53,93		
Determinación del volumen del suelo seco moldeado					
Peso cristal Lucita lleno mercurio	754,10		754,10		
Peso cristal Lucita con desalojo mercurio	552,90		550,80		
Peso mercurio desalojado	201,20		203,30		
Densidad del mercurio	13,40		13,40		
Volumen del suelo contraído (Vo)	15,01		15,17		
Determinación del límite de contracción					
Límite de contracción %	28,34		26,77		
Límite de contracción promedio %	27,55				
Resultados					
Límite Líquido %	77,96				
Límite Plástico %	48,57				
Índice de plasticidad	29,38				
Límite de contracción %	27,55				
Clasificación					
SUCS			AASHTO		
CH			A7-5		

Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

Tabla 80 Granulometría Calicata 2 – 2,5 % PET

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN						
Tema: Análisis de las propiedades físico-mecánicas y CBR de suelos cohesivos de subrasante mezclados con partículas de tereftalato de polietileno (PET)						
Provincia: Morona Santiago			%PET: 2,5			
Cantón: Morona			Coordenadas: 824610,815; 9756740,340			
Parroquia: Sevilla Don Bosco			Realizado por: Nancy Patricia Ocampo Guerrero			
Muestra N°: 2			Revisado por: Ing. Fidel Castro			
Granulometría						
Tamaño de la muestra			1000 gr			
Tamiz	Tamaño en mm	Pesos retenidos acumulados	Peso retenido	% Retenido Acumulado	% Retenido	% Que pasa
4	4,76	0,1	0,1	0,01	0,01	99,99
8	2,38	2,9	2,8	0,29	0,28	99,71
10	2	3,5	0,6	0,35	0,06	99,65
16	1,18	22,6	19,1	2,26	1,91	97,74
30	0,6	31,1	8,5	3,11	0,85	96,89
40	0,425	51,6	20,5	5,16	2,05	94,84
50	0,3	97,6	46	9,76	4,60	90,24
60	0,25	139	41,4	13,90	4,14	86,10
100	0,15	288,2	149,2	28,82	14,92	71,18
200	0,075	448,7	160,5	44,87	16,05	55,13
Fuente	0,03	1000	551,3	100	55,13	0,00

CURVA GRANULOMÉTRICA					
D10	0,035mm	D30	0,048mm	D60	0,085mm
Cu	2,43mm	Cc	0,77mm	TNM	0,425mm

Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

Tabla 81 Gravedad específica y densidad de campo Calicata 2 – 2,5 % PET

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN			
Tema: Análisis de las propiedades físico-mecánicas y CBR de suelos cohesivos de subrasante mezclados con partículas de tereftalato de polietileno (PET)			
Provincia: Morona Santiago	%PET: 2,5		
Cantón: Morona	Coordenadas: 824610,815; 9756740,340		
Parroquia: Sevilla Don Bosco	Realizado por: Nancy Patricia Ocampo Guerrero		
Muestra N°: 2	Revisado por: Ing. Fidel Castro		
Gravedad específica			
Peso picnómetro + agua (Wbw)	662,40	662,00	650,70
Peso Picnómetro + agua + suelo sumergido (Wbws)	692,70	692,10	680,70
Peso desplazamiento de agua (Dw)	19,70	19,90	20,00
Temperatura °C	22,00	21,70	20,90
Factor de corrección por temperatura K	0,998	0,999	0,998
N° de recipiente	7,00	15,00	66,00
Peso del recipiente	51,60	50,10	256,30
Peso del recipiente + suelo sumergido	572,00	571,40	775,60
Peso del recipiente + suelo seco	100,30	98,30	305,20
Peso del suelo seco (Ws)	48,70	48,20	48,90
Gravedad específica (Gs)	2,64	2,66	2,58
Gravedad específica promedio (Gs)	2,63		
Densidad de campo			
Muestra	2		
Peso de la masa de suelo + rec.	1459,00		
Peso del recipiente	5,30		
Peso de la masa de suelo	1453,70		
Lectura inicial frasco + cono + arena	6116,60		
Lectura final frasco + cono + arena	4071,10		
Peso de arena en el cono	313,40		
Peso de arena en la muestra	1418,70		
Densidad de la arena de Ottawa	1,58		
Volumen de la masa extraída	1368,11		
N° de recipiente	95	2	
Peso Recipiente	33,40	30,60	
Peso muestra Húmeda + Rec.	135,60	130,90	
Peso muestra Seca + Recipiente	82,10	80,20	
Peso Agua	53,50	50,70	
Peso muestra Seca	48,70	49,60	
Contenido de Humedad (%)	109,86	102,22	
W% promedio	106,04		
Peso vol. de la masa de suelo	1,063		
Peso volumétrico seco	0,516		

Gráfico representativo		Volumen	Peso
Vv		78,47	-
Va		24,97	0
Vw		53,50	53,50
Vs		17,71	48,70
Vm		96,18	102,20
Relación de vacíos		4,43	
Porosidad		81,59	
Grado de saturación del agua		68,18	
Grado de saturación del aire		31,82	
Nota: Al ser un ensayo de campo, se realizó en las muestras naturales			

Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

Tabla 82 Compactación del suelo Calicata 2 – 2,5 % PET

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO																				
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA																				
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL																				
PROYECTO DE TITULACIÓN																				
Tema: Análisis de las propiedades físico-mecánicas y CBR de suelos cohesivos de subrasante mezclados con partículas de tereftalato de polietileno (PET)																				
Provincia: Morona Santiago			%PET: 2,5																	
Cantón: Morona			Coordenadas: 824610,815; 9756740,340																	
Parroquia: Sevilla Don Bosco			Realizado por: Nancy Patricia Ocampo Guerrero																	
Muestra N°: 2			Revisado por: Ing. Fidel Castro																	
Proctor Modificado B - AASHTO T-180																				
N° de Golpes:	56			Peso Molde:		12730														
Altura de Caída: 18"	1,5			Peso Martillo:		10														
N° de Capas:	5			Volumen del Molde:		2287,14														
Ensayo N°	1		2		3		4													
Peso Inicial Deseado	6000		6000		6000		6000													
Humedad Estimada	10		14		18		22													
Peso Molde+Suelo Hum	15706		15809		15907		15998													
Peso Suelo Húmedo	2976		3079		3177		3268													
Peso Vol. Hum.	1,301		1,346		1,389		1,429													
Peso Vol. Seco	1,082		1,084		1,083		1,082													
W%	a	b	c	d	e	f	g	h												
Recipiente N°	37	54	43	45	41	34	38	54												
Peso Recipiente	31,9	27,3	21,7	23,5	33,4	32,6	31,5	33,8												
Peso suelo Hum + Rec.	90,5	96,2	79,4	81,1	112,4	104,2	113,9	90,9												
Peso suelo Seca + Rec.	80,7	84,5	68,1	69,9	94,7	88,7	94,2	76,8												
Peso Agua	9,8	11,7	11,3	11,2	17,7	15,5	19,7	14,1												
Peso suelo seco	48,8	57,2	46,4	46,4	61,3	56,1	62,7	43												
W%	20,08	20,45	24,35	24,14	28,87	27,63	31,42	32,79												
Promedio W%	20,27		24,25		28,25		32,11													
Contenido de humedad óptimo	Peso específico seco			Grado de compactación																
26%	1,0835 gr/cm ³			99,91%																
Curva de compactación																				
<table border="1"> <caption>Datos de la Curva de Compactación</caption> <thead> <tr> <th>Contenido de humedad (%)</th> <th>Peso específico seco (gr/cm³)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>20,08</td> <td>1,0818</td> </tr> <tr> <td>20,45</td> <td>1,0835</td> </tr> <tr> <td>24,35</td> <td>1,0835</td> </tr> <tr> <td>24,14</td> <td>1,0832</td> </tr> <tr> <td>28,87</td> <td>1,0815</td> </tr> </tbody> </table>									Contenido de humedad (%)	Peso específico seco (gr/cm ³)	20,08	1,0818	20,45	1,0835	24,35	1,0835	24,14	1,0832	28,87	1,0815
Contenido de humedad (%)	Peso específico seco (gr/cm ³)																			
20,08	1,0818																			
20,45	1,0835																			
24,35	1,0835																			
24,14	1,0832																			
28,87	1,0815																			

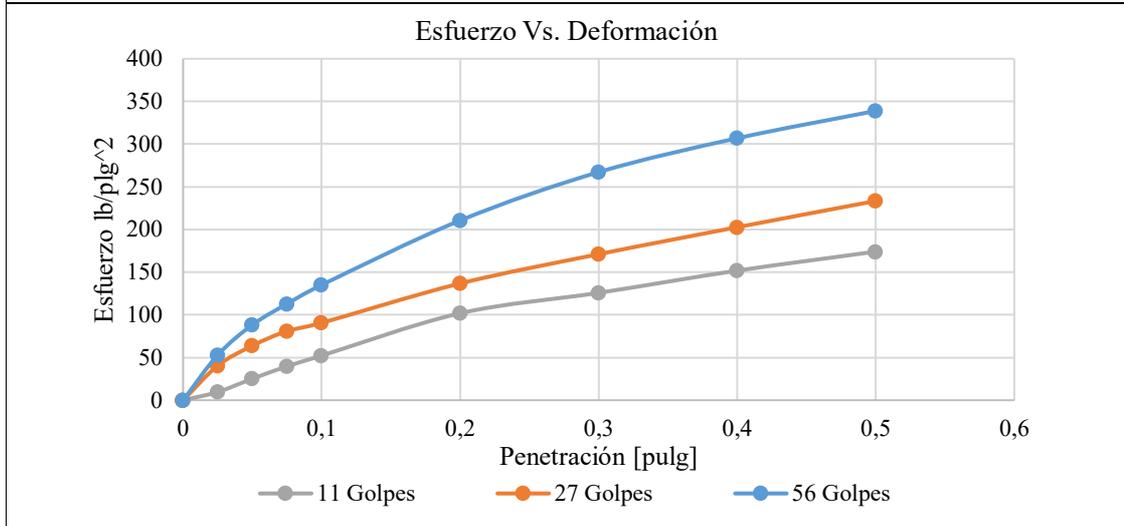
Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

Tabla 83 CBR Calicata 2 – 2,5 % PET

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO						
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA						
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
PROYECTO DE TITULACIÓN						
Tema: Análisis de las propiedades físico-mecánicas y CBR de suelos cohesivos de subrasante mezclados con partículas de tereftalato de polietileno (PET)						
Provincia: Morona Santiago	%PET: 2,5					
Cantón: Morona	Coordenadas: 824610,815; 9756740,340					
Parroquia: Sevilla Don Bosco	Realizado por: Nancy Patricia Ocampo Guerrero					
Muestra N°: 2	Revisado por: Ing. Fidel Castro					
Ensayo CBR - AASHTO T-180						
N° Molde	5		10		9	
Número de golpes (N)	56		27		11	
Peso suelo + recipiente (gr)	11084		8650		8542	
Peso del recipiente (gr)	8109		5815		6214	
Peso de la masa de suelo Wm (gr)	2975		2835		2328	
Volumen de la muestra Vm (cm ³)	2316,67		2305,61		2286,28	
Peso unitario húmedo (gr/cm ³)	1,284		1,230		1,018	
Peso Volumétrico Seco	1,033		0,983		0,815	
Contenido de Humedad	Base	Molde	Base	Molde	Base	Molde
Peso Recipiente	30,1	32,8	32,3	30,9	31,7	30,9
Peso muestra Húmeda + Rec.	88,4	106,7	117,5	101,8	87,2	79,1
Peso muestra Seca + Recipiente	76,6	92,7	100,5	87,5	76,2	69,4
Peso Agua	11,8	14	17	14,3	11	9,7
Peso muestra Seca	46,5	59,9	68,2	56,6	44,5	38,5
Contenido de Humedad (%)	25,38	23,37	24,93	25,27	24,72	25,19
Promedio W%	24,37		25,10		24,96	
Datos después de la saturación						
Peso muestra Húmeda + Molde	11247		8882		8918	
Peso muestra Húmeda	3040		3067		2704	
Peso agua absorbida	173		262		376	
Porcentaje de humedad absorbido	7,47		11,36		16,45	
Contenido de Humedad	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Peso Recipiente	34,4	32,5	31,1	32,6	31,6	30,2
Peso muestra Húmeda + Rec.	136,3	133,2	124,8	145,9	136,9	149,1
Peso muestra Seca + Recipiente	110,8	109,5	99,6	116,3	106,3	114,7
Peso Agua	25,5	23,7	25,2	29,6	30,6	34,4
Peso muestra Seca	76,4	77	68,5	83,7	74,7	84,5
Contenido de Humedad (%)	33,38	30,78	36,79	35,36	40,96	40,71
Promedio W%	32,08		36,08		40,84	
Ensayo de CBR						
N° Molde	5		10		9	
Penetración [pulg]	Lbf	lb/plg ²	Lbf	lb/plg ³	Lbf	lb/plg ⁴
0	0	0	0	0	0	0
0,025	158,8	52,92	121,5	40,51	29,1	9,70
0,05	264,9	88,30	191,5	63,82	75,5	25,15
0,075	338,5	112,85	243,0	80,99	119,1	39,70
0,1	405,0	135,00	271,8	90,60	156,8	52,25
0,2	631,8	210,58	410,3	136,78	305,7	101,90
0,3	801,6	267,20	513,2	171,08	377,4	125,80

0,4	920,7	306,88	608,0	202,67	455,4	151,80
0,5	1016,7	338,90	700,2	233,40	522,2	174,05

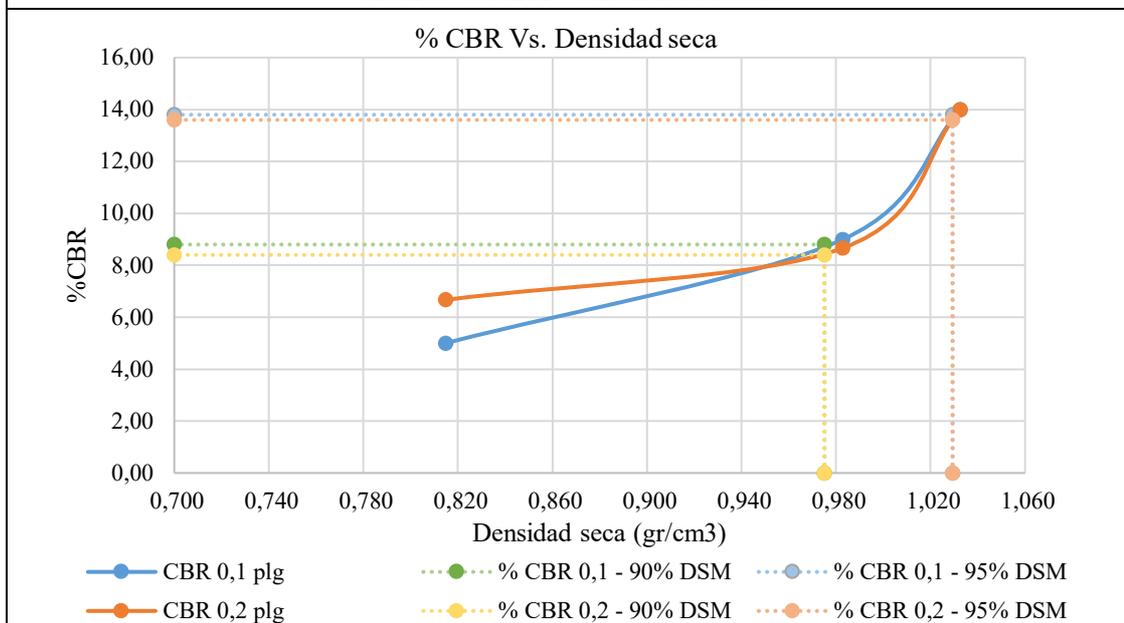
Gráfico Esfuerzo Vs Penetración



Porcentaje CBR corregido

Molde N°	Presión lb/plg ²	CBR 0,1 plg	Densidad seca (gr/cm ³)	Presión lb/plg ²	CBR 0,2 plg	Densidad seca (gr/cm ³)
5	140,00	14,00	1,033	210,00	14,00	1,033
10	90,00	9,00	0,983	130,00	8,67	0,983
9	50,00	5,00	0,815	100,00	6,67	0,815
Densidad seca máxima (gr/cm ³)				1,0835		

Gráfico %CBR Vs Densidad Seca



Densidad seca máxima (gr/cm ³)	% CBR 0,1 plg	% CBR 0,2 plg	% CBR mayor
95%	1,029	13,8	13,6
90%	0,975	8,8	8,4
CBR de diseño %		13,8	

Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

Calicata 3 – 0% de tereftalato de polietileno (PET)

Tabla 84 Contenido de humedad, límites de Atterberg y clasificación de suelos
Calicata 3 – 0 % PET

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN								
Tema: Análisis de las propiedades físico-mecánicas y CBR de suelos cohesivos de subrasante mezclados con partículas de tereftalato de polietileno (PET)								
Provincia: Morona Santiago			%PET: 0					
Cantón: Morona			Coordenadas: 824561,443; 9760318,760					
Parroquia: Sevilla Don Bosco			Realizado por: Nancy Patricia Ocampo Guerrero					
Muestra N°: 3			Revisado por: Ing. Fidel Castro					
Contenido de humedad								
Peso suelo húmedo + recipiente	76,70			87,90				
Peso suelo seco + recipiente	44,20			56,20				
Peso recipiente	26,70			37,90				
Peso del agua	32,50			31,70				
Peso de los sólidos	17,50			18,30				
Contenido de humedad	185,71			173,22				
Contenido de humedad promedio	179,47							
Límite Líquido								
Número de golpes	13		24		31		42	
Recipiente N°	12	25	31	71	38geo	77LA	11	03A
Peso suelo hum. + rec.	16,80	16,60	17,90	16,30	17,10	15,60	16,30	16,20
Peso suelo seco + rec.	13,80	13,70	15,50	14,00	14,60	13,80	14,40	14,10
Peso recipiente	11,00	10,90	12,90	11,60	11,80	11,60	12,50	11,90
Peso del agua	3,00	2,90	2,40	2,30	2,50	1,80	1,90	2,10
Peso de los sólidos	2,80	2,80	2,60	2,40	2,80	2,20	1,90	2,20
W%	107,14	103,57	92,31	95,83	89,29	81,82	100,00	95,45
W% promedio	105,36		94,07		85,55		97,73	
Límite Líquido								
<p>El gráfico muestra la relación entre el número de golpes (eje X, logarítmico) y el contenido de humedad en porcentaje (eje Y). Se observan tres puntos de datos principales: uno a 13 golpes con un contenido de humedad de aproximadamente 105%, otro a 24 golpes con un contenido de humedad de 94,07%, y un tercero a 31 golpes con un contenido de humedad de 85,55%. Una línea de tendencia se ajusta a los datos con la ecuación $y = -9,914\ln(x) + 127,68$ y un $R^2 = 0,3603$. Un punto de referencia está etiquetado como $LL=95,77$.</p>								

Límite Plástico					
Recipiente N°	30	13	38	36	26
Peso suelo hum. + rec.	28,70	29,70	30,80	48,70	43,50
Peso suelo seco + rec.	27,40	27,90	29,20	47,50	41,70
Peso recipiente	25,20	25,30	26,70	45,40	39,10
Peso del agua	1,30	1,80	1,60	1,20	1,80
Peso de los sólidos	2,20	2,60	2,50	2,10	2,60
W%	59,09	69,23	64,00	57,14	69,23
W% promedio	63,74				
Límite de Contracción					
Determinación del volumen del suelo					
N° de cápsula de contracción				11	5
Peso de la cápsula de contracción con mercurio				284,10	284,80
Peso de la cápsula de contracción				22,30	22,40
Peso del mercurio				261,80	262,40
Densidad del mercurio				13,40	13,40
Volumen de la masa (Vm)				19,54	19,58
Determinación del contenido de humedad del suelo					
Peso muestra húmeda + recipiente (Wm+Wr)				45,80	46,20
Peso muestra seca + recipiente (Ws+Wr)				34,30	34,50
Peso del agua (Ww)				11,50	11,70
Peso del recipiente (Wr)				22,30	22,40
Peso de la muestra seca (Ws)				12,00	12,10
Contenido de Humedad W%				95,83	96,69
Determinación del volumen del suelo seco moldeado					
Peso cristal Lucita lleno mercurio				751,90	751,80
Peso cristal Lucita con desalojo mercurio				586,10	585,70
Peso mercurio desalojado				165,80	166,10
Densidad del mercurio				13,40	13,40
Volumen del suelo contraído (Vo)				12,37	12,40
Determinación del límite de contracción					
Límite de contracción %				36,13	37,30
Límite de contracción promedio %				36,72	
Resultados					
Límite Líquido %				95,77	
Límite Plástico %				63,74	
Índice de plasticidad				32,03	
Límite de contracción %				36,72	
Clasificación					
SUCS			AASHTO		
CH			A7-5		

Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

Tabla 85 Granulometría Calicata 3 – 0 % PET

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN						
Tema: Análisis de las propiedades físico-mecánicas y CBR de suelos cohesivos de subrasante mezclados con partículas de tereftalato de polietileno (PET)						
Provincia: Morona Santiago			%PET: 0			
Cantón: Morona			Coordenadas: 824561,443; 9760318,760			
Parroquia: Sevilla Don Bosco			Realizado por: Nancy Patricia Ocampo Guerrero			
Muestra N°: 3			Revisado por: Ing. Fidel Castro			
Granulometría						
Tamaño de la muestra			1000 gr			
Tamiz	Tamaño en mm	Pesos retenidos acumulados	Peso retenido	% Retenido Acumulado	% Retenido	% Que pasa
4	4,76	0	0	0	0,00	100
8	2,38	0	0	0	0,00	100,00
10	2	0	0	0	0,00	100,00
16	1,18	0	0	0	0,00	100,00
30	0,6	1,1	1,1	0,11	0,11	99,89
40	0,425	12,6	11,5	1,26	1,15	98,74
50	0,3	36,5	23,9	3,65	2,39	96,35
60	0,25	84,6	48,1	8,46	4,81	91,54
100	0,15	271,4	186,8	27,14	18,68	72,86
200	0,075	347,7	76,3	34,77	7,63	65,23
Fuente	0,03	998,5	650,8	99,85	65,08	0,15

CURVA GRANULOMÉTRICA

El gráfico muestra la curva granulométrica con los siguientes datos clave:

Parámetro	Tamaño del tamiz (mm)	Porcentaje que pasa (%)
D10	0,034	10
D30	0,045	30
D60	0,069	60
TNM	0,25	0

D10	0,034mm	D30	0,045mm	D60	0,069mm
Cu	2,03mm	Cc	0,86mm	TNM	0,25mm

Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

Tabla 86 Gravedad específica y densidad de campo Calicata 3 – 0 % PET

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN			
Tema: Análisis de las propiedades físico-mecánicas y CBR de suelos cohesivos de subrasante mezclados con partículas de tereftalato de polietileno (PET)			
Provincia: Morona Santiago	%PET: 0		
Cantón: Morona	Coordenadas: 824561,443; 9760318,760		
Parroquia: Sevilla Don Bosco	Realizado por: Nancy Patricia Ocampo Guerrero		
Muestra N°: 3	Revisado por: Ing. Fidel Castro		
Gravedad específica			
Peso picnómetro + agua (Wbw)	662,10	662,20	662,10
Peso Picnómetro + agua + suelo sumergido (Wbws)	693,70	694,00	693,90
Peso desplazamiento de agua (Dw)	18,40	18,20	18,20
Temperatura °C	18,20	18,40	18,20
Factor de corrección por temperatura K	0,999	0,999	0,999
N° de recipiente	20,00	25,00	27,00
Peso del recipiente	47,70	48,00	49,10
Peso del recipiente + suelo sumergido	552,10	573,90	577,10
Peso del recipiente + suelo seco	97,00	98,00	99,00
Peso del suelo seco (Ws)	49,30	50,00	49,90
Gravedad específica (Gs)	2,78	2,74	2,75
Gravedad específica promedio (Gs)	2,76		
Densidad de campo			
Muestra	3		
Peso de la masa de suelo + rec.	1506,00		
Peso del recipiente	5,40		
Peso de la masa de suelo	1500,60		
Lectura inicial frasco + cono + arena	6116,60		
Lectura final frasco + cono + arena	4012,70		
Peso de arena en el cono	497,90		
Peso de arena en la muestra	1108,10		
Densidad de la arena de Ottawa	1,58		
Volumen de la masa extraída	1441,08		
N° de recipiente	50,00	82,00	
Peso Recipiente	31,20	30,70	
Peso muestra Húmeda + Rec.	89,40	134,10	
Peso muestra Seca + Recipiente	60,40	80,40	
Peso Agua	29,00	53,70	
Peso muestra Seca	29,20	49,70	
Contenido de Humedad (%)	99,32	108,05	
W% promedio	103,68		
Peso vol. de la masa de suelo	1,041		
Peso volumétrico seco	0,511		

Gráfico representativo		Volumen	Peso
Vv		45,27	-
Va		16,27	0
Vw		29,00	29,00
Vs		10,62	29,20
Vm		55,89	58,20
Relación de vacíos		4,26	
Porosidad		81,00	
Grado de saturación del agua		64,06	
Grado de saturación del aire		35,94	
Nota: Al ser un ensayo de campo, se realizó en las muestras naturales			

Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

Tabla 87 Compactación del suelo Calicata 3 – 0 % PET

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN																				
Tema: Análisis de las propiedades físico-mecánicas y CBR de suelos cohesivos de subrasante mezclados con partículas de tereftalato de polietileno (PET)																				
Provincia: Morona Santiago			%PET: 0																	
Cantón: Morona			Coordenadas: 824561,443; 9760318,760																	
Parroquia: Sevilla Don Bosco			Realizado por: Nancy Patricia Ocampo Guerrero																	
Muestra N°: 3			Revisado por: Ing. Fidel Castro																	
Proctor Modificado B - AASHTO T-180																				
N° de Golpes:	56			Peso Molde:		12730														
Altura de Caída: 18"	1,5			Peso Martillo:		10														
N° de Capas:	5			Volumen del Molde:		2287,14														
Ensayo N°	1		2		3		4													
Peso Inicial Deseado	6000		6000		6000		6000													
Humedad Estimada	12		16		20		24													
Peso Molde+Suelo Hum	15891		16052		16189		16196													
Peso Suelo Húmedo	3161		3322		3459		3466													
Peso Vol. Hum.	1,382		1,452		1,512		1,515													
Peso Vol. Seco	1,117		1,137		1,147		1,116													
W%	a	b	c	d	e	f	g	h												
Recipiente N°	27	6	30	55	56	57	43	39												
Peso Recipiente	21,3	27,4	25,3	28,7	33,6	27,5	35,2	31,4												
Peso suelo Hum + Rec.	102,5	79,9	114,5	116,4	124,6	101,5	138,2	142,5												
Peso suelo Seca + Rec.	87,1	69,7	95,2	97,3	102,8	83,5	111,4	112,8												
Peso Agua	15,4	10,2	19,3	19,1	21,8	18	26,8	29,7												
Peso suelo seco	65,8	42,3	69,9	68,6	69,2	56	76,2	81,4												
W%	23,40	24,11	27,61	27,84	31,50	32,14	35,17	36,49												
Promedio W%	23,76		27,73		31,82		35,83													
Contenido de humedad óptimo	Peso específico seco			Grado de compactación																
30%	1,146 gr/cm ³			98,54%																
Curva de compactación																				
<p>El gráfico muestra la curva de compactación para el suelo Calicata 3 con 0% de PET. El eje horizontal representa el contenido de humedad en porcentaje, variando de 20% a 40%. El eje vertical representa el peso específico seco en gr/cm³, variando de 1,11 a 1,15. Se observan cinco puntos de datos experimentales (puntos azules) que se conectan mediante una línea punteada azul. Una línea punteada naranja indica el punto óptimo de compactación, situado en un contenido de humedad de 30% y un peso específico seco de 1,146 gr/cm³.</p> <table border="1"> <caption>Datos experimentales de la curva de compactación</caption> <thead> <tr> <th>Contenido de humedad (%)</th> <th>Peso específico seco (gr/cm³)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>23,40</td> <td>1,116</td> </tr> <tr> <td>24,11</td> <td>1,137</td> </tr> <tr> <td>27,61</td> <td>1,146</td> </tr> <tr> <td>27,84</td> <td>1,147</td> </tr> <tr> <td>31,50</td> <td>1,116</td> </tr> </tbody> </table>									Contenido de humedad (%)	Peso específico seco (gr/cm³)	23,40	1,116	24,11	1,137	27,61	1,146	27,84	1,147	31,50	1,116
Contenido de humedad (%)	Peso específico seco (gr/cm³)																			
23,40	1,116																			
24,11	1,137																			
27,61	1,146																			
27,84	1,147																			
31,50	1,116																			

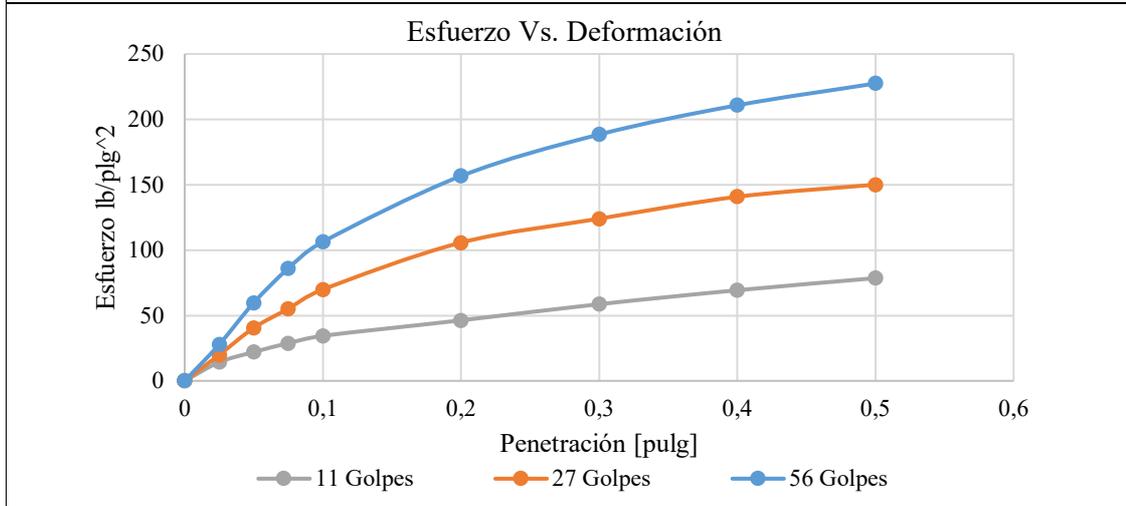
Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

Tabla 88 CBR Calicata 3 – 0 % PET

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO						
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA						
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
PROYECTO DE TITULACIÓN						
Tema: Análisis de las propiedades físico-mecánicas y CBR de suelos cohesivos de subrasante mezclados con partículas de tereftalato de polietileno (PET)						
Provincia: Morona Santiago	%PET: 0					
Cantón: Morona	Coordenadas: 824561,443; 9760318,760					
Parroquia: Sevilla Don Bosco	Realizado por: Nancy Patricia Ocampo Guerrero					
Muestra N°: 3	Revisado por: Ing. Fidel Castro					
Ensayo CBR - AASHTO T-180						
N° Molde	7		5		3	
Número de golpes (N)	56		27		11	
Peso suelo + recipiente (gr)	10271		11293		9750	
Peso del recipiente (gr)	6845		8207		6937	
Peso de la masa de suelo Wm (gr)	3426		3086		2813	
Volumen de la muestra Vm (cm ³)	2274,36		2259,38		2307,41	
Peso unitario húmedo (gr/cm ³)	1,506		1,366		1,219	
Peso Volumétrico Seco	1,152		1,042		0,928	
Contenido de Humedad	Base	Molde	Base	Molde	Base	Molde
Peso Recipiente	32	32,5	31,5	33,1	31,7	33
Peso muestra Húmeda + Rec.	137,4	130,9	134,7	125,2	130,1	118
Peso muestra Seca + Recipiente	112,8	107,6	110	103,6	106,8	97,6
Peso Agua	24,6	23,3	24,7	21,6	23,3	20,4
Peso muestra Seca	80,8	75,1	78,5	70,5	75,1	64,6
Contenido de Humedad (%)	30,45	31,03	31,46	30,64	31,03	31,58
Promedio W%	30,74		31,05		31,30	
Datos después de la saturación						
Peso muestra Húmeda + Molde	10354		11461		9981	
Peso muestra Húmeda	3509		3254		3044	
Peso agua absorbida	83		168		231	
Porcentaje de humedad absorbido	3,65		7,44		10,01	
Contenido de Humedad	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Peso Recipiente	30,2	30,6	31,2	34,4	31,5	31,6
Peso muestra Húmeda + Rec.	109,3	96,1	118,5	146,2	124,8	156,1
Peso muestra Seca + Recipiente	88,9	79,7	94,2	114,5	97,7	119,8
Peso Agua	20,4	16,4	24,3	31,7	27,1	36,3
Peso muestra Seca	58,7	49,1	63	80,1	66,2	88,2
Contenido de Humedad (%)	34,75	33,40	38,57	39,58	40,94	41,16
Promedio W%	34,08		39,07		41,05	
Ensayo de CBR						
N° Molde	7		5		3	
Penetración [pulg]	Lbf	lb/plg ²	Lbf	lb/plg ³	Lbf	lb/plg ⁴
0	0	0	0	0	0	0
0,025	83,7	27,89	59,7	19,90	42,9	14,30
0,05	179,3	59,77	121,7	40,55	66,1	22,05
0,075	258,1	86,02	165,5	55,15	86,4	28,80
0,1	319,0	106,35	209,7	69,89	103,3	34,45
0,2	470,0	156,66	317,2	105,74	138,8	46,28
0,3	565,3	188,44	372,1	124,03	176,0	58,66

0,4	632,4	210,79	422,4	140,81	207,9	69,31
0,5	682,4	227,45	450,3	150,10	235,7	78,58

Gráfico Esfuerzo Vs Penetración

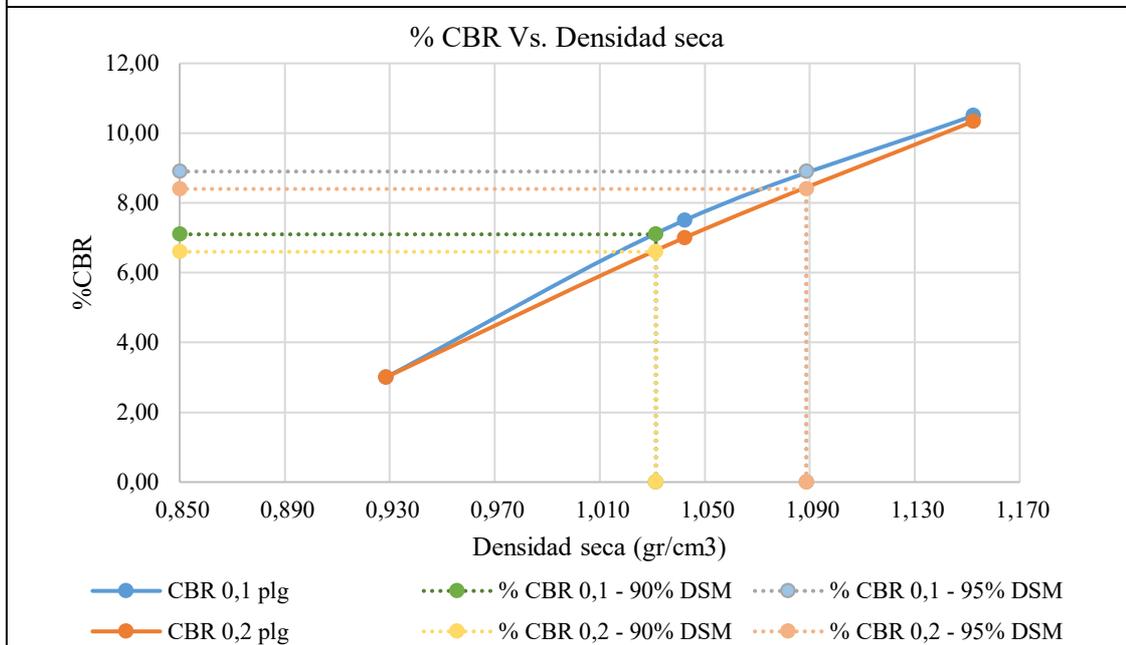


Porcentaje CBR corregido

Molde N°	Presión lb/plg ²	CBR 0,1 plg	Densidad seca (gr/cm ³)	Presión lb/plg ²	CBR 0,2 plg	Densidad seca (gr/cm ³)
7	105,00	10,50	1,152	155,00	10,33	1,152
5	75,00	7,50	1,042	105,00	7,00	1,042
3	30,00	3,00	0,928	45,00	3,00	0,928

Densidad seca máxima (gr/cm³) 1,146

Gráfico %CBR Vs Densidad Seca



Densidad seca máxima (gr/cm ³)	% CBR 0,1 plg	% CBR 0,2 plg	% CBR mayor	
95%	1,089	8,9	8,4	8,9
90%	1,031	7,1	6,6	7,1
CBR de diseño %			8,9	

Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

Calicata 3 – 1,5% de tereftalato de polietileno (PET)

Tabla 89 Contenido de humedad, límites de Atterberg y clasificación de suelos
Calicata 3 – 1,5 % PET

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN								
Tema: Análisis de las propiedades físico-mecánicas y CBR de suelos cohesivos de subrasante mezclados con partículas de tereftalato de polietileno (PET)								
Provincia: Morona Santiago			%PET: 1,5					
Cantón: Morona			Coordenadas: 824561,443; 9760318,760					
Parroquia: Sevilla Don Bosco			Realizado por: Nancy Patricia Ocampo Guerrero					
Muestra N°: 3			Revisado por: Ing. Fidel Castro					
Contenido de humedad								
Peso suelo húmedo + recipiente			81,20			80,70		
Peso suelo seco + recipiente			49,40			48,70		
Peso recipiente			31,20			30,70		
Peso del agua			31,80			32,00		
Peso de los sólidos			18,20			18,00		
Contenido de humedad			174,73			177,78		
Contenido de humedad promedio			176,25					
Límite Líquido								
Número de golpes	10		13		20		36	
Recipiente N°	3B	4G	5F	104-4E	74	65	54	41
Peso suelo hum. + rec.	15,90	11,50	9,20	14,90	15,40	10,50	10,60	10,30
Peso suelo seco + rec.	14,20	10,20	8,10	13,70	13,90	9,40	9,30	9,20
Peso recipiente	12,30	8,70	6,70	12,00	12,00	8,10	7,20	7,60
Peso del agua	1,70	1,30	1,10	1,20	1,50	1,10	1,30	1,10
Peso de los sólidos	1,90	1,50	1,40	1,70	1,90	1,30	2,10	1,60
W%	89,47	86,67	78,57	70,59	78,95	84,62	61,90	68,75
W% promedio	88,07		74,58		81,78		65,33	
Límite Líquido								
<p>El gráfico muestra el contenido de humedad (%) en el eje Y (rango 60-90) frente al número de golpes en el eje X (rango 10-100). Se observan cuatro puntos de datos azules que siguen una tendencia decreciente. Una línea de tendencia negra se ajusta a los datos con la ecuación $y = -14,11\ln(x) + 117,81$ y $R^2 = 0,6522$. Una línea horizontal punteada naranja indica un valor de LL = 72,39, con una línea vertical punteada naranja que muestra la correspondencia con el número de golpes en el eje X.</p>								

Límite Plástico					
Recipiente N°	11	7	11A	83	30
Peso suelo hum. + rec.	9,10	11,90	11,70	8,00	9,90
Peso suelo seco + rec.	8,40	11,40	11,00	7,40	9,00
Peso recipiente	7,10	10,20	9,80	6,20	7,10
Peso del agua	0,70	0,50	0,70	0,60	0,90
Peso de los sólidos	1,30	1,20	1,20	1,20	1,90
W%	53,85	41,67	58,33	50,00	47,37
W% promedio	50,24				
Límite de Contracción					
Determinación del volumen del suelo					
N° de cápsula de contracción	3		11		
Peso de la cápsula de contracción con mercurio	271,40		285,80		
Peso de la cápsula de contracción	23,40		22,30		
Peso del mercurio	248,00		263,50		
Densidad del mercurio	13,40		13,40		
Volumen de la masa (Vm)	18,51		19,66		
Determinación del contenido de humedad del suelo					
Peso muestra húmeda + recipiente (Wm+Wr)	50,30		51,10		
Peso muestra seca + recipiente (Ws+Wr)	38,10		38,20		
Peso del agua (Ww)	12,20		12,90		
Peso del recipiente (Wr)	23,40		22,30		
Peso de la muestra seca (Ws)	14,70		15,90		
Contenido de Humedad W%	82,99		81,13		
Determinación del volumen del suelo seco moldeado					
Peso cristal Lucita lleno mercurio	754,50		754,50		
Peso cristal Lucita con desalojo mercurio	601,40		592,90		
Peso mercurio desalojado	153,10		161,60		
Densidad del mercurio	13,40		13,40		
Volumen del suelo contraído (Vo)	11,43		12,06		
Determinación del límite de contracción					
Límite de contracción %	34,82		33,31		
Límite de contracción promedio %	34,06				
Resultados					
Límite Líquido %	72,39				
Límite Plástico %	50,24				
Índice de plasticidad	22,15				
Límite de contracción %	34,06				
Clasificación					
SUCS			AASHTO		
CH			A7-5		

Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

Tabla 90 Granulometría Calicata 3 – 1,5 % PET

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN						
Tema: Análisis de las propiedades físico-mecánicas y CBR de suelos cohesivos de subrasante mezclados con partículas de tereftalato de polietileno (PET)						
Provincia: Morona Santiago			%PET: 1,5			
Cantón: Morona			Coordenadas: 824561,443; 9760318,760			
Parroquia: Sevilla Don Bosco			Realizado por: Nancy Patricia Ocampo Guerrero			
Muestra N°: 3			Revisado por: Ing. Fidel Castro			
Granulometría						
Tamaño de la muestra			1000 gr			
Tamiz	Tamaño en mm	Pesos retenidos acumulados	Peso retenido	% Retenido Acumulado	% Retenido	% Que pasa
4	4,76	0,1	0,1	0,01	0,01	99,99
8	2,38	0,8	0,7	0,08	0,07	99,92
10	2	2,5	1,7	0,25	0,17	99,75
16	1,18	8,9	6,4	0,89	0,64	99,11
30	0,6	26,1	17,2	2,61	1,72	97,39
40	0,425	57,5	31,4	5,75	3,14	94,25
50	0,3	114,4	56,9	11,44	5,69	88,56
60	0,25	208,4	94	20,84	9,40	79,16
100	0,15	291,8	83,4	29,18	8,34	70,82
200	0,075	399,8	108	39,98	10,80	60,02
Fuente	0,03	998,9	599,1	99,89	59,91	0,11

CURVA GRANULOMÉTRICA					
D10	0,035mm	D30	0,047mm	D60	0,075mm
Cu	2,14mm	Cc	0,84mm	TNM	0,425mm

Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

Tabla 91 Gravedad específica y densidad de campo Calicata 3 – 1,5 % PET

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN			
Tema: Análisis de las propiedades físico-mecánicas y CBR de suelos cohesivos de subrasante mezclados con partículas de tereftalato de polietileno (PET)			
Provincia: Morona Santiago	%PET: 1,5		
Cantón: Morona	Coordenadas: 824561,443; 9760318,760		
Parroquia: Sevilla Don Bosco	Realizado por: Nancy Patricia Ocampo Guerrero		
Muestra N°: 3	Revisado por: Ing. Fidel Castro		
Gravedad específica			
Peso picnómetro + agua (Wbw)	662,00	661,90	650,10
Peso Picnómetro + agua + suelo sumergido (Wbws)	692,70	692,80	681,00
Peso desplazamiento de agua (Dw)	19,30	19,10	19,10
Temperatura °C	20,10	21,10	22,20
Factor de corrección por temperatura K	0,998	0,998	0,998
N° de recipiente	21,00	35,00	5,00
Peso del recipiente	47,70	50,20	258,30
Peso del recipiente + suelo sumergido	573,90	573,90	784,40
Peso del recipiente + suelo seco	96,10	98,90	307,10
Peso del suelo seco (Ws)	48,40	48,70	48,80
Gravedad específica (Gs)	2,73	2,73	2,72
Gravedad específica promedio (Gs)	2,73		
Densidad de campo			
Muestra	3		
Peso de la masa de suelo + rec.	1506,00		
Peso del recipiente	5,40		
Peso de la masa de suelo	1500,60		
Lectura inicial frasco + cono + arena	6116,60		
Lectura final frasco + cono + arena	4012,70		
Peso de arena en el cono	497,90		
Peso de arena en la muestra	1108,10		
Densidad de la arena de Ottawa	1,58		
Volumen de la masa extraída	1441,08		
N° de recipiente	50,00	82,00	
Peso Recipiente	31,20	30,70	
Peso muestra Húmeda + Rec.	89,40	134,10	
Peso muestra Seca + Recipiente	60,40	80,40	
Peso Agua	29,00	53,70	
Peso muestra Seca	29,20	49,70	
Contenido de Humedad (%)	99,32	108,05	
W% promedio	103,68		
Peso vol. de la masa de suelo	1,041		
Peso volumétrico seco	0,511		

Gráfico representativo		Volumen	Peso
Vv		45,27	-
Va		16,27	0
Vw		29,00	29,00
Vs		10,62	29,20
Vm		55,89	58,20
Relación de vacíos		4,26	
Porosidad		81,00	
Grado de saturación del agua		64,06	
Grado de saturación del aire		35,94	
Nota: Al ser un ensayo de campo, se realizó en las muestras naturales			

Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

Tabla 92 Compactación del suelo Calicata 3 – 1,5 % PET

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN								
Tema: Análisis de las propiedades físico-mecánicas y CBR de suelos cohesivos de subrasante mezclados con partículas de tereftalato de polietileno (PET)								
Provincia: Morona Santiago			%PET: 1,5					
Cantón: Morona			Coordenadas: 824561,443; 9760318,760					
Parroquia: Sevilla Don Bosco			Realizado por: Nancy Patricia Ocampo Guerrero					
Muestra N°: 3			Revisado por: Ing. Fidel Castro					
Proctor Modificado B - AASHTO T-180								
N° de Golpes:	56			Peso Molde:		12730		
Altura de Caída: 18"	1,5			Peso Martillo:		10		
N° de Capas:	5			Volumen del Molde:		2287,14		
Ensayo N°	1		2		3		4	
Peso Inicial Deseado	6000		6000		6000		6000	
Humedad Estimada	12		16		20		24	
Peso Molde+Suelo Hum	16091		16352		16511		16316	
Peso Suelo Húmedo	3361		3622		3781		3586	
Peso Vol. Hum.	1,470		1,584		1,653		1,568	
Peso Vol. Seco	1,200		1,251		1,268		1,172	
W%	a	b	c	d	e	f	g	h
Recipiente N°	50	51	2	10	22	35	52	53
Peso Recipiente	26,9	23,4	49	47	48,1	49,4	60,4	64,1
Peso suelo Hum + Rec.	91,1	99,1	140	146,3	167,6	165,3	162,6	171
Peso suelo Seca + Rec.	79,8	84,7	121,6	124,7	139,8	138,3	136,3	144,5
Peso Agua	11,3	14,4	18,4	21,6	27,8	27	26,3	26,5
Peso suelo seco	52,9	61,3	72,6	77,7	91,7	88,9	75,9	80,4
W%	21,36	23,49	25,34	27,80	30,32	30,37	34,65	32,96
Promedio W%	22,43		26,57		30,34		33,81	
Contenido de humedad óptimo	Peso específico seco			Grado de compactación				
28,1%	1,269 gr/cm ³			96,37%				

Curva de compactación	
Peso específico seco gr/cm ³	Contenido de humedad %
1,275	20
1,255	25
1,235	30
1,215	35
1,195	
1,175	
1,155	

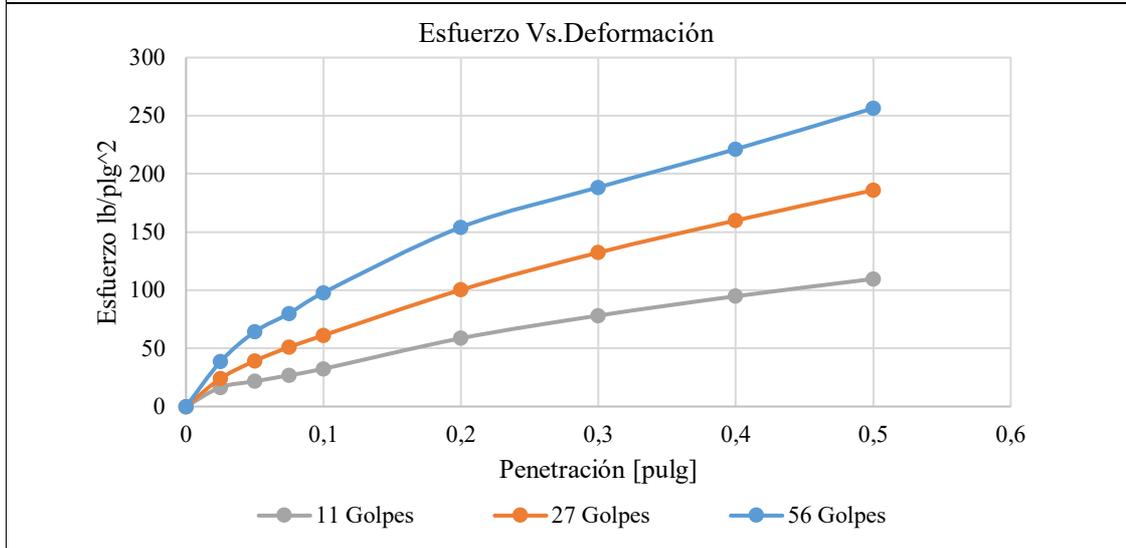
Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

Tabla 93 CBR Calicata 3 – 1,5 % PET

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO						
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA						
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
PROYECTO DE TITULACIÓN						
Tema: Análisis de las propiedades físico-mecánicas y CBR de suelos cohesivos de subrasante mezclados con partículas de tereftalato de polietileno (PET)						
Provincia: Morona Santiago	%PET: 1,5					
Cantón: Morona	Coordenadas: 824561,443; 9760318,760					
Parroquia: Sevilla Don Bosco	Realizado por: Nancy Patricia Ocampo Guerrero					
Muestra N°: 3	Revisado por: Ing. Fidel Castro					
Ensayo CBR - AASHTO T-180						
N° Molde	7		5		3	
Número de golpes (N)	56		27		11	
Peso suelo + recipiente (gr)	10269		11181		9627	
Peso del recipiente (gr)	6735		8207		6937	
Peso de la masa de suelo Wm (gr)	3534		2974		2690	
Volumen de la muestra Vm (cm ³)	2274,36		2259,38		2307,41	
Peso unitario húmedo (gr/cm ³)	1,554		1,316		1,166	
Peso Volumétrico Seco	1,205		1,013		0,903	
Contenido de Humedad	Base	Molde	Base	Molde	Base	Molde
Peso Recipiente	30,7	30,9	32,3	33,5	32,1	30,8
Peso muestra Húmeda + Rec.	104,8	99,3	125	128,1	121,1	92,2
Peso muestra Seca + Recipiente	88	84,1	103,4	106,6	100,7	78,6
Peso Agua	16,8	15,2	21,6	21,5	20,4	13,6
Peso muestra Seca	57,3	53,2	71,1	73,1	68,6	47,8
Contenido de Humedad (%)	29,32	28,57	30,38	29,41	29,74	28,45
Promedio W%	28,95		29,90		29,09	
Datos después de la saturación						
Peso muestra Húmeda + Molde	10400		11343		9861	
Peso muestra Húmeda	3665		3136		2924	
Peso agua absorbida	131		162		234	
Porcentaje de humedad absorbido	5,76		7,17		10,14	
Contenido de Humedad	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Peso Recipiente	34,4	32,3	32,3	33,5	30,7	31,6
Peso muestra Húmeda + Rec.	108,9	114,5	96,4	142,6	83,8	138,1
Peso muestra Seca + Recipiente	90,5	93,8	79,1	112	68,9	107,9
Peso Agua	18,4	20,7	17,3	30,6	14,9	30,2
Peso muestra Seca	56,1	61,5	46,8	78,5	38,2	76,3
Contenido de Humedad (%)	32,80	33,66	36,97	38,98	39,01	39,58
Promedio W%	33,23		37,97		39,29	
Ensayo de CBR						
N° Molde	7		5		3	
Penetración [pulg]	Lbf	lb/plg ²	Lbf	lb/plg ³	Lbf	lb/plg ⁴
0	0	0	0	0	0	0
0,025	115,6	38,52	72,2	24,06	49,4	16,48
0,05	192,8	64,26	117,7	39,22	65,1	21,69
0,075	240,0	80,01	153,2	51,08	80,6	26,87
0,1	293,7	97,91	183,6	61,20	97,3	32,44
0,2	462,5	154,18	300,9	100,30	176,0	58,67
0,3	565,4	188,46	397,1	132,37	234,6	78,20

0,4	664,0	221,33	480,0	160,00	284,5	94,84
0,5	769,3	256,44	557,9	185,97	329,1	109,69

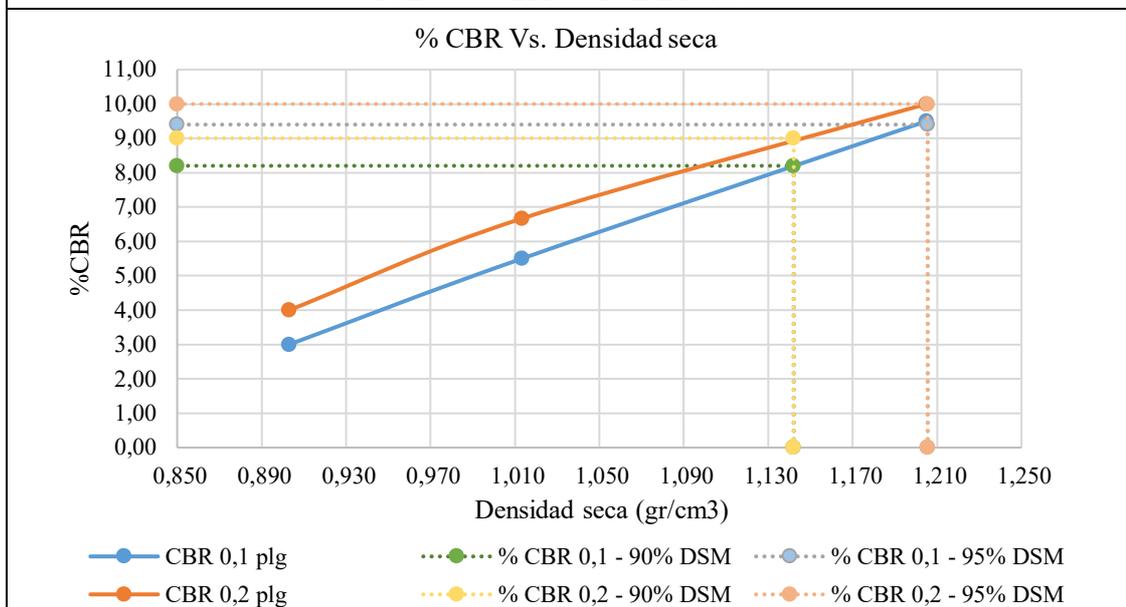
Gráfico Esfuerzo Vs Penetración



Porcentaje CBR corregido

Molde N°	Presión lb/plg ²	CBR 0,1 plg	Densidad seca (gr/cm ³)	Presión lb/plg ²	CBR 0,2 plg	Densidad seca (gr/cm ³)
7	95,00	9,50	1,205	150,00	10,00	1,205
5	55,00	5,50	1,013	100,00	6,67	1,013
3	30,00	3,00	0,903	60,00	4,00	0,903
Densidad seca máxima (gr/cm ³)					1,269	

Gráfico %CBR Vs Densidad Seca



Densidad seca máxima (gr/cm ³)	% CBR 0,1 plg	% CBR 0,2 plg	% CBR mayor
95%	1,206	9,4	10
90%	1,142	8,2	9
CBR de diseño %		10,0	

Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

Calicata 3 – 2,0% de tereftalato de polietileno (PET)

Tabla 94 Contenido de humedad, límites de Atterberg y clasificación de suelos
Calicata 3 – 2,0 % PET

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN									
Tema: Análisis de las propiedades físico-mecánicas y CBR de suelos cohesivos de subrasante mezclados con partículas de tereftalato de polietileno (PET)									
Provincia: Morona Santiago			%PET: 2,0						
Cantón: Morona			Coordenadas: 824561,443; 9760318,760						
Parroquia: Sevilla Don Bosco			Realizado por: Nancy Patricia Ocampo Guerrero						
Muestra N°: 3			Revisado por: Ing. Fidel Castro						
Contenido de humedad									
Peso suelo húmedo + recipiente			74,70			81,10			
Peso suelo seco + recipiente			43,10			49,40			
Peso recipiente			24,70			31,10			
Peso del agua			31,60			31,70			
Peso de los sólidos			18,40			18,30			
Contenido de humedad			171,74			173,22			
Contenido de humedad promedio			172,48						
Límite Líquido									
Número de golpes		8		19		26		35	
Recipiente N°		33	6E-38	111-2A	44	8B-3A	73-4A	23	51
Peso suelo hum. + rec.		10,30	13,70	14,20	9,70	13,80	14,80	15,80	14,10
Peso suelo seco + rec.		9,10	12,40	13,10	8,40	12,50	13,10	14,60	13,00
Peso recipiente		7,40	10,80	11,60	6,50	10,70	10,80	12,70	11,40
Peso del agua		1,20	1,30	1,10	1,30	1,30	1,70	1,20	1,10
Peso de los sólidos		1,70	1,60	1,50	1,90	1,80	2,30	1,90	1,60
W%		70,59	81,25	73,33	68,42	72,22	73,91	63,16	68,75
W% promedio		75,92		70,88		73,07		65,95	
Límite Líquido									
<p>Contenido de humedad</p> <p>$y = -5,51\ln(x) + 87,76$ $R^2 = 0,6966$</p> <p>LL=70,02</p> <p>Número de golpes</p>									

Límite Plástico					
Recipiente N°	16	5F	3F	P3	23
Peso suelo hum. + rec.	8,90	8,10	7,70	13,70	9,80
Peso suelo seco + rec.	8,30	7,50	7,20	13,10	9,00
Peso recipiente	7,20	6,10	6,10	11,80	7,30
Peso del agua	0,60	0,60	0,50	0,60	0,80
Peso de los sólidos	1,10	1,40	1,10	1,30	1,70
W%	54,55	42,86	45,45	46,15	47,06
W% promedio	47,21				
Límite de Contracción					
Determinación del volumen del suelo					
N° de cápsula de contracción	8		10		
Peso de la cápsula de contracción con mercurio	285,30		285,10		
Peso de la cápsula de contracción	22,00		22,10		
Peso del mercurio	263,30		263,00		
Densidad del mercurio	13,40		13,40		
Volumen de la masa (Vm)	19,65		19,63		
Determinación del contenido de humedad del suelo					
Peso muestra húmeda + recipiente (Wm+Wr)	49,90		49,60		
Peso muestra seca + recipiente (Ws+Wr)	38,10		38,10		
Peso del agua (Ww)	11,80		11,50		
Peso del recipiente (Wr)	22,00		22,10		
Peso de la muestra seca (Ws)	16,10		16,00		
Contenido de Humedad W%	73,29		71,88		
Determinación del volumen del suelo seco moldeado					
Peso cristal Lucita lleno mercurio	754,70		754,70		
Peso cristal Lucita con desalojo mercurio	577,50		575,30		
Peso mercurio desalojado	177,20		179,40		
Densidad del mercurio	13,40		13,40		
Volumen del suelo contraído (Vo)	13,22		13,39		
Determinación del límite de contracción					
Límite de contracción %	33,38		32,88		
Límite de contracción promedio %	33,13				
Resultados					
Límite Líquido %	70,02				
Límite Plástico %	47,21				
Índice de plasticidad	22,81				
Límite de contracción %	33,13				
Clasificación					
SUCS			AASHTO		
CH			A7-5		

Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

Tabla 95 Granulometría Calicata 3 – 2,0 % PET

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN						
Tema: Análisis de las propiedades físico-mecánicas y CBR de suelos cohesivos de subrasante mezclados con partículas de tereftalato de polietileno (PET)						
Provincia: Morona Santiago			%PET: 2,0			
Cantón: Morona			Coordenadas: 824561,443; 9760318,760			
Parroquia: Sevilla Don Bosco			Realizado por: Nancy Patricia Ocampo Guerrero			
Muestra N°: 3			Revisado por: Ing. Fidel Castro			
Granulometría						
Tamaño de la muestra			1000 gr			
Tamiz	Tamaño en mm	Pesos retenidos acumulados	Peso retenido	% Retenido Acumulado	% Retenido	% Que pasa
4	4,76	0	0	0	0	100
8	2,38	0,5	0,5	0,05	0,05	99,95
10	2	1,3	0,8	0,13	0,08	99,87
16	1,18	2,8	1,5	0,28	0,15	99,72
30	0,6	12,9	10,1	1,29	1,01	98,71
40	0,425	21,3	8,4	2,13	0,84	97,87
50	0,3	79,7	58,4	7,97	5,84	92,03
60	0,25	115,5	35,8	11,55	3,58	88,45
100	0,15	180,8	65,3	18,08	6,53	81,92
200	0,075	286,2	105,4	28,62	10,54	71,38
Fuente	0,03	1000	713,8	100	71,38	0,00

CURVA GRANULOMÉTRICA

El gráfico muestra la curva granulométrica con los siguientes puntos clave:

- D10:** 0,034 mm
- D30:** 0,044 mm
- D60:** 0,064 mm
- Cu:** 1,88
- Cc:** 0,89
- TNM:** 0,3 mm

D10	0,034	D30	0,044	D60	0,064
Cu	1,88	Cc	0,89	TNM	0,3mm

Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

Tabla 96 Gravedad específica y densidad de campo Calicata 3 – 2,0 % PET

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN			
Tema: Análisis de las propiedades físico-mecánicas y CBR de suelos cohesivos de subrasante mezclados con partículas de tereftalato de polietileno (PET)			
Provincia: Morona Santiago	%PET: 2,0		
Cantón: Morona	Coordenadas: 824561,443; 9760318,760		
Parroquia: Sevilla Don Bosco	Realizado por: Nancy Patricia Ocampo Guerrero		
Muestra N°: 3	Revisado por: Ing. Fidel Castro		
Gravedad específica			
Peso picnómetro + agua (Wbw)	662,20	662,00	662,30
Peso Picnómetro + agua + suelo sumergido (Wbws)	693,10	693,10	693,20
Peso desplazamiento de agua (Dw)	19,10	18,90	19,10
Temperatura °C	19,00	18,40	18,20
Factor de corrección por temperatura K	0,998	0,999	0,999
N° de recipiente	28,00	4,00	12,00
Peso del recipiente	48,40	48,90	48,20
Peso del recipiente + suelo sumergido	574,00	575,10	574,30
Peso del recipiente + suelo seco	97,30	98,10	97,10
Peso del suelo seco (Ws)	48,90	49,20	48,90
Gravedad específica (Gs)	2,71	2,71	2,71
Gravedad específica promedio (Gs)	2,71		
Densidad de campo			
Muestra	3		
Peso de la masa de suelo + rec.	1506,00		
Peso del recipiente	5,40		
Peso de la masa de suelo	1500,60		
Lectura inicial frasco + cono + arena	6116,60		
Lectura final frasco + cono + arena	4012,70		
Peso de arena en el cono	497,90		
Peso de arena en la muestra	1108,10		
Densidad de la arena de Ottawa	1,58		
Volumen de la masa extraída	1441,08		
N° de recipiente	50,00	82,00	
Peso Recipiente	31,20	30,70	
Peso muestra Húmeda + Rec.	89,40	134,10	
Peso muestra Seca + Recipiente	60,40	80,40	
Peso Agua	29,00	53,70	
Peso muestra Seca	29,20	49,70	
Contenido de Humedad (%)	99,32	108,05	
W% promedio	103,68		
Peso vol. de la masa de suelo	1,041		
Peso volumétrico seco	0,511		

Gráfico representativo		Volumen	Peso
Vv		45,27	-
Va		16,27	0
Vw		29,00	29,00
Vs		10,62	29,20
Vm		55,89	58,20
Relación de vacíos		4,26	
Porosidad		81,00	
Grado de saturación del agua		64,06	
Grado de saturación del aire		35,94	
Nota: Al ser un ensayo de campo, se realizó en las muestras naturales			

Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

Tabla 97 Compactación del suelo Calicata 3 – 2,0 % PET

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO									
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA									
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL									
PROYECTO DE TITULACIÓN									
Tema: Análisis de las propiedades físico-mecánicas y CBR de suelos cohesivos de subrasante mezclados con partículas de tereftalato de polietileno (PET)									
Provincia: Morona Santiago				%PET: 2,0					
Cantón: Morona				Coordenadas: 824561,443; 9760318,760					
Parroquia: Sevilla Don Bosco				Realizado por: Nancy Patricia Ocampo Guerrero					
Muestra N°: 3				Revisado por: Ing. Fidel Castro					
Proctor Modificado B - AASHTO T-180									
N° de Golpes:		56		Peso Molde:		12730			
Altura de Caída: 18"		1,5		Peso Martillo:		10			
N° de Capas:		5		Volumen del Molde:		2287,14			
Ensayo N°		1		2		3		4	
Peso Inicial Deseado		6000		6000		6000		6000	
Humedad Estimada		12		16		20		24	
Peso Molde+Suelo Hum		15969		16191		16310		16391	
Peso Suelo Húmedo		3239		3461		3580		3661	
Peso Vol. Hum.		1,416		1,513		1,565		1,601	
Peso Vol. Seco		1,176		1,216		1,223		1,213	
W%		a	b	c	d	e	f	g	h
Recipiente N°		15	53	52	9	11	24	7	21
Peso Recipiente		28,3	31,5	31,5	28,4	38,3	35,6	31,2	25,5
Peso suelo Hum + Rec.		116,5	95,3	132,4	109,5	125,2	110,3	115,1	98,6
Peso suelo Seca + Rec.		101,4	84,6	112,8	93,4	106,3	93,9	94,9	80,8
Peso Agua		15,1	10,7	19,6	16,1	18,9	16,4	20,2	17,8
Peso suelo seco		73,1	53,1	81,3	65	68	58,3	63,7	55,3
W%		20,66	20,15	24,11	24,77	27,79	28,13	31,71	32,19
Promedio W%		20,40		24,44		27,96		31,95	
Contenido de humedad óptimo		Peso específico seco				Grado de compactación			
27,8%		1,225 gr/cm ³				98,54%			

Curva de compactación

El gráfico muestra la relación entre el contenido de humedad y el peso específico seco. El eje horizontal representa el contenido de humedad en porcentaje, con marcas en 20, 25, 30 y 35. El eje vertical representa el peso específico seco en gr/cm³, con marcas en 1,175, 1,185, 1,195, 1,205, 1,215, 1,225 y 1,235. Se observan cuatro puntos de datos conectados por una línea azul discontinua. El punto más alto de la curva, que indica el estado óptimo de compactación, está marcado con un diamante naranja y sus coordenadas son (27,8, 1,225). Una línea horizontal naranja discontinua conecta este punto con el eje vertical, y una línea vertical naranja discontinua lo conecta con el eje horizontal.

Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

Tabla 98 CBR Calicata 3 – 2,0 % PET

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO						
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA						
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
PROYECTO DE TITULACIÓN						
Tema: Análisis de las propiedades físico-mecánicas y CBR de suelos cohesivos de subrasante mezclados con partículas de tereftalato de polietileno (PET)						
Provincia: Morona Santiago	%PET: 2,0					
Cantón: Morona	Coordenadas: 824561,443; 9760318,760					
Parroquia: Sevilla Don Bosco	Realizado por: Nancy Patricia Ocampo Guerrero					
Muestra N°: 3	Revisado por: Ing. Fidel Castro					
Ensayo CBR - AASHTO T-180						
N° Molde	3		5		7	
Número de golpes (N)	56		27		11	
Peso suelo + recipiente (gr)	10367		11329		9239	
Peso del recipiente (gr)	6907		8207		6745	
Peso de la masa de suelo Wm (gr)	3460		3122		2494	
Volumen de la muestra Vm (cm ³)	2307,41		2259,38		2274,36	
Peso unitario húmedo (gr/cm ³)	1,500		1,382		1,097	
Peso Volumétrico Seco	1,171		1,080		0,852	
Contenido de Humedad	Base	Molde	Base	Molde	Base	Molde
Peso Recipiente	30,8	31,2	30,2	30,5	31,5	30,9
Peso muestra Húmeda + Rec.	100,8	114,7	113,7	118,1	168,7	141,7
Peso muestra Seca + Recipiente	86,5	95,2	95,2	99,2	138,6	116,5
Peso Agua	14,3	19,5	18,5	18,9	30,1	25,2
Peso muestra Seca	55,7	64	65	68,7	107,1	85,6
Contenido de Humedad (%)	25,67	30,47	28,46	27,51	28,10	29,44
Promedio W%	28,07		27,99		28,77	
Datos después de la saturación						
Peso muestra Húmeda + Molde	10481		11515		9462	
Peso muestra Húmeda	3574		3308		2717	
Peso agua absorbida	114		186		223	
Porcentaje de humedad absorbido	4,94		8,23		9,80	
Contenido de Humedad	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Peso Recipiente	31,1	32,4	34,4	32,6	31,9	32,8
Peso muestra Húmeda + Rec.	132,2	141,3	151,6	148,7	135,2	138,5
Peso muestra Seca + Recipiente	107,7	114,6	119,7	117,9	106,9	109,1
Peso Agua	24,5	26,7	31,9	30,8	28,3	29,4
Peso muestra Seca	76,6	82,2	85,3	85,3	75	76,3
Contenido de Humedad (%)	31,98	32,48	37,40	36,11	37,73	38,53
Promedio W%	32,23		36,75		38,13	
Ensayo de CBR						
N° Molde	3		5		7	
Penetración [pulg]	Lbf	lb/plg ²	Lbf	lb/plg ³	Lbf	lb/plg ⁴
0	0	0	0	0	0	0
0,025	121,4	40,47	103,7	34,56	55,9	18,64
0,05	220,2	73,41	149,7	49,91	77,4	25,81
0,075	305,1	101,69	203,3	67,76	107,4	35,81
0,1	361,4	120,47	244,4	81,46	131,2	43,73
0,2	643,8	214,59	424,8	141,61	221,9	73,96
0,3	858,2	286,08	579,9	193,29	297,3	99,09

Calicata 3 – 2,5% de tereftalato de polietileno (PET)

Tabla 99 Contenido de humedad, límites de Atterberg y clasificación de suelos
Calicata 3 – 2,5 % PET

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN								
Tema: Análisis de las propiedades físico-mecánicas y CBR de suelos cohesivos de subrasante mezclados con partículas de tereftalato de polietileno (PET)								
Provincia: Morona Santiago			%PET: 2,5					
Cantón: Morona			Coordenadas: 824561,443; 9760318,760					
Parroquia: Sevilla Don Bosco			Realizado por: Nancy Patricia Ocampo Guerrero					
Muestra N°: 3			Revisado por: Ing. Fidel Castro					
Contenido de humedad								
Peso suelo húmedo + recipiente		81,40			80,60			
Peso suelo seco + recipiente		50,10			49,20			
Peso recipiente		31,40			30,60			
Peso del agua		31,30			31,40			
Peso de los sólidos		18,70			18,60			
Contenido de humedad		167,38			168,82			
Contenido de humedad promedio		168,10						
Límite Líquido								
Número de golpes	12		20		28		35	
Recipiente N°	1	26A	42	74	78	8	63	31
Peso suelo hum. + rec.	13,30	14,10	13,70	13,40	13,10	13,90	13,10	13,70
Peso suelo seco + rec.	12,30	13,00	13,20	12,50	12,10	11,80	12,30	12,60
Peso recipiente	10,80	11,40	12,40	11,20	10,50	8,40	11,10	10,90
Peso del agua	1,00	1,10	0,50	0,90	1,00	2,10	0,80	1,10
Peso de los sólidos	1,50	1,60	0,80	1,30	1,60	3,40	1,20	1,70
W%	66,67	68,75	62,50	69,23	62,50	61,76	66,67	64,71
W% promedio	67,71		65,87		62,13		65,69	
Límite Líquido								

Límite Plástico					
Recipiente N°	97	28	42	P1	7
Peso suelo hum. + rec.	9,20	10,10	8,90	13,40	9,50
Peso suelo seco + rec.	8,60	9,60	8,10	12,90	9,00
Peso recipiente	7,50	8,50	6,20	11,70	8,10
Peso del agua	0,60	0,50	0,80	0,50	0,50
Peso de los sólidos	1,10	1,10	1,90	1,20	0,90
W%	54,55	45,45	42,11	41,67	55,56
W% promedio	47,87				
Límite de Contracción					
Determinación del volumen del suelo					
N° de cápsula de contracción	12		14A		
Peso de la cápsula de contracción con mercurio	272,00		289,90		
Peso de la cápsula de contracción	21,60		22,90		
Peso del mercurio	250,40		267,00		
Densidad del mercurio	13,40		13,40		
Volumen de la masa (Vm)	18,69		19,93		
Determinación del contenido de humedad del suelo					
Peso muestra húmeda + recipiente (Wm+Wr)	49,10		48,80		
Peso muestra seca + recipiente (Ws+Wr)	38,20		38,40		
Peso del agua (Ww)	10,90		10,40		
Peso del recipiente (Wr)	21,60		22,90		
Peso de la muestra seca (Ws)	16,60		15,50		
Contenido de Humedad W%	65,66		67,10		
Determinación del volumen del suelo seco moldeado					
Peso cristal Lucita lleno mercurio	754,10		754,10		
Peso cristal Lucita con desalojo mercurio	578,40		559,50		
Peso mercurio desalojado	175,70		194,60		
Densidad del mercurio	13,40		13,40		
Volumen del suelo contraído (Vo)	13,11		14,52		
Determinación del límite de contracción					
Límite de contracción %	32,08		32,24		
Límite de contracción promedio %	32,16				
Resultados					
Límite Líquido %	64,94				
Límite Plástico %	47,87				
Índice de plasticidad	17,07				
Límite de contracción %	32,16				
Clasificación					
SUCS			AASHTO		
CH			A7-5		

Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

Tabla 100 Granulometría Calicata 3 – 2,5 % PET

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO						
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA						
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
PROYECTO DE TITULACIÓN						
Tema: Análisis de las propiedades físico-mecánicas y CBR de suelos cohesivos de subrasante mezclados con partículas de tereftalato de polietileno (PET)						
Provincia: Morona Santiago			%PET: 2,5			
Cantón: Morona			Coordenadas: 824561,443; 9760318,760			
Parroquia: Sevilla Don Bosco			Realizado por: Nancy Patricia Ocampo Guerrero			
Muestra N°: 3			Revisado por: Ing. Fidel Castro			
Granulometría						
Tamaño de la muestra			1000 gr			
Tamiz	Tamaño en mm	Pesos retenidos acumulados	Peso retenido	% Retenido Acumulado	% Retenido	% Que pasa
4	4,76	0	0	0	0	100,00
8	2,38	1,9	1,9	0,19	0,19	99,81
10	2	3,7	1,8	0,37	0,18	99,63
16	1,18	8,9	5,2	0,89	0,52	99,11
30	0,6	13,1	4,2	1,31	0,42	98,69
40	0,425	41,3	28,2	4,13	2,82	95,87
50	0,3	105	63,7	10,50	6,37	89,50
60	0,25	137,5	32,5	13,75	3,25	86,25
100	0,15	190,8	53,3	19,08	5,33	80,92
200	0,075	311,2	120,4	31,12	12,04	68,88
Fuente	0,03	997,6	686,4	99,76	68,64	0,24

CURVA GRANULOMÉTRICA

El gráfico muestra la curva granulométrica con los siguientes datos clave extraídos de la tabla:

D10	0,034mm	D30	0,045mm	D60	0,065mm
Cu	1,91mm	Cc	0,92mm	TNM	0,3mm

D10	0,034mm	D30	0,045mm	D60	0,065mm
Cu	1,91mm	Cc	0,92mm	TNM	0,3mm

Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

Tabla 101 Gravedad específica y densidad de campo Calicata 3 – 2,5 % PET

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN			
Tema: Análisis de las propiedades físico-mecánicas y CBR de suelos cohesivos de subrasante mezclados con partículas de tereftalato de polietileno (PET)			
Provincia: Morona Santiago	%PET: 2,5		
Cantón: Morona	Coordenadas: 824561,443; 9760318,760		
Parroquia: Sevilla Don Bosco	Realizado por: Nancy Patricia Ocampo Guerrero		
Muestra N°: 3	Revisado por: Ing. Fidel Castro		
Gravedad específica			
Peso picnómetro + agua (Wbw)	661,80	662,00	650,50
Peso Picnómetro + agua + suelo sumergido (Wbws)	692,60	692,50	681,40
Peso desplazamiento de agua (Dw)	19,20	19,50	19,10
Temperatura °C	19,90	19,90	22,40
Factor de corrección por temperatura K	0,998	0,998	0,998
N° de recipiente	16,00	1,00	70,00
Peso del recipiente	50,00	49,00	252,40
Peso del recipiente + suelo sumergido	578,00	576,70	779,90
Peso del recipiente + suelo seco	98,80	97,40	301,40
Peso del suelo seco (Ws)	48,80	48,40	49,00
Gravedad específica (Gs)	2,71	2,70	2,70
Gravedad específica promedio (Gs)	2,70		
Densidad de campo			
Muestra	3		
Peso de la masa de suelo + rec.	1506,00		
Peso del recipiente	5,40		
Peso de la masa de suelo	1500,60		
Lectura inicial frasco + cono + arena	6116,60		
Lectura final frasco + cono + arena	4012,70		
Peso de arena en el cono	497,90		
Peso de arena en la muestra	1108,10		
Densidad de la arena de Ottawa	1,58		
Volumen de la masa extraída	1441,08		
N° de recipiente	50,00	82,00	
Peso Recipiente	31,20	30,70	
Peso muestra Húmeda + Rec.	89,40	134,10	
Peso muestra Seca + Recipiente	60,40	80,40	
Peso Agua	29,00	53,70	
Peso muestra Seca	29,20	49,70	
Contenido de Humedad (%)	99,32	108,05	
W% promedio	103,68		
Peso vol. de la masa de suelo	1,041		
Peso volumétrico seco	0,511		

Gráfico representativo		Volumen	Peso
Vv		45,27	-
Va		16,27	0
Vw		29,00	29,00
Vs		10,62	29,20
Vm		55,89	58,20
Relación de vacíos		4,26	
Porosidad		81,00	
Grado de saturación del agua		64,06	
Grado de saturación del aire		35,94	
Nota: Al ser un ensayo de campo, se realizó en las muestras naturales			

Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

Tabla 102 Compactación del suelo Calicata 3 – 2,5 % PET

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN																				
Tema: Análisis de las propiedades físico-mecánicas y CBR de suelos cohesivos de subrasante mezclados con partículas de tereftalato de polietileno (PET)																				
Provincia: Morona Santiago			%PET: 2,5																	
Cantón: Morona			Coordenadas: 824561,443; 9760318,760																	
Parroquia: Sevilla Don Bosco			Realizado por: Nancy Patricia Ocampo Guerrero																	
Muestra N°: 3			Revisado por: Ing. Fidel Castro																	
Proctor Modificado B - AASHTO T-180																				
N° de Golpes:	56			Peso Molde:		12730														
Altura de Caída: 18"	1,5			Peso Martillo:		10														
N° de Capas:	5			Volumen del Molde:		2287,14														
Ensayo N°	1		2		3		4													
Peso Inicial Deseado	6000		6000		6000		6000													
Humedad Estimada	12		16		20		24													
Peso Molde+Suelo Hum	15891		16115		16188		16204													
Peso Suelo Húmedo	3161		3385		3458		3474													
Peso Vol. Hum.	1,382		1,480		1,512		1,519													
Peso Vol. Seco	1,143		1,186		1,174		1,144													
W%	a	b	c	d	e	f	g	h												
Recipiente N°	40	41	44	45	34	38	28	25												
Peso Recipiente	32,1	29,5	31,4	28,8	29,2	32,7	39,3	35,9												
Peso suelo Hum + Rec.	96,9	94,3	98,5	110,9	104,2	83,5	110,6	102,9												
Peso suelo Seca + Rec.	85,6	83,2	85,2	94,5	87,7	72	92,9	86,5												
Peso Agua	11,3	11,1	13,3	16,4	16,5	11,5	17,7	16,4												
Peso suelo seco	53,5	53,7	53,8	65,7	58,5	39,3	53,6	50,6												
W%	21,12	20,67	24,72	24,96	28,21	29,26	33,02	32,41												
Promedio W%	20,90		24,84		28,73		32,72													
Contenido de humedad óptimo	Peso específico seco			Grado de compactación																
26,6%	1,184 gr/cm ³			98,13%																
Curva de compactación																				
<table border="1"> <caption>Datos de la Curva de Compactación</caption> <thead> <tr> <th>Contenido de humedad (%)</th> <th>Peso específico seco (gr/cm³)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>21,12</td> <td>1,143</td> </tr> <tr> <td>20,67</td> <td>1,186</td> </tr> <tr> <td>24,72</td> <td>1,184</td> </tr> <tr> <td>24,96</td> <td>1,174</td> </tr> <tr> <td>28,21</td> <td>1,144</td> </tr> </tbody> </table>									Contenido de humedad (%)	Peso específico seco (gr/cm ³)	21,12	1,143	20,67	1,186	24,72	1,184	24,96	1,174	28,21	1,144
Contenido de humedad (%)	Peso específico seco (gr/cm ³)																			
21,12	1,143																			
20,67	1,186																			
24,72	1,184																			
24,96	1,174																			
28,21	1,144																			

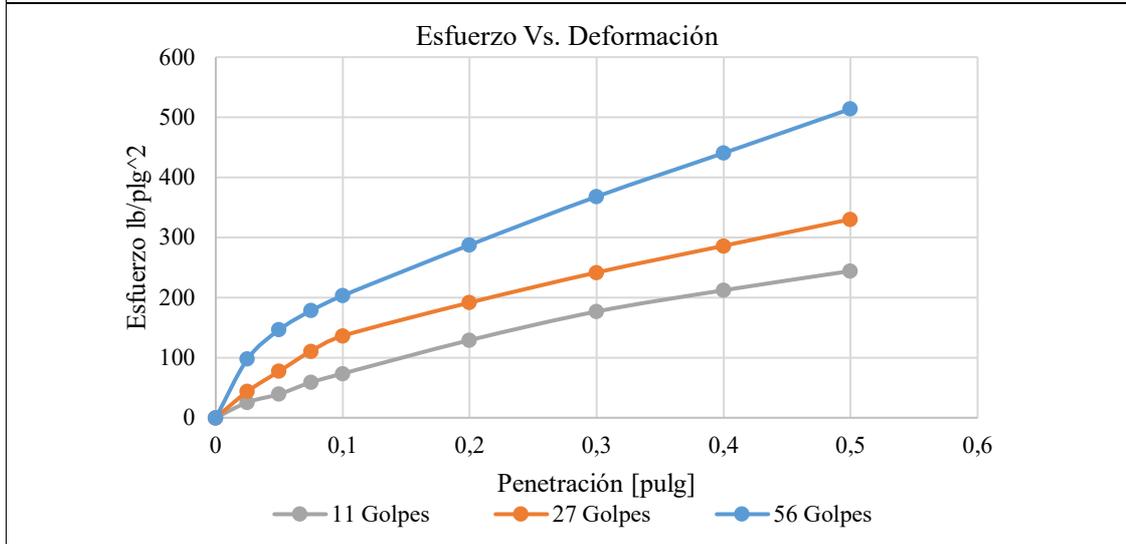
Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

Tabla 103 CBR Calicata 3 – 2,5 % PET

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO						
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA						
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
PROYECTO DE TITULACIÓN						
Tema: Análisis de las propiedades físico-mecánicas y CBR de suelos cohesivos de subrasante mezclados con partículas de tereftalato de polietileno (PET)						
Provincia: Morona Santiago	%PET: 2,5					
Cantón: Morona	Coordenadas: 824561,443; 9760318,760					
Parroquia: Sevilla Don Bosco	Realizado por: Nancy Patricia Ocampo Guerrero					
Muestra N°: 3	Revisado por: Ing. Fidel Castro					
Ensayo CBR - AASHTO T-180						
N° Molde	5		9		6	
Número de golpes (N)	56		27		11	
Peso suelo + recipiente (gr)	11506		9256		8375	
Peso del recipiente (gr)	8207		6282		5759	
Peso de la masa de suelo Wm (gr)	3299		2974		2616	
Volumen de la muestra Vm (cm ³)	2259,38		2286,28		2287,14	
Peso unitario húmedo (gr/cm ³)	1,460		1,301		1,144	
Peso Volumétrico Seco	1,151		1,024		0,902	
Contenido de Humedad	Base	Molde	Base	Molde	Base	Molde
Peso Recipiente	29	31	30,4	30,8	32,4	30,8
Peso muestra Húmeda + Rec.	127,7	105,8	167,5	100,5	150,6	110,4
Peso muestra Seca + Recipiente	106,3	90,4	137,9	85,9	125,9	93,4
Peso Agua	21,4	15,4	29,6	14,6	24,7	17
Peso muestra Seca	77,3	59,4	107,5	55,1	93,5	62,6
Contenido de Humedad (%)	27,68	25,93	27,53	26,50	26,42	27,16
Promedio W%	26,81		27,02		26,79	
Datos después de la saturación						
Peso muestra Húmeda + Molde	11609		9451		8623	
Peso muestra Húmeda	3402		3169		2864	
Peso agua absorbida	103		195		248	
Porcentaje de humedad absorbido	4,56		8,53		10,84	
Contenido de Humedad	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Peso Recipiente	31,9	29	30,9	30,9	32,3	30,9
Peso muestra Húmeda + Rec.	98,2	101,4	84,8	85,1	113,8	102,9
Peso muestra Seca + Recipiente	82,4	83,7	70,8	70,2	91,3	83,2
Peso Agua	15,8	17,7	14	14,9	22,5	19,7
Peso muestra Seca	50,5	54,7	39,9	39,3	59	52,3
Contenido de Humedad (%)	31,29	32,36	35,09	37,91	38,14	37,67
Promedio W%	31,82		36,50		37,90	
Ensayo de CBR						
N° Molde	5		9		6	
Penetración [pulg]	Lbf	lb/plg ²	Lbf	lb/plg ³	Lbf	lb/plg ⁴
0	0	0	0	0	0	0
0,025	292,9	97,63	131,8	43,93	77,1	25,70
0,05	439,4	146,47	232,3	77,44	118,5	39,49
0,075	534,6	178,19	332,6	110,88	177,0	59,00
0,1	609,7	203,23	408,7	136,22	220,7	73,55
0,2	862,7	287,56	574,9	191,63	387,3	129,10
0,3	1103,8	367,94	725,1	241,71	530,4	176,81

0,4	1321,3	440,44	858,5	286,16	636,5	212,15
0,5	1541,7	513,89	990,8	330,26	732,4	244,13

Gráfico Esfuerzo Vs Penetración

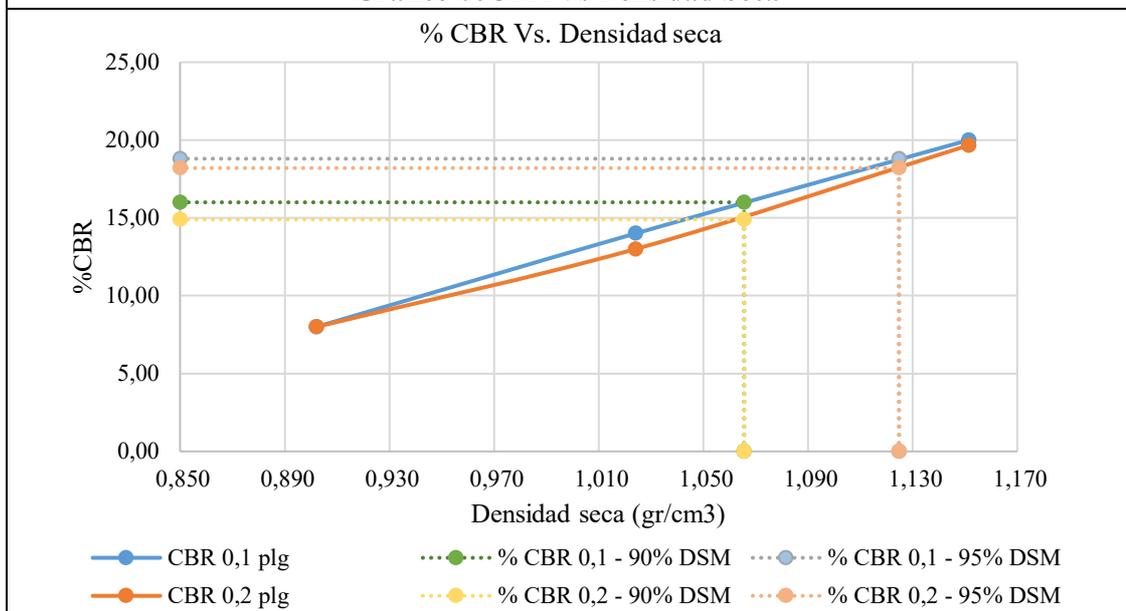


Porcentaje CBR corregido

Molde N°	Presión lb/plg ²	CBR 0,1 plg	Densidad seca (gr/cm ³)	Presión lb/plg ²	CBR 0,2 plg	Densidad seca (gr/cm ³)
5	200,00	20,00	1,151	295,00	19,67	1,151
9	140,00	14,00	1,024	195,00	13,00	1,024
6	80,00	8,00	0,902	120,00	8,00	0,902

Densidad seca máxima (gr/cm³) 1,184

Gráfico %CBR Vs Densidad Seca



Densidad seca máxima (gr/cm ³)	% CBR 0,1 plg	% CBR 0,2 plg	% CBR mayor	
95%	1,125	18,8	18,2	18,8
90%	1,066	16	14,9	16
CBR de diseño %			18,8	

Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

Anexo N°3: Registro del conteo vehicular

Tabla 104 Conteo vehicular día 1

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN													
Tema: Análisis de las propiedades físico-mecánicas y CBR de suelos cohesivos de subrasante mezclados con partículas de tereftalato de polietileno (PET)													
Provincia: Morona Santiago			Parroquia: Sevilla Don Bosco			Día de conteo N°: 1			Realizado por: Nancy Patricia Ocampo Guerrero				
Cantón: Morona			Fecha: 08/julio/2021			Carretera: Vía a Guapula			Revisado por: Ing. Fidel Castro				
Hora	Livianos			Buses		Camiones			Maquinaria pesada			Total	Total
	Motos	Auto móviles	Camionetas	Busetas	Buses	2 ejes	3 ejes	4 ejes	Volquetes	Retroexcavadoras	Niveladoras		
7h00 - 7h15	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2	12
7h15 - 7h30	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
7h30 - 7h45	0	2	1	0	0	0	0	0	2	0	0	5	
7h45 - 8h00	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	4	
8h00 - 8h15	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	3	16
8h15 - 8h30	0	1	2	0	0	0	0	0	1	0	0	4	
8h30 - 8h45	3	1	0	0	0	0	0	0	2	0	0	6	
8h45 - 9h00	1	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	3	
9h00 - 9h15	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	8
9h15 - 9h30	2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	3	
9h30 - 9h45	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	
9h45 - 10h00	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	
10h00 - 10h15	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2	6
10h15 - 10h30	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2	
10h30 - 10h45	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	
10h45 - 11h00	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	
11h00 - 11h15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12
11h15 - 11h30	1	2	1	0	0	0	0	1	0	0	0	5	
11h30 - 11h45	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	2	
11h45 - 12h00	0	0	1	1	0	0	0	0	3	0	0	5	
12h00 - 12h15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7
12h15 - 12h30	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	
12h30 - 12h45	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	
12h45 - 13h00	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	3	
13h00 - 13h15	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	7
13h15 - 13h30	2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	3	
13h30 - 13h45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
13h45 - 14h00	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	3	
14h00 - 14h15	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	8
14h15 - 14h30	1	1	2	0	0	0	1	0	0	1	0	6	
14h30 - 14h45	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	
14h45 - 15h00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
15h00 - 15h15	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	10
15h15 - 15h30	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	3	
15h30 - 15h45	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	
15h45 - 16h00	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	
16h00 - 16h15	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	2	7
16h15 - 16h30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	
16h30 - 16h45	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	
16h45 - 17h00	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	2	
17h00 - 17h15	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	8
17h15 - 17h30	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	
17h30 - 17h45	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	3	
17h45 - 18h00	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	3	
18h00 - 18h15	1	2	1	0	1	0	0	0	0	0	0	5	5
18h15 - 18h30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
18h30 - 18h45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
18h45 - 19h00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Total	25	17	18	2	5	7	4	3	21	2	2	106	
	60			7		14			25				

Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

Tabla 105 Conteo vehicular día 2

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN															
Tema: Análisis de las propiedades físico-mecánicas y CBR de suelos cohesivos de subrasante mezclados con partículas de tereftalato de polietileno (PET)															
Provincia: Morona Santiago			Parroquia: Sevilla Don Bosco			Día de conteo N°: 2			Realizado por: Nancy Patricia Ocampo Guerrero						
Cantón: Morona			Fecha: 09/julio/2021			Carretera: Vía a Guapula			Revisado por: Ing. Fidel Castro						
Hora	Livianos			Buses		Camiones			Maquinaria pesada			Total	Total		
	Motos	Auto móviles	Camiónetas	Busetas	Buses	2 ejes	3 ejes	4 ejes	Volquetes	Retroexcavadoras	Niveladoras				
7h00 - 7h15	1	0	4	0	1	1	0	0	1	0	0	8	22		
7h15 - 7h30	1	1	0	1	0	0	0	0	2	0	0	5		22	
7h30 - 7h45	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	3			22
7h45 - 8h00	2	1	0	0	0	0	1	0	2	0	0	6			
8h00 - 8h15	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	0	5	12		
8h15 - 8h30	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2		12	
8h30 - 8h45	1	0	1	0	0	0	0	0	2	0	0	4			12
8h45 - 9h00	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1			
9h00 - 9h15	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	12		
9h15 - 9h30	3	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	6		12	
9h30 - 9h45	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1			12
9h45 - 10h00	1	2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	4			
10h00 - 10h15	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	9		
10h15 - 10h30	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	3		9	
10h30 - 10h45	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	4			9
10h45 - 11h00	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1			
11h00 - 11h15	1	1	1	0	0	0	0	2	0	0	0	5	9		
11h15 - 11h30	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	2		9	
11h30 - 11h45	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1			9
11h45 - 12h00	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1			
12h00 - 12h15	0	0	1	0	0	0	0	0	2	0	0	3	11		
12h15 - 12h30	2	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	4		11	
12h30 - 12h45	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2			11
12h45 - 13h00	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	2			
13h00 - 13h15	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2	8		
13h15 - 13h30	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2		8	
13h30 - 13h45	0	2	1	0	0	1	0	0	0	0	0	4			8
13h45 - 14h00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
14h00 - 14h15	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	10		
14h15 - 14h30	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2		10	
14h30 - 14h45	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2			10
14h45 - 15h00	1	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	4			
15h00 - 15h15	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	8		
15h15 - 15h30	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	4		8	
15h30 - 15h45	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2			8
15h45 - 16h00	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1			
16h00 - 16h15	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	11		
16h15 - 16h30	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	3		11	
16h30 - 16h45	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	3			14
16h45 - 17h00	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2			
17h00 - 17h15	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2	14		
17h15 - 17h30	0	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	3		14	
17h30 - 17h45	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	3			14
17h45 - 18h00	1	0	0	0	0	0	0	0	4	1	0	6			
18h00 - 18h15	0	2	0	0	1	0	0	0	2	0	1	6	9		
18h15 - 18h30	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1		9	
18h30 - 18h45	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	2			9
18h45 - 19h00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
Total	30	22	19	4	5	8	6	8	29	2	2	135			
	71			9		22			33						

Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

Tabla 106 Conteo vehicular día 3

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN															
Tema: Análisis de las propiedades físico-mecánicas y CBR de suelos cohesivos de subrasante mezclados con partículas de tereftalato de polietileno (PET)															
Provincia: Morona Santiago			Parroquia: Sevilla Don Bosco			Día de conteo N°: 3			Realizado por: Nancy Patricia Ocampo Guerrero						
Cantón: Morona			Fecha: 10/julio/2021			Carretera: Vía a Guapula			Revisado por: Ing. Fidel Castro						
Hora	Livianos			Buses		Camiones			Maquinaria pesada			Total	Total		
	Motos	Auto móviles	Camiónetas	Busetas	Buses	2 ejes	3 ejes	4 ejes	Volquetes	Retroexcavadoras	Niveladoras				
7h00 - 7h15	1	0	0	0	1	0	0	1	4	0	0	7	14		
7h15 - 7h30	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2		8	
7h30 - 7h45	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	3			11
7h45 - 8h00	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	2			
8h00 - 8h15	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	4	11		
8h15 - 8h30	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2		8	
8h30 - 8h45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			11
8h45 - 9h00	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2			
9h00 - 9h15	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	11		
9h15 - 9h30	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1		8	
9h30 - 9h45	2	1	0	0	0	0	1	2	0	0	0	6			11
9h45 - 10h00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
10h00 - 10h15	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	11		
10h15 - 10h30	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	2		8	
10h30 - 10h45	0	0	1	0	0	0	0	0	2	0	1	4			11
10h45 - 11h00	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1			
11h00 - 11h15	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	3	11		
11h15 - 11h30	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2		8	
11h30 - 11h45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			11
11h45 - 12h00	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2			
12h00 - 12h15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11		
12h15 - 12h30	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	2		8	
12h30 - 12h45	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3			11
12h45 - 13h00	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	3			
13h00 - 13h15	0	1	0	0	0	0	0	0	2	0	0	3	11		
13h15 - 13h30	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	4		8	
13h30 - 13h45	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1			11
13h45 - 14h00	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2			
14h00 - 14h15	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1	3	11		
14h15 - 14h30	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	2		8	
14h30 - 14h45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			11
14h45 - 15h00	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	3			
15h00 - 15h15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11		
15h15 - 15h30	1	0	0	0	1	0	0	1	2	0	0	5		8	
15h30 - 15h45	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2			11
15h45 - 16h00	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1			
16h00 - 16h15	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	11		
16h15 - 16h30	1	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	5		8	
16h30 - 16h45	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1			11
16h45 - 17h00	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1			
17h00 - 17h15	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	11		
17h15 - 17h30	1	0	1	0	0	0	0	0	2	0	0	4		8	
17h30 - 17h45	1	3	0	0	0	0	1	0	0	0	0	5			11
17h45 - 18h00	2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	3			
18h00 - 18h15	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	2	11		
18h15 - 18h30	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2		8	
18h30 - 18h45	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	3			11
18h45 - 19h00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
Total	28	17	16	0	5	4	3	6	27	2	2	110			

Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

Tabla 107 Conteo vehicular día 4

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN															
Tema: Análisis de las propiedades físico-mecánicas y CBR de suelos cohesivos de subrasante mezclados con partículas de tereftalato de polietileno (PET)															
Provincia: Morona Santiago			Parroquia: Sevilla Don Bosco			Día de conteo N°: 4			Realizado por: Nancy Patricia Ocampo Guerrero						
Cantón: Morona			Fecha: 11/julio/2021			Carretera: Vía a Guapula			Revisado por: Ing. Fidel Castro						
Hora	Livianos			Buses		Camiones			Maquinaria pesada			Total	Total		
	Motos	Auto móviles	Camiónetas	Busetas	Buses	2 ejes	3 ejes	4 ejes	Volquetes	Retroexcavadoras	Niveladoras				
7h00 - 7h15	2	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	7	11		
7h15 - 7h30	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1		9	
7h30 - 7h45	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1			7
7h45 - 8h00	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2			
8h00 - 8h15	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	6		
8h15 - 8h30	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	2		10	
8h30 - 8h45	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1			7
8h45 - 9h00	2	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	4			
9h00 - 9h15	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	2	10		
9h15 - 9h30	0	0	2	0	0	0	0	0	2	0	0	4		7	
9h30 - 9h45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			10
9h45 - 10h00	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1			
10h00 - 10h15	0	2	0	0	0	0	0	1	1	0	0	4	10		
10h15 - 10h30	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1		10	
10h30 - 10h45	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	4			7
10h45 - 11h00	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1			
11h00 - 11h15	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	10		
11h15 - 11h30	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	2		7	
11h30 - 11h45	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1			9
11h45 - 12h00	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	2			
12h00 - 12h15	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	2	9		
12h15 - 12h30	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2		5	
12h30 - 12h45	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2			9
12h45 - 13h00	0	1	0	0	0	0	0	0	2	0	1	4			
13h00 - 13h15	2	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	4	9		
13h15 - 13h30	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	2		5	
13h30 - 13h45	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	3			9
13h45 - 14h00	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1			
14h00 - 14h15	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	9		
14h15 - 14h30	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2		5	
14h30 - 14h45	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3			9
14h45 - 15h00	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1			
15h00 - 15h15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	9		
15h15 - 15h30	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2		5	
15h30 - 15h45	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2			9
15h45 - 16h00	0	0	2	0	0	0	0	0	2	0	0	4			
16h00 - 16h15	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	3	9		
16h15 - 16h30	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1		5	
16h30 - 16h45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			9
16h45 - 17h00	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1			
17h00 - 17h15	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	9		
17h15 - 17h30	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	2		5	
17h30 - 17h45	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2			9
17h45 - 18h00	0	2	1	0	1	0	0	0	0	0	0	4			
18h00 - 18h15	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	9		
18h15 - 18h30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		5	
18h30 - 18h45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			9
18h45 - 19h00	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	3			
Total	23	14	18	1	5	3	3	3	24	2	2	98			

Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero

Tabla 108 Conteo vehicular día 5

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN															
Tema: Análisis de las propiedades físico-mecánicas y CBR de suelos cohesivos de subrasante mezclados con partículas de tereftalato de polietileno (PET)															
Provincia: Morona Santiago			Parroquia: Sevilla Don Bosco			Día de conteo N°: 5			Realizado por: Nancy Patricia Ocampo Guerrero						
Cantón: Morona			Fecha: 12/julio/2021			Carretera: Vía a Guapula			Revisado por: Ing. Fidel Castro						
Hora	Livianos			Buses		Camiones			Maquinaria pesada			Total	Total		
	Motos	Auto móviles	Camiónetas	Busetas	Buses	2 ejes	3 ejes	4 ejes	Volquetes	Retroexcavadoras	Niveladoras				
7h00 - 7h15	2	0	1	0	1	1	0	0	2	0	0	7	16		
7h15 - 7h30	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2		7	
7h30 - 7h45	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2			6
7h45 - 8h00	0	0	0	0	0	0	1	0	3	1	0	5			
8h00 - 8h15	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	12		
8h15 - 8h30	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1		10	
8h30 - 8h45	1	0	2	1	0	0	0	0	0	0	1	5			10
8h45 - 9h00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
9h00 - 9h15	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2	9		
9h15 - 9h30	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1		4	
9h30 - 9h45	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	2			15
9h45 - 10h00	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1			
10h00 - 10h15	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	15		
10h15 - 10h30	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1		4	
10h30 - 10h45	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1			9
10h45 - 11h00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
11h00 - 11h15	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	4	15		
11h15 - 11h30	0	2	3	0	0	1	0	0	0	1	0	7		15	
11h30 - 11h45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			15
11h45 - 12h00	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1			
12h00 - 12h15	3	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	5	15		
12h15 - 12h30	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1		15	
12h30 - 12h45	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2			15
12h45 - 13h00	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	2			
13h00 - 13h15	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	3	15		
13h15 - 13h30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		15	
13h30 - 13h45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			15
13h45 - 14h00	1	1	3	0	0	0	0	0	1	0	1	7			
14h00 - 14h15	0	2	1	0	0	0	0	1	0	0	0	4	15		
14h15 - 14h30	0	0	0	0	0	1		0	0	0	0	1		15	
14h30 - 14h45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			15
14h45 - 15h00	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1			
15h00 - 15h15	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	15		
15h15 - 15h30	3	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	4		15	
15h30 - 15h45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			15
15h45 - 16h00	1	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	4			
16h00 - 16h15	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	15		
16h15 - 16h30	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	2		15	
16h30 - 16h45	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1			15
16h45 - 17h00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
17h00 - 17h15	3	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	6	15		
17h15 - 17h30	3	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	5		15	
17h30 - 17h45	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	3			15
17h45 - 18h00	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1			
18h00 - 18h15	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2	15		
18h15 - 18h30	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	3		15	
18h30 - 18h45	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2			15
18h45 - 19h00	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1			
Total	25	12	16	4	5	9	4	4	23	2	2	106			

Autor: Nancy Patricia Ocampo Guerrero