



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

TEMA:

**“DISEÑOS HIDRÁULICO, GEOMÉTRICO Y DE PAVIMENTOS PARA LA
CONSTRUCCIÓN DE LA VÍA ENGULLIMA –
CHANDUY”**

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

AUTORES:

GALDEA MARTÍNEZ KELVIN FABRICIO
RODRÍGUEZ AQUINO ANTHONY JOSUÉ

TUTOR:

ING. NÉSTOR ALBERTO ORRALA VERA MSc.

LA LIBERTAD, ECUADOR

2026

DEDICATORIA

Dedico esta tesis, en primer lugar, a Jehová Dios, por darme la vida, la fortaleza y la oportunidad de culminar esta etapa tan importante. Gracias por acompañarme durante este camino que no ha sido fácil, por sostenerme en los momentos de cansancio e incertidumbre, y por permitirme seguir adelante hasta alcanzar esta meta.

A la memoria de mis abuelos, Pascual Martínez y Francisco Galdea, quienes desde mi niñez me enseñaron valores que siempre llevaré conmigo. Aunque ya no estén físicamente con nosotros, sus recuerdos, consejos y muestras de cariño permanecen vivos en mi memoria y en mi corazón.

A mis padres, Juan Francisco Galdea Yagual y Lucy Florinda Martínez Neira, por ser el pilar fundamental de mi vida. Gracias por su amor incondicional, paciencia, consejos y apoyo en cada etapa. Este logro también honra el esfuerzo, la confianza y los sacrificios que han realizado por mí. Los amo mucho y siempre estaré agradecido por ayudarme a llegar hasta aquí.

A mis hermanas, Erika Gabriela Galdea Martínez y Emily Elizabeth Galdea Martínez, por acompañarme, apoyarme y formar parte importante de mi vida. Así como he contado con ustedes, deseo que siempre sepan que también podrán contar conmigo.

A mi enamorada, Michelle Tomalá, por su amor, ternura, paciencia y apoyo durante esta etapa. Gracias por acompañarme en los momentos difíciles, por brindarme palabras de ánimo y por estar presente en mis preocupaciones y logros. Tu compañía ha sido un refugio en este camino y tu cariño me ayudó a seguir adelante.

Finalmente, dedico este logro a quienes estuvieron presentes con su apoyo, cariño y palabras de ánimo durante este proceso.

Kelvin Galdea Martínez

DEDICATORIA

A Dios, por ser mi guía y darme la fortaleza y sabiduría, por sobre todo mantenerme vivo, fuerte y con la esperanza de por fin cumplir y alcanzar esta meta y las demás que me proponga.

A mis padres, Milton Rodríguez Malavé y Glenda Aquino Salinas, por su amor incondicional, su esfuerzo y su apoyo constante, quienes han sido mi mayor motivación para culminar esta etapa de mi formación profesional.

Agradezco a las mujeres de mi vida por haber creído en mí incluso en los momentos en que yo mismo dudaba de poder lograrlo. A mi madre, por su cuidado y cariño, por confiar siempre en que este sueño se haría realidad, incluso cuando el camino parecía interminable. A mi hermana, por su apoyo constante y por estar presente en cada etapa de este proceso, recordándole con mi ejemplo que sí se puede.

A mis abuelitas, Juana Malavé y Mercedes Rodríguez por su cariño y confianza en cada paso de este camino, quienes desde pequeño supieron cuidarme y educarme bien con cada consejo suyo.

Y de manera muy especial, a Laura Rodríguez Palú, quien considero como parte de mi familia desde que la conozco, a pesar de la distancia, nunca dejó de estar cerca en cada parte de este proceso. Gracias por nuestras conversaciones, llamadas, por interesarte genuinamente en cómo me iba, por compartir un poco de su mundo y yo conversarle un poco del mío, por esas palabras de ánimo, que me ayudaban justo cuando más las necesitaba. La distancia nunca fue un obstáculo para tu apoyo, y eso lo llevo conmigo con mucho cariño.

A todas ustedes, mujeres que de una u otra forma marcaron este camino: gracias por creer en mí y en la culminación de esta carrera. Este logro también les pertenece.

Anthony Rodríguez Aquino

AGRADECIMIENTOS

Agradezco, en primer lugar, a Jehová Dios, por guiarme en esta etapa, darme fortaleza en los momentos difíciles y permitirme culminar con éxito esta meta académica.

A mis padres, Juan Francisco Galdea Yagual y Lucy Florinda Martínez Neira, por sus enseñanzas, consejos, preocupación y apoyo constante. Gracias por impulsarme a seguir adelante y por ser parte fundamental de este logro, que también les pertenece. Los amo mucho y siempre estaré agradecido por todo lo que han hecho por mí.

A la Universidad Estatal Península de Santa Elena y a la carrera de Ingeniería Civil, por brindarme la oportunidad de formarme profesionalmente y adquirir los conocimientos necesarios para mi desarrollo.

Expreso mi sincero agradecimiento al Ing. Néstor Orrala, tutor de este trabajo de titulación, por su orientación, paciencia y apoyo. Sus correcciones y recomendaciones fueron importantes para culminar este objetivo con éxito.

De igual manera, agradezco al Ing. Richard Ramírez Palma, docente de la Unidad de Integración Curricular, por sus enseñanzas, observaciones y guía durante esta etapa académica.

A mi compañero de tesis, Anthony Rodríguez Aquino, por su esfuerzo, compromiso y dedicación durante el desarrollo de este proyecto. El trabajo en conjunto permitió afrontar los desafíos presentados y cumplir esta meta.

A mis amigos Peter Villacis, John Defaz, Fátima Parrales, Michelle Cárdenas, por su amistad, apoyo y por las horas de estudio compartidas. Gracias por formar parte de este camino universitario y de los momentos, aprendizajes y experiencias vividas durante la carrera.

Kelvin Galdea Martínez

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios, por darme la fortaleza, la sabiduría y la salud necesarias para culminar esta etapa de mi formación profesional.

A mis padres, Milton Rodríguez Malavé y Glenda Aquino Salinas, por su amor, esfuerzo y apoyo incondicional en cada paso de mi carrera universitaria.

A la Universidad Estatal Península de Santa Elena y a la carrera de Ingeniería Civil, por abrirme sus puertas y brindarme los conocimientos necesarios para mi formación como profesional.

Al Ing. Néstor Orrala, por su tiempo, paciencia y acertada dirección como tutor durante el desarrollo de este trabajo de titulación.

Agradezco al Ing. Richard Ramírez Palma, docente de la Unidad de Integración Curricular, por su orientación y aporte académico a lo largo de este proceso.

A mi compañero de tesis, Kelvin Galdea Martínez, por su compromiso, colaboración y trabajo conjunto en el desarrollo de este proyecto de titulación, así como por su amistad a lo largo de esta etapa universitaria.

A mis compañeros y amigos, con quienes compartí los momentos de esfuerzo, aprendizaje y alegría que marcaron esta etapa universitaria.

Anthony Rodríguez Aquino

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Ing. Néstor Alberto Orrala Vera MSc.

TUTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURICULAR

Universidad Estatal Península de Santa Elena

En mi calidad de Tutor del presente trabajo denominado **“Diseños Hidráulico, Geométrico De Pavimentos Para La Construcción De La Vía Engullima – Chanduy”** elaborado por los Sres. **GALDEA MARTÍNEZ KELVIN FABRICIO** y **RODRÍGUEZ AQUINO ANTHONY JOSUÉ**, con C.I. 2450268160 y C.I. 2450925207, egresado de la carrera de Ingeniería Civil, Facultad Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, previo a la obtención del título de Ingenieros Civiles, me permito declarar que luego de haberla dirigido, estudiado y revisado, la apruebo en su totalidad.

TUTOR



Ing. Néstor Orrala Vera MSc.
DOCENTE TUTOR

La Libertad, a los 30 del mes de julio del año 2026.

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros, **Galdea Martínez Kelvin Fabricio y Rodríguez Aquino Anthony Josué**

DECLARAMOS QUE:

El Trabajo de Titulación “**Diseños Hidráulico, Geométrico y De Pavimentos Para La Construcción De La Vía Engullima – Chanduy**” previo a la obtención del título de **Ingeniero Civil**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi/nuestra total autoría.

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

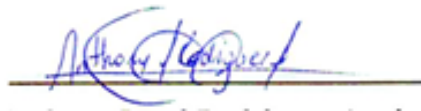
La Libertad, a los 30 del mes de julio del año 2026.

AUTORES



Kelvin Fabricio Galdea Martínez

C.I.: 2450268160



Anthony Josué Rodríguez Aquino

C.I.: 2450925207

AUTORIZACIÓN

Nosotros, **Galdea Martínez Kelvin Fabricio** y **Rodríguez Aquino Anthony Josué**, autorizamos a la Universidad Península de Santa Elena la publicación en la biblioteca de la Institución del Trabajo de Titulación denominado “**Diseños Hidráulico, Geométrico y De Pavimentos Para La Construcción De La Vía Engullima – Chanduy**”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi/nuestra exclusiva responsabilidad y total autoría.

La Libertad, a los 30 del mes de julio del año 2026.

AUTORES



Kelvin Fabricio Galdea Martínez

C.I.: 2450268160



Anthony Josué Rodríguez Aquino

C.I.: 2450925207

CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO

En calidad de tutor del trabajo de titulación denominado “**DISEÑOS HIDRÁULICO, GEOMÉTRICO Y DE PAVIMENTOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA VÍA ENGULLIMA – CHANDUY**”, elaborado por los estudiantes **GALDEA MARTÍNEZ KELVIN FABRICIO** y **RODRÍGUEZ AQUINO ANTHONY JOSUÉ**, egresados de la carrera de Ingeniería Civil, de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería, de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, previo a la obtención del título de Ingeniero Civil, me permito declarar que una vez analizado en el sistema antiplagio, luego de haber cumplido con los requerimientos de valoración, el presente trabajo de titulación, se encuentra con un **10%** de la valoración permitida, por consiguiente se procede a emitir el siguiente certificado.

Adjunto del reporte de análisis.

Atentamente,

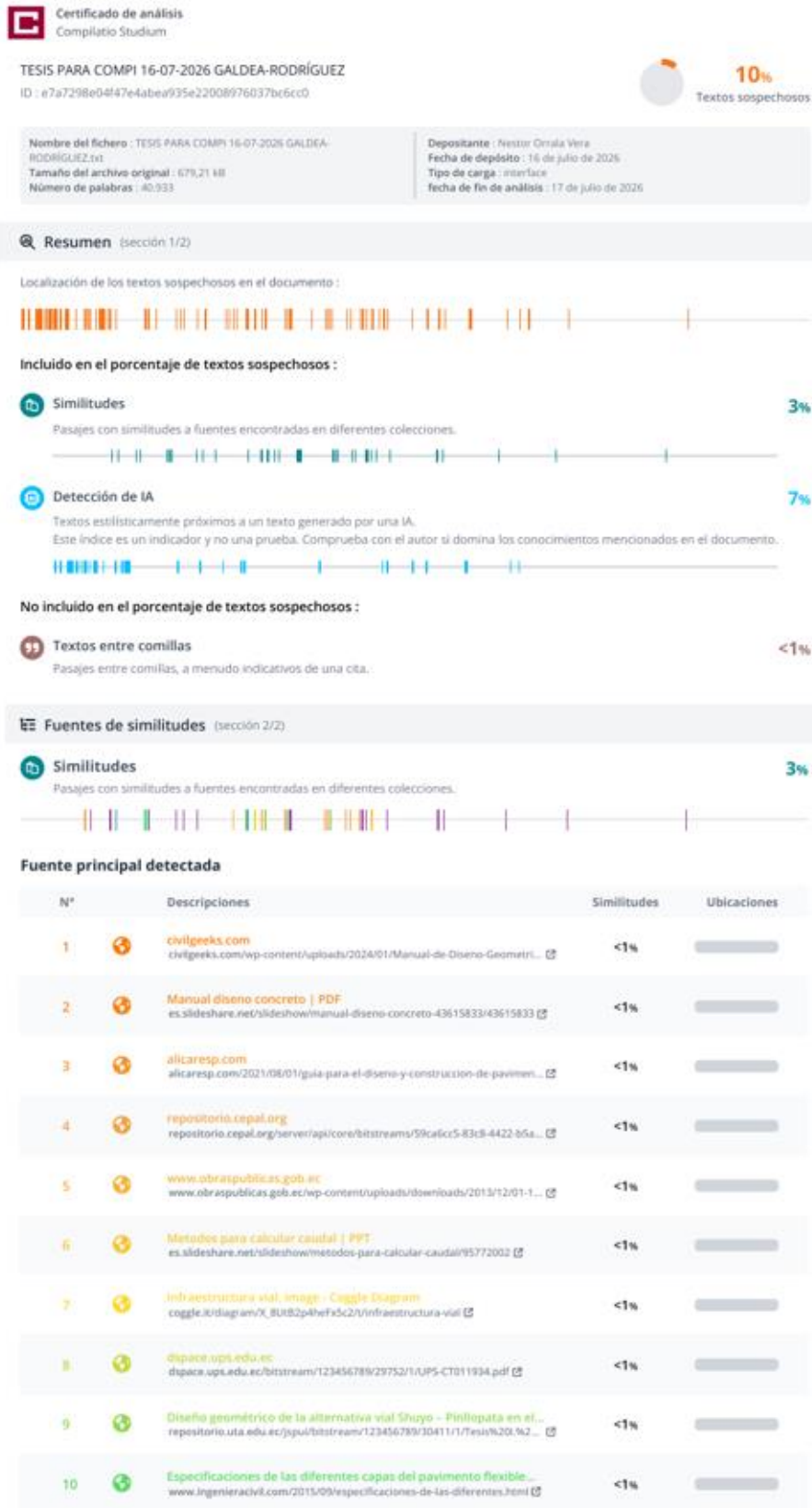


Ing. Néstor Orrala Vera MSc.
DOCENTE TUTOR

C.I.: 0925722290

La Libertad, a los 30 del mes de julio del año 2026.

REPORTE DE ANÁLISIS (ANTIPLAGIO)



CERTIFICADO DE GRAMATOLOGÍA

Lcda. Betty Ruth Gómez Suárez, Mgtr.

Celular: 0962183538

Correo: bettyruthgomez@educacion.gob.ec

CERTIFICACIÓN GRAMATICAL Y ORTOGRÁFICA

Yo, **BETTY RUTH GÓMEZ SUÁREZ**, en mi calidad de **LICENCIADA EN CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN Y MAGÍSTER EN DISEÑO Y EVALUACIÓN DE MODELOS EDUCATIVOS**, por medio de la presente tengo a bien indicar que he leído y corregido el Trabajo de Integración Curricular previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil, denominado **"DISEÑOS HIDRÁULICO, GEOMÉTRICO Y DE PAVIMENTOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA VÍA ENGULLIMA – CHANDUY"**, de los estudiantes: **GALDEA MARTÍNEZ KELVIN FABRICIO y RODRÍGUEZ AQUINO ANTHONY JOSUÉ**.

Certifico que está redactado con el correcto manejo del lenguaje, claridad en las expresiones, coherencia en los conceptos e interpretaciones, adecuado empleo en la sinonimia. Además de haber sido escrito de acuerdo a las normas de ortografía y sintaxis vigentes.

En cuanto puedo decir en honor a la verdad y autorizo a los interesados hacer uso del presente como estime conveniente.

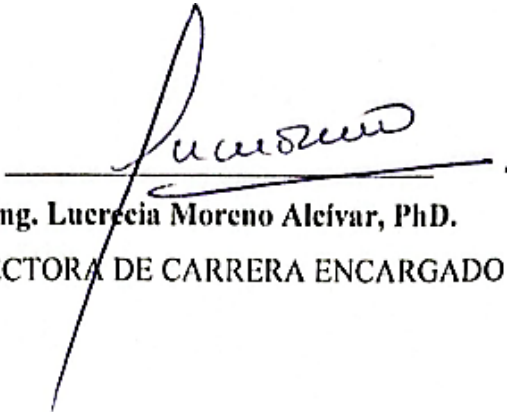
Santa Elena, 09 de Julio del 2026



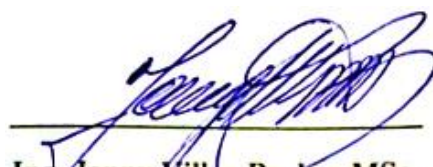
Lcda. Betty Ruth Gómez Suárez, Mgtr.
CI. 0915036529

LICENCIADO EN CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN
MAGÍSTER EN DISEÑO Y EVALUACIÓN DE MODELOS EDUCATIVOS
Nº DE REGISTRO DE SENECYT 1050-2014-86052892

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



Ing. Lucrecia Moreno Alcívar, PhD.
DIRECTORA DE CARRERA ENCARGADO



Ing. Jonny Villao Borbor MSc.
DOCENTE ESPECIALISTA



Ing. Néstor Orrala Vera MSc.
DOCENTE TUTOR



Ing. Richard Ramírez Palma MSc.
DOCENTE GUÍA DE LA UIC

TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTOS	iv
CERTIFICACIÓN DEL TUTOR	vi
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	vii
AUTORIZACIÓN.....	viii
CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO	ix
CERTIFICADO DE GRAMATOLOGÍA	xi
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN	xii
TABLA DE CONTENIDO	xiii
LISTA DE TABLAS.....	xx
LISTA DE FIGURAS	xxv
LISTA DE ECUACIONES	xxxi
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	1
1.1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	1
1.2. ANTECEDENTES.....	4
1.3. HIPÓTESIS.....	5
1.3.1. Hipótesis general.....	5
1.3.2. Hipótesis Específicas.....	5
1.4. OBJETIVOS.....	6
1.4.1. Objetivo General.....	6

1.4.2.	Objetivos Específicos.....	6
1.5.	ALCANCE.....	6
1.6.	VARIABLES	7
1.6.1.	Variables Independientes.	8
1.6.2.	Variables Dependientes.....	8
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO		9
2.1.	PARÁMETROS Y CRITERIOS DE DISEÑO, IMPACTO SOCIAL, PLANIFICACIÓN TERRITORIAL Y POLÍTICAS PÚBLICAS QUE DEBE CUMPLIR LA INFRAESTRUCTURA VIAL.....	9
2.1.1.	Importancia de la infraestructura vial en la conectividad, desarrollo económico y social. 9	
2.1.2.	Parámetros y normativa aplicada	11
2.2.	TOPOGRAFÍA Y CONDICIONES DEL TERRENO	14
2.2.1.	Topografía.....	14
2.2.2.	Nivelación.....	15
2.2.3.	Métodos e instrumento topográfico.....	15
2.2.4.	Condiciones topográficas.....	16
2.2.5.	Condiciones climáticas.....	16
2.3.	ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y DE SUBRASANTE	17
2.3.1.	Estructura del suelo y subrasante.	17
2.3.2.	Principales propiedades demandadas por el ingeniero para obras civiles.....	21
2.3.3.	Ensayos de laboratorio y evaluación del suelo para propósitos viales.....	25
2.5.4.	Mejora de suelos en proyectos viales.....	45

2.4.	CONCEPTOS BÁSICOS RELACIONADOS A UNA INFRAESTRUCTURA VIAL	46
2.4.1.	Clasificación de las vías.	46
2.4.2.	Clasificación de carreteras según su jerarquía funcional.	47
2.4.3.	Clasificación de carreteras según el número de calzada.	49
2.5.	ELEMENTOS DEL DISEÑO GEOMÉTRICO DE VÍAS	49
2.5.1.	Conceptos acerca del TPDA	49
2.5.2.	Tabla del TPDA.	54
2.5.3.	Alineamiento horizontal.	55
2.5.4.	Alineamiento vertical.	67
2.5.5.	Diseño o sección transversal.	72
2.5.6.	Estructura de una carretera.	78
2.5.7.	Señalización y seguridad vial.	79
2.6.	DISEÑO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO	81
2.6.1.	Pavimento.	81
2.6.2.	Esfuerzos y deformaciones producidos por cargas aplicadas.	87
2.6.3.	Determinación de ESAL'S de diseño.	92
2.6.4.	Procedimiento de diseño para pavimentos flexibles.	96
2.7.	DISEÑO HIDRÁULICO DE CUNETAS Y ALCANTARILLA	105
2.7.1.	Estudio hidrológico.	106
2.7.2.	Diseño de cunetas.	106
2.7.3.	Diseño de alcantarillas	116
	CAPÍTULO III: METODOLOGÍA	123

3.1.	TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN.....	123
3.1.1.	Tipo.	123
3.1.2.	Nivel.	123
3.2.	MÉTODO, ENFOQUE Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	124
3.2.1.	Método.	124
3.2.2.	Enfoque.	124
3.2.3.	Diseño.....	124
3.3.	POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO	125
3.3.1.	Población.....	125
3.3.2.	Muestra.....	125
3.3.3.	Muestreo.....	126
3.4.	UBICACIÓN DE LOS SECTORES DE ESTUDIO	126
3.5.	DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA.	127
3.6.	METODOLOGÍA DEL OE1: REALIZAR EL LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO, EL ESTUDIO DE SUELOS Y EL ESTUDIO DE TRÁFICO PROMEDIO DIARIO ANUAL (TPDA) PARA EL DISEÑO VIAL.	129
3.6.1.	Levantamiento topográfico.	129
3.6.2.	Recolección de muestras de suelo.....	133
3.6.3.	Caracterización del suelo, estudio y recolección de muestras en campo.	136
3.6.4.	Ensayos físicos mecánicos de laboratorio.....	136
3.6.5.	Estudio de tráfico vehicular.....	151
3.7.	METODOLOGÍA DEL OE2: REALIZAR EL DISEÑO GEOMÉTRICO Y ESTRUCTURAL DE LA VÍA, OPTIMIZANDO EL ALINEAMIENTO EXISTENTE Y	

DEFINIENDO LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO FLEXIBLE ACORDE A LAS CONDICIONES DE TRÁFICO Y CARACTERÍSTICAS DEL TERRENO.....	157
3.7.1. Diseño geométrico del camino.	158
3.7.2. Diseño estructural de pavimento flexible.....	165
3.8. METODOLOGÍA DEL OE3: ANALIZAR LAS CONDICIONES HIDROLÓGICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO Y DISEÑAR LAS OBRAS DE DRENAJE DIMENSIONAMIENTO CUNETAS Y ALCANTARILLAS.....	173
3.8.1. Determinación de parámetros hidrológicos de entrada.	174
3.8.2. Cálculo del tiempo de concentración.	176
3.8.3. Determinación de la intensidad de lluvia de diseño.	177
3.8.4. Diseño de cuneta.	179
3.8.5. Diseño de alcantarillas	183
3.9. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	190
CAPITULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADO	193
4.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL OE1: REALIZAR EL LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO, EL ESTUDIO DE SUELOS Y EL ESTUDIO DE TRÁFICO PROMEDIO DIARIO ANUAL (TPDA) PARA EL DISEÑO VIAL.	193
4.1.1. Análisis de los resultados del levantamiento topográfico.	193
4.1.2. Análisis de los resultados de los ensayos de laboratorio.....	196
4.1.3. Análisis del estudio de aforo vehicular y clasificación de la vía.	217
4.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL OE2: REALIZAR EL DISEÑO GEOMÉTRICO Y ESTRUCTURAL DE LA VÍA, OPTIMIZANDO EL ALINEAMIENTO EXISTENTE Y DEFINIENDO LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO FLEXIBLE ACORDE A LAS CONDICIONES DE TRÁFICO Y CARACTERÍSTICAS DEL TERRENO.	219
4.2.1. Análisis del diseño geométrico de la vía.	219

4.2.2.	Análisis y determinación de la estructura de la vía.....	224
4.3.	ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL OE3: ANALIZAR LAS CONDICIONES HIDROLÓGICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO Y DISEÑAR LAS OBRAS DE DRENAJE DIMENSIONAMIENTO CUNETAS Y ALCANTARILLAS.....	225
4.3.1.	Análisis de los resultados del estudio hidrológico y diseño de obras hidráulicas. 225	
4.3.2.	Análisis del diseño de cunetas.....	227
4.3.3.	Análisis del diseño de alcantarilla tipo ducto cajón	232
CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		239
5.1.	CONCLUSIONES	239
5.1.1.	Conclusiones Generales.	239
5.1.2.	Conclusiones Específicas.	239
5.2.	RECOMENDACIONES	241
5.2.1.	Recomendaciones Generales.....	241
5.2.2.	Recomendaciones Específicas.....	242
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		245
ANEXOS.....		258
Anexo I.....		258
Levantamiento Topográfico.		258
Anexo II.....		259
Registro de Puntos Topográficos.		259
Anexo III		277
Equipos y Materiales de Topografías.....		277
Anexo IV		279

Registro de Aforo Vehicular.	279
Anexo V	286
Registro de cálculo de factor camión	286
Anexo VI.....	290
Extracción de Materiales en sitio.	290
Anexo VII.....	292
Ensayos de laboratorio.	292
Anexo VIII	324
Curvas Horizontales.	324
Anexo IX.....	329
Curvas Verticales.	329
Anexo X	331
Planos del Diseño Geométrico.	331
Anexo XI.....	340
Sección típica y Diagrama de masas.	340
Anexo XII:.....	343
Datos de precipitaciones.....	343
Anexo XIII:	344
Acumulación de flujo e identificación del cauce principal.	344
Longitud hidráulica	344
Delimitación de la microcuenca aportante y punto de salida.....	345
Puntos más bajos de la vía afectadas por inundación.....	345

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Identificación Manual De Suelos Finos	18
Tabla 2 Clasificación del suelo en función de la subrasante	21
Tabla 3 Grado de colapsabilidad (Tabla extraída del libro de Ingeniería Geológica de González Vallejo).....	24
Tabla 4 Nombres típicos de los materiales.....	31
Tabla 5 Clasificación AASHTO.....	32
Tabla 6 Valores de Gs según el material	34
Tabla 7 Tipo de suelo con su Gs	34
Tabla 8 Valor de k en función de la temperatura o variación de w en gr/cm ³ respecto a la temperatura en grados centígrados.....	35
Tabla 9 Peso del Agregado y Numero de Esferas para Agregados Gruesos hasta 1 1/2”	37
Tabla 10 Peso del Agregado y Numero de Esferas para Agregados Gruesos de Tamaños Menores a 3/4”	38
Tabla 11 Resumen de las especificaciones de pruebas de compactación Proctor estándar y modificadas (ASTM D-698 y D-1557)	40
Tabla 12 Características de los niveles de servicio para carreteras.....	48
Tabla 13 Valores de Diseño Recomendados para Carreteras de Dos Carriles y Caminos Vecinales según la Norma NEVI-12.....	54
Tabla 14 Distancia de visibilidad de parada.....	56
Tabla 15 Distancia de visibilidad de adelantamiento	56
Tabla 16 Coeficiente de fricción lateral máximos f	58
Tabla 17 2A A.204- 03 Radios mínimos y grados máximos de curvas horizontales para distintas velocidades de diseño.....	61

Tabla 18	Dimensiones de vehículos de tipo rígido en el cálculo de sobreancho	64
Tabla 19	2A,204- 12 Pendientes Máximas	71
Tabla 20	Valores de diseño para taludes según el tipo de carretera.....	75
Tabla 21	Influencia de la deflexión superficial en pavimentos flexibles con subrasante de baja resistencia	81
Tabla 22	Categorías De Subrasante.....	83
Tabla 23	Granulometría de materiales para Subbase	84
Tabla 24	Granulometría de materiales para Base clase 1	85
Tabla 25	Granulometría de materiales para Base clase 2.....	85
Tabla 26	Granulometría de materiales para Base clase 3	85
Tabla 27	Granulometría de materiales para Base clase 4.....	86
Tabla 28	Tipo de fallas de Pavimento Flexible	91
Tabla 29	Tipo de fallas de Pavimento Rígido	91
Tabla 30	Peso vehicular y peso por eje	92
Tabla 31	2A.106-01 características por tipos de Vehículos	93
Tabla 32	2A.106-02 Nacional de Pesos y Dimensiones: “Tipo de Vehículos motorizados remolques y semirremolques”	93
Tabla 33	Factores de Equivalencia de Carga por Eje para Pavimentos Flexibles	94
Tabla 34	Porcentaje de Camiones en el Carril de Diseño según Número de Carriles (Dos Direcciones)	95
Tabla 35	Porcentaje de ESAL en el carril de diseño según número de carriles en una dirección	96
Tabla 36	Límites para selección de resistencia	97
Tabla 37	Correlación entre el CBR y el Módulo de Reacción	100

Tabla 38 Desviación Estándar en relación con la condición de la vía	101
Tabla 39 Error Estándar Combinado (So).....	101
Tabla 40 Confiabilidad (R).....	101
Tabla 41 Valores de Desviación estándar normal (ZR) correspondientes a los niveles de confiabilidad seleccionados.....	102
Tabla 42 Índice de serviciabilidad.....	102
Tabla 43 Valores de coeficiente de drenaje.....	103
Tabla 44 Valores recomendados del Coeficiente e Drenaje m, para Bases y Subbases granulares no tratadas en Pavimentos Flexibles	103
Tabla 45 Cantidad de agua que puede drenar por gravedad.....	104
Tabla 46 Coeficiente de escorrentía C	107
Tabla 47 Coeficiente de rugosidad de Manning “n”	115
Tabla 48 Velocidades del agua con que se erosionan diferentes materiales.	116
Tabla 49 Tipos Comunes de Alcantarilla y Materiales	117
Tabla 50 Sección de alcantarilla ducto cajón.....	121
Tabla 51 Coordenadas UTM del proyecto geométrico vial.	127
Tabla 52 Muestras de las calicatas extraídas.....	135
Tabla 53 Materiales y equipos utilizados para el ensayo de humedad.....	137
Tabla 54 Materiales y equipos utilizados para el análisis granulométrico.....	139
Tabla 55 Materiales y equipos utilizados para el ensayo de Límites de Atterberg	140
Tabla 56 Cuadro Comparativo de clasificación AASHTO - SUCS.....	142
Tabla 57 Materiales y equipos utilizados para el ensayo de gravedad específica.....	142
Tabla 58 Materiales y equipos utilizados para el ensayo de abrasión de los Ángeles	144

Tabla 59 Materiales y equipos utilizados para el ensayo de Proctor.....	146
Tabla 60 Materiales y equipos utilizados para el ensayo de CBR	148
Tabla 61 Tabla de ejecución de aforo vehicular.....	152
Tabla 62 <i>Aforo vehicular en la zona de estudio.</i>	153
Tabla 63 Factor de ajuste mensual	154
Tabla 64 Tasa de Crecimiento Anual (%).....	156
Tabla 65 Procedimiento y aplicación para el diseño vial en Civil 3D	158
Tabla 66 Velocidad de circulación	160
Tabla 67 Curva horizontal circular.....	161
Tabla 68 Límites para selección de resistencia	166
Tabla 69 Valores recomendados del Coeficiente e Drenaje m, para Bases y Subbases granulares no tratadas en Pavimentos Flexibles	167
Tabla 70 Cantidad de agua que puede drenar por gravedad.....	168
Tabla 71 Desviación Estándar en relación con la condición de la vía	168
Tabla 72 Confiabilidad (R).....	169
Tabla 73 Valores de Desviación estándar normal (ZR) correspondientes a los niveles de confiabilidad seleccionados.....	170
Tabla 74 Espesores mínimos en centímetros	171
Tabla 75 Determinación del factor F	172
Tabla 76 Determinación de parámetros morfométricos para el cálculo de la microcuenca en QGIS.....	174
Tabla 77 Ecuaciones Intensidad–Duración–Frecuencia de la estación meteorológica M0169 Julcuy	177
Tabla 78 Operacionalización de Variables independientes.....	190

Tabla 79	Operacionalización de Variables Dependientes	192
Tabla 80	Pendientes representativas a lo largo de la vía Engullima - Chanduy	193
Tabla 81	Pendientes a lo largo de la vía Engullima - Chanduy	194
Tabla 82	Clasificación de las muestras por medio de la SUCS y AASHTO	201
Tabla 83	Índice de Plasticidad de las muestras de suelo	204
Tabla 84	Datos de ensayo de Gravedad específica de los uselos	205
Tabla 85	Ensayo de abrasión de los Ángeles	206
Tabla 86	Criterio de colapsabilidad de las muestras	215
Tabla 87	Resumen de ensayos de laboratorio	216
Tabla 88	Día y hora con mayor afluencia vehicular	217
Tabla 89	Composición vehicular.....	217
Tabla 90	Resumen de parámetros de diseño	218
Tabla 91	Curvas horizontales de alineamiento.....	221
Tabla 92	Resumen de curvas verticales	222
Tabla 93	Parámetros morfométricos de la microcuenca aportante.	226
Tabla 94	Área de drenaje.....	227
Tabla 95	Valores de diseño para taludes según el tipo de carretera.....	228
Tabla 96	Caudales probables para las cunetas de la vía Engullima - Chanduy	230
Tabla 97	Caudales de diseño para las cunetas de la vía Engullima - Chanduy.....	231
Tabla 98	Resumen de cálculo del caudal probable del ducto cajón.	235

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Proceso de formación de los suelos	19
Figura 2 Proceso de formación de los suelos Estructura de suelos.....	19
Figura 3 Criterio de peligrosidad a partir de la expansividad	23
Figura 4 Curva Granulométrica	26
Figura 5 Trayectoria humedad-volumen de un suelo amasado.....	28
Figura 6 Límites de Atterberg, Gráfica de plasticidad USCS	28
Figura 7 Aparato de Casagrande para obtener el límite líquido LL.....	29
Figura 8 Ensayo de Límite Líquido	29
Figura 9 Curva de flujo	30
Figura 10 Máquina de Los Ángeles	36
Figura 11 Equipo de prueba estándar de Proctor utilizado: (a) molde y (b) martillo	39
Figura 12 Equipo de prueba	41
Figura 13 Fuerza centrífuga en Curvas	57
Figura 14 Transición de peralte.....	58
Figura 15 Curva Circular Horizontal	59
Figura 16 2A.204- 03 Componentes de la curva circular y espirales	63
Figura 17 Sobreancho en las curvas, vehículos articulados	65
Figura 18 2A-204-06 Esquema base intersección en “T” o “Y”	66
Figura 19 2A-204-07 Esquema base intersección en Cruz “+” o Equis “x”	66
Figura 20 Tangente vertical	67
Figura 21 Elementos de una curva vertical	68

Figura 22 Curvas verticales en el diseño de carreteras	69
Figura 23 Curvas verticales en el diseño de carreteras	70
Figura 24 Modelo de cuneta.....	73
Figura 25 Secciones Transversales Típicas.....	73
Figura 26 Talud Natural	74
Figura 27 Talud Artificial	74
Figura 28 Talud de corte	75
Figura 29 Volumen del prisma.....	76
Figura 30 Alabeo de taludes en transiciones de corte y relleno	77
Figura 31 Estructura de una carretera	78
Figura 32 Estructuración de Pavimento Flexible	82
Figura 33 Estructuración de Pavimento Rígido	86
Figura 34 Esfuerzo vs Deformación de un material en compresión	87
Figura 35 Distribuciones de presiones de carga de rueda sobre la estructura de pavimento ..	88
Figura 36 Distribución de Esfuerzos en un sistema bicapa (Burmister, 1943).....	89
Figura 37 Deflexiones Verticales en la superficie para sistema de 2 capas (Burmister, 1943)	89
Figura 38 Esfuerzos Verticales debido a cargas circulares	90
Figura 39 Deflexión Vertical w debido a cargas circulares	90
Figura 40 Distribución del Porcentaje de Camiones en el Carril de Diseño según Número de Carriles en Ambos Sentidos	95
Figuras 41 Determinación del coeficiente estructural.....	98
Figura 42 Módulo de resiliencia de la capa base	98

Figura 43 Módulo resiliente de la capa subbase	99
Figura 44 Nomograma para diseño Guía AASHTO	105
Figura 45 Estaciones Pluviográficas del Ecuador	110
Figura 46 Cuneta de sección triangular.....	113
Figura 47 Sección de alcantarilla ducto cajón.....	120
Figura 48 Ubicación del tramo vial en el sector Engullima – Parroquia Chanduy, Santa Elena	127
Figura 49 Descripción metodológica de la investigación	128
Figura 50 Levantamiento topográfico de la vía de diseño	129
Figura 51 Trípode empleado para soporte de receptor GNSS RTK durante el levantamiento.	130
Figura 52 Controlador topográfico utilizado para la captura de coordenadas en campo.....	130
Figura 53 Equipo GNSS RTK (rover) utilizado para la toma de puntos en campo.....	131
Figura 54 Levantamiento de puntos con equipo GNSS RTK durante el recorrido de la vía.	131
Figura 55 Procesamiento de datos topográficos y visualización del eje de la vía en Autodesk Civil 3D.....	132
Figuras 56 Extracción de muestras a lo largo de la vía de estudio	135
Figuras 57 Traslado de las muestras de suelo para ser evaluadas en laboratorio	135
Figura 58 Inspección del suelo en el lugar del proyecto	136
Figura 59 Evaluación física del material encontrado en sitio	136
Figura 60 Muestras dejadas en el laboratorio de suelos.....	137
Figura 61 Ensayo de contenido de humedad en laboratorio	138
Figuras 62 Ensayo de granulometría por tamizado	140

Figuras 63 Ensayo de Límites de Atterberg (Límite Líquido, Plástico e Índice de Plasticidad)	141
Figuras 64 Realización del ensayo de Gravedad Específica	143
Figuras 65 Realización del ensayo de abrasión de los Ángeles	145
Figuras 66 Realización de ensayo de Proctor	148
Figuras 67 Ensayo de CBR, procedimiento y preparación de las muestras de suelo.....	150
Figura 68 Ubicación de punto de conteo vehicular.....	151
Figura 69 Conteo manual de vehículos a la vía de Engullima - Chanduy	152
Figura 70 Organigrama metodológico del OE1 - Vía Engullima - Chanduy	157
Figura 71 Curva vertical convexa	163
Figura 72 Antecedentes de precipitación de la zona más cercana a la vía.....	167
Figura 73 Módulo resiliente de la capa subbase	169
Figuras 74 Determinación del coeficiente estructural.....	169
Figura 75 Nomograma para diseño Guía AASHTO	170
Figura 76 Organigrama metodológico del OE2 - Vía Engullima - Chanduy	173
Figura 77 Modelo Digital de Elevación del área de estudio.	176
Figura 78 Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia de la estación M0169 Julcuy.	178
Figura 79 Longitud del cauce más largo que desembocará en el ducto cajón	185
Figura 80 Organigrama metodológico del OE3 - Vía Engullima - Chanduy	189
Figura 81 Curva granulométrica Calicata 1	198
Figura 82 Curva granulométrica Calicata 2 - Estrato 1.....	198
Figura 83 Curva granulométrica Calicata 2 - Estrato 2.....	199
Figura 84 Curva granulométrica Calicata 3	199

Figura 85 Curva granulométrica Calicata 4	199
Figura 86 Curva granulométrica Calicata 5	200
Figura 87 Curva granulométrica Calicata 6	200
Figura 88 Curva granulométrica Cantera Juan Montalvo	200
Figura 89 Límites Líquido vs N.º de golpes de la Calicata 1	202
Figura 90 Límites Líquido vs N.º de golpes de la Calicata 2 - Estrato 2 (del Estrato 1 se determinó que era no plástico (N.P))	202
Figura 91 Límites Líquido vs N.º de golpes de la calicata 3.....	202
Figura 92 Límites Líquido vs N.º de golpes de la Calicata 4.....	203
Figura 93 Límites Líquido vs N.º de golpes de la Calicata 5.....	203
Figuras 94 Límites Líquido vs N.º de golpes de la Calicata 6	203
Figura 95 Límites Líquido vs N.º de golpes de la Cantera Juan Montalvo.....	204
Figura 96 Curva Densidad seca máxima vs % humedad calicata 1	208
Figura 97 Curva Densidad seca máxima vs % humedad calicata 2 – Estrato 2.....	208
Figura 98 Curva Densidad seca máxima vs % humedad calicata 3	209
Figura 99 Curva Densidad seca máxima vs % humedad calicata 4.....	209
Figura 100 Curva Densidad seca máxima vs % humedad calicata 5.....	210
Figura 101 Curva Densidad seca máxima vs % humedad calicata 6.....	210
Figura 102 Curva Densidad seca máxima vs % humedad Cantera Juan Montalvo.....	211
Figuras 103 Gráficas CBR Calicata 1	212
Figuras 104 Gráficas CBR Calicata 2 - Estrato 2	212
Figuras 105 Gráficas CBR Calicata 3	213
Figuras 106 Gráficas CBR Calicata 4	213

Figuras 107 Gráficas CBR Calicata 5	213
Figuras 108 Gráficas CBR Calicata 6	214
Figuras 109 Gráficas CBR Cantera Juan Montalvo	214
Figura 110 Criterio de expansibilidad de las muestras	215
Figura 111 Alineamiento horizontal a lo largo de la vía.....	221
Figura 112 Alineamiento vertical.....	222
Figura 113 Sección transversal de la vía.....	223
Figura 114 Diagrama de masas de la vía	223
Figura 115 Capas del pavimento a diseñar	224
Figura 116 Estructura de pavimento a diseñar	224
Figura 117 Longitud hidráulica o cauce principal.	226
Figura 118 Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia de la estación M0169 Julcuy.	227
Figura 119 Diseño de cuneta.....	232
Figura 120 Longitud del cauce más largo que desembocará en el ducto cajón	233
Figura 121 Sección de ducto cajón	236
Figura 122 Diseño en planta del ducto cajón.	237
Figura 123 Corte longitudinal del ducto cajón.....	237

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1: Contenido de humedad.....	25
Ecuación 2: Índice Plástico	30
Ecuación 3: Índice de grupo.....	32
Ecuación 4: Gravedad Específica.....	35
Ecuación 5: Pérdida por abrasión.....	38
Ecuación 6: Fórmula de CBR	42
Ecuación 7: Volumen.....	43
Ecuación 8: Peso	43
Ecuación 9: Relación de vacíos.....	43
Ecuación 10: Porosidad.....	43
Ecuación 11: Peso específico	43
Ecuación 12: Grado de saturación.....	44
Ecuación 13: Contenido de agua.....	44
Ecuación 14: Peso específico del agua.....	44
Ecuación 15: Peso específico seco	44
Ecuación 16: Gravedad específica de los sólidos	44
Ecuación 17: Volumen del tránsito	51
Ecuación 18: Volúmenes De Tráfico Promedio Diario	51
Ecuación 19: Tráfico Promedio Diario Semanal (TPDS).....	52
Ecuación 20: Tráfico Promedio Diario Mensual (TPDM).....	52
Ecuación 21: Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA)	52

Ecuación 22: FH (Factor Horario)	52
Ecuación 23: Factor Semanal (Fs)	53
Ecuación 24: Factor Diario (Fd)	53
Ecuación 25: Factor Mensual (Fm).....	53
Ecuación 26: Tráfico Promedio Diario Anual	53
Ecuación 27: Tráfico asignado	54
Ecuación 28: Velocidad de Circulación.....	56
Ecuación 29: Peralte.....	57
Ecuación 30: Longitud de transición.....	59
Ecuación 31: Grado de curvatura.....	60
Ecuación 32: Ángulo de deflexión.....	60
Ecuación 33: Ordenada media	60
Ecuación 34: Cuerda	60
Ecuación 35: Longitud de la curva circular	60
Ecuación 36: Externa	60
Ecuación 37: Tangente de la curva	60
Ecuación 38: Cuerda larga	61
Ecuación 39: Radio	61
Ecuación 40: Radios mínimos.....	61
Ecuación 41: Longitud mínima de transición	63
Ecuación 42: Radio de curva.....	64
Ecuación 43: Sobreancho	64
Ecuación 44: Sobreancho	64

Ecuación 45: Ancho de la calzada en curva.....	64
Ecuación 46: Ancho de la calzada en tangente	64
Ecuación 47: Ancho ocupado por el vehículo en curva.....	64
Ecuación 48: Distancia radial entre la trayectoria en la esquina exterior del vuelo delantero	64
Ecuación 49: Ancho adicional de seguridad	65
Ecuación 50: Fórmula de pendiente	67
Ecuación 51: Longitud de la curva vertical simétrica	69
Ecuación 52: Inicio de curva vertical.....	69
Ecuación 53: Final de la curva vertical	69
Ecuación 54: Cota del punto de inicio	69
Ecuación 55: Cota del punto final.....	69
Ecuación 56: Externa	69
Ecuación 57: Longitud de la curva vertical asimétrica	70
Ecuación 58: Inicio de curva vertical.....	70
Ecuación 59: Final de la curva vertical	70
Ecuación 60: Cota del punto de inicio	70
Ecuación 61: Cota del punto final.....	70
Ecuación 62: Externa	70
Ecuación 63: Volumen del prisma	77
Ecuación 64: ESAL`s de Diseño.....	92
Ecuación 65: Factor de Crecimiento	95
Ecuación 66: Tráfico de Diseño	96
Ecuación 67: Ecuaciones para determinar los espesores mínimos por carga	97

Ecuación 68: Módulo CBR $\leq 7,2\%$	99
Ecuación 69: Módulo CBR 7 - 20%	99
Ecuación 70: Módulo CBR 20%.....	100
Ecuación 71: Pérdida de Índice de serviciabilidad	103
Ecuación 72: Método de diseño de pavimentos AASHTO.....	104
Ecuación 73: Número Estructural	104
Ecuación 74: Tiempo de Concentración	109
Ecuación 75: Caudal Probable	111
Ecuación 76: Caudal Probable	112
Ecuación 77: Caudal de Diseño	112
Ecuación 78: Espejo de Agua	113
Ecuación 79: Área Mojada.....	114
Ecuación 80: Perímetro Mojado.....	114
Ecuación 81: Radio Hidráulico	115
Ecuación 82: Velocidad	115
Ecuación 83: Intensidad de lluvia	119
Ecuación 84: Radio Hidráulico	121
Ecuación 85: Área Mojada.....	122
Ecuación 86: Perímetro Mojado.....	122
Ecuación 87: Velocidad de diseño	122
Ecuación 88: Tránsito Diario Promedio (TPD)	155
Ecuación 89: Tránsito efectivo de la vía	165

“DISEÑOS HIDRÁULICO, GEOMÉTRICO Y DE PAVIMENTOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA VÍA ENGULLIMA – CHANDUY”

Autores: Galdea Martínez Kelvin Fabricio y Rodríguez Aquino Anthony Josué

Tutor: Ing. Néstor Alberto Orrala Vera, MSc.

RESUMEN

El presente trabajo desarrolló el diseño vial integral del tramo Engullima–Chanduy, de 3070 m, con el propósito de mejorar la movilidad, reducir los problemas de transitabilidad ocasionados por la acumulación de agua y la pérdida de material durante la temporada de lluvias. La investigación se ejecutó mediante un levantamiento topográfico Sistema Global de Navegación por Satélite GNSS con Cinemática en Tiempo Real (RTK), la exploración geotécnica de 6 calicatas, ensayos de granulometría, límites de Atterberg, Proctor, CBR y un aforo vehicular proyectado a 10 años. Con estos datos se elaboró el diseño geométrico conforme a la normativa NEVI-12, el diseño estructural del pavimento flexible mediante AASHTO 93, el diseño hidráulico aplicando el método racional y curvas IDF del INAMHI. Los resultados determinaron un CBR de 7 % a lo largo de la subrasante, un TPDA proyectado de 339 veh/día, una clasificación de vía Clase III, se propuso una estructura de 8 cm de carpeta asfáltica y 25 cm de subbase granular extraída de la cantera Juan Montalvo. Además, de cunetas triangulares para 5 años y un ducto cajón doble de $2,00 \times 2,00$ m para 10 años, concluyendo que la propuesta responde técnica y normativamente a las condiciones identificadas.

Palabras Clave: *Diseño vial, Pavimento flexible, Geotecnia, Drenaje hidráulico, NEVI-12.*

“HYDRAULIC, GEOMETRIC AND PAVEMENT DESIGNS FOR THE CONSTRUCTION OF THE ENGULLIMA ROAD –CHANDUY”

Authors: Galdea Martínez Kelvin Fabricio and Rodríguez Aquino Anthony Josué

Tutor: Ing. Néstor Alberto Orrala Vera, MSc.

ABSTRACT

The present work developed the comprehensive road design of the Engullima–Chanduy section, of 3070 m, with the purpose of improving mobility, reducing passability problems caused by the accumulation of water and the loss of material during the rainy season. The research was carried out through a topographic survey GNSS Global Satellite Navigation System with Real-Time Kinematics (RTK), the geotechnical exploration of 6 pits, granulometry tests, limits of Atterberg, Proctor, CBR and a projected vehicle capacity of 10 years. With these data, the geometric design was developed in accordance with the NEVI-12 regulations, the structural design of the flexible pavement using AASHTO 93, the hydraulic design applying the rational method and IDF curves of the INAMHI. The results determined a CBR of 7 % along the subgrade, a projected TPDA of 339 vehicles/day, a Class III Road classification, a structure of 8 cm of asphalt layer and 25 cm of granular subbase extracted from the Juan Montalvo quarry. In addition, triangular ditches for 5 years and a double box duct of 2.00×2.00 m for 10 years, concluding that the proposal responds technically and normatively to the identified conditions.

Keywords: Road design, Flexible pavement, Geotechnics, Hydraulic drainage, NEVI-12.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

La infraestructura vial constituye uno de los pilares del desarrollo territorial, pues articula la movilidad de personas y bienes con el acceso a servicios esenciales y la integración económica de las comunidades (Figuerola & Rozas, 2006). Sin embargo, en el contexto rural ecuatoriano esta condición dista de estar garantizada: un número significativo de vías presentan deficiencias geométricas, estructurales e hidráulicas que se agudizan durante la temporada invernal, comprometiendo tanto la seguridad vial como la conectividad cotidiana de las comunidades más alejadas.

Como parte del trabajo de titulación de la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, se plantea una alternativa técnico-constructiva para el tramo Engullima-Chanduy. Esta vía sirve a una comunidad rural que, por años, ha tenido dificultades de acceso y cuya conexión actual no reúne las condiciones técnicas necesarias para una operación adecuada. El problema se refleja en los desplazamientos diarios de sus habitantes y también limita las posibilidades de crecimiento productivo y social del sector.

Ante esta problemática, el estudio desarrolla el diseño geométrico, estructural e hidráulico del tramo Engullima-Chanduy. La propuesta se sustenta en el levantamiento topográfico, la caracterización del suelo, el estudio del tránsito y el análisis de las obras de drenaje. Para definir cada componente se toman como referencia la NEVI-12 y la metodología AASHTO 93. El propósito es mejorar la movilidad local, ofrecer condiciones más seguras de circulación y contribuir a un crecimiento ordenado y sostenible de la comunidad.

1.1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

La comuna Engullima, ubicada en la parroquia Chanduy del cantón Santa Elena, enfrenta limitaciones críticas en movilidad y conectividad debido al estado precario de su acceso vial principal, el cual consiste en un camino lastrado.

Durante la temporada de lluvias, este tramo se vuelve prácticamente intransitable por acumulación de agua, baches y pérdida de material afectando el desplazamiento de vehículos, motocicletas y peatones. Como consecuencia, la comunidad ha quedado aislada en varias

ocasiones y sus habitantes han tenido dificultades para acceder a tiempo a servicios de salud, educación y a los puntos donde comercializan sus productos.

En las visitas de campo se localizó una depresión dentro del trazado, donde se concentra el agua de lluvia. La acumulación acelera el deterioro del camino y confirma que el sector carece de una solución hidráulica apropiada. Los trabajos de lastrado ejecutados anteriormente tampoco han solucionado el problema, pues se realizaron sin un estudio integral que sirviera para definir una intervención definitiva y sustentar la gestión de recursos.

El deterioro del camino trasciende su condición física, porque también repercute en la economía y en la vida social de la comunidad. Buena parte de la población depende de la pesca artesanal, la agricultura familiar y el turismo comunitario; por ello, una vía en mal estado dificulta el traslado de personas y productos, resta competitividad a las actividades locales y reduce las opciones de crecimiento del territorio.

La experiencia regional demuestra que los caminos rurales son determinantes para integrar las actividades productivas, acercar los servicios básicos y disminuir las diferencias entre territorios. Organismos internacionales también han destacado que una mejor conectividad favorece la inclusión y la cohesión social, especialmente en comunidades que históricamente han recibido poca inversión pública (Perez, 2020).

Figuroa & Rozas (2006) sostienen que la movilidad y el bienestar de las zonas rurales dependen en gran medida de la calidad de sus sistemas de transporte, debido a que estos facilitan el intercambio de bienes, el acceso a servicios y la integración territorial de las comunidades.

En los países en desarrollo, los problemas viales no se originan únicamente por factores climáticos o por el desgaste propio del uso, sino también por la limitada planificación técnica y la falta de mantenimiento oportuno. En consecuencia, los eventos meteorológicos intensos pueden interrumpir la circulación y poner en riesgo a los usuarios cuando sus efectos no se incorporan desde la etapa de planificación vial.

Extra ec. (2024) presenta casos de vías rurales y terciarias donde el tránsito tuvo que limitarse a vehículos livianos por el desgaste anticipado, las socavaciones y el colapso de la calzada. Estos ejemplos muestran que los sectores periféricos no reciben el mismo nivel de inversión y atención que las áreas urbanas. En la práctica, las comunidades rurales soportan con mayor

frecuencia las consecuencias de intervenciones discontinuas y de una planificación que no prevé el mantenimiento.

Torres (2022), con base en información de organismos de gestión de emergencias, señala que varias carreteras estratégicas han sufrido cierres parciales o totales durante los últimos años por deslizamientos y fallas de taludes. Además de restringir la movilidad entre provincias, estos eventos han ocasionado retrasos en el traslado de pasajeros y mercancías. La situación pone en evidencia la exposición de la red vial a las condiciones climáticas y la insuficiencia de medidas preventivas.

El mal estado de la vía Engullima – Chanduy perjudica los desplazamientos de la población y condiciona las actividades económicas y sociales del sector. En la época lluviosa, el agua se acumula y el material de afirmado pierde estabilidad, por lo que el acceso se vuelve irregular. Estas condiciones justifican la incorporación de medidas que mejoren la transitabilidad y controlen los daños producidos por la escorrentía. En consecuencia, se requiere un diseño integral –geométrico, estructural e hidráulico– que responda a la normativa y a las características reales del sitio, reduzca la vulnerabilidad frente a las lluvias y apoye un desarrollo territorial más equilibrado.

La propuesta se enmarca en los objetivos nacionales dirigidos a mejorar la infraestructura rural y disminuir las brechas entre territorios. Dentro de la planificación pública, la conectividad vial se reconoce como un medio para elevar la calidad de vida en las comunidades rurales y ampliar su acceso a educación, servicios básicos y mercados.

Los lineamientos del Consejo Nacional de Planificación (2015), por ejemplo, vinculan la infraestructura vial con la integración del territorio, la cohesión social y la igualdad de oportunidades, sobre todo en sectores rurales que han permanecido relegados. Desde esta perspectiva, intervenir un camino rural no se reduce a ejecutar una obra física: también implica acercar servicios, disminuir desigualdades y favorecer la inclusión territorial.

La planificación estatal más reciente, representada por la Secretaría Nacional de la Administración Pública y Planificación (2024), también plantea la construcción de infraestructura sostenible y con capacidad de respuesta ante condiciones adversas, en concordancia con los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Bajo este criterio, una conexión vial segura y operativa es necesaria para dinamizar las zonas rurales. Por ello, se priorizan obras

destinadas a comunidades aisladas, evaluadas con criterios técnicos, uso responsable de los recursos y consideración ambiental.

Por ende, surge la necesidad de formular una propuesta técnica de diseño vial para Engullima que considere topografía, características del suelo, hidrología local, tránsito proyectado y normativa vigente, con el fin de establecer una solución vial sostenible que mejore la movilidad, la calidad de vida comunitaria y el desarrollo económico local.

1.2. ANTECEDENTES

A nivel internacional, es pertinente mencionar el documento emitido por el Departamento Nacional de Planeación (DNP) e Instituto Nacional de Vías (INVIAS) (2020) donde se establecen directrices técnicas para la rehabilitación y planificación de carreteras rurales de bajo volumen vehicular. El documento busca mejorar la conectividad rural mediante criterios geométricos, hidráulicos y estructurales ajustados al relieve y al clima de cada zona. También plantea que el acceso debe mantenerse durante todo el año y que una vía adecuada puede reducir los costos de transporte. Para desarrollar la propuesta se efectuaron inspecciones de campo, levantamientos viales, revisión de pendientes y secciones transversales, cálculos de caudales y una priorización basada en variables técnicas y socioeconómicas. Los resultados relacionaron el deterioro de las vías terciarias con dos causas principales: el mantenimiento insuficiente y el manejo deficiente del agua. A partir de ello, se recomendó encauzar correctamente la escorrentía, adaptar el diseño al terreno y aplicar programas permanentes de conservación para mejorar la seguridad, la movilidad y la actividad productiva en las zonas rurales.

En el ámbito nacional, se considera como referencia el estudio desarrollado por Chancusig Cajas & Vivas Acosta (2024) en la Universidad Politécnica Salesiana, denominado “Propuesta de diseño vial para la pavimentación de la ruta que une los sectores Puembo – San Pedro, cantón La Maná, provincia de Cotopaxi”. Esta investigación responde a la necesidad de mejorar la infraestructura vial rural mediante el diseño de una vía asfaltada de 6,2 km, tomando en cuenta una topografía ondulada y los parámetros establecidos en la normativa vigente. El estudio tuvo como finalidad mejorar la operación y la seguridad del tramo, reducir los costos de circulación y facilitar el transporte de personas y productos. Con ese propósito se realizaron trabajos de campo, se revisó el trazado, se diseñó la estructura del pavimento y se desarrollaron los componentes hidrológicos, de drenaje y señalización para una vida útil de 20 años. La propuesta

resultó técnicamente viable. Asimismo, el estudio mostró que una carretera rural debe analizarse como un sistema, donde la geometría, el drenaje y el pavimento se definan en conjunto para responder a las condiciones de acceso del entorno y obtener una infraestructura segura, funcional y resistente.

En el ámbito local, si bien no se registran estudios específicos sobre la caracterización del suelo en el tramo Engullima–Chanduy, se tomó como antecedente el trabajo “Caracterización geológica-geomorfológica de la subcuenca río Zapotal del cantón Santa Elena, provincia de Santa Elena, aplicando técnicas de teledetección”, elaborado por Zavala Coronel & Rodríguez (2020) en la Universidad Central del Ecuador. Esta investigación examinó las condiciones geológicas y geomorfológicas de la cuenca del río Zapotal, ubicada en una zona cercana al área de estudio, considerando la identificación de los tipos de suelo y su respuesta frente a procesos hidrológicos propios del entorno costero. La investigación combinó observaciones de campo con herramientas de teledetección para estudiar la litología, la erosión, la composición de los sedimentos y los cambios granulométricos del terreno. En las partes altas se reconocieron principalmente areniscas, lutitas y margas; mientras que en las zonas bajas cercanas a microcuencas aparecieron depósitos arcillosos y limo-arenosos. Estos últimos pueden reaccionar con mayor sensibilidad cuando el suelo se satura o queda expuesto a la erosión superficial. Se concluyó que las condiciones geomorfológicas e hídricas de la cuenca influyen significativamente en la estabilidad del terreno, siendo imprescindible considerar soluciones de drenaje adecuadas y criterios técnicos de pavimentación para garantizar la funcionalidad y durabilidad de vías rurales en zonas costeras como Engullima–Chanduy.

1.3. HIPÓTESIS

1.3.1. Hipótesis general.

El estudio y diseño de la vía Engullima–Chanduy, basado en criterios técnicos en los aspectos geométricos, estructurales e hidráulicos, mejora significativamente la movilidad y accesibilidad del sector, contribuyendo al desarrollo social y productivo de la comunidad.

1.3.2. Hipótesis Específicas.

H. E1.: La correcta ejecución del levantamiento topográfico, el estudio de suelos y el análisis del tráfico promedio diario anual (TPDA) permitirá obtener parámetros técnicos adecuados para el diseño vial y la definición de una estructura de pavimento segura y durable.

H. E2.: El diseño geométrico y estructural de la vía, basado en la optimización del alineamiento existente y en las condiciones de tráfico y del terreno, permitirá mejorar la seguridad, funcionalidad y durabilidad de la vía proyectada.

H. E3.: El análisis hidrológico y el diseño técnico de las obras de drenaje permitirá controlar adecuadamente la escorrentía superficial, reduciendo riesgos de erosión e inundaciones y garantizando la estabilidad y funcionalidad de la vía proyectada.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo General.

Realizar el estudio y diseño preliminar de la vía Engullima–Chanduy, considerando los aspectos geométricos, estructurales e hidráulicos para mejorar la movilidad, la accesibilidad, el desarrollo social y productivo de la comunidad.

1.4.2. Objetivos Específicos.

OE1: Realizar el levantamiento topográfico, el estudio de suelos y el estudio de tráfico promedio diario anual (TPDA) para el diseño vial.

OE2: Realizar el diseño geométrico y estructural de la vía, optimizando el alineamiento existente y definiendo la estructura de pavimento flexible acorde a las condiciones de tráfico y características del terreno.

OE3: Analizar las condiciones hidrológicas del área de estudio y diseñar las obras de drenaje dimensionamiento cunetas y alcantarillas.

1.5. ALCANCE

El presente proyecto desarrolla una propuesta técnica para el diseño geométrico, estructural e hidráulico de la vía en el sector Engullima, cantón Santa Elena, como respuesta a las necesidades reales de conectividad y desarrollo económico de una zona rural que hasta la fecha carece de infraestructura vial pavimentada.

El estudio parte de un levantamiento topográfico que permitió definir el alineamiento más adecuado al relieve existente, a partir del cual se determinaron los parámetros geométricos de la vía, radios de curvatura, pendientes, secciones transversales y elementos de seguridad, en concordancia con la normativa NEVI-12 y AASHTO 93.

Las muestras recuperadas durante la exploración fueron ensayadas en laboratorio para completar la información de campo. Se realizaron pruebas de granulometría, humedad natural, límites de Atterberg, Proctor y CBR, y los materiales se clasificaron con los sistemas SUCS y AASHTO. Los resultados permitieron interpretar el comportamiento geotécnico de la subrasante y, a partir de sus condiciones reales, definir la estructura del pavimento flexible.

El componente hidráulico se desarrolló a partir del análisis de la escorrentía con el método racional y del dimensionamiento de cunetas, alcantarillas y drenajes transversales. Con estos cálculos se plantearon medidas para evacuar el agua de lluvia, evitar su permanencia sobre la calzada y proteger el cuerpo vial durante las precipitaciones estacionales.

El alcance corresponde a un diseño preliminar. Por esta razón, no incluye el cálculo detallado de puentes, muros de contención u otras estructuras especiales, ni estudios ambientales y sociales completos; dichos componentes deberán profundizarse en una etapa posterior. Los valores económicos son igualmente referenciales, pues el presupuesto definitivo y los análisis de precios unitarios deberán elaborarse durante la fase ejecutiva.

Los resultados obtenidos están dirigidos al GAD Municipal de Santa Elena, instituciones públicas y consultores como insumo técnico para la formulación del proyecto definitivo, la gestión de financiamiento y la planificación de obras dentro de los programas locales de desarrollo vial.

1.6. VARIABLES

En el marco del presente estudio, se identifican dos tipos de variables fundamentales: la variable independiente y la variable dependiente, cuya interacción permitirá evaluar el impacto del mejoramiento vial en el desarrollo del sector Engullima, parroquia Chanduy.

1.6.1. Variables Independientes.

- Levantamiento topográfico
- Estudio de suelos
- Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA)
- Condiciones hidrológicas e hidráulica

1.6.2. Variables Dependientes.

- Diseño geométrico
- Diseño estructural del pavimento
- Diseño hidráulico

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. PARÁMETROS Y CRITERIOS DE DISEÑO, IMPACTO SOCIAL, PLANIFICACIÓN TERRITORIAL Y POLÍTICAS PÚBLICAS QUE DEBE CUMPLIR LA INFRAESTRUCTURA VIAL

Antes de exponer todos los parámetros para el correcto diseño geométrico de este proyecto, se aplican criterios técnicos, procedimientos y normas que establecen las condiciones mínimas que deben cumplir los proyectos viales, garantizando la conectividad, el desarrollo social y económico.

2.1.1. Importancia de la infraestructura vial en la conectividad, desarrollo económico y social.

La infraestructura vial es un elemento clave para impulsar el crecimiento y la organización territorial de un país. A través de ella se posibilita el movimiento de personas, productos y servicios, fortaleciendo la relación entre distintas regiones y generando mayores oportunidades de desarrollo económico y social. Una red de carreteras eficiente no solo conecta zonas urbanas con comunidades rurales, sino que también contribuye al fortalecimiento de las actividades productivas, al intercambio comercial y a la integración del territorio.

La economía local también depende del estado de sus caminos. Cuando una vía se mantiene en buenas condiciones, los recorridos son más cortos, el transporte cuesta menos y los usuarios se desplazan con mayor seguridad. A la vez, se facilita la llegada a escuelas, centros de salud, comercios y puntos de abastecimiento. Así, la carretera no solo une lugares: también influye en la calidad de vida y en la posibilidad de que el desarrollo se distribuya de una forma más equilibrada y sostenible.

Según un estudio realizado por el Grupo Banco Mundial (2024) menciona que en muchos países que se encuentran en proceso de desarrollo, el sistema de transporte enfrenta el desafío de ofrecer desplazamientos seguros, accesibles y eficientes, sin dejar de lado la necesidad de disminuir su impacto sobre el entorno natural. Alcanzar este equilibrio exige impulsar inversiones orientadas a mejorar el transporte público, planificar de forma integrada el crecimiento urbano y promover tecnologías que reduzcan las emisiones y el consumo energético. Impulsar este tipo de alternativas permite avanzar, al mismo tiempo, hacia objetivos

de crecimiento económico y protección ambiental. Bajo este enfoque, distintos organismos internacionales promueven políticas orientadas a mejorar la infraestructura vial y fortalecer los sistemas de transporte, dando prioridad a soluciones más eficientes, seguras y resilientes frente a los cambios ambientales y sociales.

Por esta razón, la inversión en infraestructura vial no debe entenderse solo como un gasto destinado a obras públicas, sino como una herramienta estratégica para el desarrollo sostenible. Su adecuada planificación puede dinamizar la economía, favorecer la equidad social y fortalecer la integración entre regiones y comunidades a nivel local, regional y nacional.

2.1.1.1. *Conectividad.*

La conectividad territorial representa una de las funciones estratégicas de la infraestructura vial, ya que permite articular regiones geográficamente distantes y superar barreras físicas que limitan el intercambio económico y social. En el Ecuador, la Red Vial Estatal (RVE) cumple esta función al integrar las regiones Costa, Sierra y Amazonía, facilitando el transporte de productos agrícolas, pesqueros e industriales; mientras que las vías secundarias y terciarias extienden esa conectividad hacia comunidades rurales que de otro modo quedarían desvinculadas de los mercados y servicios esenciales (División de Recursos Naturales e Infraestructura, 2018).

2.1.1.2. *Desarrollo económico.*

La infraestructura vial es un factor determinante en la competitividad económica de un país. Una red eficiente reduce los costos de operación vehicular, acorta los tiempos de traslado y facilita la circulación de productos hacia los mercados internos y de exportación.

Según la División de Recursos Naturales e Infraestructura (2018), la inversión en infraestructura de transporte de carretera es clave para el desarrollo del sector y de la economía en su conjunto, permite la conectividad de las personas y el acceso a los distintos servicios públicos y mercados, como de bienes y servicios, de trabajo, entre otros. Al ofrecerse mejores y mayores conexiones viales, se posibilita un transporte de las personas y de la carga más asequible y con mayor fluidez, dado que se espera un mejoramiento de la eficacia y seguridad de las operaciones para una ampliación óptima de la infraestructura acorde a las necesidades, lo que conlleva a menores costos y mayor eficiencia en la movilidad de las personas y logística de la carga.

En Ecuador, el desarrollo de la infraestructura vial ha contribuido significativamente a fortalecer la integración territorial y el intercambio comercial entre las distintas regiones del país. La red de carreteras facilita la conexión entre los principales centros productivos, puertos y mercados, permitiendo una movilización más eficiente de mercancías y reduciendo tiempos y costos de transporte.

En contraste, la falta de una infraestructura vial adecuada incrementa los costos de transporte, reduce la competitividad y restringe las oportunidades de los productores rurales para integrarse a las cadenas de valor.

2.1.1.3. *Desarrollo social.*

La función de una vía no es únicamente económica. Una carretera transitable reduce las diferencias de acceso a servicios y permite que la población llegue con mayor facilidad a centros de salud, establecimientos educativos, espacios de seguridad y áreas recreativas. En distintas comunidades rurales del Ecuador, la construcción o mejora de caminos terciarios ha acortado los tiempos de traslado hacia escuelas y unidades médicas. Este aspecto influye directamente en la calidad de vida de los habitantes, especialmente en sectores donde la distancia y el mal estado de los caminos dificultan la atención oportuna de sus necesidades.

Además, la infraestructura vial fortalece la cohesión social y territorial, ya que promueve la integración de zonas aisladas al resto del país, reduciendo desigualdades y fomentando un desarrollo más equilibrado.

2.1.2. *Parámetros y normativa aplicada*

El desarrollo de obras viales debe alinearse con los instrumentos de planificación como los Planes de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT), los Objetivos del Plan Nacional de Desarrollo y los principios del Buen Vivir. El enfoque multisectorial e inclusivo garantiza que las obras respondan a las necesidades reales de la población y generen impactos positivos a largo plazo.

2.1.2.1. *Normativa AASHTO.*

El método AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) es un procedimiento ampliamente reconocido para el diseño estructural de pavimentos flexibles y rígidos, fundamentado en investigaciones prácticas desarrolladas

inicialmente en Estados Unidos, y posteriormente ajustado y aplicado a diversas realidades a nivel internacional.

La finalidad de este método es definir el espesor necesario para cada capa que conforma el pavimento, de manera que la estructura pueda resistir las cargas vehiculares previstas durante el periodo de diseño de la carretera, manteniendo condiciones adecuadas de seguridad, comodidad y durabilidad.

Para ello, el método toma en cuenta varios factores técnicos, entre los principales:

- El tránsito de diseño, representado mediante ejes equivalentes de carga (ESAL), que permite estimar la cantidad y tipo de vehículos que circularán por la vía.
- La resistencia y la capacidad de soporte de la subrasante, determinadas mediante el CBR, el módulo resiliente y otros parámetros geotécnicos.
- Las características de los materiales que integrarán la carpeta asfáltica, la base y la subbase del pavimento.
- El clima y las condiciones ambientales del sitio, debido a su incidencia en el desempeño, la resistencia y la vida útil de la estructura.

Para la vía rural de Engullima, en el cantón Santa Elena, la metodología AASHTO constituye una base técnica para calcular los espesores del pavimento flexible. Con su aplicación, cada capa puede dimensionarse en función del tránsito esperado y de las cargas vehiculares, de modo que la estructura mantenga un nivel de servicio aceptable durante el período previsto.

Su uso se ha extendido a nivel internacional porque integra resultados empíricos con criterios de ingeniería. Esta combinación ayuda a distribuir mejor los recursos y a proyectar pavimentos durables y seguros, tanto en obras pequeñas como en proyectos de mayor complejidad.

2.1.2.2. Normativa NEVI-12.

La Norma Ecuatoriana Vial NEVI-12, emitida por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO), actualmente conocido como el Ministerio de Infraestructura y Transporte (MIT), que constituye el marco normativo principal que regula el estudio, diseño, construcción y mantenimiento de carreteras en Ecuador. Su propósito es definir criterios técnicos homogéneos que permitan proyectar vías seguras, durables y

eficientes, de modo que respondan adecuadamente a las necesidades de movilidad, integración territorial y desarrollo económico del país (NEVI, 2013).

Aplicar correctamente la norma proporciona una ruta clara para tomar decisiones de diseño, pues reúne procedimientos uniformes y parámetros reconocidos. Al seguirlos, disminuye la posibilidad de adoptar soluciones improvisadas que después se traduzcan en fallas, mayores gastos de conservación o riesgos para quienes utilizan la vía.

En una carretera rural como la proyectada para la comuna Engullima, la NEVI-12 cobra especial relevancia porque reúne los criterios básicos que deben revisarse antes de definir su diseño y operación:

1. **Clasificación funcional:** ubica a las vías terciarias o de penetración dentro de la red destinada a enlazar comunidades rurales con cabeceras parroquiales y cantonales, lo que facilita el movimiento de personas, bienes y servicios.
2. **Diseño geométrico:** fija valores para velocidad, radios mínimos, pendientes máximas, secciones transversales y peraltes, con el propósito de lograr un recorrido cómodo y seguro.
3. **Tránsito y demanda futura:** incorpora el cálculo del Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) y los factores de equivalencia de ejes, necesarios para dimensionar el pavimento y prever su comportamiento a lo largo de la vida útil.
4. **Diseño del pavimento:** adopta la metodología AASHTO (1993) y considera la confiabilidad, la calidad del suelo de fundación y el incremento esperado del tránsito.
5. **Hidráulica y drenaje:** establece cómo calcular los caudales y cómo proyectar cunetas, alcantarillas y obras de paso para desalojar el agua superficial, impedir acumulaciones y proteger la vía.
6. **Señalización y seguridad vial:** define criterios para disponer señales, defensas, accesos e intersecciones, elementos especialmente importantes en caminos rurales compartidos por automóviles, motocicletas y peatones.
7. **Aspectos ambientales y sociales:** contempla acciones para reducir las afectaciones de la construcción sobre el entorno y para que la carretera cumpla su finalidad social de mejorar la integración, el acceso y el bienestar comunitario. Cabe precisar que, al tratarse de un diseño propuesto, el presente estudio no desarrolla en profundidad este componente, en concordancia con la

delimitación del alcance (pág. 6), quedando su desarrollo detallado para una fase posterior de diseño definitivo.

La NEVI-12 no se limita a enumerar parámetros de diseño; también orienta la planificación y ejecución de una carretera. Seguir sus criterios ayuda a escoger alternativas seguras y funcionales, y a utilizar de forma más eficiente los recursos disponibles. Para la comuna Engullima, su aplicación garantiza que la vía proyectada no solo cumpla su función de conectar a la población con mercados y servicios, sino que lo haga bajo estándares técnicos que promuevan mayor durabilidad, menores costos de mantenimiento y un impacto positivo en el desarrollo económico y social de la región.

2.2. TOPOGRAFÍA Y CONDICIONES DEL TERRENO

La topografía constituye unas de las disciplinas fundamentales dentro de la ingeniería civil y ramas afines, ya que permite conocer con detalles las características físicas del terreno sobre el cual se proyectarán diferentes obras. A través de sus métodos y herramientas, puede representar la superficie terrestre en planos y modelos, lo que facilita el diseño, la planificación y la ejecución de proyectos. Su importancia radica en que proporciona la base para una adecuada toma de decisiones técnicas, garantizando precisión y seguridad en el desarrollo de la infraestructura.

2.2.1. Topografía.

“Es la ciencia por medio de la cual se establecen las posiciones de puntos situados sobre la superficie terrestre, encima y debajo de ella; lo cual se realizan mediciones de distancia, ángulos y elevaciones” (Rincón et al., 2017).

Conocer las condiciones del terreno es indispensable antes de proyectar una carretera. Esta revisión ayuda a ajustar el trazado, fijar pendientes que faciliten el drenaje, establecer las cotas del pavimento y calcular los volúmenes de corte y relleno. Con esa información, el diseño puede adaptarse al relieve real del sector y anticipar problemas que podrían aparecer durante la construcción o cuando la vía entre en servicio.

2.2.2. Nivelación.

“Se da el nombre de nivelación al conjunto de operaciones por medio de las cuales se determinan la altura de una o más puntos del terreno respecto a una superficie horizontal de referencia, dada o imaginaria que se denomina superficie o plano de comparación. El objetivo primordial de la nivelación es como se van a referir los diversos puntos del terreno a un mismo plano de comparación, para poder deducir los niveles existentes entre distintos puntos observados” (Gámez, 2015).

En el presente proyecto, si bien la nivelación constituye un procedimiento fundamental dentro de la topografía, no se recurrió a métodos tradicionales (geométricos o trigonométrico), sino que se utilizó tecnología GNSS en modo RTK, la cual permite obtener de manera simultánea las coordenadas planimétricas y altimétricas con precisión centimétrica, optimizando tiempo y recursos durante el levantamiento topográfico.

2.2.3. Métodos e instrumento topográfico.

Para representar el terreno se pueden emplear varios métodos e instrumentos topográficos. La elección depende de la precisión exigida, del tamaño del área y de los medios disponibles para el levantamiento. Entre los equipos de uso más frecuente se encuentran los siguientes:

- **Estaciones totales:** permiten medir ángulos y distancias de forma simultánea, por lo que son útiles en levantamientos detallados y en obras de ingeniería que requieren alta precisión.
- **Receptores GNSS:** en sus diferentes modalidades, incluyendo el sistema RTK (Real Time Kinematic), permiten obtener coordenadas horizontales y elevaciones con precisión centimétrica en tiempo real.
- **Equipos de nivelación:** se emplean para determinar diferencias de altura entre puntos del terreno; dentro de ellos, la nivelación geométrica es una de las técnicas más aplicadas en proyectos viales.

Para el presente proyecto, el levantamiento topográfico se ejecutó mediante receptores GNSS en modo RTK, lo que permitió reducir el tiempo de trabajo en campo y obtener datos precisos para el desarrollo del diseño geométrico, hidráulico y estructural del pavimento.

2.2.4. Condiciones topográficas.

Para cada clase de carretera las normas consideran valores recomendables y absolutos, los cuales están relacionados directamente con la topografía del terreno, clasificados en (NEVI, 2013):

- a) Terrenos Llanos (LL):** tienen pendientes transversales a la vía menores al 5%. Se realiza un mínimo de movimiento de tierras para la construcción de carreteras, con pendientes longitudinales menores al 3%.
- b) Terrenos Ondulados (O):** tienen pendientes transversales a la vía del 6% al 12%. Requiere un considerado movimiento de tierras, que no representa mayores dificultades en el trazado y la explanación, con pendientes longitudinales del 3% al 6%.
- c) Terrenos Montañosos (M):** tienen pendientes transversales a la vía del 13% al 40%. Las construcciones en este terreno necesitan grandes movimientos de tierra y/o construcción de puentes, presenta dificultades en el trazado y la explanación, por lo que tiene pendientes longitudinales de 6% al 8%.
- d) Terrenos Escarpados (E):** las pendientes transversales sobrepasan el 40%. Se necesita máximo movimiento de tierras existiendo muchas dificultades en el trazado y la explanación, por lo que el diseñador debe considerar la construcción de puentes y/o túneles debido a las pendientes longitudinales mayores al 8%.

2.2.5. Condiciones climáticas.

La provincia de Santa Elena presenta un clima predominante cálido y semiárido, con temperaturas promedio entre 17°C y 28°C durante el año, rara vez descendiendo por debajo de 15°C o superando los 30°C (Weather Spark, n.d.).

Las precipitaciones se concentran principalmente en los primeros meses del año (enero y febrero), con valores que oscilan entre 25,7 y 54,6 mm, mientras que entre junio y septiembre las lluvias son mínimas GADPR Manglaralto (n.d.).

Estas condiciones climáticas tienen implicaciones directas para el diseño vial y de pavimentos: las lluvias estacionales obligan a prever sistema de drenaje eficientes; la humedad del terreno puede afectar la estabilidad de subrasante y taludes; y las temperaturas elevadas influyen en la selección de mezclas asfálticas resistentes al calor y al envejecimiento.

2.3. ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y DE SUBRASANTE

Para que un pavimento sea eficiente y duradero, es fundamental entender cómo se comporta el suelo que se encuentra debajo de la vía, especialmente la subrasante, que cumple un papel clave, ya que sostiene y transmite las cargas hacia las capas superiores. La mecánica de suelos permite analizar de manera estas características del terreno, como su resistencia, rigidez, deformabilidad y respuesta ante cargas vehiculares.

La exploración e investigación del suelo es muy importante tanto para la determinación de las características del suelo, como para el correcto diseño de la estructura del pavimento. Si la información registrada y las muestras enviadas al laboratorio no son representativas, los resultados de las pruebas aun con exigencias de precisión no tendrán mayor sentido para los fines propuestos (MANUAL DE CARRETERAS, 2017).

En este apartado se explican los fundamentos esenciales de la mecánica de suelos, junto con los métodos utilizados para caracterizar el terreno tanto en campo como en laboratorio. Comprender estas características es clave para diseñar correctamente la subrasante y las capas estructurales del pavimento, ya que de ellas depende el comportamiento de la vía frente al tránsito y las condiciones ambientales. El análisis técnico obtenido de estas pruebas sirve como base para integrar el diseño geométrico, estructural e hidráulico de la carretera, asegurando su funcionalidad y vida útil.

2.3.1. Estructura del suelo y subrasante.

2.3.1.1. *Definición de suelo.*

Un suelo es cualquier acumulación no consolidada de partículas sólidas, agua y aire. Estas partículas sólidas provienen de la desintegración mecánica o la descomposición química de las rocas. El suelo incluye desde mezclas bien definidas de unos pocos minerales hasta mezclas heterogéneas; con tamaños diversos como bloques o fragmentos de roca, gravas, arenas, arcillas y limos derivados de las rocas altamente meteorizadas, de planicies aluviales, depósitos glaciares, etc. (Naranjo, 2011).

Dentro de los suelos se pueden identificar los siguientes:

1. **Suelo grueso – granular:** Son los de mayor tamaño, dentro de los cuales se encuentran guijarros, gravas y arenas.
2. **Suelo fino – granular:** Son los limos y arcillas.

- 3. Arcillas y limos:** La arcilla presenta mayor cohesión tanto en estado seco como húmedo. Cuando está seca es dura, mientras el limo tiende a desmoronarse con facilidad. En condiciones de humedad, la arcilla se comporta de manera plástica a diferencia del limo que muestra menor plasticidad. Al tacto, la arcilla se percibe más suave y a la visualmente tiene un brillo más durable.

Tabla 1

Identificación Manual De Suelos Finos

Suelo fino	Resistencia en estado seco	Dilatancia	Tenacidad	Tiempo de asentamiento
Limo arenoso	Muy baja	Rápida	Debilidad a fiable	30seg - 60min
Limo	Muy baja	Rápida	Débil a fiable	15min - 60min
Limo arcilloso	Baja a media	Rápida a lenta	Media	15min - varias horas
Arcilla arenosa	Baja a alta	Lenta a nada	Media	30seg - varias horas
Arcilla limosa	Media alta	Lenta a nada	Media	15min - varias horas
Arcilla	Alta a muy alta	Ninguna	Alta	Varias horas a días
Limo orgánico	Baja a muy alta	Lenta	Débil a fiable	15min - varias horas
Arcilla orgánica	Media a muy alta	Ninguna	Alta	Varias horas a días

Fuente: Estructura del Suelo y Análisis de Granulometría en Geotecnia, 2002

2.3.1.2. Estructura de los suelos.

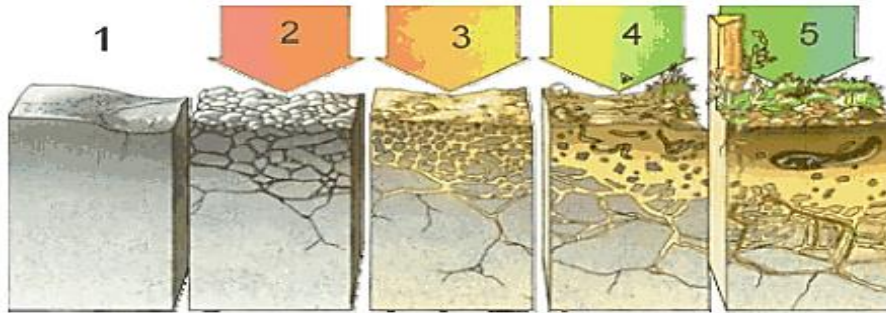
Dentro de su investigación Naranjo (2011) describe que: La estructura del suelo puede clasificarse en primaria y secundaria. La estructura primaria corresponde a la disposición natural de los granos, determinada por los procesos de formación o deposición del suelo. Por su parte, la estructura secundaria incluye discontinuidades como fracturas, pliegues o planos de estratificación, originadas por procesos geológicos posteriores y que afectan al terreno a una escala mayor.

Por lo que, durante el proceso de formación y deposición de los suelos, las partículas sólidas se ven influenciadas por distintos factores físicos como el movimiento del agua, la gravedad y las condiciones del terreno. Estos factores afectan especialmente a las

partículas más finas, que tienden a agruparse o separarse dependiendo de la forma en que se distribuyen en el suelo (Zapata, 2018).

Figura 1

Proceso de formación de los suelos



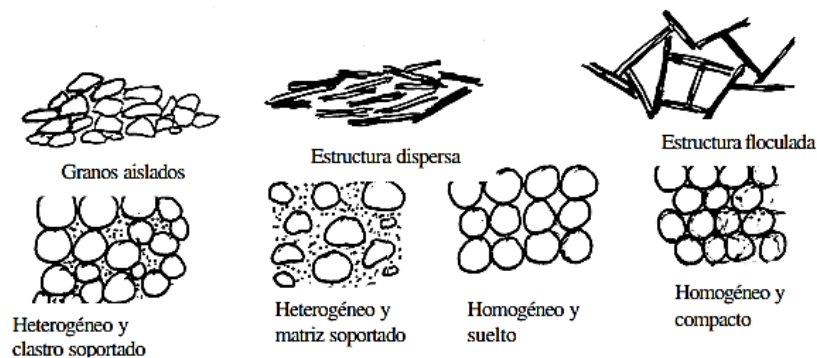
Roca madre; (2) Acción mecánica; (3) Acción química; (4) Acción biológica; (5) Acción conjunta mecánica-química-biológica.

Fuente: Tipos De Suelos: Caracterización De Suelos Arcillosos Y Limosos, 2018, Pg. 3

Figura 2

Proceso de formación de los suelos

Estructura de suelos



Fuente: Estructura del Suelo y Análisis de Granulometría en Geotecnia, 2002

Cuando las partículas se agrupan, se forman estructuras más compactas conocidas como floculación, mientras que cuando se dispersan, el suelo se vuelve más suelto y menos estable. Además, elementos como la temperatura y las características del agua en el entorno influyen en cómo se acomodan estas partículas, lo que a su vez afecta la estructura inicial del suelo y su comportamiento frente a cargas y humedad.

2.3.1.3. *Propiedades físicas de los suelos.*

Dentro de StudySmarter (2024) menciona algunas de las principales propiedades físicas que afectan el comportamiento:

1. **Textura:** Determina la proporción de arena, limo y arcilla. La textura afecta la capacidad de retención de agua y nutrientes del suelo.
2. **Densidad:** Cuanto más compacto sea el suelo, más carga puede soportar.
3. **Porosidad:** Indica el espacio que hay entre las partículas del suelo, afectando la permeabilidad y la retención de agua.
4. **Color:** Puede indicar la composición mineral del suelo.

La comprensión de estas propiedades es esencial para evaluar la estabilidad de un terreno.

2.3.1.4. *Comportamiento de los suelos.*

La respuesta del suelo cambia con la humedad y con las cargas que recibe, y ese comportamiento se refleja en el desempeño de la vía. (Naranjo, 2011) indica que las arenas y gravas suelen drenar con facilidad y conservar una buena estabilidad porque retienen poca agua. Los limos y las arcillas, en cambio, son más sensibles a los cambios de humedad; por ello, sus propiedades y su respuesta mecánica pueden variar de forma apreciable.

Estas condiciones inciden directamente en la capacidad de soporte, estabilidad y durabilidad de las estructuras viales construidas sobre este tipo de suelos. Por ello, es necesario evaluar su comportamiento ante la aplicación de cargas, ya que una respuesta inadecuada puede ocasionar asentamientos diferenciales, deformaciones o incluso fallas en la infraestructura.

Bajo este enfoque, StudySmarter (2024) menciona que, al aplicar una carga sobre un suelo, este puede presentar los siguientes comportamientos:

- a) **Compresión:** disminución del volumen del suelo debido a la acción de cargas verticales.
- b) **Tracción:** aunque los suelos generalmente tienen baja resistencia a este esfuerzo, en ciertos casos debe considerarse dentro del análisis.
- c) **Torsión y cizallamiento:** generación de esfuerzos laterales que pueden provocar desplazamientos, deformaciones o deslizamientos del terreno.

Para estudiar estas respuestas, se emplean ensayos de laboratorio que permiten analizar el comportamiento mecánico del suelo, entre ellos las pruebas de consolidación y de corte directo.

2.3.1.5. Subrasante.

El estudio de subrasante es fundamental en el diseño de pavimentos porque permite determinar las propiedades geotécnicas del suelo y verificar su capacidad de soportar las cargas del tránsito (Keilich, 2021).

Tabla 2

Clasificación del suelo en función de la subrasante

CBR	Calificación	Uso	SUCS	AASHTO
0 - 3	Muy pobre	Subrasante	CH, MH	A5, A6, A7
3 - 7	Pobre - regular	Subrasante	CH, MH	A4, A5, A6, A7
7 - 20	Regular	Subrasante	CL, ML, SC, SM, SP	A2, A4, A6, A7
20 - 30	Bueno	Base – Subbase	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 para ingeniería civil. (Bowles, 1990)

Es una parte esencial de la estructura de la carretera y proporciona el soporte principal para la capa de pavimento y la carga vehicular que se ejerce sobre ella. Además, también actúa como una barrera de drenaje, ayudando a mantener la estabilidad y la resistencia al evitar la acumulación de agua que puede debilitar la estructura de la carretera.

2.3.2. Principales propiedades demandadas por el ingeniero para obras civiles.

A continuación, se describen brevemente estas características, considerando su impacto en el desempeño estructural del pavimento y en la planificación técnica del proyecto vial.

2.3.2.1. Problemas relacionados a los suelos.

En el estudio de mecánica de suelos aplicado al diseño de infraestructura vial, es fundamental comprender las propiedades físicas y mecánicas que determinan el comportamiento del terreno frente a cargas, humedad y condiciones ambientales, las

cuales influyen directamente en la seguridad, funcionalidad y vida útil de las obras civiles.

1. **Estabilidad volumétrica:** Se trata de transformar la masa expansiva en una masa rígida, con lazos fuertes de unión para resistir las presiones de expansión, esto se logra con tratamientos químicos o térmicos (Naranjo, 2011). Mientras que Duque & Escobar (2002) dicen que los cambios de humedad son la principal fuente ya que se levantan los pavimentos, inclinan los postes y se rompen tubos y muros.
2. **Resistencia mecánica:** Para mejorar este parámetro en los suelos, son utilizados los métodos mecánicos y los químicos especialmente con cemento, cal o aditivos. Es muy importante el contenido de materia orgánica, ya que éstos no permiten una buena estabilización de las subrasantes (Naranjo, 2011). Duque & Escobar (2002) mencionan que la humedad la reduce, la compactación o el secado la eleva y la disolución de cristales (arcillas sensitivas), baja la resistencia muros
3. **Permeabilidad:** Según Naranjo (2011) este es un parámetro que puede modificarse mediante procedimientos como la compactación; sin embargo, en los suelos friccionantes, su reducción generalmente no está asociada a cambios significativos en la estabilidad volumétrica ni en la resistencia del material. Duque & Escobar (2002) citan que la presión de poros elevada provoca deslizamientos y el flujo de agua, a través del suelo, puede originar tubificación y arrastre de partículas sólidas muros.
4. **Durabilidad:** Se refiere a la resistencia a la intemperie, a la erosión, o a la abrasión del tráfico; de esta manera se asocia generalmente a problemas situados cercanos a la superficie de rodamiento, elevadas cargas y frecuencias del tránsito (Naranjo, 2011). Para Duque & Escobar (2002) la descomposición, desgaste, erosión y abrasión amenazan la vida útil de un suelo como elemento estructural o funcional muros.
5. **Compresibilidad:** La compactación es una forma rutinaria de estabilización que modifica fuertemente la compresibilidad de los suelos (Naranjo, 2011). Según Duque & Escobar (2002) influye en su comportamiento hidráulico y mecánico, ya que puede modificar su permeabilidad y las fuerzas de interacción entre partículas. Estos cambios afectan la resistencia al corte del material y pueden generar asentamientos o desplazamientos.

Los diferentes problemas geotécnicos del suelo afectan la seguridad y durabilidad de obras civiles, elevando los costos de mantenimiento como carreteras, puentes y edificios. Por ello, es esencial realizar estudios detallados del suelo para garantizar un diseño estructural adecuado y sostenible.

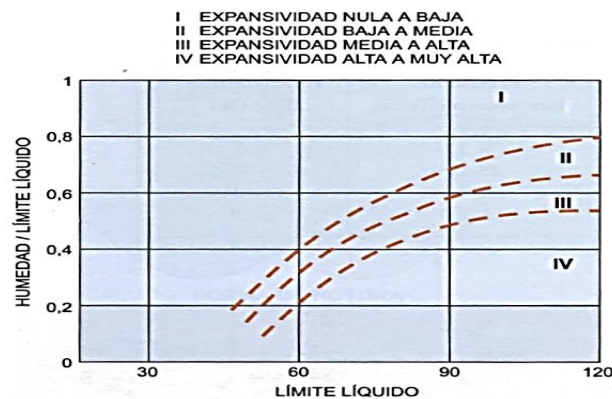
2.3.2.2. *Expansión de suelos.*

La expansión del suelo ocurre cuando ciertos materiales arcillosos aumentan de volumen al absorber agua, lo que puede ocasionar levantamientos, agrietamientos y deformaciones en pavimentos, cimentaciones y otras estructuras, especialmente cuando existen variaciones importantes en el contenido de humedad del terreno.

Duque & Escobar (2002) indican que los problemas que ocasionan son altas presiones y grandes deformaciones, los MH y CH con $LL \geq 50$ algunas veces llegan a ser expansivos. Esta expansión determina la correlación de ensayos básicos que se realizan en laboratorio como contenido de humedad y Límites de Atterberg.

Figura 3

Criterio de peligrosidad a partir de la expansividad



Fuente: Oteo, 1986

2.3.2.3. *Colapsabilidad de suelos.*

Los suelos colapsables pueden experimentar asentamientos significativos cuando se saturan, debido a la pérdida de estabilidad de su estructura interna. Esta condición representa un riesgo para obras como pavimentos, cimentaciones y estructuras de contención, pudiendo ocasionar deformaciones y daños estructurales (Agencia Valenciana de la Innovación, 2023).

Según Duque & Escobar (2002) los limos de origen volcánico y algunos suelos eólicos pueden ser susceptibles al colapso por su estructura interna poco estable. Este fenómeno suele producirse por saturación de agua y, en ciertos casos, por efectos sísmicos relacionados con la licuación del suelo.

Una manera de identificar el grado de colapso de un suelo dependerá de la siguiente tabla.

Tabla 3

Grado de colapsabilidad (Tabla extraída del libro de Ingeniería Geológica de González Vallejo)

Grado de colapso	Peso específico seco (kN/m²)	Potencial de colapso (%) (*)
Bajo	> 14,0	< 0,25
Bajo a medio	12,0-14,0	0,25-1,0
Medio a alto	10,0-12,0	1,0-5,0
Alto a muy alto	< 10,0	> 5,0

(*) Asiento inducido por colapso bajo inundación referido a la altura inicial de la muestra.

Fuente: Mejora y Estabilización de suelos con nuevos materiales cementantes revalorizando residuos, 2023

Este fenómeno representa un riesgo estructural importante en obras civiles y geotécnica, por lo que su identificación y tratamiento previo son esenciales para garantizar la estabilidad y durabilidad de cualquier infraestructura.

2.3.2.4. Suelos dispersivos.

En algunos suelos salinos, la presencia de sodio puede alterar la estructura interna del material y favorecer la dispersión de sus partículas. La pérdida de cohesión puede reducir la resistencia del material y producir erosión interna o tubificación, con el consiguiente riesgo para la estabilidad del suelo (Duque & Escobar, 2002).

En ciertos suelos, la presencia de minerales sensibles al contacto con el agua favorece la separación de sus partículas y la pérdida de cohesión. Como consecuencia, la estructura del material se debilita y pueden aparecer grietas, costras superficiales endurecidas o pequeños canales de erosión, especialmente en zonas con pendiente. Por

esta razón, reconocer este tipo de suelo durante los estudios geotécnicos resulta fundamental para prevenir daños en obras viales, cimentaciones u otras infraestructuras.

Estas propiedades pueden ser modificadas de muchas formas: cambios de temperatura, medios mecánicos, medios eléctricos, drenaje, o adición de estabilizantes como cal, cemento, asfalto, sales, etc.

2.3.3. Ensayos de laboratorio y evaluación del suelo para propósitos viales.

Los ingenieros realizan una serie de ensayos de laboratorio para determinar las propiedades clave del suelo:

2.3.3.1. Ensayo de Contenido de Humedad.

Este ensayo permite determinar el contenido de humedad presente en el suelo, parámetro que influye directamente en sus propiedades físicas y mecánicas. Su determinación es necesaria para evaluar el comportamiento del material y establecer su aptitud para aplicaciones geotécnicas y viales (ASTM D2216-19, 2019).

Es un procedimiento usado en ingeniería civil y geotecnia para establecer el contenido de humedad de una muestra de suelo. Se calcula con la fórmula:

$$w(\%) = \left(\frac{w_1 - w_2}{w_2 - w_r} \right) * 100\% \quad (1)$$

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

Donde:

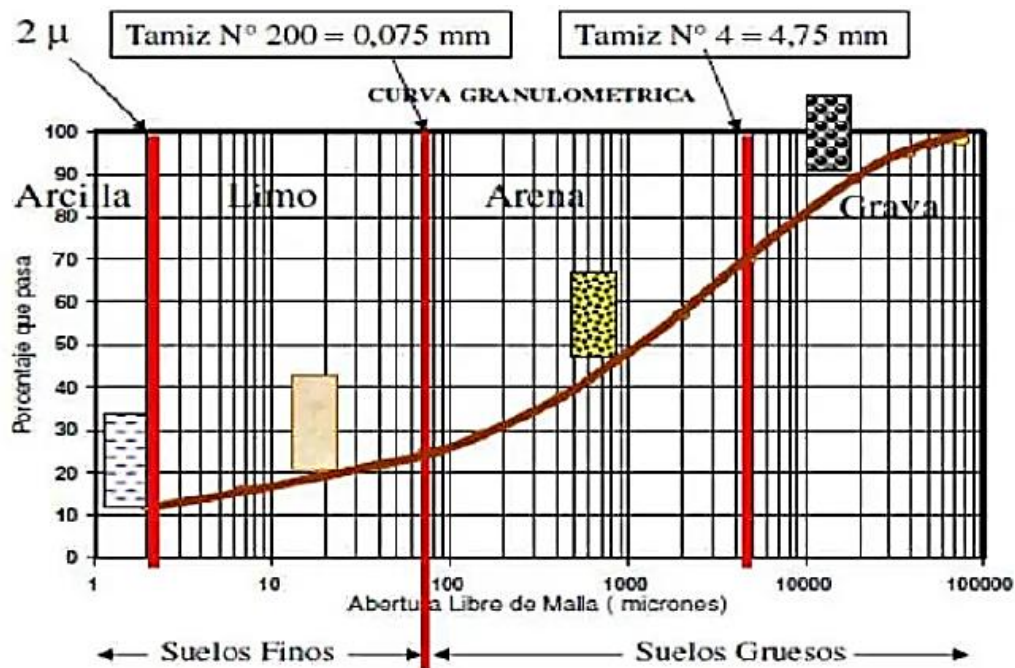
- w = contenido de humedad
- w_r = peso del recipiente vacío
- w_1 = peso del recipiente + muestra húmeda
- w_2 = peso del recipiente + muestra seca
- W_w = peso húmedo
- W_s = peso seco

2.3.3.2. Ensayo de granulometría.

El ensayo granulométrico permite conocer la distribución de los diferentes tamaños de partículas que se encuentran presentes en una muestra de suelo.

Figura 4

Curva Granulométrica



Fuente: Practica estándar para la clasificación de suelos con fines de ingeniería (sistema unificado de clasificación de suelos) ASTM D2487-17

Esta distribución es fundamental para analizar las propiedades físicas y mecánicas del suelo, así como su respuesta frente a procesos de compactación, drenaje y filtración (ASTM D6913-04, 2017).

Estos datos se combinan para determinar la distribución (gradación) del tamaño de las partículas (Reddy, 2002). Los suelos están formados por partículas de diversas formas y tamaños. El procedimiento consiste en separar las partículas del suelo mediante tamices normalizados de abertura cuadrada, permitiendo establecer la distribución granulométrica del material en función de sus diferentes tamaños de 3 pulgadas (75mm) y No. 200 (75μm) (ASTM D6913-04, 2017).

En esta norma se proporcionan dos métodos de prueba:

- **Método A:** El porcentaje que pasa por cada tamaño de tamiz se registra con una precisión del 1 %. Este método debe utilizarse al realizar tamizados compuestos (ASTM D6913-04, 2017).

- **Método B:** El porcentaje que pasa por cada tamaño de tamiz se registra con una precisión del 0,1 % (ASTM D6913-04, 2017). Este método sólo es aplicable para el tamizado con un solo conjunto de tamices y cuando el tamaño máximo de partícula es igual o menor que el tamiz N.º 4 (4,75 mm).

2.3.3.2.1. Procesamiento de muestras.

Las muestras se proporcionan en tres procedimientos para procesarla y obtener una muestra (húmedo, secado al aire y secado al horno). Dentro de cada procedimiento va a depender del tamaño máximo de partícula, tipo de muestra, tamaños de partículas, condiciones iniciales y plasticidad del material, la eficiencia y la necesidad de otras pruebas en la muestra.

2.3.3.2.2. No es aplicable para suelos.

Hay ciertos tipos de suelos que presentan problemas a la hora de realizar ese ensayo:

1. Suelos que contienen turba fibrosa cuyo tamaño de partícula cambiará durante el procedimiento de secado, lavado o tamizado (ASTM D6913-04, 2017).
2. Suelos que contienen materias extrañas, como disolventes orgánicos, petróleo, asfalto, fragmentos de madera o artículos similares, afectando los procedimientos de lavado y tamizado (ASTM D6913-04, 2017).
3. Materiales que incorporan agentes estabilizantes, como cemento, cal, cenizas volantes u otros productos utilizados para mejorar las propiedades del suelo (ASTM D6913-04, 2017).

Los resultados obtenidos mediante este método pueden presentar variaciones cuando se aplica a ciertos tipos de suelo, por lo que su nivel de precisión no se considera aplicable en dichos casos:

1. La (ASTM D6913-04, 2017) señala que los resultados pueden verse afectados en suelos friables, debido a que el tamizado puede modificar su gradación natural. Entre estos materiales se encuentran algunas lutitas erosionadas y suelos débilmente cementados, como el caliche y la coquina.
2. Arcillas como glauconíticas o algunas arcillas plásticas secas y suelos que no se dispersan fácilmente (ASTM D6913-04, 2017).

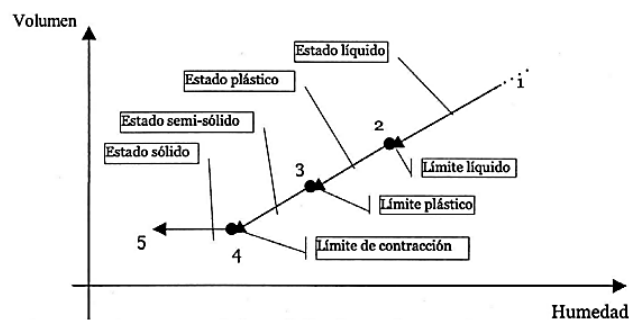
Para probar estos suelos, este método de prueba debe adaptarse o alterarse y estas alteraciones deben documentarse. La estandarización de los procesos de lavado y tamizado permite conocer que las condiciones de cada muestra se procesen de manera similar, debido a que algunos materiales que no son suelos, sino que están formados por partículas, pueden probarse utilizando este método.

2.3.3.3. Ensayo de límites de Atterberg.

Los límites de Atterberg son parámetros fundamentales en la mecánica de suelos que permiten caracterizar el comportamiento de los suelos finos (arcillas y limos) en función de su contenido de humedad (ASTM D4318-17e1, 2018).

Figura 5

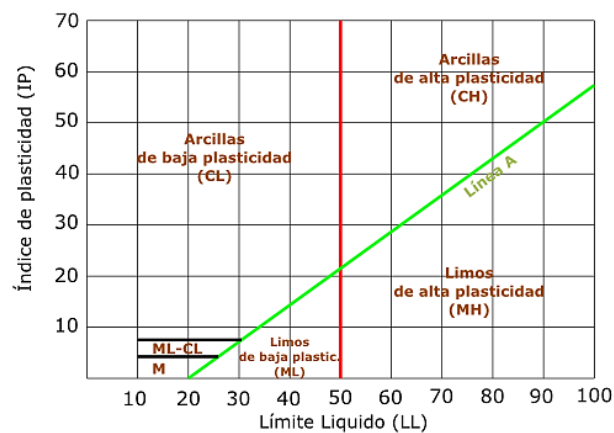
Trayectoria humedad-volumen de un suelo amasado



Fuente: J.K. Mitchell, Escuela de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona, Pg. 4

Figura 6

Límites de Atterberg, Gráfica de plasticidad USCS



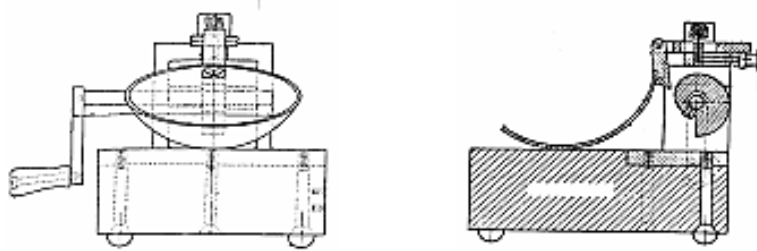
Fuente: Iván Arrieta Carril, Geólogo – responsable Técnico de Uretex España

2.3.3.3.1. Límite líquido (LL).

Se determina mediante el ensayo de Casagrande.

Figura 7

Aparato de Casagrande para obtener el límite líquido LL

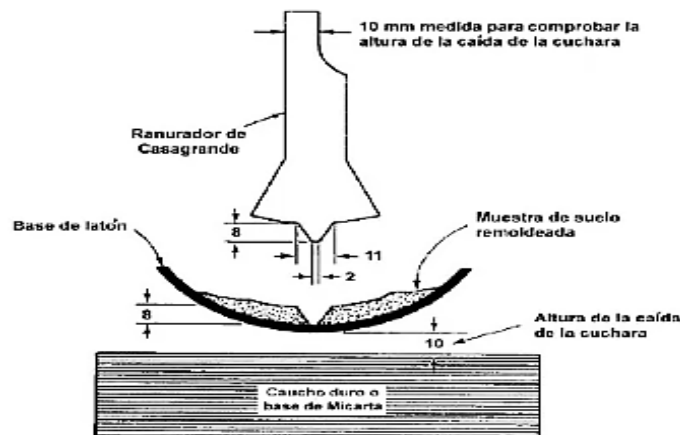


Fuente: Estructura del Suelo y Análisis de Granulometría en Geotecnia, 2022

Según el criterio de Geotechnical Consulting (2025) el límite líquido es el contenido de humedad en el cual la muestra pasa de un estado plástico a un estado líquido y comienza a fluir a lo largo de un surco de 12 mm de ancho. Se determina a partir de la cantidad de golpes requeridos para que ocurra este cambio.

Figura 8

Ensayo de Límite Líquido



Fuente: ASTM D431-18

2.3.3.3.2. Límite plástico (LP).

La prueba de límite plástico se realiza haciendo rodar a mano tierra húmeda de arcilla o limo en forma de "gusano" de 3 mm de diámetro, luego remodelando la muestra en una bola y repitiendo (GEOTEXAN, 2025). El límite plástico corresponde al contenido de

humedad en el que el suelo comienza a perder su plasticidad y se agrieta o desintegra al ser moldeado en hilos de pequeño diámetro.

2.3.3.3.3. Índice de plasticidad.

El índice de plasticidad (IP) es un parámetro geotécnico que mide el rango de humedad en el cual un suelo fino (principalmente arcilloso) puede deformarse plásticamente sin llegar a comportarse como sólido rígido ni como líquido (Puy Santín, 2005).

Se calcula como:

$$IP = LL - LP \quad (2)$$

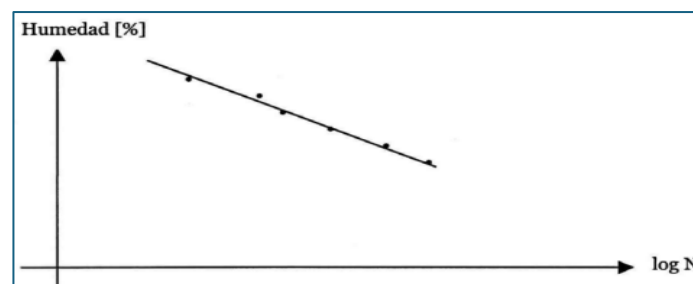
El índice de plasticidad permite clasificar los suelos en sistemas como el USCS o AASHTO, estimar su comportamiento en pavimentos y cimentaciones, y prever problemas como expansividad, retracción o pérdida de capacidad de soporte.

2.3.3.3.4. La curva de flujo.

Según las observaciones de Casagrande, existe una relación entre el contenido de humedad del suelo y el número de golpes requeridos para cerrar la ranura de ensayo. Al representar estos datos en una gráfica semilogarítmica, los resultados suelen ajustarse a una línea recta. Esa curva fue llamada curva de flujo (Puy Santín, 2005).

Figura 9

Curva de flujo



Fuente: Influencia de la temperatura en el límite líquido para suelos con diferentes índices de plasticidad, 2005

2.3.3.4. Sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS o USCS).

La ASTM D2487-17 indica las diversas agrupaciones de este sistema de clasificación se correlacionan de forma general con el comportamiento de ingeniería de los suelos.

Por lo tanto, esta práctica proporciona un primer paso útil en cualquier investigación de campo o de laboratorio con fines de ingeniería geotécnica.

Según Borselli (2025) este sistema se basa principalmente en la granulometría y los límites de Atterberg. Divide los suelos en dos grandes grupos:

- **Suelos gruesos** (gravas y arenas), con menos del 50% pasando el tamiz N.º 200:
- **Suelos finos** (limos y arcillas), con más del 50% pasando el tamiz N.º 200:

También existen suelos orgánicos (OL, OH, PT) que presentan características no adecuadas para estructuras de pavimento.

Tabla 4

Nombres típicos de los materiales.

GRUPO	NOMBRES TÍPICOS DEL MATERIAL
GW:	Grava bien graduada, mezclas gravosas, poco o ningún fino.
GP:	Grava mal graduada, mezcla grava - arena, poco o ningún fino.
GM:	Grava limosa, mezclas grava, arena, limo.
GC:	Grava arcillosa, mezclas grava - arena arcillosas.
SW:	Arena bien graduada.
SP:	Arena mal graduada, arenas gravosas, poco o ningún fino.
SM:	Arenas limosas, mezclas arena - limo.
SC:	Arena arcillosa, mezcla arena - arcilla.
ML:	Limos orgánicos y arenas muy finas, polvo de roca, limo arcilloso, poco plástico, arenas finas limosas, arenas finas arcillosas.
CL:	Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas gravosas, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas magras (pulpa)
OL:	Limos orgánicos, arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad.
MH:	Limos orgánicos, suelos limosos o arenosos finos micáceos o diatomáceos (ambiente marino, naturaleza orgánica silíceo), suelos elásticos.
CH:	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas gruesas.
OH:	Arcillas orgánicas de plasticidad media a alta, limos orgánicos.
Pt:	Turba (carbón en formación) y otros suelos altamente orgánicos

Fuente: Estructura del Suelo y Análisis de Granulometría en Geotecnia, 2002

2.3.3.5. Sistema de clasificación AASHTO.

Este sistema es comúnmente utilizado en el diseño de pavimentos. Según la norma ASTM D3282-15 esta práctica describe un sistema para clasificar suelos minerales y organominerales con fines de ingeniería basado en la determinación en laboratorio de las características del tamaño de las partículas, el límite de líquidos y el índice de plasticidad y se utilizará cuando se requiera una clasificación precisa.

La clasificación AASHTO reúne los suelos en siete grupos, desde A-1 hasta A-7. Para ubicarlos considera la cantidad de finos, el contenido de arcilla y su plasticidad. También utiliza el Índice de Grupo (IG), valor que complementa la evaluación de un material cuando se pretende emplearlo como subrasante:

- **A-1 a A-3:** corresponden principalmente a materiales granulares. Por su capacidad de soporte, varios de ellos pueden utilizarse en capas como la subbase, siempre que cumplan las demás especificaciones.
- **A-4 a A-7:** incluyen suelos finos, cuyo comportamiento suele presentar menor resistencia y capacidad de soporte para fines viales.

El Índice de Grupo (IG) funciona como un indicador complementario: mientras mayor sea su valor, menor será la calidad del suelo para ser empleado en la estructura vial.

$$IG = (F - 35) [0.2 + 0.005(LL - 40)] + 0.01(F - 15)(PI - 10) \quad (3)$$

Tabla 5

Clasificación AASHTO

Clasificación General	Masa Granular						Material limo arcillosos				
Grupos	A-1		A-2				A-7				
Subgrupos	A-1-a	A-1-b	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7	A-3	A-4	A-5	A-6	A-7-5 A-7-6
% pasante #10	%50 máx.										
	50										
#40	30% máx.	% máx					51% mín.				

#200	15%	25%	35%	35%	35%	35%	10%	36%	36%	36%	36% mín.
	máx.	máx	máx	máx	máx	máx	máx.	mín.	mín.	mín.	
Características del material que pasa por el tamiz #40											
N.P.											
LL			40%	41%	41%	41%		40%	41%	40%	41% mín.
			máx	mín.	máx	mín.		máx	mín.	máx	
IP	6%	6%	10%	10%	11%	11%		10%	10%	11%	11% mín.
	máx.	máx	máx	máx	mín.	mín.		máx	máx	mín.	
IG	0	0	0	0	4%	4%	0	8	12	16	20 máx.
					máx	máx		máx	máx	máx	
Fragmentos											
Tipo de material	pétreos de gravas y arenas	Gravas y arenas, limosas y arcillosas				Arena fina	Suelos limosos		Suelos arcillosos		

Fuente: GAVIDIA Ingeniería Geotécnica, <https://www.ingeotecnica.com/>

2.3.3.6. Ensayo de gravedad específica de sólidos de suelo.

La gravedad específica de los sólidos de un suelo se utiliza para calcular las relaciones de fases de los suelos, como la relación de vacíos y el grado de saturación (ASTM D854-14, 2023).

Para Reddy (2002) el ensayo de gravedad específica también es conocido como ensayo de densidad relativa, procedimiento utilizado en ingeniería civil y geotecnia para determinar la densidad relativa de un suelo.

Existen dos métodos para determinar la gravedad específica de los suelos:

- **Método A:** procedimiento para los suelos húmedos utilizado para suelos orgánicos, altamente plásticos, suelos de grano fino, suelos tropicales y suelos que contienen halloysita.
- **Método B:** procedimiento para suelos secados al horno.

Los valores de gravedad específica obtenidos permiten identificar características mineralógicas y físicas de los materiales analizados. En términos generales, Aguilar et al. (2014) mencionan que los suelos minerales presentan valores de gravedad específica comprendidos entre 2.60 y 3.0, mientras que variaciones fuera de este rango pueden asociarse a presencia de materia orgánica, minerales pesados o alteraciones en la composición del suelo.

Tabla 6

Valores de Gs según el material

MATERIAL	VALOR DE Gs
Arcilla de origen volcánico	2.20 – 2.50
Suelos orgánicos	2.50 – 2.65
Suelos granulares	2.63 – 2.68
Limos inorgánicos	2.67 – 2.73
Arcilla poco plástica	2.72 – 2.78
Arcillas plásticas	2.78 – 2.86
Arcillas expansivas	2.86 – 2.90

Fuente: Aguilar et al. 2014, pág. 6

En el libro de Bowles (1990) se encuentra la siguiente tabla acerca de los valores de Gs de los suelos.

Tabla 7

Tipo de suelo con su Gs

Tipo de Suelo	Gs
Arena	2.65 – 2.67
Arena limosa	2.67 – 2.70
Arcilla inorgánica	2.70 – 2.80
Suelos con micas o hierro	2.75 – 3.00
Suelos orgánicos	Variable, puede ser inferior a 2.00

Fuente: Bowles Joseph, 1990

Se aplica además un factor de corrección por temperatura del agua, debido a que la densidad del agua varía con los cambios térmicos. Según la norma ASTM D854-10, la corrección permite obtener resultados más precisos en el cálculo de la gravedad específica del suelo con el uso del coeficiente k.

Tabla 8

Valor de k en función de la temperatura o variación de w en gr/cm³ respecto a la temperatura en grados centígrados.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0,9999	0,9999	0,9999	1,000	1,000	1,000	1,000	0,9999	0,9999	0,999
10	0,9997	0,9996	0,9995	0,9994	0,9993	0,9991	0,999	0,9988	0,9986	0,998
20	0,9982	0,998	0,9978	0,9976	0,9973	0,9971	0,9968	0,9965	0,9963	0,996
30	0,9957	0,9954	0,9951	0,9947	0,9944	0,9941	0,9937	0,9934	0,993	0,992
40	0,9922	0,9919	0,9915	0,9911	0,9907	0,9902	0,9898	0,9894	0,989	0,988
50	0,9881	0,9876	0,9872	0,9867	0,9862	0,9857	0,9852	0,9848	0,9842	0,983
60	0,9832	0,9827	0,9822	0,9817	0,9811	0,9806	0,9800	0,9795	0,9789	0,978
70	0,9778	0,9772	0,9767	0,9761	0,9855	0,9749	0,9743	0,9737	0,9731	0,972
80	0,9718	0,9712	0,9705	0,9699	0,9693	0,9686	0,968	0,9673	0,9667	0,966
90	0,9653	0,9647	0,964	0,9633	0,9626	0,9619	0,9612	0,9605	0,9598	0,959

Fuente: ASTM D 854-10

Asimismo, este parámetro resulta importante para el cálculo de relaciones volumétricas, análisis de compactación y evaluación del comportamiento geotécnico de los materiales empleados en aplicaciones viales y procesos de estabilización.

La densidad relativa se calcula utilizando la fórmula:

$$\text{Gravedad Específica} = \frac{W_s * k}{W_s + W_{bw} + W_{bws}} \quad (4)$$

Donde:

- W_s = Peso seco
- k = Factor de corrección
- W_{bw} = Frasco + agua
- W_{bws} = Frasco + agua + suelo

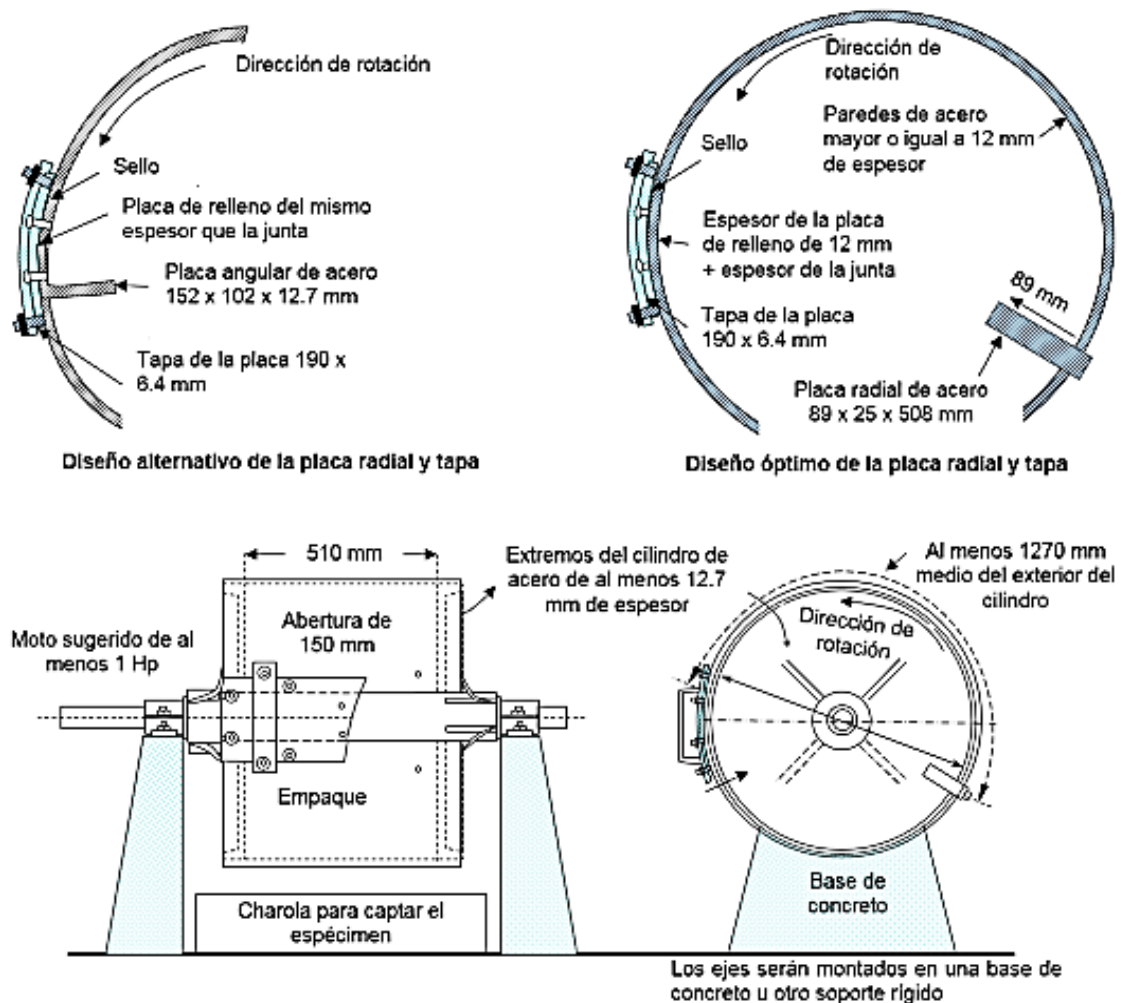
La gravedad específica de los sólidos representa la relación entre la densidad de las partículas del suelo y la del agua. Este valor permite caracterizar la composición del material y constituye un parámetro básico para diversos cálculos geotécnicos.

2.3.3.7. Ensayo de abrasión.

Este método de prueba cubre un procedimiento para ensayar partículas de agregado gruesos con un tamaño máximo menor a 37.5 mm [$1\frac{1}{2}$ "], para evaluar su resistencia a la degradación utilizando la Máquina de Los Ángeles (INSTITUTO MEXICANO DE TRANSPORTE, 2019).

Figura 10

Máquina de Los Ángeles



Fuente: Manual De Ensayos Para Laboratorio, Instituto Mexicano Del Transporte, 2019, Pg. 78.

La metodología más común para este análisis es el ensayo de abrasión de Los Ángeles, en el cual muestra de agregado se somete a la acción de esferas de acero girando en un tambor. Tras un número determinado de revoluciones, se pesa el agregado para determinar la pérdida de peso, que se expresa como porcentaje del peso inicial. Valores bajos de desgaste indican que el agregado posee una mayor durabilidad y calidad para

ser empleado en capas de pavimento (ASTM C131 / C131M - 20, 2020; ASTM C535 - 16, 2016; Bernard, 2008).

Su objetivo principal es determinar la capacidad del material para conservar sus propiedades mecánicas frente al tránsito vehicular y a los esfuerzos repetidos.

Según mencionan Marin & Mendez (2025), el ensayo de abrasión en una prueba de laboratorio utilizada para evaluar la resistencia al desgaste de los agregados pétreos cuando están sometidos a la fricción y al impacto, condiciones habituales en la estructura de los pavimentos.

Rojas et al. (2015) hablan de que hay procedimientos manuales y mecánicos de acuerdo con el tamaño de la muestra de campo y la muestra requerida, debido a esto, se analizan criterios como el tamaño de la muestra para realizar posteriormente el ensayo:

Tabla 9

Peso del Agregado y Numero de Esferas para Agregados Gruesos hasta 1 1/2"

MÉTODO		A	B	C	D
DIAMETRO		CANTIDAD DE MATERIAL A EMPELAR			
		(gr)			
Pasa el tamiz	Retenido en tamiz				
1 1/2"	1"	1250 ± 25			
1"	3/4"	1250 ± 25			
3/4"	1/2"	1250 ± 10	2500 ± 10		
1/2"	3/8"	1250 ± 10	2500 ± 10		
3/8"	1/4"			2500 ± 10	
1/4"	Nº4			2500 ± 10	
Nº4	Nº8				5000 ± 10
PESO TOTAL		5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10
Nº de esferas		12	11	8	6
Nº de revoluciones		500	500	500	500
Tiempo de rotación					
(minutos)		15	15	15	15

Fuente: Ensayo de Abrasión ASTM C-131

Tabla 10

Peso del Agregado y Numero de Esferas para Agregados Gruesos de Tamaños Menores a 3/4"

MÉTODO		A	B	C
DIAMETRO		CANTIDAD DE MATERIAL A EMPELAR (gr)		
Que pasa	Retenido			
3"	2 1/2"	2500 ± 10		
2 1/2"	2"	2500 ± 10		
2"	1 1/2"	2500 ± 10	5500 ± 50	
1 1/2"	1"		5500 ± 25	5500 ± 25
1"	3/4"			5500 ± 25
PESO TOTAL		10000 ± 100	10000 ± 75	10000 ± 50
N.º de esferas		12	12	12
N.º de revoluciones		1000	1000	1000
Tiempo de rotación (minutos)		30	30	30

Fuente: Ensayo de Abrasión ASTM C-535

La resistencia a la abrasión se usa como un índice de la calidad de los agregados, debido a que permite identificar estas propiedades mecánicas del material afectan o favorecen el diseño de la mezcla. La fórmula general es:

$$\text{Abrasión (\%)} = \frac{W_1 - W_2}{W_1} * 100 \quad (5)$$

Donde:

- **W₁**: Peso inicial de la muestra seca (g).
- **W₂**: Peso retenido en el tamiz N.º 12 después del ensayo (g).

El porcentaje representa la calidad de las muestras. Esta referencia general de interpretación del desgaste Los Ángeles (Excelente, Buena, Aceptable, etc.) proviene de criterios usados comúnmente en las normas (ASTM C131 / C131M - 20, 2020; ASTM C535 - 16, 2016):

El Manual_NEVI-12_VOLUMEN_3 (2013) además indica que, si los materiales a estabilizar van a conformar capas estructurales, los agregados gruesos deben tener un desgaste de abrasión de los Ángeles no mayor a 50%.

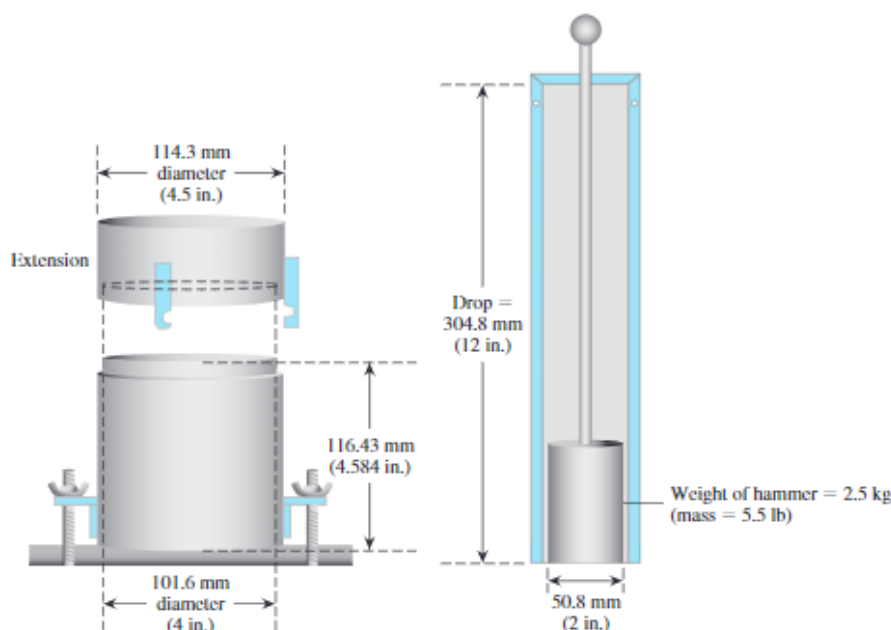
2.3.3.8. *Ensayo de Proctor estándar.*

En el libro de mecánica de suelos de Braja M. Das (2014) menciona que es un procedimiento de laboratorio utilizado para determinar la cantidad de humedad necesaria para que un suelo alcance su máxima compactación bajo una energía moderada. Este ensayo se aplica principalmente en suelos finos o con presencia de material cohesivo, como limos, arcillas y arenas con finos, ya que representa condiciones comunes de compactación empleadas en rellenos y subrasantes.

El ensayo Proctor estándar se consideró para establecer la relación entre el contenido de humedad y la densidad seca del suelo compactado. De acuerdo con la ASTM D698-12 (2021), el procedimiento consiste en colocar la muestra dentro de un molde y compactarla en tres capas, aplicando 25 golpes por capa con un martillo de 24,4 N que cae desde una altura de 305 mm. A partir de este proceso se obtiene la curva de compactación, de la cual se determinan la humedad óptima y la densidad seca máxima del material, evaluando su comportamiento en proyectos viales y obras geotécnicas.

Figura 11

Equipo de prueba estándar de Proctor utilizado: (a) molde y (b) martillo



Fuente: Libro de Braja M. Das, pág. 148

2.3.3.9. *Proctor modificado.*

El ensayo Proctor Modificado es similar al Proctor Estándar, pero utiliza una energía de compactación mucho mayor, permitiendo simular condiciones más exigentes como las que se presentan en pavimentos, bases, subbases y estructuras sometidas a cargas elevadas.

De acuerdo con Marin & Mendez (2025) este ensayo se lleva a cabo en el laboratorio y consiste en compactar muestras de suelo a diferentes niveles de humedad y luego medir su densidad.

De acuerdo con la ASTM D1557-12 (2021), este ensayo se realiza compactando el suelo con un martillo de 44.5 N, el cual cae desde una altura de 457 mm. La muestra se distribuye en cinco capas, aplicando 25 golpes a cada una, lo que genera una energía de compactación mayor que la utilizada en el Proctor Estándar. Por esta razón, el material puede alcanzar densidades secas más elevadas y, generalmente, requiere contenidos de humedad menores para lograr su compactación óptima.

Este procedimiento se utiliza principalmente en materiales granulares o en proyectos donde se exige que el suelo compactado tenga mayor resistencia, estabilidad y capacidad de soporte frente a cargas más intensas.

Para Keilich (2021) ambos ensayos determinan la densidad seca del suelo, una vez compactados se enrasan y luego se mide su densidad y humedad, los cuales se miden a través de la curva de saturación de cada espécimen.

Tabla 11

Resumen de las especificaciones de pruebas de compactación Proctor estándar y modificadas (ASTM D-698 y D-1557)

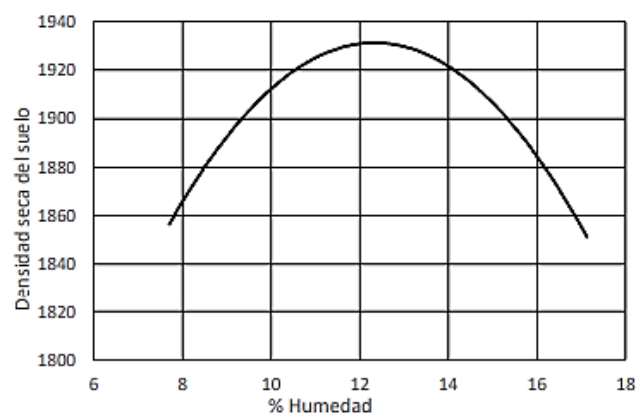
Descripción		Método A	Método B	Método C
Datos físicos para el ensayo	Material	Material que pasa tamiz N.º 4	Material que pasa tamiz de 9.5 mm	Material que pasa tamiz de 19 mm
	Uso	Utilizado cuando el 20 % o menos del material queda retenido en tamiz N.º 4	Utilizado cuando más del 20 % del material queda retenido en tamiz N.º 4 (4.75 mm) y menos del 20 %	Utilizado cuando más del 20 % del material queda retenido en tamiz de 9.5 mm y menos del 30 % queda retenido en tamiz de 19 mm

			queda retenido en tamiz de 9.5 mm	
	Volumen del molde	944 cm ³	944 cm ³	2124 cm ³
	Diámetro del molde	101.6 mm	101.6 mm	152.4 mm
	Altura del molde	116.4 mm	116.4 mm	116.4 mm
Ensayo Proctor Estándar	Peso del martillo	24.4 N	24.4 N	24.4 N
	Altura de caída	305 mm	305 mm	305 mm
	Número de capas de suelo	3	3	3
	Número de golpes por capa	25	25	56
Ensayo Proctor Modificado	Peso del martillo	44.5 N	44.5 N	44.5 N
	Altura de caída	457 mm	457 mm	457 mm
	Número de capas de suelo	5	5	5
	Número de golpes por capa	25	25	56

Fuente: Libro de Braja M. Das, normas ASTM D698 y ASTM D1557, pág.156

Figura 12

Equipo de prueba



Fuente: Marin & Mendez, 2025

2.3.3.10. *Ensayo de CBR (California Bearing Ratio)*

Marin & Mendez (2025) describen el ensayo California Bearing Ratio (CBR) como uno de los métodos más utilizados en ingeniería geotécnica y vial para evaluar la capacidad de soporte de los suelos destinados a subrasantes, subbases y bases de pavimentos.

El ensayo evalúa la capacidad portante de un suelo mediante condiciones de humedad controladas y compactación de una muestra en un molde cilíndrico y la aplicación de cargas cíclicas con un pistón.

La AASHTO (1993) menciona que este ensayo se puede realizar in situ o con muestras alteradas en laboratorio, que generalmente determinara la expansión del material, la resistencia a penetración es una forma de clasificar un suelo para ser utilizado como subrasante, ya que este es un material base para la construcción de carreteras.

Bowles (1990) interpreta el valor del CBR en relación con la capacidad portante del suelo de la siguiente forma:

- Un CBR reducido indica poca capacidad de soporte.
- Un CBR elevado se asocia con un mejor comportamiento estructural.

La selección del CBR de diseño condiciona directamente el espesor y la capacidad de la estructura. El valor adoptado debe permitir que el pavimento resista las cargas del tránsito sin presentar deformaciones excesivas, grietas prematuras ni fallas durante el período de servicio. Para escogerlo, conviene revisar con detalle la variación del suelo y aplicar un procedimiento de diseño que represente las condiciones reales del proyecto.

$$CBR = \frac{\text{Resistencia a la penetración (psi) requerida para penetrar 0,1 pulg}}{1000 \frac{lb}{pulg^2}} \quad (6)$$

2.3.3.11. *Relaciones volumétricas y gravimétricas.*

Las relaciones volumétricas y gravimétricas se emplean para cuantificar la proporción de sólidos, agua y aire presentes en el suelo. Su determinación permite caracterizar el material y obtener parámetros necesarios para el diseño y evaluación de obras geotécnicas y viales.

2.3.3.11.1. Relaciones volumétricas.

Se expresan como porcentajes del volumen total de la muestra de suelo. Por ejemplo, las relaciones volumétricas pueden incluir el porcentaje de vacíos, el porcentaje de sólidos, el porcentaje de aire, y el porcentaje de agua en una muestra de suelo.

2.3.3.11.2. Relaciones gravimétricas.

Se expresan como porcentajes del peso total de la muestra de suelo. Por ejemplo, las relaciones gravimétricas pueden incluir el porcentaje de humedad, el porcentaje de materia seco o húmedo.

2.3.3.11.3. Formulario de relaciones volumétricas y gravimétricas.

- Volumen:

$$V = V_s + V_v = V_s + V_w + V_a \quad (7)$$

- Peso:

$$W = W_s + W_w \quad (8)$$

- Relación de vacíos:

$$e = V_v/V_s \quad (1) \quad (9)$$

$$e = \frac{n}{1-n} \quad (2)$$

- Porosidad:

$$n = V_v/V * 100 \quad (1) \quad (10)$$

$$n = \frac{e}{1+e} \quad (2)$$

- Peso específico/Unitario/Volumétrico:

$$\gamma = W/V \quad (11)$$

- Grado de Saturación (%):

$$S = \frac{V_w}{V_v} * 100 \quad (1)$$

$$S = wGs/e \quad (2) \quad (12)$$

$$S * e = \frac{wGs}{e} \quad (3)$$

- Humedad o contenido de agua (%):

$$w = \frac{W_w}{W_s} * 100 = \frac{W - W_s}{W_s} * 100 \quad (1) \quad (13)$$

$$w = \frac{n}{(1 - n)Gs} \quad (2)$$

- Peso específico del agua:

$$\gamma_w = \frac{W_w}{V_w} = \frac{1000kgf}{m^3} = \frac{9,81kN}{m^3} = \frac{62,4lb}{ft^3} = \frac{1gr}{cm^3} \quad (14)$$

- Peso específico seco:

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V} = \frac{\gamma}{(1 + w)} \quad (1)$$

$$\gamma_d = \frac{Gs\gamma_w}{1 + e} \quad (2) \quad (15)$$

$$\gamma_d = Gs * \gamma * w(1 - n) \quad (3)$$

- Gravedad específica de sólidos:

$$Gs = \frac{W_s}{V_s * \gamma_w} \quad (16)$$

Donde:

- V_s = Volumen de partículas sólidas
- V_w = Volumen de agua contenida en la muestra
- V_a = Volumen de aire
- W_s = Peso de partículas solidas
- W_w = Peso del agua contenida en la muestra.

2.5.4. Mejora de suelos en proyectos viales.

El mejoramiento de suelos constituye una etapa fundamental en el diseño y ejecución de proyectos viales, ya que la subrasante representa el soporte inmediato de la estructura del pavimento y determina su desempeño a largo plazo.

La estabilización se define como el conjunto de técnicas orientadas a modificar las propiedades físicas y mecánicas del terreno, con el fin de incrementar su capacidad portante, reducir su plasticidad, mejorar la resistencia al corte y garantizar estabilidad volumétrica frente a variaciones de humedad y carga (Cordero, 2018).

Los ensayos de laboratorio descritos anteriormente son esenciales para caracterizar el comportamiento del suelo natural y evaluar la efectividad de los tratamientos aplicados. De esta manera, se logra comparar la respuesta de la subrasante en estado natural frente a las condiciones obtenidas con estabilización, identificando mejoras en durabilidad y desempeño estructural. Cuando un suelo no cumple con los requisitos estructurales necesarios, es común aplicar técnicas de estabilización:

- a)** Añadir cemento a la subrasante mejora la resistencia al corte, reduce la plasticidad y mejora su capacidad portante. Además de determinar un porcentaje óptimo de cemento (alrededor del 3 % respecto al peso seco para ese caso) que convierte una subrasante de calidad muy pobre en una de calidad regular (Cordero, 2018).
- b)** El uso de aditivos químicos (cemento, cal, mezclas alternativas) para mejorar capacidad portante, módulo de soporte, durabilidad frente a humedad, desgaste (Cadillo, 2024).
- c)** Consiste en aplicar estabilizantes o tratamientos químicos para mejorar las propiedades mecánicas y la capacidad de soporte del suelo (Ortiz et al., 2024).
- d)** Para suelos arcillosos o de elevada plasticidad, la estabilización con cal puede resultar una alternativa técnica y económicamente favorable. Su efectividad y costo dependen principalmente de la dosificación necesaria y de la disponibilidad local del material (TECNOLOGÍA PARA LA INDUSTRIA, 2021).

La estabilización de subrasantes en sitio puede resultar más económica que la sustitución completa del suelo, especialmente cuando los materiales estabilizantes y los equipos están disponibles localmente. Para elegir la alternativa más adecuada, es necesario analizar no solo el costo inicial de construcción, sino también los gastos de mantenimiento y los efectos

que podrían presentarse durante la vida útil del proyecto (Registro de Investigación sobre Transporte, 2011)

El mejoramiento del suelo antes de ejecutar una carretera permite aumentar la durabilidad de la estructura y reducir la necesidad de reparaciones frecuentes. Además, constituye una estrategia de sostenibilidad vial, ya que ayuda a optimizar los recursos públicos y a disminuir los problemas asociados al atraso en infraestructura. En este sentido, estabilizar el terreno desde la etapa inicial resulta más conveniente que intervenir posteriormente daños causados por subrasantes débiles. Esta mejora técnica favorece la construcción de vías más seguras, resistentes y funcionales para la conexión de las comunidades.

2.4. CONCEPTOS BÁSICOS RELACIONADOS A UNA INFRAESTRUCTURA VIAL

Las vías pueden clasificarse en categorías dependiendo la fuente de información, por lo que es importante mencionar que cada una tiene su propia calificación.

2.4.1. Clasificación de las vías.

Es necesario conocer los siguientes conceptos para comprender mejor el tema de la construcción de una infraestructura vial, de los cuales se consideran los más importantes:

2.4.1.1. *Vía rural.*

También conocida como carretera secundaria o de campo, es una red de caminos que desempeña un papel fundamental en la conectividad de las zonas rurales. Estas vías son esenciales para el tránsito de vehículos agrícolas, ganaderos y de transporte de mercancías, así como para el acceso a áreas remotas y la comunicación entre comunidades rurales (pruebademanejo.cl, 2024).

2.4.1.2. *Vía urbana.*

Conforman la red de circulación interna de una ciudad y permiten la conexión entre sus diferentes sectores. Están integradas por avenidas, calles y demás espacios destinados al tránsito de personas y vehículos dentro del área urbana, comprendida entre los límites señalizados de ingreso y salida de la población. Su función principal es facilitar la movilidad, el acceso a servicios y la interacción entre las distintas actividades que se desarrollan en el entorno urbano (Todotest Magazine, 2024).

2.4.1.3. *Vías de enlace.*

Los enlaces viales son puntos cruciales de conexión que permiten a los vehículos y peatones cambiar de dirección o avanzar hacia diferentes destinos de manera segura y eficiente. Su diseño y gestión adecuados son fundamentales para mantener una movilidad fluida y minimizar los riesgos en las carreteras y calles de nuestras ciudades (pruebademanejo.cl, 2024).

2.4.2. Clasificación de carreteras según su jerarquía funcional.

2.4.2.1. *Carreteras.*

También llamada ruta, es el término que se utiliza para hacer referencia a una vía de transporte para la circulación, principalmente, de vehículos. Es de uso público y permite la conexión del camino, a través de distintos accesos, con otros tipos de vías como autopistas o con propiedades cercanas (ferrovial, 2025).

La clasificación funcional de las carreteras constituye un criterio técnico que organiza la red vial de acuerdo con el papel que cumple cada vía dentro del sistema de transporte. La jerarquía funcional no se define únicamente por el ancho, el tipo de superficie u otras características físicas. También considera la función de la carretera dentro de la red: qué territorios conecta, qué movimientos de personas y carga atiende y con qué niveles del sistema vial se relaciona.

Bajo este enfoque, las carreteras se agrupan en redes primaria, secundaria y terciaria. La clasificación sirve para definir prioridades de inversión, requerimientos geométricos, niveles de mantenimiento y decisiones de planificación (NEVI, 2013).

2.4.2.2. *Red vial primaria.*

Corresponde a las carreteras de mayor jerarquía dentro del sistema. Conectan las principales ciudades del país, capitales provinciales, puertos marítimos y aeropuertos internacionales. Su función principal es garantizar la movilidad de largo recorrido, facilitando el transporte de personas y mercancías a gran escala. Deben cumplir con los más altos estándares de diseño geométrico y estructural, ya que soportan altos volúmenes de tránsito y cargas pesadas (NEVI, 2013).

Ejemplo de ello es la Red Vial Estatal (RVE), compuesta por las vías troncales como la Panamericana o la Vía a la Costa.

2.4.2.3. *Red vial secundaria.*

Está conformada por carreteras que conectan la red primaria con centros urbanos de menor tamaño o de importancia a nivel regional. Su objetivo es garantizar la integración regional y provincial, conectando cabeceras cantonales y poblaciones intermedias con las vías primarias. Presentan volúmenes de tránsito moderados y estándares de diseño intermedios, adecuados para flujos menores de transporte pesado (NEVI, 2013).

Ejemplo de vías estatales secundarias que conectan capitales cantonales con la red primaria, como los accesos desde Santa Elena hacia las cabeceras parroquiales.

2.4.2.4. *Red vial terciaria.*

Agrupar las vías de menor jerarquía funcional, orientadas a la conectividad local y rural. Su función principal es permitir el acceso directo a comunidades rurales, áreas agrícolas, zonas de producción y parroquias no conectadas por vías secundarias. Generalmente, presentan bajo volumen de tránsito, predominando el transporte liviano y de servicio. Sus estándares de diseño suelen ser más flexibles, adaptados a las condiciones topográficas y presupuestarias, con calzadas más angostas y, en muchos casos, sin pavimentar (NEVI, 2013).

Ejemplo de caminos vecinales y vías comunales que conectan recintos o comunidades rurales con los centros parroquiales o cantonales.

Tabla 12

Características de los niveles de servicio para carreteras

NIVEL DE SERVICIO	CONDICIÓN DE FLUJO	VELOCIDAD MÁXIMA DE CIRCULACIÓN	VOLUMEN DE SERVICIO
A	Flujo libre	100 km/h	500 vph
B	Flujo estable	80 km/h	1200 vph
C	Flujo estable	65 km/h	2000 vph
D	Flujo casi inestable	55 km/h	2400 vph
E	Flujo inestable	45 km/h	2800 vph
F	Flujo forzado	40 km/h	Variable (0 a máx)

Fuente: Norma Ecuatoriana Vial (NEVI-12 Volumen 2A, 2013) Pg.60

2.4.3. Clasificación de carreteras según el número de calzada.

Según la MIT, tenemos la siguiente clasificación:

2.4.3.1. *Carreteras de calzadas separadas.*

Estas son vías que cuentan con calzadas diferenciadas para cada sentido de circulación, con una separación física entre ambas. Se señala que, de manera excepcional, podrían tener más de una calzada para cada sentido de circulación. Es importante destacar que no se considera como separación física aquella constituida exclusivamente por marcas viales sobre el pavimento o bordillos montables, siempre que la altura de estos últimos sea inferior a 15 cm (NEVI, 2013).

2.4.3.2. *Carreteras de calzada única.*

Este tipo de carreteras se caracterizan por tener una sola calzada que se utiliza para ambos sentidos de circulación, sin contar con una separación física entre ellas. Esta definición se mantiene independientemente del número de carriles que pueda tener la carretera (NEVI, 2013).

2.5. ELEMENTOS DEL DISEÑO GEOMÉTRICO DE VÍAS

El diseño geométrico de carreteras se refiere a la disposición física del trazado de la vía, adaptada a las condiciones del terreno y del tránsito. Incluye elementos como alineamientos horizontales y verticales, secciones transversales, radios de curvatura, pendientes y anchos de calzada. Para zonas rurales con topografía irregular, se deben seguir criterios establecidos en normas como el “Manual de Carreteras – Geometría” del Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador MIT (2025) y AASHTO (1993), que aseguran una circulación segura y eficiente.

2.5.1. Conceptos acerca del TPDA

Tráfico: se refiere principalmente a la circulación de vehículos por calles, caminos o autopistas.

2.5.1.1. *Tránsito promedio diario anual (TPDA).*

El Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) se obtiene mediante el conteo continuo de vehículos durante todo el año y es fundamental para el diseño vial. Antes de construir

una carretera, se deben realizar estudios de tráfico que incluyan el volumen y tipo de vehículos actuales, así como proyecciones futuras. El volumen de tráfico se determina mediante conteos vehiculares, que pueden ser manuales o automáticos. Según el MIT y las directrices de la AASHTO, es importante clasificar adecuadamente los vehículos para fines de diseño de pavimentos, debido a la diversidad de los que circulan por las vías.

Debido a la diversidad de vehículos que circulan por una vía, el MIT tomando como referencia los criterios de la AASHTO, establece una clasificación vehicular que facilita el conteo del tránsito y su aplicación en el diseño de pavimentos:

- Vehículos livianos (A): Incluyen motocicletas (A1) y automóviles (A2).
- Buses y busetas (B): Corresponden a vehículos diseñados para el transporte colectivo de pasajeros.
- Camiones (C): Utilizados para transporte de carga: Se clasifican en C1 camiones de 2 ejes, C2 para camiones o tractocamiones de 3 ejes y C3 para tractocamiones de 4, 5 o más ejes.
- Remolques (R): Comprenden unidades de carga remolcadas, como tráiler o sistemas tipo Dolly. (MIT, 2025)

2.5.1.2. Conteo Vehicular.

El conteo o aforo vehicular consiste en registrar y clasificar los vehículos que transitan por una vía con el fin de determinar el volumen y la composición del tránsito. Esta información constituye un insumo fundamental para el diseño geométrico y estructural de carreteras, ya que permite estimar las cargas que actuarán sobre la infraestructura durante su vida útil.

2.5.1.2.1. Cálculo de TPDA y clasificación de la vía tráfico promedio horario (TPH) y factor horario (FH)

El Tráfico Promedio Horario (TPH) corresponde al número promedio de vehículos que transitan por una vía en una hora. Este indicador permite conocer la intensidad del tránsito y proporciona información fundamental para el diseño y evaluación de proyectos viales.

- **TPDA (Tráfico Promedio Diario Anual):** Promedio del número de vehículos que transitan por un punto de la vía en un día típico, normalmente promediado sobre el año. Se expresa en vehículos/día.

2.5.1.3. *Volumen de tránsito.*

Donde:

$$Q = \frac{N}{T} \quad (17)$$

- **Q** = vehículos que pasan en determinado tiempo (vehículos/periodo) (Bonifaz et al., 2022).
- **N** = número de vehículos que circulan.
- **T** = indica el tiempo determinado.

Quezada (2025) indica que dependiendo de los periodos de tiempo se presentan los siguientes volúmenes absolutos.

- **Tráfico diario (TD):** es el número de vehículos durante un día.
- **Tráfico semanal (TS):** es el número de vehículos durante una semana.
- **Tráfico mensual (TM):** es el número de vehículos durante un mes.
- **Tráfico anual (TA):** es el número de vehículos durante un año.

El volumen del tránsito se realizó con la finalidad de obtener datos reales en lo que corresponde al movimiento vehicular sobre un punto específico dentro de una vía o carretera teniendo en cuenta que los resultados son expresados en función del tiempo.

2.5.1.4. *Volúmenes de tráfico promedio diario.*

Se define el volumen de tránsito promedio diario (TPD), como el número total de vehículos que pasan durante un periodo dado (en días completos) igual o menor a un año y mayor que un día, dividido entre el número de días del periodo. Dependiendo del periodo de estudio los volúmenes promedios diario pueden ser los siguientes:

$$TPD = \frac{N}{1DIA < 1AÑO} \quad (18)$$

Donde:

- **N** = representa el número de vehículos.
- **T** = es el periodo de tiempo.

2.5.1.5. Tráfico promedio diario semanal (TPDS).

Se define como el número de vehículos que pasan por un determinado punto de una vía en un periodo de una semana continua y se representa mediante la siguiente expresión:

$$TPDS = \frac{\Sigma \text{Tránsito diario}}{n \text{ días}} \quad (19)$$

2.5.1.6. Tráfico promedio diario mensual (TPDM).

Consiste en el número de vehículos que pasan por un determinado punto de una vía en un periodo de un mes, su valor se halla representado mediante la siguiente expresión:

$$TPDM = \frac{TM}{30 \text{ DIAS}} = \text{veh/dia} \quad (20)$$

2.5.1.7. Tráfico promedio diario anual (TPDA).

Representa el tránsito total que circulara por la carretera durante un año dividido por 365, es decir. representa el volumen de tránsito promedio por día (MOP, 2002). Este valor se encuentra definido mediante la siguiente expresión:

$$TPDA = \frac{T \text{ anual}}{365} = \text{veh/dia} \quad (21)$$

2.5.1.8. Tráfico promedio horario (TPH).

Número medio de vehículos que circulan por hora en un tramo o punto. Puede referirse a una hora media diaria ($TPH = TPDA/24$) o a la hora de diseño (hora factible de mayor demanda), dependiendo del contexto.

2.5.1.9. Factor horario (FH).

Proporción del tráfico diario que corresponde a la hora considerada (por ejemplo, la hora pico). Es un número adimensional (fracción o %). La relación para obtener este criterio:

$$TPH_{\text{diseño}} = TPDA \times FH \quad (22)$$

2.5.1.10. Ajuste de volúmenes de tráfico.

Si se ajustan los volúmenes de tránsito en una carretera sin registros permanentes de tránsito, se puede determinar el Tránsito Promedio Diario de esa carretera utilizando factores de ajuste obtenidos de una vía con características similares mediante la siguiente fórmula:

2.5.1.11. Factor semanal (Fs).

$$Fs = \frac{\#Semanas\ del\ mes\ de\ estudio}{4} \quad (23)$$

2.5.1.12. Factor diario (Fd).

$$Fd = \frac{TPDS}{Td} \quad (24)$$

2.5.1.13. Factor mensual (Fm).

$$Fm = \frac{TPDA}{TPDM} \quad (25)$$

El TPDA se determina entonces a través de la siguiente expresión:

$$TPDA = TPDS * Fs * Fm * Fd \quad (26)$$

Donde:

- **TPDS** = Tráfico observado
- **Fs** = Factor de ajuste semanal
- **Fd** = Factor de ajuste diario
- **Fm** = Factor de ajuste mensual

2.5.1.14. Tráfico asignado (Ta).

El tráfico asignado es un concepto clave en el diseño y planificación vial, que consiste en distribuir los volúmenes de vehículos a lo largo de una red de carreteras según rutas y destinos definidos. Este proceso busca optimizar el uso de la infraestructura, considerando factores como el uso del suelo, las características de las vías, límites de velocidad y las preferencias de los conductores. La fórmula para calcular el Ta es la siguiente:

$$T_{asignado} = TPDA + T_{generado} + T_{desarrollo} \quad (27)$$

Donde:

- T_{gen} = Tráfico generado (del 5% al 20%) TPDA existente
- T_{des} = Tráfico por desarrollo (del 5% al 10%) TPDA existente

2.5.1.15. Clasificación de la vía según el TPDA.

Dentro del volumen promedio anual de tráfico diario proyectado a varios años, se establece los diferentes niveles de servicio de acuerdo con el reglamento establecido del Ministerio de Transporte y Obras Públicas: (NEVI, 2013).

- Carretera RI, RII: esta carretera debe tener un Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) desde 8.000 vehículos.
- Carretera CLASE I: esta carretera debe tener un Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) de 3.000-8.000 vehículos.
- Carretera CLASE II: esta carretera debe tener un Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) de 1.000-3.000 vehículos.
- Carretera CLASE III: esta carretera debe tener un Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) de 300-1.000 vehículos.
- Carretera CLASE IV: esta carretera debe tener un Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) de 100-300) vehículos.
- Carretera CLASE V: esta carretera debe tener un Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) menor a 100 vehículos.

2.5.2. Tabla del TPDA.

En esta tabla está presente todos los criterios a considerar al momento del diseño de una vía, dentro de ella se encuentran los siguientes parámetros.

Tabla 13

Valores de Diseño Recomendados para Carreteras de Dos Carriles y Caminos Vecinales según la Norma NEVI-12.



NORMAS	CLASE I 3 000 – 8 000 TPDA ⁽¹⁾						CLASE II 1 000 – 3 000 TPDA ⁽¹⁾						CLASE III 300 – 1 000 TPDA ⁽¹⁾						CLASE IV 100 – 300 TPDA ⁽¹⁾						CLASE V MENOS DE 100 TPDA ⁽¹⁾											
	RECOMENDABLE			ABSOLUTA			RECOMENDABLE			ABSOLUTA			RECOMENDABLE			ABSOLUTA			RECOMENDABLE			ABSOLUTA			RECOMENDABLE			ABSOLUTA								
	LL	O	M	LL	O	M	LL	O	M	LL	O	M	LL	O	M	LL	O	M	LL	O	M	LL	O	M	LL	O	M	LL	O	M						
Velocidad de diseño (K.P.H.)	110	100	80	100	80	60	100	90	70	90	80	50	90	80	60	80	60	40	80	60	50	60	35	25 ⁽²⁾	60	50	40	50	35	25 ⁽²⁾						
Radio mínimo de curvas horizontales (m)	430	350	210	350	210	110	350	275	160	275	210	75	275	210	110	210	110	42	210	110	75	110	30	20	110	75	42	75	30	20 ⁽²⁾						
Distancia de visibilidad para parada (m)	180	160	110	160	110	70	160	135	90	135	110	55	135	110	70	110	70	40	110	70	55	70	35	25	70	55	40	55	35	25						
Distancia de visibilidad para rebasamiento (m)	830	690	565	690	565	415	690	640	490	640	565	345	640	565	415	565	415	270	480	290	210	290	150	110	290	210	150	210	150	110						
Peralte	MAXIMO = 10%																														10% (Para V > 50 K.P.H.) 8% (Para V < 50 K.P.H.)					
Coefficiente “K” para: ⁽³⁾																																				
Curvas verticales convexas (m)	80	60	28	60	28	12	60	43	19	43	28	7	43	28	12	28	12	4	28	12	7	12	3	2	12	7	4	7	3	2						
Curvas verticales cóncavas (m)	43	38	24	38	24	13	38	31	19	31	24	10	31	24	13	24	13	6	24	13	10	13	5	3	13	10	6	10	5	3						
Gradiente longitudinal ⁽⁴⁾ máxima (%)	3	4	6	3	5	7	3	4	7	4	6	8	4	6	7	6	7	9	5	6	8	6	8	12	5	6	8	6	8	14						
Gradiente longitudinal ⁽⁴⁾ mínima (%)	0,5%																																			
Ancho de pavimento (m)	7,3						7,3		7,0		6,70		6,70		6,00		6,00		6,00		6,00		4,00 ⁽⁵⁾													
Clase de pavimento	Carpetas Asfáltica y Hormigón						Carpetas Asfáltica						Carpetas Asfáltica o D.T.S.B						D.T.S.B, Capa Granular o Empedrado						Capa Granular o Empedrado											
Ancho de espaldones ⁽²⁾ estables (m)	3,0	2,5	2,0	2,5	2,0	1,5	3,0	2,5	2,0	2,5	2,0	1,5	2,0	1,5	1,0	1,5	1,0	0,5	0,60 (C.V. Tipo 6 y 7)						---											
Gradiente transversal para pavimento (%)	2,0						2,0						2,0						2,5 (C.V. Tipo 6 y 7)						4,0											
Gradiente transversal para espaldones (%)	2,0 ⁽⁶⁾ - 4,0						2,0 - 4,0						2,0 - 4,0						4,0 (C.V. Tipo 5 y 5E)						---											
Curva de transición	USENSE ESPIRALES CUANDO SEA NECESARIO																																			
Puentes	HS - 20 - 44; HS - MOP; HS - 25																																			
	SERA LA DIMENSION DE LA CALZADA DE LA VÍA INCLUIDOS LOS ESPALDONES																																			
	0,50 m mínimo a cada lado																																			
Mínimo derecho de vía (m)	Según el Art. 3º de la Ley de Caminos y el Art. 4º del Reglamento aplicativo de dicha Ley																																			
	LL = TERRENO PLANO O = TERRENO ONDULADO M = TERRENO MONTAÑOSO																																			

- 1) El TPDA indicado es el volumen promedio anual de tráfico diario proyectado a 15 – 20 años, cuando se proyecta un TPDA en exceso de 7 000 en 10 años debe investigarse la necesidad de construir una autopista. (Las normas para esta serán parecidas a las de la Clase I, con velocidad de diseño de 10 K.P.H. más para clase de terreno – Ver secciones transversales típicas para más detalles. Para el diseño definitivo debe considerarse el número de vehículos equivalentes.
- 2) Longitud de las curvas verticales: $L = KA$, en donde K = coeficiente respectivo y A = diferencia algebraica de gradientes, expresado en tanto por ciento. Longitud mínima de curvas verticales: $L_{\min} = 0,60 V$, en donde V es la velocidad de diseño expresada en kilómetros por hora.
- 3) En longitudes cortas menores a 500 m. se puede aumentar la gradiente en 1% en terrenos ondulados y 2% en terrenos montañosos, solamente para las carreteras de Clase I, II y III. Para Caminos Vecinales (Clase IV) se puede aumentar la gradiente en 1% en terrenos ondulados y 3% en terrenos montañosos, para longitudes menores a 750 m.
- 4) Se puede adoptar una gradiente longitudinal de 0% en rellenos de 1 m. a 6 m. de altura, previo análisis y justificación.
- 5) Espaldón pavimentado con el mismo material de la capa de rodadura de la vía. (Ver Secciones Típicas en Normas). Se ensanchará la calzada 0,50 m más cuando se prevé la instalación de guarda caminos.
- 6) Cuando el espaldón está pavimentado con el mismo material de la capa de rodadura de la vía.
- 7) En los casos en los que haya bastante tráfico de peatones, úsense dos aceras completas de 1,20 m de ancho.
- 8) Para tramos largos con este ancho, debe ensancharse la calzada a intervalos para proveer refugios de encuentro vehicular.
- 9) Para los caminos Clase IV y V, se podrá utilizar $V_0 = 20 \text{ Km/h}$ y $R = 15 \text{ m}$ siempre y cuando se trate de aprovechar infraestructuras existentes y relieve difícil (escarpado).

NOTA: Las Normas anotadas "Recomendables" se emplearán cuando el TPDA es cerca al límite superior de las clases respectivas o cuando se puede implementar sin incurrir en costos de construcción. Se puede variar algo de las Normas Absolutas para una determinada clase, cuando se considere necesario el mejorar una carretera existente siguiendo generalmente el trazado actual.

De acuerdo con Zamora (2015) el diseño geométrico de una carretera se basa en tres grupos de elementos que, aunque se trabajan de manera separada, están estrechamente relacionados entre sí. Cuando se combinan, forman un modelo tridimensional que representa la vía final. Estos elementos son:

2.5.3. Alineamiento horizontal.

El alineamiento horizontal consiste en proyectar el eje de la vía sobre un plano horizontal. Sus elementos principales son las tangentes, que corresponden a los tramos rectos, y las curvas, ya sean circulares o de transición, que permiten enlazar como la topografía, drenaje, las condiciones de la subrasante y los materiales disponibles en la zona (NEVI, 2013).

2.5.3.1. Distancia de visibilidad.

Está ligada a la velocidad de los automóviles que ingresan a la intersección; existe una limitación de velocidad en función de la visibilidad existente, inclusive se puede llegar a la detención total del vehículo. Debe existir la distancia de parada, la misma que consiste en el lugar en el que un conductor observa a otro vehículo con distinción de paso (NEVI, 2013).

Mediante la expresión empírica se considera la velocidad de circulación conforme las Normas de Diseño Geométrico de la MIT (2025):

$$V_c = 0,80V_d + 6,5 \quad (28)$$

2.5.3.1.1. Distancia de visibilidad de parada.

La distancia de visibilidad de parada se compone de dos partes: la distancia de percepción del conductor, que depende de su nivel de atención y capacidad de reacción, y la distancia de frenado. La primera corresponde al tramo que recorre el vehículo desde que el conductor identifica un peligro hasta que acciona el freno, mientras que la segunda es la distancia necesaria para que el vehículo se detenga por completo una vez iniciado el frenado MIT (2025).

Tabla 14

Distancia de visibilidad de parada

Velocidad directriz (Km/h)	Pendiente nula o en bajada				Pendiente en subida		
	0%	3%	6%	9%	3%	6%	9%
20	20	20	20	20	19	18	18
30	35	35	35	35	31	30	29
40	50	50	50	53	45	44	43
50	65	66	70	74	61	59	58
60	85	87	92	97	80	77	75

Fuente: Manual de Diseño de Carreteras No Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito, Pg.36

2.5.3.1.2. Distancia de visibilidad de adelantamiento.

Es la mínima distancia de visibilidad requerida por el conductor de un vehículo para adelantar a otro vehículo que, a menor velocidad relativa, circula en su mismo carril y dirección, en condiciones cómodas y seguras, invadiendo para ello el carril contrario, pero sin afectar la velocidad del otro vehículo que se le acerca (NEVI, 2013).

Tabla 15

Distancia de visibilidad de adelantamiento

Velocidad de Diseño KPH	Distancia de Visibilidad De Adelantamiento
30	200
40	270
50	345
60	410
70	485

80	540
90	615
100	670
110	730
120	775

Fuente: Norma AASHTO 2004, pp. 124

2.5.3.2. **Bombeo.**

Corresponde a la pendiente transversal aplicada a la calzada, generalmente en forma de dos inclinaciones hacia los lados desde el eje central, su objetivo es facilitar el drenaje superficial, evitando que el agua de lluvia se acumule sobre la vía (NEVI, 2013).

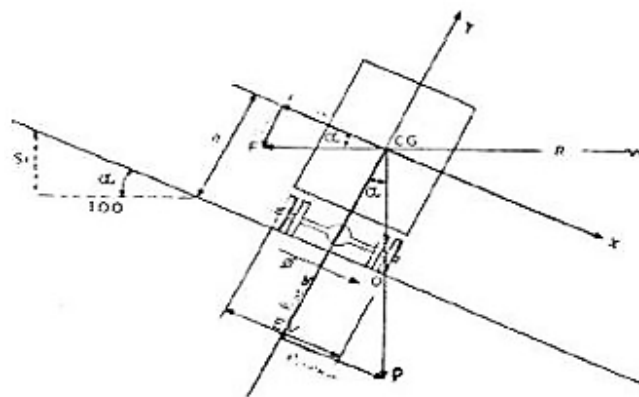
2.5.3.3. **Peralte.**

$$e = \frac{V^2}{127 * R} - f \quad (29)$$

Inclinación transversal aplicada en las curvas horizontales, que permite contrarrestar la fuerza centrífuga generada por el movimiento de los vehículos. Este diseño aumenta la estabilidad y seguridad en la circulación a velocidades de operación establecidas (NEVI, 2013).

Figura 13

Fuerza centrífuga en Curvas



Fuente: Norma de Diseño geométrico de vías MIT, 2025, Pg. 52

2.5.3.3.1. Coeficiente de fricción lateral.

El MIT (2025) señala que es un parámetro fundamental en el diseño de curvas, debido a su relación con la velocidad de circulación y la estabilidad de los vehículos durante el recorrido, estableciendo valores específicos para su aplicación en el diseño geométrico vial.

Tabla 16
Coeficiente de fricción lateral máximos f

Velocidad específica V (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	110
Coeficiente de fricción lateral máximo (f)	0,18	0,17	0,16	0,157	0,149	0,141	0,13	0,126	0,118

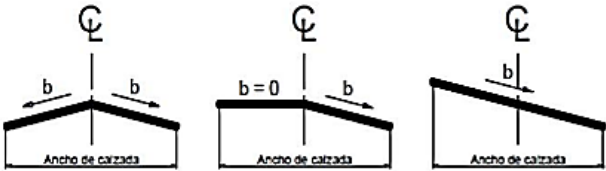
Fuente: Tomado de la Norma de Diseño Geométrico del MOTP (2013, p.132).

2.5.3.3.2. Transición de peralte.

Es el cambio gradual en la sección transversal de la calzada al momento de ingresar a una curva circular, hasta alcanzar el peralte requerido (Peñaloza, 2023).

En la primera etapa, la sección transversal mantiene su bombeo normal en ambos carriles. En la segunda etapa, se inicia la transición del peralte, donde el carril izquierdo no presenta bombeo y el carril derecho permanece constante. En la tercera etapa, se desarrolla el máximo peralte.

Figura 14
Transición de peralte



Fuente: Brian Damian Jaramillo Peñaloza, UPSE, 2023

2.5.3.4. Tangentes horizontales.

Las tangentes son los tramos rectos del eje de la carretera proyectados sobre un plano horizontal, que sirven de enlace entre curvas. Su longitud está condicionada por criterios de seguridad, ya que tramos demasiados extensos pueden generar monotonía en la

conducción o encandilamiento, aumentado el riesgo de accidentes. Por esta razón, se recomienda limitar su extensión y diseñar alineamientos más equilibrados (NEVI, 2013).

2.5.3.5. *Longitud de transición.*

Conocido también simplemente como transición, a la distancia donde se realiza un cambio de sección normal a tangente en peralte. De manera que su expresión se calcula con la siguiente formula:

$$L_{min} = 0,56 * V \quad (30)$$

Donde:

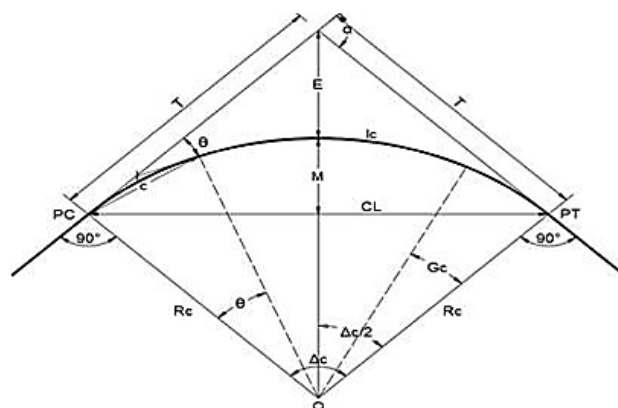
- L_{min} . = longitud mínima de transición
- V = velocidad de diseño (km/h)

2.5.3.6. *Curvas circulares.*

Las curvas circulares son arcos de circunferencia que permiten unir dos tangentes consecutivas. Se clasifican en simples u compuestas, y su diseño se caracteriza principalmente por el grado de curvatura, parámetro que depende de la velocidad de diseño y del peralte adoptado para la seguridad vial (NEVI, 2013).

Figura 15

Curva Circular Horizontal



Fuente: Normas de diseño geométrico de vías MIT, 2025.

- **PI** = Punto de intersección de la continuación de las tangentes.
- **PT** = Punto en donde termina la curva simple.

- **PC** = Punto en el que empieza la curva simple.
- **G_c** = El grado de curvatura es el ángulo que abarca un arco de 20 metros dentro de una curva circular.

$$\frac{G_c}{20} = \frac{360}{2\pi R} \Rightarrow G_c = \frac{1145,95}{R} \quad (31)$$

- **α** = Es conocido como el ángulo de deflexión de las tangentes.
- **Δ_c** = Ángulo central.
- **θ** = Ángulo de deflexión.

$$\theta = \frac{G_c * 1}{20} \quad (32)$$

- **M** = Ordenada media.

$$M = R - R * \cos \frac{\alpha}{2} \quad (33)$$

- **C** = Cuerda.

$$C = 2R * \sin \frac{\theta}{2} \quad (34)$$

- **L_c** = Longitud de la curva circular.

$$L_c = \frac{\pi * R * \alpha}{180} \quad (35)$$

- **E** = Externa.

$$E = R * \left(\frac{\sec \alpha}{2} - 1 \right) \quad (36)$$

- **T** = Tangente de la curva.

$$T = R * \tan \frac{\alpha}{2} \quad (37)$$

- **L** = Cuerda larga.

$$CL = 2 * R * \operatorname{sen} \frac{\alpha}{2} \quad (38)$$

- **R** = El radio de curvatura corresponde al radio de la curva circular, este parámetro se puede relacionar con el grado de la curvatura.

$$R = \frac{1145,92}{G_c} \quad (39)$$

Los radios mínimos definen la curvatura límite que puede adaptarse para una velocidad de diseño relacionados con la sobreelevación y la máxima fricción lateral escogida para diseño.

$$R = \frac{V^2}{127(e + f)} \quad (40)$$

Donde:

- **R** = Radio mínimo de curva (m)
- **e** = Tasa de sobreelevación en fracción decimal
- **f** = Factor de fricción lateral
- **V** = velocidad de diseño (Km/h)

2.5.3.7. *Curvas horizontales.*

Las curvas horizontales son los arcos que conectan dos tangentes consecutivas en un alineamiento vial. Su propósito es permitir cambios de dirección suaves, garantizando la seguridad y comodidad del tránsito. Estas curvas pueden ser simple o compuestas, y su diseño depende de parámetros como el radio de la curva y el grado de curvatura, los cuales se describen en el apartado anterior (2.5.3.2) (NEVI, 2013).

Tabla 17

2A A.204- 03 Radios mínimos y grados máximos de curvas horizontales para distintas velocidades de diseño

Velocidad de Diseño (Km/h)	Factor de Fricción Máxima	Peralte máximo 4%			Peralte máximo 4%		
		Calculado	Recomendado	Grado de Curva	Calculado	Recomendado	Grado de Curva
30	0,17	33,7	35	32° 44'	30,8	30	38° 12'

40	0,17	60,0	60	19° 06´	54,8	55	20° 50´
50	0,16	98,4	100	11° 28´	89,5	90	12° 44´
60	0,15	149,2	150	7° 24´	135,0	135	8° 29´
70	0,14	214,3	215	5° 20´	192,9	195	5° 53´
80	0,14	280,0	280	4° 05´	252,0	250	4° 35´
90	0,13	375,2	275	3° 04´	335,7	335	3° 25´
100	0,12	492,1	490	2° 20´	437,4	435	2° 38´
110	0,11	635,2	635	1° 48´	560,4	560	2° 03´
120	0,09	872,2	870	1° 19´	755,9	775	1° 29´

Velocidad de Diseño (Km/h)	Factor de Fricción Máxima	Peralte máximo 4%			Peralte máximo 4%		
		Radio (m)		Grado de Curva	Radio (m)		Grado de Curva
		Calculado	Recomendado		Calculado	Recomendado	
30	0,17	28,3	30	32° 44´	26,2	25	45° 50´
40	0,17	50,4	50	19° 06´	46,7	45	25° 28´
50	0,16	82,0	80	11° 28´	75,7	75	15° 17´
60	0,15	123,2	120	7° 24´	113,4	115	9° 58´
70	0,14	175,4	175	5° 20´	160,8	160	7° 10´
80	0,14	229,1	230	4° 05´	210,0	210	5° 27´
90	0,13	303,7	305	3° 04´	277,3	275	4° 10´
100	0,12	393,7	395	2° 20´	357,9	360	3° 11´
110	0,11	501,5	500	1° 48´	453,7	455	2° 31´
120	0,09	667,0	665	1° 19´	596,8	595	1° 56´

Fuente: Manual NEVI-12 VOLUMEN 2A, Pg. 134

2.5.3.8. *Curvas horizontales de transición.*

Las curvas de transición son segmentos del trazado vial que conectan una tangente con una curva circular o unen dos curvas de diferente radio.

Su función principal es suavizar los cambios de dirección y del peralte, evitando maniobras bruscas y reduciendo fuerza centrífugas sobre los vehículos, mejorando la comodidad y seguridad del tránsito, tomando en cuenta la velocidad de diseño y el radio de las curvas adyacentes (NEVI, 2013).

Dentro del diseño de curvas de carretera, se encuentra la longitud mínima de transición de la espiral, L_e , representada por la siguiente formula:

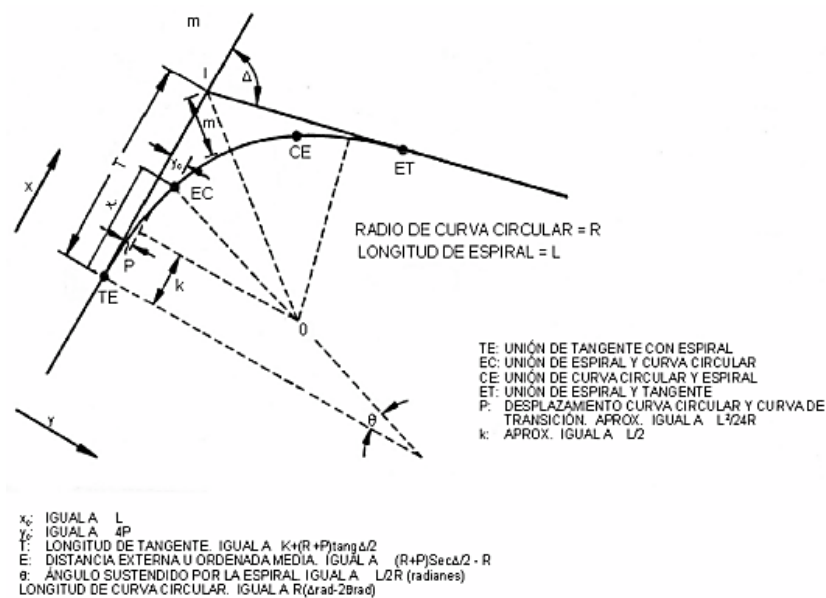
$$Le = 0,0702 \left(\frac{V^3}{RC} \right) \quad (41)$$

Donde:

- V = velocidad (km/h)
- R = radio de la curva (m)
- C = tasa de crecimiento de aceleración centrípeta (m/sg^2). Es un valor empírico, cuyos valores varían entre 1 y 3 en carreteras.

Figura 16

2A.204- 03 Componentes de la curva circular y espirales



Fuente: Manual NEVI-12 VOLUMEN 2A, Pg. 135

2.5.3.9. Sobreancho de calzada.

El sobreancho de calzada consiste en ensanchar temporal o permanentemente la vía en zona de curvas, especialmente cuando los radios son pequeños o la velocidad de operación es alta. Esta ampliación permite que los vehículos recorran las curvas de forma segura, considerando el tipo de vehículo predominante y las condiciones del trazado. Su diseño contribuye a aumentar la seguridad y comodidad durante la circulación (NEVI, 2013).

Tabla 18*Dimensiones de vehículos de tipo rígido en el cálculo de sobreancho*

CATEGORÍA	a (m)	b (m)	d (m)	e (m)	L (m)
Vehículo liviano	2,90	0,80	1,30	1,80	3,70
Bus liviano	6,49	0,76	3,66	2,44	7,25
Bus grande	7,00	2,70	3,30	2,60	9,70
Camión de 2 ejes	6,60	1,40	3,20	2,50	8,00
Camión de 3 ejes o doble troqué	6,55	1,25	3,20	2,50	7,80

Fuente: Manual de INVIAS, 2008, Pg. 412

Las fórmulas para determinar el sobreancho son:

$$R_c^2 = C^2 + (R_c - S)^2 \quad (42)$$

$$S = R_c + \sqrt{R_c^2 - L^2} \quad (43)$$

$$S = n \left(R_c - \sqrt{R_c^2 - L^2} \right) + \frac{V}{10\sqrt{R}} \quad (44)$$

Donde:

- R_c = radio de curva
- S = sobreancho
- n = número de carriles
- L = longitud del vehículo

Mientras que en vehículos articulados las fórmulas a utilizar son las siguientes (INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS (INVIAS), 2008):

$$S = W_c - W_T \quad (45)$$

$$W_c = n(U + C) + (n - 1)F_A + Z \quad (46)$$

$$U = u + R_c - \sqrt{R_c^2 - (L_1 - L_2)^2} \quad (47)$$

$$F_A = \sqrt{R_c^2 - A(2L_1 - A)^2} - R_c \quad (48)$$

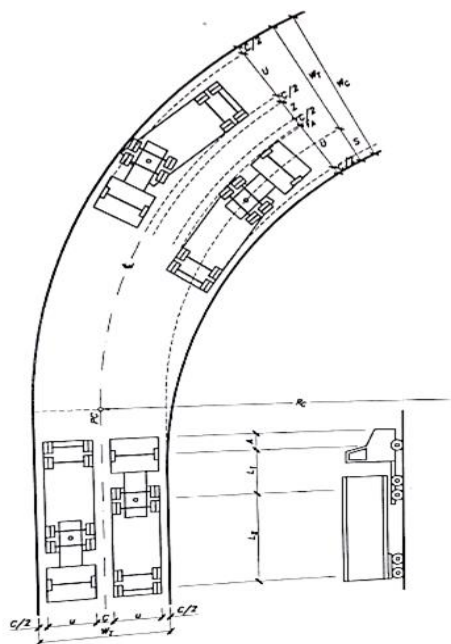
$$Z = \frac{0,1V_{CH}}{\sqrt{R_C^2}} \quad (49)$$

Donde:

- W_C = ancho de la calzada en curva.
- W_T = ancho de la calzada en tangente.
- L_1 = distancia existente entre el eje delantero y el eje trasero del vehículo tractor.
- L_2 = distancia entre el punto de articulación y el eje trasero del semirremolque.
- U = ancho ocupado por el vehículo en la curva.
- C = distancia lateral libre entre vehículos entre estos y el borde de calzada. Para anchos de calzada de 6,00, 6,60 y 7,20 metros, los valores de C son 0,60, 0,75 y 0,90 respectivamente.
- F_A = separación radial entre la trayectoria que sigue la esquina exterior del frente del vehículo y la trayectoria de la rueda delantera exterior.
- Z = ancho adicional de seguridad por maniobras en curva.
- A = vuelo o saliente delantero.
- V_{CH} = velocidad específica de la curva.

Figura 17

Sobreancho en las curvas, vehículos articulados



Fuente: Manual de INVIAS, 2008, Pg. 414

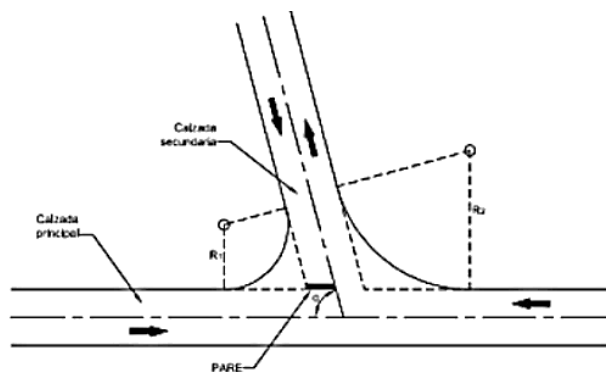
2.5.3.10. Intersecciones.

Son zonas de la vía en la que las trayectorias de los vehículos se conectan, esenciales de la infraestructura vial que gestionan el flujo vehicular, conectan distintas rutas y aseguran un transporte eficiente y seguro (Señalesdetraficoinf, 2025).

Dentro de las intersecciones puede tener semáforos, señalización vertical u horizontal, pasos peatonales, rotondas, cruces en “T”, cruces en “+”.

Figura 18

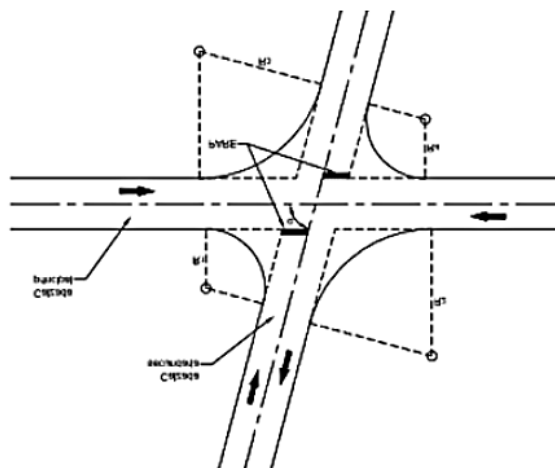
2A-204-06 Esquema base intersección en “T” o “Y”



Fuente: NEVI-12: Norma Ecuatoriana para Estudios y Diseños Viales, Pg. 150

Figura 19

2A-204-07 Esquema base intersección en Cruz “+” o Equis “x”



Fuente: NEVI-12: Norma Ecuatoriana para Estudios y Diseños Viales, Pg. 150

2.5.4. Alineamiento vertical.

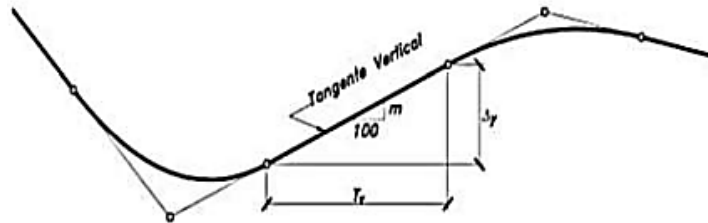
Representa la carretera vista de lado, mostrando cómo sube o baja el terreno. Incluye pendientes (subidas o bajadas) y curvas verticales, que suavizan las transiciones entre distintos niveles. Se grafica en un plano vertical, usando abscisas y cotas (longitud y altura).

2.5.4.1. Tangentes horizontales.

Son líneas rectas unidas por curvas sucesivas y se caracterizan por su longitud y su pendiente (m), se forman con la longitud medida desde el final de la curva anterior y el inicio de la curva que continua.

Figura 20

Tangente vertical



Fuente: Brian Damian Jaramillo Peñaloza, UPSE, 2023

Se determina con la fórmula que se detalla a continuación:

$$m = \frac{\Delta y}{T_v} \quad (50)$$

Donde:

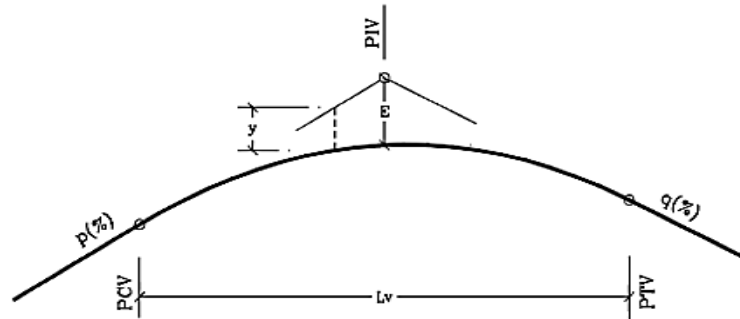
- **m** = Pendiente
- **T_v** = Longitud de tangente vertical (m).
- **Δy** = Diferencia de elevación (m)

2.5.4.2. Curvas verticales.

Las curvas verticales son segmentos que suavizan los cambios de pendiente, evitando transiciones abruptas entre tramos ascendentes y descendentes. Permiten que los conductores perciban los cambios de altura de manera gradual, aumentando la seguridad y reduciendo la fatiga visual y mecánica en los vehículos, se diseñan considerando la velocidad de operación y la pendiente adyacente (NEVI, 2013).

Figura 21

Elementos de una curva vertical



Fuente: Diseño geométrico de vías de J. Agudelo, 2002, Pg. 402

- **PCV** = Principio de curva vertical.
- **PIV** = Punto de intersección vertical
- **PTV** = Principio de tangente vertical. Final de la curva vertical
- **E** = Externa. Distancia vertical entre el PIV y la curva.
- **L_v** = Longitud de curva vertical
- **$p(\%)$** = Pendiente inicial o de llegada expresada en porcentaje.
- **$q(\%)$** = Pendiente final o de salida expresada en porcentaje.
- **y** = Corrección vertical
- **A** = Diferencia algebraica de pendientes = $q - p$

Existen diferentes tipos de curvas verticales:

2.5.4.2.1. Curvas verticales convexas.

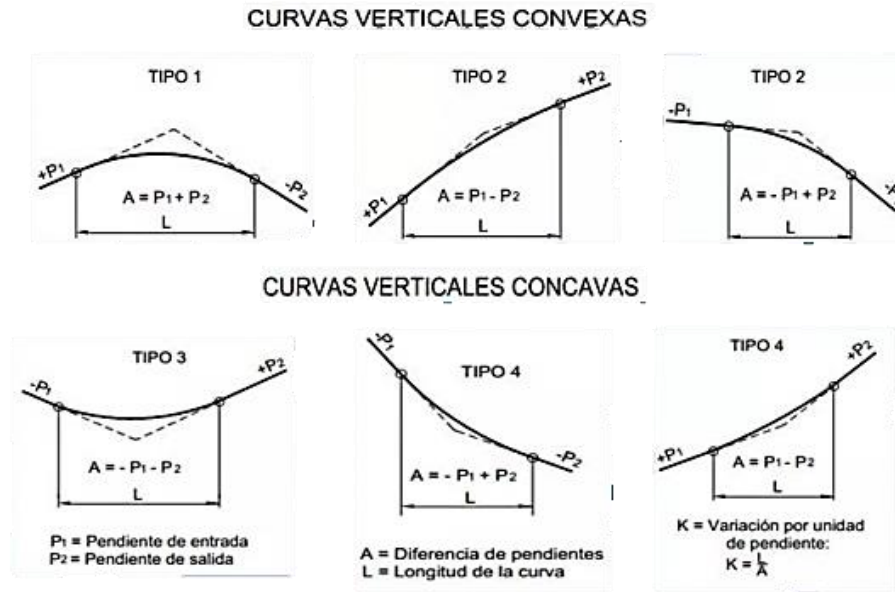
Estas curvas se caracterizan porque el trazado se sitúa por debajo del punto donde se encuentran las pendientes de entrada y la de salida, también denominadas curvas en cresta, debido a que tiende a formar un punto elevado en la parte superior del perfil vertical (Ascencio, 2020).

2.5.4.2.2. Curvas verticales cóncavas.

Estas curvas son aquellas donde la curva se ubica sobre el punto de unión entre las pendientes de entrada y la de salida, conocidas como curvas en columpio, debido a que su geometría presenta una forma similar a la de este elemento (Ascencio, 2020).

Figura 22

Curvas verticales en el diseño de carreteras



Fuente: Yonel Castillo Jara, diapositiva 3

2.5.4.2.3. Curvas simétricas.

Aquella en la que la distancia horizontal desde el PCV hasta el PIV es igual a la distancia entre el PIV y el PTV, es decir, si $L_1 = L_2$ (Ascencio, 2020).

$$Lv = K * A \quad (51)$$

$$PCV = PIV - \frac{Lv}{2} \quad (52)$$

$$PTV = PCV + Lv \quad (53)$$

$$CPCV = CPIV - \frac{Lv * p}{200} \quad (54)$$

$$CPTV = CPIV + \frac{Lv * q}{200} \quad (55)$$

$$E = \frac{Lv * (q - p)}{800} \quad (56)$$

Donde:

- L_v = Longitud de la curva vertical

- **PCV** = Inicio de curva vertical
- **PTV** = Final de la curva vertical
- **CPCV** = Cota del punto de inicio
- **CPTV** = Cota del punto final
- **E** = Externa

2.5.4.2.4. Curvas asimétricas.

La curva es asimétrica cuando los tramos que conforman la curva tienen longitudes diferentes, es decir, si $L1 \neq L2$ (Ascencio, 2020).

$$Lv = K * A \quad (57)$$

$$PCV = PIV - Lv1 \quad (58)$$

$$PTV = PCV + Lv \quad (59)$$

$$CPCV = CPIV - \frac{Lv1 * p}{200} \quad (60)$$

$$CPCV = CPIV + \frac{Lv2 * q}{200} \quad (61)$$

$$E = \frac{Lv1 * Lv2 * (q - p)}{800} \quad (62)$$

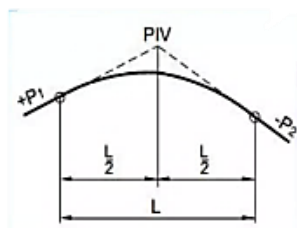
Donde:

- **Lv** = Longitud de la curva vertical
- **PCV** = Inicio de curva vertical
- **PTV** = Final de la curva vertical
- **CPCV** = Cota del punto de inicio
- **CPTV** = Cota del punto final
- **E** = Externa

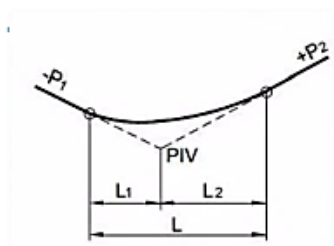
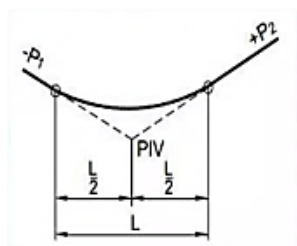
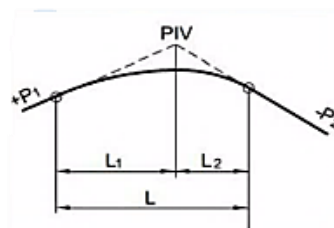
Figura 23

Curvas verticales en el diseño de carreteras

CURVAS VERTICALES SIMETRICAS



CURVAS VERTICALES ASIMETRICAS



Fuente: Yonel Castillo Jara, diapositiva 4

2.5.4.3. Pendientes.

Las pendientes son los cambios de altura a lo largo del eje de la carretera, expresados como porcentaje o relación vertical, horizontal. Su diseño busca equilibrar la economía de la construcción, seguridad vial y el confort de los usuarios, evitando pendientes excesivas que puedan dificultar la circulación de vehículos pesados o generar riesgos en condiciones climáticas adversas (NEVI, 2013). A continuación, se presentan los límites máximos de pendiente para cada tipo de terreno:

Tabla 19

2A,204- 12 Pendientes Máximas

Orografía	Terreno Plano	Terreno Ondulado	Terreno Montañoso	Terreno Escarpado
Velocidad (Km/h)				
20	8	9	10	12
30	8	9	10	12
40	8	9	10	10
50	8	8	8	8
60	8	8	8	8
70	7	7	7	7
80	7	7	7	7
90	6	6	6	6
100	6	5	5	5
110	5	5	5	5

Fuente: NEVI-12: Norma Ecuatoriana para Estudios y Diseños Viales, Pg. 145

2.5.5. Diseño o sección transversal.

Es la vista de la carretera cortada en un punto específico, como si miraras un perfil del ancho de la vía. Muestra las distancias horizontales y verticales desde el eje central hacia los lados (calzada, bermas, cunetas, taludes). Sirve para definir la forma y el relieve de cada sección de la carretera.

2.5.5.1. Subrasante.

La plataforma de la subrasante o sub-corona es la superficie constituida por los planos horizontales que delimitan el movimiento de tierras y sobre la cual se apoyan las distintas capas del pavimento. El ancho de la plataforma de subrasante es la suma del ancho de la plataforma, más la proyección horizontal de los taludes de caída del pavimento y del ancho de la cuneta (Consejo Sectorial de Ministros de Transporte de Centroamérica, 2011).

2.5.5.2. Plataforma o corona.

Es la superficie visible de una vía, comprendida entre las bordes del relleno y/o las interiores de las cunetas. El ancho de la corona comprende la rasante, la pendiente transversal, el ancho de la calzada, las bermas, cunetas, taludes y demás elementos que formen parte de la sección transversal (Consejo Sectorial de Ministros de Transporte de Centroamérica, 2011).

2.5.5.3. Rasante.

Es la elevación del pavimento en el eje o línea central en carreteras bidireccionales, la proyección sobre un plano vertical permite definir el desarrollo del perfil longitudinal de la plataforma o corona, el cual estará formado por pendientes ascendentes, descendentes y elementos curvos verticales (Consejo Sectorial de Ministros de Transporte de Centroamérica, 2011).

2.5.5.4. Calzada.

También denominada superficie de rodamiento es la “zona de la vía destinada a la circulación de vehículos” de una forma cómoda y segura. Esta calzada por lo general tiene que estar afirmada o pavimentada, dependiendo del tipo de carretera, puede estar dividida en una o más franjas longitudinales denominados carriles (Lara, 2016).

2.5.5.5. **Bermas.**

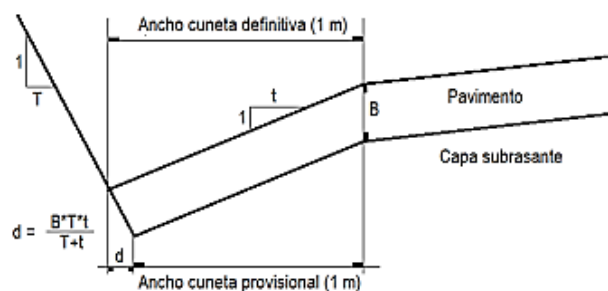
Zona lateral, pavimentada o no, adyacente a la calzada de un camino (Glosario Vial).

2.5.5.6. **Cuneta.**

Ángulo formado por la calzada y el plano vertical producido por la diferencia de nivel entre la calzada y la acera (Glosario Vial).

Figura 24

Modelo de cuneta



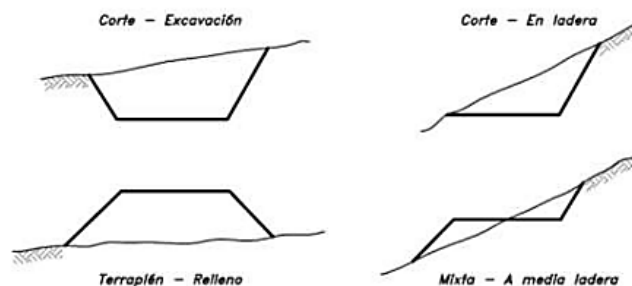
Fuente: Manual De Proyecto Geométrico De Carreteras, 2016, Pg. 57

2.5.5.7. **Talud.**

Es una superficie inclinada, ya sea natural o creada artificialmente por la intervención humana, que se construye para estabilizar el terreno y permitir la construcción de una vía plana sobre pendientes (EGC consulting, 2024).

Figura 25

Secciones Transversales Típicas



Fuente: Brian Damian Jaramillo Peñaloza, 2023

Existen diferentes tipos de taludes:

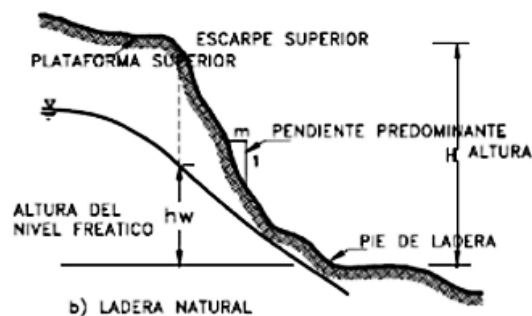
- **Naturales:** Son formados por la naturaleza a través de la historia geológica, conocidos generalmente como laderas. No requieren de la intervención humana

para formarse, se pueden establecer como consecuencia de procesos erosivos (Geotechnical Consulting, 2017).

- **Artificiales:** Para la formación de este tipo de taludes se requiere de la intervención del hombre, su formación dependerá del desarrollo de obras de ingeniería, son muy comunes en obras de infraestructuras o de presas. Se diferencian en dos grupos, los terraplenes y los cortes (Geotechnical Consulting, 2017).

Figura 26

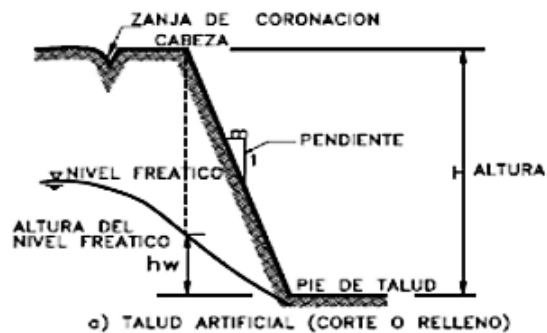
Talud Natural



Fuente: Definiciones y tipos de Talud Natural, Geotechnical Consulting, 2017.

Figura 27

Talud Artificial



Fuente: Talud y Talud Natural definiciones y tipos, Geotechnical Consulting, 2017.

2.5.5.7.1. Taludes de corte.

La superficie inclinada que queda al realizar una excavación en un terreno para obras de ingeniería como carreteras, túneles, cimentaciones, etc. Está formado por el material que se “corta” para dejar la sección deseada, y su estabilidad es clave para la seguridad de la obra y de las personas que la utilizan (Madrigal, 2015).

Figura 28

Talud de corte



Fuente: Talud; Clasificación, diseño y recomendaciones, Ingeniería Real, 2023

2.5.5.7.2. Taludes de relleno.

Un talud de relleno es la superficie inclinada que se forma al depositar y compactar material para elevar el terreno natural hasta alcanzar la rasante o el nivel deseado de una obra, como una carretera, terraplén, muro de contención o plataforma de cimentación (Manrique & Tigero, 2019).

Tabla 20

Valores de diseño para taludes según el tipo de carretera

Clase de carreteras		Talud	
		Corte	Relleno
R-I o R-II → Mas de 8000	TPDA	3:1	4:1
I → De 3000 a 8000	TPDA	3:1	4:1
II → De 1000 a 3000	TPDA	2:1	3:1
III → De 300 a 1000	TPDA	2:1	2:1
IV → De 100 a 300	TPDA	1:8-1:1	1:5-2:1
V → Menos de 100	TPDA	1:8-1:1	1:5-2:1

Fuente: Norma de Diseño Geométrico de Carreteras MIT, 2025.

2.5.5.7.3. Transporte de material excavado.

Dependiendo el tipo de vía, en el diseño transversal se encontrarán zonas de corte y de relleno, aunque lo ideal es tener el mismo volumen de corte y relleno cuando se hace el trazado de la vía, pueden existir más zonas de corte o de relleno, esto, supondrá la necesidad de transportar material desde canteras hasta el sitio de implantación de la vía (Peñaloza, 2023).

2.5.5.7.4. Diagrama de masa.

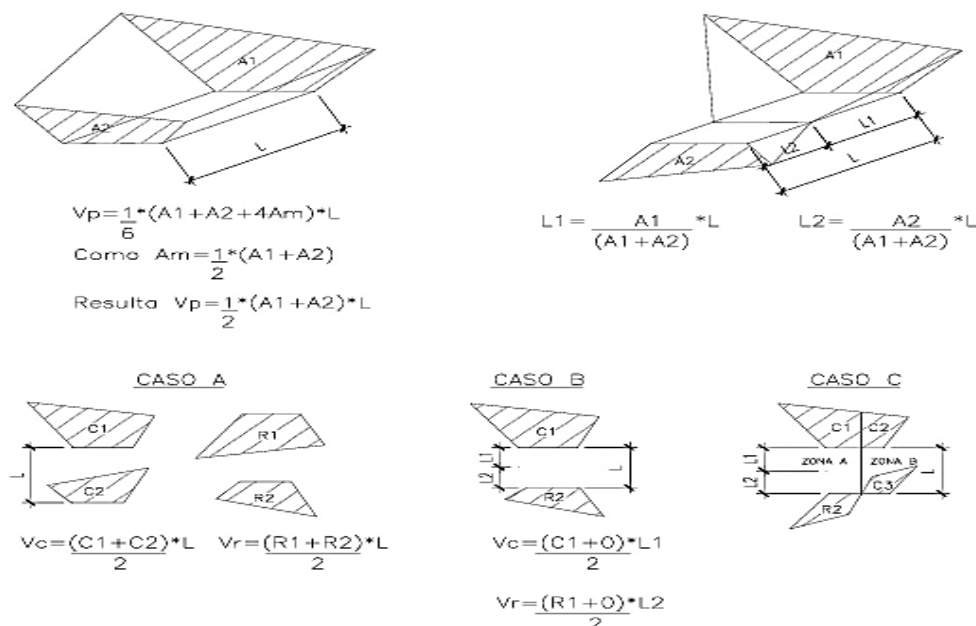
La curva de masa permite visualizar de forma ordenada los volúmenes de corte y relleno que se generan entre distintos puntos del trazado vial, así como las distancias aproximadas requeridas para el transporte del material. A partir de esta representación es posible estimar los volúmenes de excavación, compensación, préstamo y desperdicio, además de definir el sentido más conveniente para movilizar las masas de tierra durante la construcción (Duchicela & Lopez, 2023).

Esta herramienta resulta útil para organizar las actividades de movimiento de tierras con mayor criterio técnico, ya que permite aprovechar mejor la maquinaria, los equipos y los recursos disponibles. De esta manera, se reducen traslados innecesarios de material y se optimizan los costos asociados a la ejecución de la obra. Por ello, se considera uno de los métodos más empleados en proyectos viales, especialmente en aquellos donde el movimiento de tierras representa una parte importante del proceso constructivo.

Es el método más usado y está especialmente indicado en obras de desarrollo lineal como caminos, canales, etc. Este método se basa en la fórmula de Simpson para el cálculo del volumen del prisma (Guevara Martínez, 2022).

Figura 29

Volumen del prisma



Fuente: Cálculo para el movimiento de tierras, Rafael M.G. Esteve Pardal y Rafael Esteve González, 2008

El prisma es un cuerpo comprendido entre dos bases planas paralelas su volumen es:

$$V_p = \frac{1}{2}(A_1 + A_2) * L \quad (63)$$

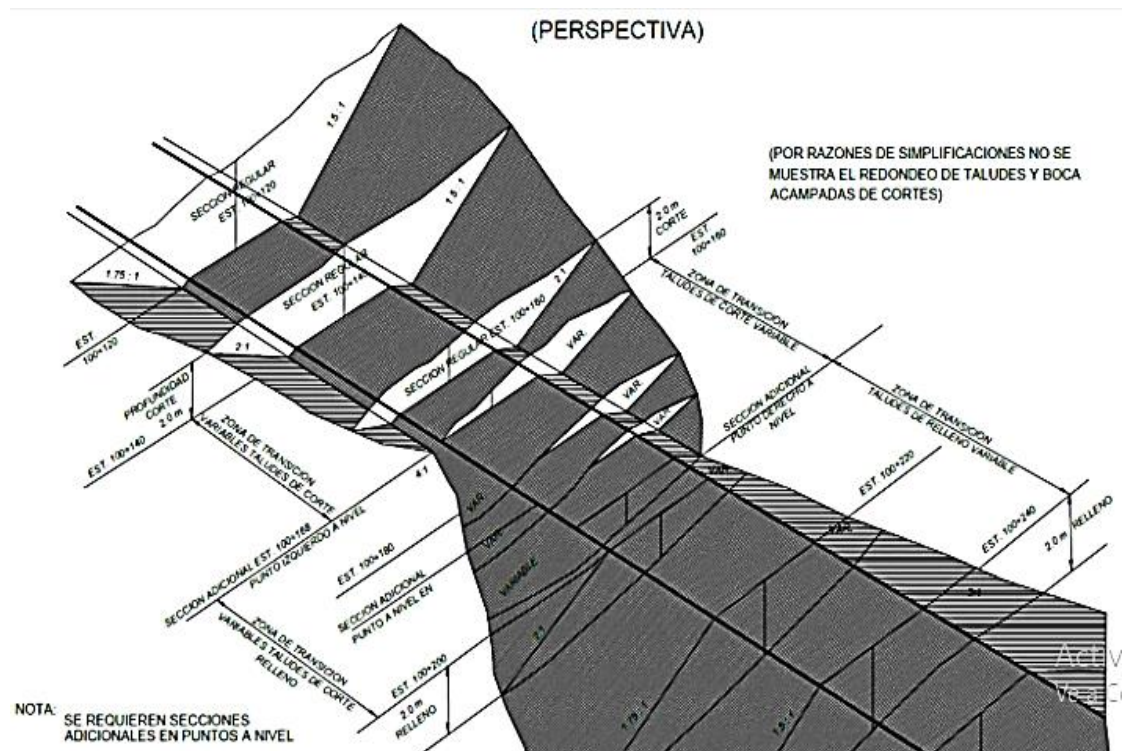
Donde:

- V_p = volumen del prisma
- A_1 = área uno
- A_2 = área dos
- L = distancia

Estas superficies planas y paralelas corresponden a los perfiles transversales, que al ser previamente elaborados permiten determinar el cálculo de los prismas sucesivos en los que se subdivide la obra.

Figura 30

Alabeo de taludes en transiciones de corte y relleno



Fuente: Taludes, Yonel Castillo Jara, diapositiva 43

Los perfiles transversales pueden desarrollarse en zonas de corte, relleno o media ladera, dando lugar a diferentes configuraciones según la relación entre la plataforma vial y el terreno natural:

- En el caso de perfiles homogéneos, ya sea de corte - corte o terraplén - terraplén, el volumen comprendido entre los ellos se calcula mediante la semisuma de sus áreas de ambos perfiles por la distancia que los separa (Guevara Martínez, 2022).
- En situaciones donde los perfiles son contrapuestos, es decir, corte - terraplén o terraplén - corte, se introduce un perfil ficticio denominado perfil de paso o de área nula, que se sitúa a una distancia determinada de los perfiles anterior y posterior en proporción a las áreas correspondientes de cada uno, permitiendo representar una perspectiva de una condición ideal en la que se consideran tanto el perfil de terraplén, de corte y el perfil de paso o perfil de valor cero (Guevara Martínez, 2022).
- En los casos de perfiles a media ladera, estos se dividen en diferentes zonas, lo que permite simplificar el proceso de metrado y asimilarlo a alguno de los casos anteriores (Guevara Martínez, 2022).

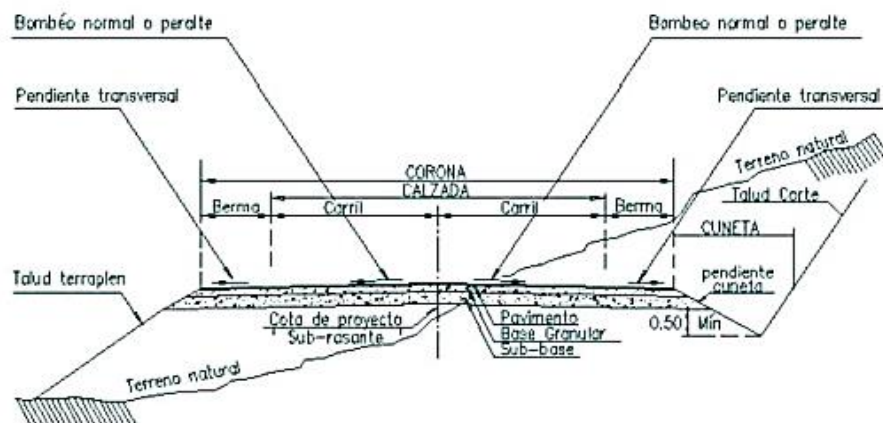
Según menciona Bravo (2022), es necesario conocer los conceptos fundamentales que menciona la Secretaría de Comunicaciones Y Transportes (SCT), para poder comprender el tema en la ejecución de la infraestructura vial.

2.5.6. Estructura de una carretera.

Una sección típica de una carretera con todos sus componentes está representada de la siguiente forma, en donde se parecía los elementos geométricos de los cuales se compone:

Figura 31

Estructura de una carretera



Fuente: Maestría en Gerencia de Proyectos de la Construcción, Méndez, 2022.

2.5.7. Señalización y seguridad vial.

La señalización y seguridad vial constituyen un conjunto de dispositivos, medidas y criterios de diseño orientados a garantizar un tránsito ordenado, seguro y eficiente en las vías. La señalización vial está conformada por dispositivos verticales, como señales preventivas, reglamentarias e informativas; elementos horizontales, como marcas y líneas sobre la calzada; y componentes complementarios, entre ellos barreras de protección y delineadores. Todos estos elementos tienen la finalidad de orientar al usuario y entregar información clara, visible y oportuna durante su recorrido por la carretera.

Por su parte, la seguridad vial depende de una correcta integración entre el diseño geométrico, la ubicación adecuada de señales y dispositivos de control, y la disponibilidad de condiciones suficientes de visibilidad. Estos aspectos permiten reducir riesgos durante la circulación y favorecen un tránsito más ordenado y seguro para conductores, motociclistas y peatones.

Su objetivo principal es reducir los riesgos de accidentes y proteger la integridad de quienes utilizan la vía –conductores, pasajeros y peatones–, contribuyendo a una operación más segura y mejorando la eficiencia de la infraestructura vial.

En conjunto, estos aspectos son parte esencial del diseño vial, ya que permiten que la carretera funcione correctamente y, sobre todo, que proteja la vida de las personas que la utilizan.

2.5.7.1. *Señalización vial.*

De acuerdo con el REGLAMENTO TECNICO ECUATORIANO RTE INEN (2011), la señalización vial se organiza en tres grupos principales:

- a) **Señalización vertical:** corresponde a las señales instaladas en postes, pórticos u otros soportes ubicados a los costados de la vía. Estas se clasifican en:
 - 1. **Preventivas:** alertan al conductor sobre posibles riesgos o condiciones particulares del camino, como curvas, pendientes, cruces o zonas de peligro.
 - 2. **Reglamentarias:** comunican las obligaciones y restricciones que rigen la circulación, entre ellas los límites de velocidad, la prohibición de adelantar y el sentido permitido de tránsito.

- 3. Informativas:** ofrecen al conductor datos de orientación sobre destinos, distancias, servicios disponibles y lugares de interés a lo largo de la ruta.
- b) Señalización horizontal:** comprende las líneas, símbolos y marcas aplicadas sobre la calzada y sus bordes. Estos elementos ordenan la circulación, delimitan carriles, regulan las maniobras de adelantamiento, señalan puntos de detención y complementan los mensajes de las señales verticales.
- c) Dispositivos complementarios de seguridad:** son elementos como barreras, defensas, tachones, delineadores y reductores de velocidad, que se colocan en la vía para mejorar la visibilidad y reducir el riesgo de accidentes.

2.5.7.2. Seguridad vial.

La seguridad vial abarca tanto la planificación y diseño geométrico como la implementación de señalización adecuada. Sus criterios principales son: (National Standards for Traffic Control Devices, 2023)

- Proporcionar visibilidad suficiente en rectas, curvas y pendientes.
- Evitar diseños que induzcan maniobras peligrosas.
- Garantizar el control de accesos y cruces seguros.
- Incorporar elementos de protección pasiva (barreras, cunetas seguras).
- Favorecer la educación y orientación del conductor mediante señales claras y estandarizadas.

2.5.7.3. Señalización del derecho de Vía:

- Identificación del Derecho de Vía.
- Marcado del Derecho de Vía requerido para el proyecto

En conjunto, la señalización y la seguridad vial son pilares fundamentales para la funcionalidad de un camino, ya que no solo facilitan la movilidad eficiente, sino que también cumplen la misión de proteger la vida humana y los bienes materiales.

2.5.7.4. Normas de señalización y objetivos de desarrollo sostenible (ODS):

Las normas utilizadas como fuente para este trabajo de investigación son:

- Normativa NEVI-12
- Normativa AASHTO 93

- Reglamento Ley Sistema Infraestructura Vial Del Transporte Terrestre
- Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN
- Consejo Nacional De Planificación Y Los Objetivos Del Buen Vivir
- Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo (SENPLADES)

2.6. DISEÑO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO

2.6.1. Pavimento.

Según la AASHTO (1993) el pavimento es una estructura construida sobre el terreno de fundación cuya función principal es proporcionar una superficie adecuada para la circulación segura y eficiente de los vehículos.

Su principal función es soportar las cargas de los vehículos y ofrecer una superficie segura y cómoda para conducir. Para lograrlo, su diseño debe considerar aspectos clave como las propiedades del suelo, el tipo y volumen de tráfico, y las condiciones climáticas, ya que todos estos factores influyen en su resistencia y durabilidad a largo plazo.

2.6.1.1. Tipos de pavimento.

La selección del tipo de pavimento debe realizarse considerando factores como las características del tránsito, las condiciones climáticas, la disponibilidad de recursos y las propiedades geotécnicas del suelo.

2.6.1.1.1. Pavimento flexible.

Según menciona Vega & Refrobán (2024), el pavimento flexible está constituido por mezclas asfálticas y capas granulares que transmiten los esfuerzos en forma gradual. Se caracterizan por su flexibilidad ante cargas dinámicas de manera eficiente, mejorando la durabilidad y la seguridad en las vías.

Tabla 21

Influencia de la deflexión superficial en pavimentos flexibles con subrasante de baja resistencia

Capa	Material	Espesor (m)	Módulo de Elasticidad (MPa)	Coef. De Poisson (μ)
Revestimiento	Concreto Asfáltico	0,13 a 0,04	3500 a 1100	0,3
Base	Granular bien graduada (BGS)	0,15 a 0,10	300 a 100	0,35

Subbase	Granular (CBR $\geq$ 20%)	0,20 a 0,10	200 a 100	0,4
Refuerzo	Suelo seleccionado (CBR $\geq$ 10%)	0,2	100	0,4
Subrasante	Subrasante existente (CBR $\geq$ 5%)	∞	50 a 20	0,45

Fuente: Gianina S.R. Massenli y Cassio Paiva, Revista chilena de ingeniería, 2019

2.6.1.1.2. Pavimento rígido.

Es el conformado por una losa de concreto sobre una base o directamente sobre la subrasante. Transmite directamente los esfuerzos al suelo en una forma minimizada, es auto resistente, y la cantidad de concreto debe ser controlada (Departamento Nacional de Planeación Subdirección Territorial y de Inversiones Públicas, 2017).

Este tipo de pavimentos es construido principalmente con losas de hormigón hidráulico, cuyo comportamiento se asemeja a una placa apoyada sobre una base elástica. Tienen mayor vida útil y menor susceptibilidad a deformaciones plásticas, pero requieren mayor inversión inicial.

2.6.1.1.3. Pavimentos semirrígidos o compuestos.

Combinan capas asfálticas y de concreto, aprovechando las ventajas de ambos sistemas. Este tipo de pavimento se construye instalando placas de cemento, que proporcionan una base sólida sobre las cuales se aplica una capa asfáltica, aportando flexibilidad y capacidad de adaptación a las deformaciones del terreno (Vega & Refrobán, 2024).

2.6.1.1.4. Pavimentos articulados.

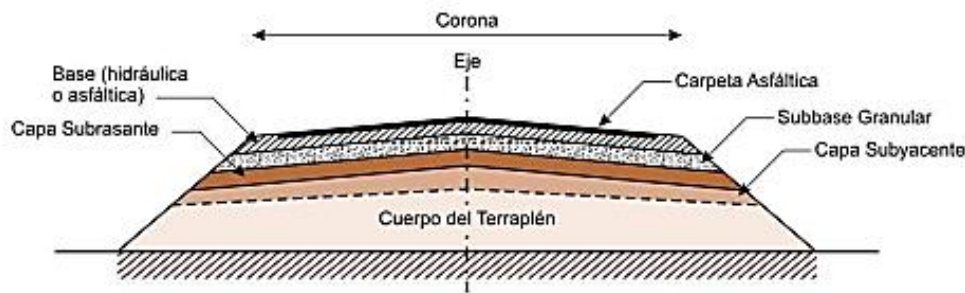
Se caracteriza por una capa compuesta de adoquines que se asientan sobre una capa de arena, actuando como un amortiguador y distribuye las cargas sobre la capa base granular o sobre la subrasante, dependiendo de la calidad del suelo e intensidad del tráfico esperado (Vega & Refrobán, 2024).

2.6.1.2. Tipos de capas de pavimento.

Dentro del pavimento flexible encorramos estas capas de materiales de las cuales se compone la infraestructura vial:

Figura 32

Estructuración de Pavimento Flexible



Fuente: *Manual De Proyecto Geométrico De Carreteras Dirección General De Servicios Técnicos, 2016*

2.6.1.2.1. Capa subrasante.

Es el terreno de cimentación del pavimento. Puede ser el suelo natural, debidamente recortado y compactado o puede ser, debido a los requerimientos del diseño geométrico, cuando el suelo natural es deficiente, y el material seleccionado de relleno es de buena calidad (Salazar, 2015).

Dentro del (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2008) menciona que hay diferentes tipos de subrasante, y estas dependen según su clasificación al CBR de la misma:

Tabla 22

Categorías De Subrasante

S0:	Subrasante muy pobre	CBR < 3%
S1:	Subrasante pobre	CBR = 3% - 5%
S2:	Subrasante regular	CBR = 6% - 10%
S3:	Subrasante buena	CBR = 11% - 19%
S4:	Subrasante muy buena	CBR > 20%

Fuente: *Manual Para El Diseño De Carreteras No Pavimentadas De Bajo Volumen De Tránsito, 2008, Pg. 129*

2.6.1.2.2. Capa subbase.

Es una capa de materiales pétreos, de buena graduación, construida sobre la subrasante. Esta capa, al igual que la anterior, deberá cumplir con los requisitos de compactación y de calidad a que se hace referencia para la capa subrasante. Esta capa es la que subyace a la capa base, cuando ésta es necesaria, como es el caso de los pavimentos flexibles. Normalmente, la subbase se construye para lograr espesores menores de la capa base,

en el caso de pavimentos flexibles. En el caso de pavimentos de concreto, en muchos casos resulta conveniente colocar una capa subbase cuando las especificaciones para pavimento son más exigentes (Salazar, 2015).

Tabla 23

Granulometría de materiales para Subbase

Tamiz	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada		
	CLASE I	CLASE II	CLASE III
3" (76,2 mm.)			100
2" (50,4 mm.)		100	
1 1/2" (38,1mm.)	100	70 – 100	
Nº4 (4,75 mm.)	30 - 70	30 – 70	30 – 70
Nº40 (0,425 mm.)	oct-35	15 – 40	
Nº200 (0,075 mm.)	0 - 15	0 – 20	0 – 20

Fuente: MOP, 2002, Tabla 403-1.1

2.6.1.2.3. Capa base.

Constituye la capa intermedia entre la capa de rodamiento y la subbase. Generalmente se la usa en los pavimentos flexibles. Se compone de materiales pétreos con buena distribución granulométrica.

Esta capa permite reducir los espesores de carpeta, dada su función estructural importante al reducir los esfuerzos cortantes que se transmiten hacia las capas inferiores. Además, cumple una función drenante del agua atrapada dentro del cuerpo del pavimento (Salazar, 2015).

Según menciona Peñaloza (2023) hay diferentes tipos de granulometría y clasificación para determinar si el tipo de material por emplearse cumple para ser considerado como una base.

De acuerdo con las Especificaciones Generales Para la Construcción de Caminos y Puentes (MOP, 2002) las bases de agregados podrán ser de las clases indicadas a continuación, de acuerdo con el tipo de materiales por emplearse. Dentro de su estudio presenta las siguientes tablas:

Tabla 24*Granulometría de materiales para Base clase 1*

Tamiz	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada	
	Tipo A	Tipos B
2" (50,4 mm.)	100	--
1 1/2" (38,1mm.)	70 – 100	100
3/4" (19,0 mm.)	55 – 85	70 – 100
3/8" (9,5 mm.)	50 – 80	60 – 90
Nº4 (4,75 mm.)	35 – 60	45 – 75
Nº10 (2,00 mm.)	25 – 50	30 – 60
Nº40 (0,0425 mm.)	10 – 25	10 – 25
Nº200 (0,075 mm.)	02 – 12	2 – 12

*Fuente: MOP, 2002, Tabla 404-1.1***Tabla 25***Granulometría de materiales para Base clase 2*

Tamiz	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada
1" (25,4mm.)	100
3/4" (19,0 mm.)	70 – 100
3/8" (9,5 mm.)	50 – 80
Nº4 (4,75 mm.)	35 – 65
Nº10 (2,00 mm.)	25 – 50
Nº40 (0,425 mm.)	15 – 30
Nº200 (0,075 mm.)	03 – 15

*Fuente: MOP, 2002, Tabla 404-1.***Tabla 26***Granulometría de materiales para Base clase 3*

Tamiz	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada
3/4" (19,0 mm.)	100
Nº4 (4,75 mm.)	45 – 80

Nº10 (2,00 mm.)	30 – 60
Nº40 (0,425 mm.)	20 – 35
Nº200 (0,075 mm.)	03 – 15

Fuente: MOP, 2002, Tabla 404-1.3.

Tabla 27

Granulometría de materiales para Base clase 4

Tamiz	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada
2" (50,8 mm.)	100
1" (25,4 mm.)	60 – 90
Nº40 (0,425 mm.)	20 – 50
Nº200 (0,075 mm.)	0 – 15

Fuente: MOP, 2002, Tabla 404-1.4.

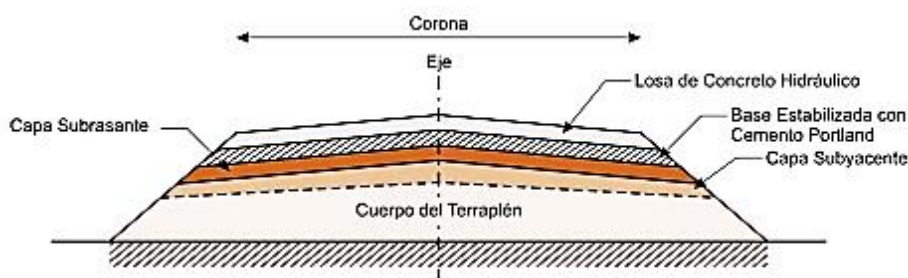
2.6.1.2.4. Carpeta asfáltica.

Superficie de rodamiento constituida por materiales endurecidos para pasar minimizados los esfuerzos hacia las terracerías. Pueden ser materiales granulares con o sin liga, o más comúnmente de concreto asfáltico o hidráulico, en sus diferentes variantes. Constituye el área propiamente dicha por donde circulan los vehículos y peatones (Salazar, 2015).

Dentro del pavimento rígido encontramos estas capas de materiales de las cuales se compone la infraestructura vial:

Figura 33

Estructuración de Pavimento Rígido



Fuente: Manual De Proyecto Geométrico De Carreteras Dirección General De Servicios Técnicos, 2016

2.6.1.2.5. Capa de estabilizante.

La estabilización es un proceso de mejoramiento del comportamiento del suelo, con la reducción de influencia al agua, asimismo acrecentar su estabilidad y resistencia a largo plazo. Las propiedades físicas y mecánicas del suelo se mejoran mediante la adición de productos químicos para aumentar su resistencia mecánica y durabilidad. Se debe considerar estabilizar subrasantes de suelos con $\text{CBR} \geq 6\%$, zonas húmedas o blandas ya sea con estabilización mecánica, remplazo de cimentación, estabilización con aditivos o con geo sintéticos, para lo cual, se deberá identificar el tipo de suelo y escoger el tipo de estabilización (Keilich, 2021).

2.6.1.2.6. Capa de losa de concreto.

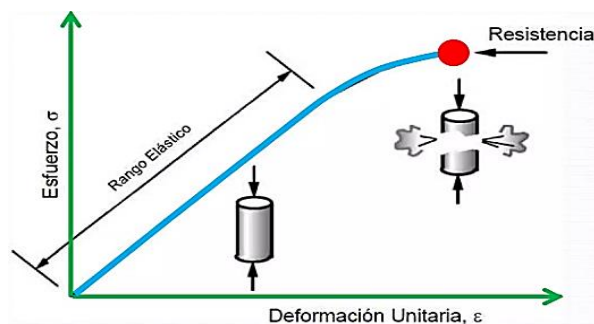
La capa superior del pavimento rígido es conformada por una mezcla de cemento, agua y áridos, está diseñada de forma que pueda soportar la carga del tráfico y resistir el deslizamiento de los vehículos y el desgaste resultante (CONSTRUNEIC, 2021).

2.6.2. Esfuerzos y deformaciones producidos por cargas aplicadas.

La teoría de la elasticidad se emplea frecuentemente para el cálculo de esfuerzos y deformaciones en masas de suelo. La teoría supone que, mientras el material no supere su límite elástico, la deformación aumenta de forma proporcional al esfuerzo que se le aplica.

Figura 34

Esfuerzo vs Deformación de un material en compresión



Fuente: Esfuerzos Y Deformaciones En Pavimentos Flexibles, Augusto García, 2012

A partir de este análisis se puede estimar la distribución de esfuerzos a diferentes profundidades del suelo, información necesaria para sustentar decisiones del diseño vial (Correa, 2012).

Una vez identificado el suelo del proyecto, deben seleccionarse criterios que aseguren la estabilidad de la vía y su desempeño durante el período de diseño. Para interpretar esa respuesta es necesario distinguir dos conceptos básicos:

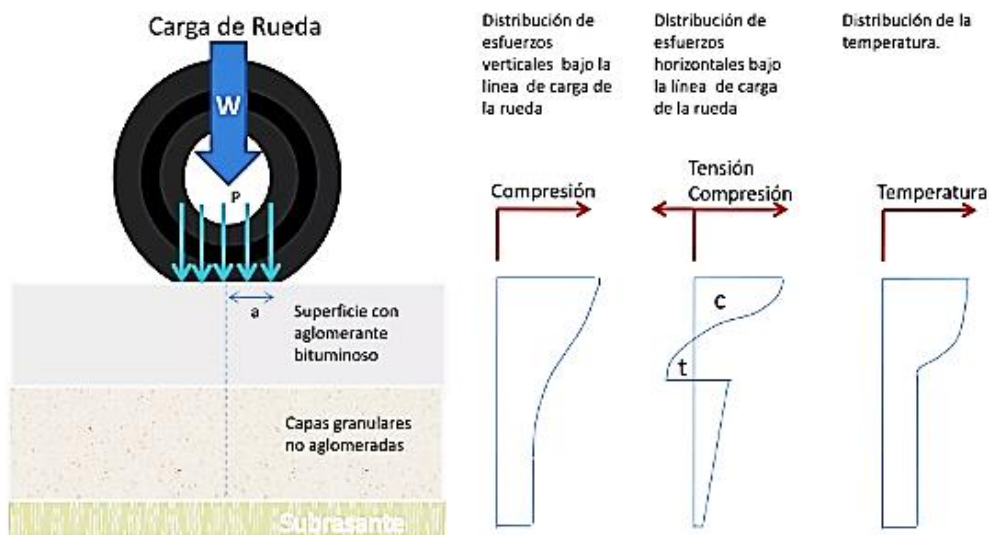
- **Esfuerzo:** fuerza interna que aparece en el suelo por la acción de cargas externas, como el peso de los vehículos y de las capas del pavimento.
- **Deformación:** cambio de forma o de volumen que presenta el suelo al recibir dichas cargas; expresa la respuesta del material frente a los esfuerzos.

Conocer cómo se distribuyen los esfuerzos y cómo se deforma el suelo es vital para definir el tipo de pavimento, el espesor de las capas, y las soluciones técnicas que aseguren una vía segura, resistente y funcional a lo largo del tiempo.

Dentro del estudio de Duque & Escobar (2002) menciona para que las soluciones obtenidas sean útiles, se asume que el suelo es CHILE: Continuo, Homogéneo, Isótropo y Linealmente Elástico. Estas condiciones permiten simplificar el análisis estructural y obtener resultados aproximados que sirven como base para el diseño de obras civiles.

Figura 35

Distribuciones de presiones de carga de rueda sobre la estructura de pavimento



Fuente: Modelo de Boussinesq, 1943

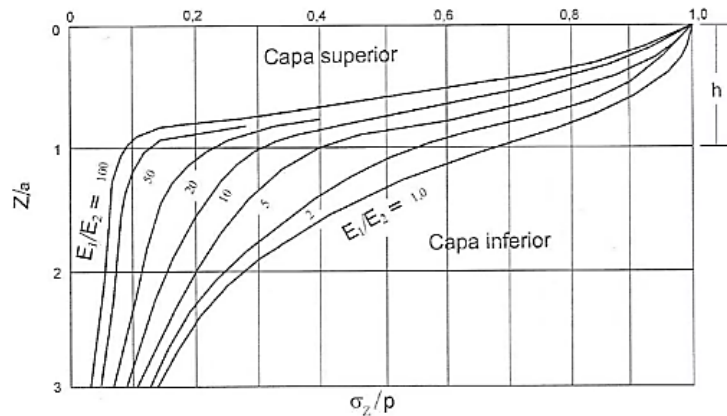
Para el diseño de esta estructura de pavimento se tendrá en cuenta los siguientes conceptos y ábacos para determinar los esfuerzos y deformaciones.

2.6.2.1. Casos De esfuerzos verticales.

Dentro del cálculo de esfuerzos, deformaciones y desplazamientos en función de z/a y r/a , Burmister plantea los siguientes ábacos para un sistema de 2 capas:

Figura 36

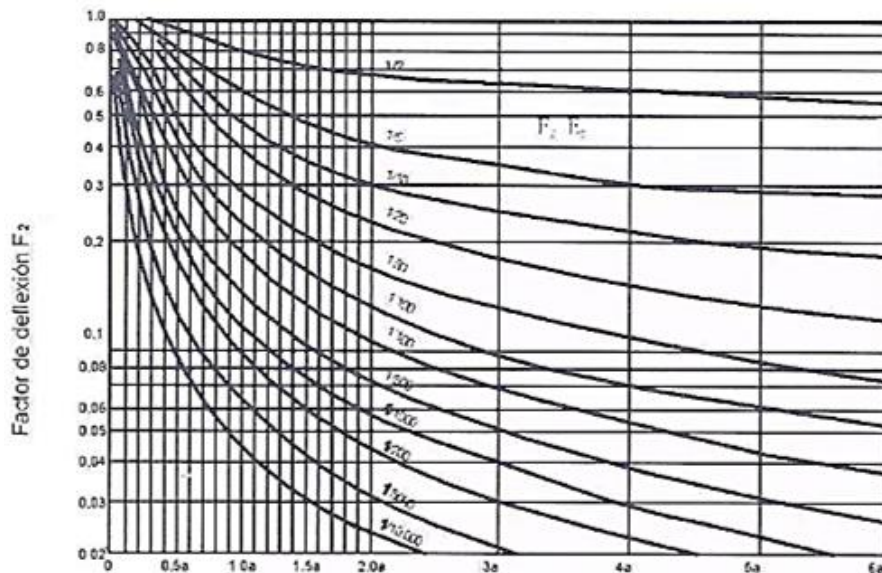
Distribución de Esfuerzos en un sistema bicapa (Burmister, 1943)



Fuente: Instituto Colombiano de Producciones de Cemento, Medellín, 1989

Figura 37

Deflexiones Verticales en la superficie para sistema de 2 capas (Burmister, 1943)

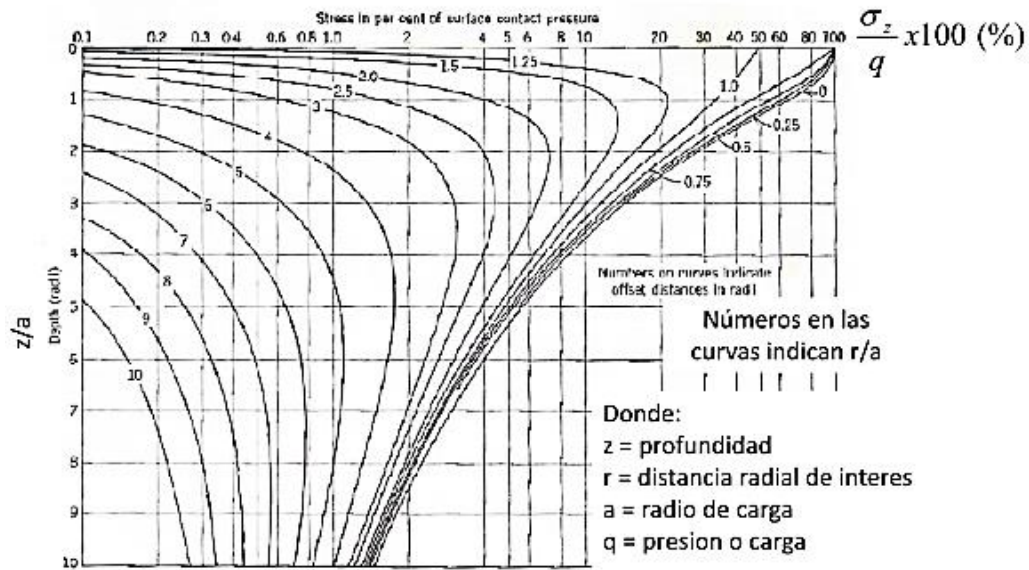


Fuente: Instituto Colombiano de Producciones de Cemento, Medellín, 1989

Mientras que en las expresiones de Foster & Ahlvin (1954) para el incremento del esfuerzo los denomina como: “a” radio de área cargada a una profundidad “z” y distancia horizontal “r”, del punto de aplicación de carga “q”.

Figura 38

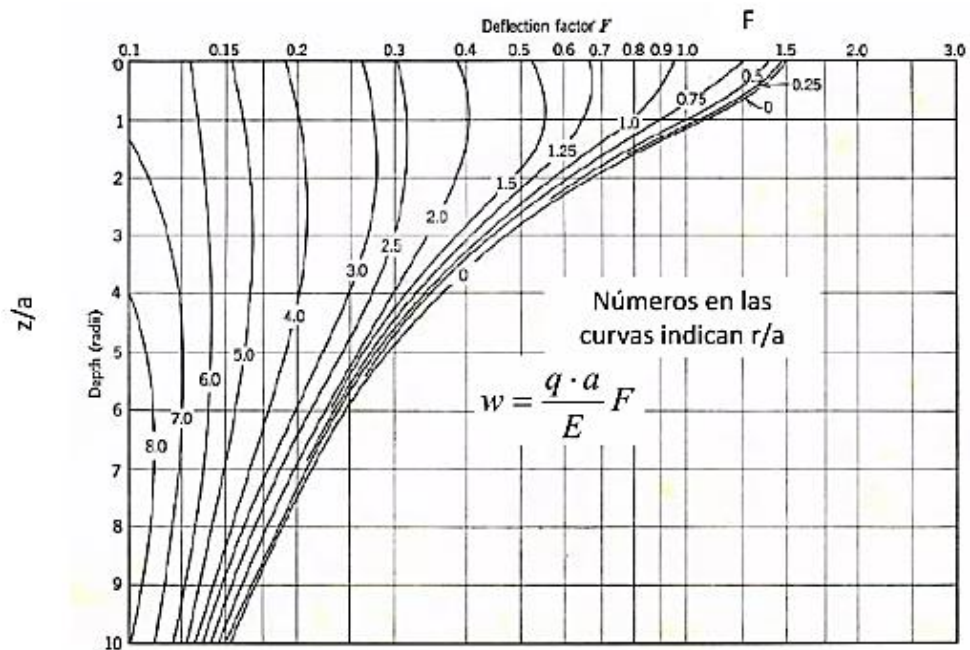
Esfuerzos Verticales debido a cargas circulares



Fuente: Foster & Ahlvin, 1954

Figura 39

Deflexión Vertical w debido a cargas circulares



Fuente: Foster & Ahlvin, 1954

2.6.2.2. Fallas en pavimentos.

Dentro de la investigación de Marchan (2005) sobre el Método de Rehabilitación de Pavimentos, explica que las fallas en pavimentos son deterioros que afectan su capacidad para brindar un tránsito seguro, cómodo y eficiente. Por lo que considera las fallas que se identifican según el tipo de deterioro. A continuación, se describen los principales tipos de fallas que suelen presentarse en pavimentos, basadas en observaciones técnicas y literatura especializada del área vial.

2.6.2.2.1. Pavimentos flexibles.

Tabla 28

Tipo de fallas de Pavimento Flexible

Tipo	Descripción
Grietas longitudinales/transversales	Fatiga o retracción térmica
Piel de cocodrilo	Fatiga estructural severa
Abultamientos y hundimientos	Problemas de subrasante o drenaje
Baches	Desintegración localizada de capas
Rieles u ondas	Deformación plástica por tráfico
Desprendimiento	Pérdida de agregados o mal ligante

Fuente: Métodos De Rehabilitación De Pavimentos, Rufino Marchan, 2005

2.6.2.2.2. Pavimentos rígidos.

Tabla 29

Tipo de fallas de Pavimento Rígido

Tipo	Causa
Rotura de losa	Tráfico o soporte insuficiente
Bombeo (pumping)	Expulsión de agua y finos
Fallas en juntas	Sellado insuficiente y filtración
Exfoliación/escalamiento	Congelación/expansiones térmicas
Desnivel entre losas	Fallo de soporte y erosión

Fuente: Métodos De Rehabilitación De Pavimentos, Rufino Marchan, 2005.

2.6.3. Determinación de ESAL'S de diseño.

El ESAL's (Cargas Equivalentes de Eje Simple) es un parámetro clave en el diseño de pavimentos que permite cuantificar el impacto del tráfico vehicular sobre la estructura. Consiste en convertir las diversas cargas de distintos vehículos en un valor estándar equivalente a una carga de eje simple de referencia (usualmente 18,000 libras o 8,2 toneladas).

Esta estandarización facilita calcular el desgaste que sufrirá el pavimento durante su vida útil. Este proceso comprende la obtención de información del tránsito, la clasificación de los vehículos según su tipo y carga, y la aplicación de factores de equivalencia correspondientes. Con estos datos, es posible dimensionar de forma adecuada las capas que conforman el pavimento y prever acciones de mantenimiento, garantizando que la estructura conserve su funcionalidad y resistencia frente al volumen de tráfico proyectado. Se calcula con la siguiente formula:

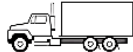
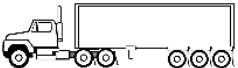
$$ESALS'S = T_{asignado} * F_{camión} * F_{crecimiento} * 365 \quad (64)$$

2.6.3.1. Vehículos y ejes de diseño

Los vehículos transmiten al pavimento las cargas a través de las llantas, las cuales están dispuestas en líneas de rotación llamadas ejes, los cuales se clasifican en ejes simples, tándem o trídem, a su vez cada eje puede ser de llantas sencillas, dobles o mixtos. Los vehículos, transmiten las cargas al pavimento a través de las ruedas, que como se dijo, están dispuestas en ejes (INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, 2008). Dentro de esta clasificación tenemos los siguientes:

Tabla 30

Peso vehicular y peso por eje

Designación	Configuración	Descripción
2		Camión de dos ejes Camión sencillo
3		Camión de tres ejes Dobletroque
3S2		Tractocamión de tres ejes con semirremolque de dos ejes
3S3		Tractocamión de tres ejes con semirremolque de tres ejes

Fuente: INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, Colombia, 2008

Mientras que dentro de la normativa NEVI (2013) se encuentra la siguiente tabla de pesos y dimensiones:

Tabla 31

2A.106-01 características por tipos de Vehículos

Vehículo de diseño	A	B	C	R
Altura máxima (m)	2,40	4,10	4,10	4,30
Longitud máxima (m)	5,80	13,00	20,00	>20,50*
Anchura máxima (m)	2,10	2,60	2,60	3,00
Radios mínimos de giro (m)				
Rueda interna	4,70	8,70	10,00	12,00
Rueda externa	7,50	12,80	16,00	20,00
Esquina externa delantera	7,90	13,40	16,00	20,00

Fuente: Manual NEVI-12 VOLUMEN 2A, 2013

Tabla 32

2A.106-02 Nacional de Pesos y Dimensiones: “Tipo de Vehículos motorizados remolques y semirremolques”

CUADRO DEMOSTRATIVO DEL TIPO DE VEHÍCULOS MOTORIZADOS REMOLQUES Y SEMIREMOLQUES								
TIPO	DISTRIBUCIÓN MÁXIMA DE CARGA POR EJE	DESCRIPCIÓN			PESO MÁXIMO PERMITIDO (Ton.)	LONGITUDES MÁXIMAS PERMITIDAS (metros)		
						Largo	Ancho	Alto
2 D				CAMIÓN DE 2 Ejes PEQUEÑO	7	5,00	2,60	3,00
2DA				CAMIÓN DE 2 Ejes MEDIANOS	10	7,50	2,60	3,50
2DB				CAMIÓN DE 2 Ejes GRANDES	18	12,20	2,60	4,10
3A				CAMIÓN DE 3 Ejes	27	12,20	2,60	4,10
4-C				CAMIÓN DE 4 Ejes	31	12,20	2,60	4,10
4-0				CAMIÓN CON TANDEM O REGIONAL Y TAV DE V. POSTERIOR	32	12,20	2,60	4,10
V2DB				VOLQUETA DE DOS Ejes 8 m³	18	12,20	2,60	4,10
V3A				VOLQUETA DE TRES Ejes 10-14 m³	27	12,20	2,60	4,10
VZS				VOLQUETA ZS DE 3 Ejes 16 m³	27	12,20	2,60	4,10
T2				TRACTO CAMIÓN DE 2 Ejes	18	8,50	2,60	4,10
T3				TRACTO CAMIÓN DE 3 Ejes	27	8,50	2,60	4,10
S3				SEMI-REMOLQUE DE 3 Ejes	24	13,00	3,00	4,30

Fuente: Manual NEVI-12 VOLUMEN 2A, 2013

2.6.3.2. Factores Equivalentes De Carga

Los factores equivalentes de carga son coeficientes que se utilizan en el diseño de pavimentos para convertir distintos tipos de cargas de vehículos en una carga estándar equivalente (normalmente un eje simple de 80 kN). Esto permite comparar y combinar los efectos de diferentes vehículos sobre la estructura del pavimento, facilitando el cálculo de su resistencia y vida útil. Dentro de estos factores de carga los encontramos valores de SN (número estructural) con valores del 1 al 6 y D (espesor de capa) que representan el espesor de un material que se considera debe ir agregado a cada capa de material, además considera el peso y los ejes equivalentes de diseño del vehículo, mostrando un Pt como la serviciabilidad de la vía en estudio:

Tabla 33

Factores de Equivalencia de Carga por Eje para Pavimentos Flexibles

Table D.1. Axle Load Equivalency Factors for Flexible Pavements, Single Axles and p_t of 2.0						
Axle Load (klps)	Pavement Structural Number (SN)					
	1	2	3	4	5	6
2	0002	0002	0002	0002	0002	0002
4	002	003	002	002	002	002
6	009	012	011	010	009	009
8	030	035	036	033	031	029
10	075	085	090	085	079	076
12	165	177	189	183	174	168
14	325	338	354	350	338	331
16	589	598	613	612	603	596
18	1 00	1 00	1 00	1 00	1 00	1 00
20	1 61	1 59	1 56	1 55	1 57	1 59
22	2 49	2 44	2 35	2 31	2 35	2 41
24	3 71	3 62	3 43	3 33	3 40	3 51
26	5 36	5 21	4 88	4 68	4 77	4 96
28	7 54	7 31	6 78	6 42	6 52	6 83
30	10 4	10 0	9 2	8 6	8 7	9 2
32	14 0	13 5	12 4	11 5	11 5	12 1
34	18 5	17 9	16 3	15 0	14 9	15 6
36	24 2	23 3	21 2	19 3	19 0	19 9
38	31 1	29 9	27 1	24 6	24 0	25 1
40	39 6	38 0	34 3	30 9	30 0	31 2
42	49 7	47 7	43 0	38 6	37 2	38 5
44	61 8	59 3	53 4	47 6	45 7	47 1
46	76 1	73 0	65 6	58 3	55 7	57 0
48	92 9	89 1	80 0	70 9	67 3	68 6
50	113	108	97	86	81	82

Fuente: AASHTO, 1993

2.6.3.3. Factor camión.

Dado que los vehículos comerciales (camiones y buses) tienen dos o más ejes, a la suma de los factores daño de cada uno de sus ejes se le conoce como **Fc**. El factor camión es la suma de los anteriores factores de equivalencia.

2.6.3.4. Factor de crecimiento.

El factor de crecimiento se determina con la siguiente formula:

$$F_{crec} = \frac{(1 + r)^n - 1}{r} \quad (65)$$

Donde:

- **r** = tasa de crecimiento anual, %.
- **n** = periodo de diseño en años.

2.6.3.5. Factor direccional

El factor direccional en el diseño de ESAL's considera cómo se distribuyen las cargas vehiculares en una carretera a lo largo del tiempo y el espacio. Esto implica entender cómo diferentes vehículos aplican cargas en áreas específicas debido a su tamaño, peso y patrón de uso.

Tabla 34

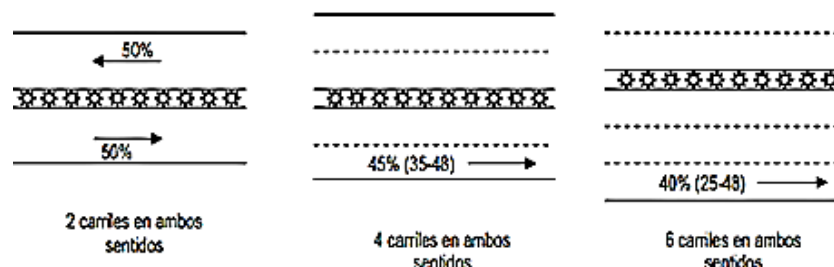
Porcentaje de Camiones en el Carril de Diseño según Número de Carriles (Dos Direcciones)

N.º carriles (2 direcciones)	%de camiones en el carril de diseño
2	50
4	45 (35-48)
6 o más	40 (25-48)

Fuente: Normas de Diseño Geométrico (MIT, 2025).

Figura 40

Distribución del Porcentaje de Camiones en el Carril de Diseño según Número de Carriles en Ambos Sentidos



Fuente: MIT, 2025.

Tabla 35

Porcentaje de ESAL en el carril de diseño según número de carriles en una dirección

N.º carriles en 1 dirección	%ESAL en el carril de diseño
1	100
2	80-100
3	60-80
4	50-75

Fuente: MIT, 2025

2.6.3.6. Tráfico de diseño

Después de realizar el aforo vehicular y proyectar el tránsito, esta fórmula permite determinar el número total de ESAL's que actuarán sobre la vía durante su vida útil. Dicho valor constituye el parámetro de entrada principal para el diseño estructural del pavimento mediante el método AASHTO (1993) ya que representa el efecto acumulado de las cargas vehiculares sobre la estructura proyectada.

$$w_{18} = F_{\text{direccional}} * F_{\text{carril}} * [\Sigma(T_{\text{asignado}} * F_{\text{proyección}} * F_{\text{camión}} * 365)] \quad (66)$$

2.6.4. Procedimiento de diseño para pavimentos flexibles.

Se basa en calcular un “numero estructural” que asegure la capacidad del pavimento para soportar cargas previstas. Se compone principalmente de un conjunto de factores necesarios para el diseño de un pavimento (AASHTO, 1993)

2.6.4.1. Tráfico.

Se expresa en ESAL's (Ejes equivalentes de 18 kip $\approx$ 80 kN). Todos los vehículos se transforman en una carga estándar para cuantificar el daño acumulado.

2.6.4.2. CBR de diseño.

Es un parámetro utilizado para el diseño de pavimentos y la evaluación de la capacidad portante del suelo. La norma AASHTO (1993) menciona que representa la resistencia relativa de un suelo al esfuerzo cortante y se utiliza para determinar el espesor adecuado de las capas de pavimento necesarias para soportar las cargas del tráfico. Suele ser un

valor conservador que tiene en cuenta diversas consideraciones, como la variabilidad del suelo, las condiciones del tráfico, las cargas previstas y los factores de seguridad.

Tabla 36

Límites para selección de resistencia

Número de ejes de 8,2 toneladas en carril de diseño (N)	Percentil a seleccionar para hallar la resistencia
<10 ⁴	60
<10 ⁴ - <10 ⁶	75
>10 ⁶	87,5

Fuente: (NEVI, 2013).

2.6.4.3. Número estructural (SN).

Índice que representa la capacidad estructural de la sección flexible. Se calcula como suma ponderada de espesores y coeficientes estructurales.

$$\begin{aligned}
 D_1 &\geq \frac{SN_1}{a_1} & SN_1 &= a_1 * m_1 \\
 D_2 &\geq \frac{SN_2 - SN_1}{a_2 * m_2} & SN_2 &= a_2 * m_2 * D_2 \\
 D_3 &\geq \frac{SN - SN_2 - SN_1}{a_3 * m_3} & SN_2 &= a_2 * m_2 * D_2
 \end{aligned}
 \tag{67}$$

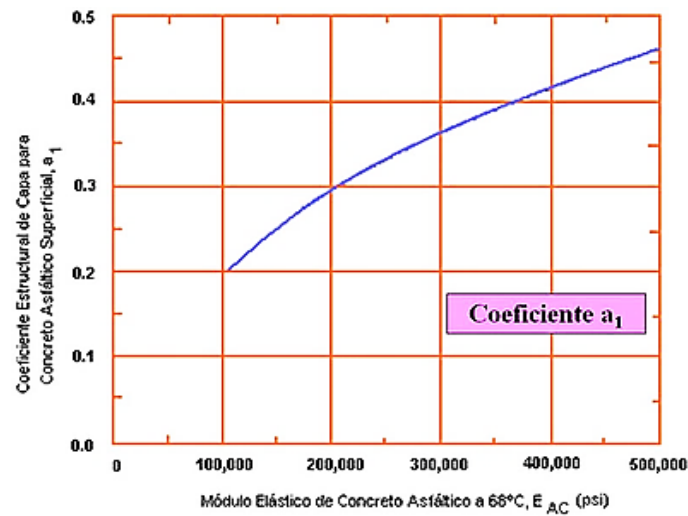
2.6.4.4. Módulo resiliente de la carpeta asfáltica (a₁).

El módulo de resiliencia es un parámetro utilizado para caracterizar la capacidad de un material de pavimentación para recuperar su forma original después de haber sido sometido a cargas repetidas. Según la norma AASHTO (1993) las capas de pavimento asfáltico se caracterizan por módulos en función de la frecuencia de carga y la temperatura de mezclas.

La deformación elástica repetida preocupa sobre todo en materiales con resistencia a la tensión, como carpetas asfálticas o capas estabilizadas, colocados en la parte superior de la estructura, en los que se puede llegar a generar una falla de agrietamiento por fatiga si el número de repeticiones es importante y los materiales son susceptibles a este efecto.

Figuras 41

Determinación del coeficiente estructural



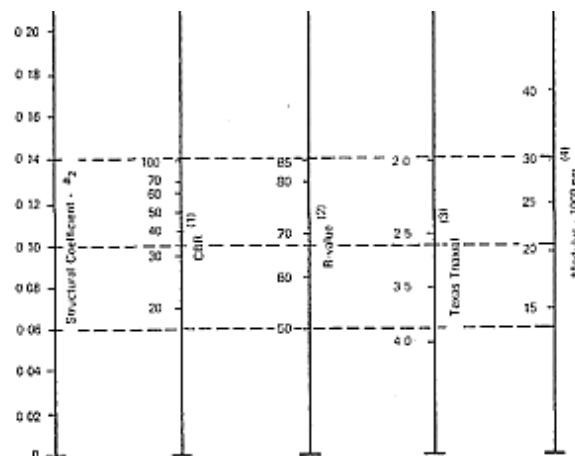
Fuente: CELIS, 2019

2.6.4.5. Módulo resiliente de la capa base (a_2).

Se determina el módulo resiliente de la base mediante el siguiente ábaco:

Figura 42

Módulo de resiliencia de la capa base



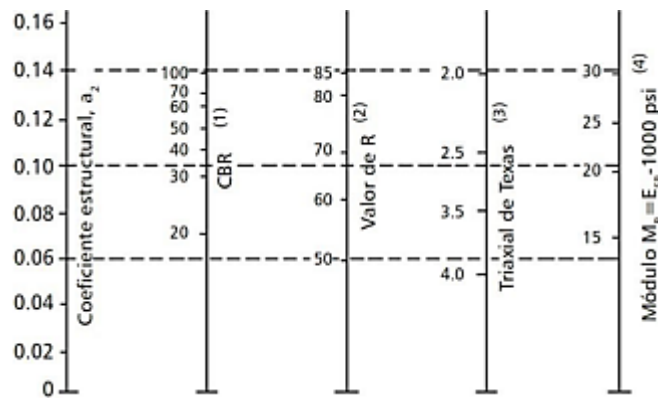
Fuente: AASHTO, 1993

2.6.4.6. Módulo resiliente de la capa subbase (a_3).

Se tiene en de guía el siguiente ábaco:

Figura 43

Módulo resiliente de la capa subbase



Fuente: AASHTO, 1993

2.6.4.7. *Módulo resiliente de la subrasante (MR).*

Mide la rigidez elástica repetida del suelo de subrasante. Celi et al. (2023) mencionan que la importancia que la deformación tiene en los pavimentos se debe a que en los métodos de diseño actuales la deformabilidad es el punto básico por considerar y, de hecho, la mayoría de ellos se centran en mantenerla en límites razonables.

El valor relativo de soporte CBR se expresa en porcentaje y se define como la relación entre la carga unitaria aplicada que produce cierta deformación en la muestra de suelo requerida, para producir igual deformación en una muestra patrón (Departamento Nacional de Planeación Subdirección Territorial y de Inversiones Públicas, 2017).

Es una medida importante que se utiliza en el diseño y análisis de pavimentos flexibles para evaluar su resistencia a la deformación permanente bajo cargas de tráfico.

Las ecuaciones de correlación recomendadas para pavimento flexibles son:

Para materiales de subrasante con CBR igual o menor a 7,2%

$$MR = 1500 * CBR \quad (68)$$

Para materiales de subrasante con CBR mayor de 7,2% pero menor o igual a 20%

$$MR = 3000 * (CBR)^{0,65} \quad (69)$$

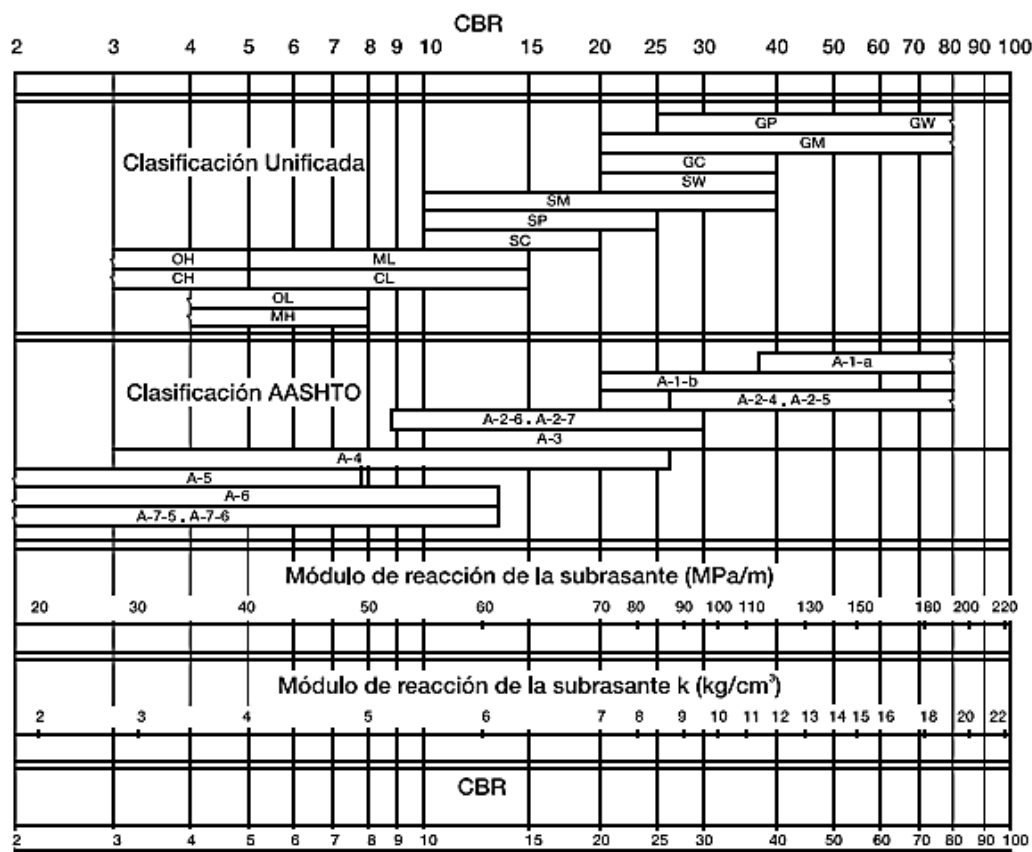
Para materiales de subrasante con valores de CBR mayores a 20%, se deberán emplear otras formas de correlación, tal como la recomendada por la propia Guía de diseño AASHTO-93:

$$MR = 4326 \ln(CBR) + 241 \quad (70)$$

Nota: El valor resultante de estas correlaciones se mide en unidades de lb/pulg² -psi-. En el grafico a continuación se puede determinar el valor de Modulo de Reacción de la subrasante k en función del CBR de diseño para pavimentos rígidos:

Tabla 37

Correlación entre el CBR y el Módulo de Reacción



Fuente: Manual de diseño de pavimentos de concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito del INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS (2008) Pg. 74

2.6.4.8. Error estándar combinado (So).

La desviación estándar es un indicador de cómo los datos se desvían de su valor medio. A menor desviación estándar, los datos medidos estarán más cerca del valor promedio. La AASHTO sugiere un valor de desviación estándar de 0.49 para pavimentos flexibles.

En el cuadro se presentan los valores promedio para los dos tipos principales de pavimento.

Tabla 38

Desviación Estándar en relación con la condición de la vía

Desviación Estándar para Pavimentos Flexibles	
Construcción Nueva	0,45
Sobrecapas	0,50

Fuente: AASHTO, 1993

Tabla 39

Error Estándar Combinado (So)

Condición de Diseño	Desviación Estándar
Variación en la predicción del comportamiento del pavimento sin errores en el tránsito	0,34 (Pavimento Rígido) 0,44 (Pavimento Flexible)
Variación en la predicción del comportamiento del pavimento con errores en el tránsito	0,39 (Pavimento Rígido) 0,49 (Pavimento Flexible)

Fuente: Naranjo V., 2011

2.6.4.9. Confiabilidad R y Desviación estándar Z_R

Porcentaje de certeza de que el pavimento cumplirá con su vida útil.

Tabla 40

Confiabilidad (R)

NIVELES DE CONFIABILIDAD	
CLASIFICACIÓN FUNCIONAL	NIVEL RECOMENDADO AASHTO
Carretera interestatal o autopista	80 - 99
Red principal o federal	75 - 95
Red secundaria o estatal	75 - 95
Red rural o local	50 - 80

Fuente: AASHTO, 1993

Tabla 41

Valores de Desviación estándar normal (ZR) correspondientes a los niveles de confiabilidad seleccionados

CONFIABILIDAD (R%)	Desviación normal estándar (ZR)
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
99.99	-3.090
99.99	-3.750

Fuente: AASHTO, 1993

2.6.4.10. Índice de serviciabilidad (PSI).

Mide la “comodidad” del usuario; va disminuyendo con el tiempo hasta un nivel mínimo aceptable (punto terminal).

Tabla 42

Índice de serviciabilidad

Índice de serviciabilidad (p)	Clasificación
0 – 1	Muy Buena
1 – 2	Mala
2 – 3	Regular
3 – 4	Buena
4 – 5	Muy Buena

Fuente: AASHTO, 1993

2.6.4.11. Pérdida de Índice de serviciabilidad (PSI).

El índice de pérdida de serviciabilidad se calcula con la siguiente ecuación:

$$\Delta PSI = P_o - P_t \quad (71)$$

2.6.4.12. Coeficientes de drenaje (m).

Corrigen el aporte estructural cuando existen problemas de humedad.

Tabla 43

Valores de coeficiente de drenaje

CALIDAD DEL DRENAJE	TIEMPO EN QUE TARDA EL AGUA EN SER EVACUADA
Excelente	2 horas
Bueno	1 día
Mediano	1 semana
Malo	1 mes
Muy malo	El agua no evacua

Fuente: AASHTO, 1993

Tabla 44

Valores recomendados del Coeficiente e Drenaje m, para Bases y Subbases granulares no tratadas en Pavimentos Flexibles

Calidad de Drenaje	Término Remoción de Agua	% de Tiempo de exposición de la estructura del pavimento a nivel de la humedad próximos a la saturación			
		<1%	1-5%	5-25%	>25%
Excelente	2 horas	1.40 - 1.35	1.35 - 1.30	1.30 - 1.20	1.20
Buena	1 día	1.35 - 1.25	1.25 - 1.15	1.15 - 1.00	1.00
Aceptable	1 semana	1.25 - 1.15	1.15 - 1.05	1.00 - 0.80	0.80
Pobre	1 mes	1.15 - 1.05	1.05 - 0.80	0.80 - 0.60	0.60
Muy Pobre	El agua no drena	1.05 - 0.95	0.95 - 0.75	0.75 - 0.40	0.40

Fuente: AASHTO, 1993

Tabla 45

Cantidad de agua que puede drenar por gravedad

Material Predominante	Cantidad de finos								
	< 2,5%			5%			10%		
	Tipo de finos			Tipo de finos			Tipo de finos		
	Filler	Limo	Arcilla	Filler	Limo	Arcilla	Filler	Limo	Arcilla
Grava	70	60	40	60	40	20	40	30	10
Arena	57	50	35	50	35	15	25	18	8

Fuente: AASHTO, 1993

2.6.4.13. Métodos de diseño de pavimentos AASHTO.

Este diseño está basado principalmente en encontrar el número estructural SN para que el pavimento flexible pueda soportar el nivel de carga solicitado. Para determinar el número estructural SN requerido, el método proporciona la ecuación básica siguiente:

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R * S_o 9,36 \log_{10}(SN + 1) - 0,20 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4,2 - 1,5} \right]}{0,40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5,19}}} + 2,32 \log_{10}(M_R) - 8,07 \quad (72)$$

Donde:

- **W₁₈** = Número esperado de aplicaciones de carga de ejes sencillos equivalentes a 18 kip
- **Z_R** = Desviación estándar normal
- **S_o** = Error estándar por la predicción de tránsito y comportamiento
- **ΔPSI** = Diferencia entre el índice de servicio inicial de diseño (Po) y el índice de servicio final (Pt)
- **M_R** = Módulo resiliente en libras/pulg² (psi)
- **SN** = Número estructural, que indica el espesor total requerido

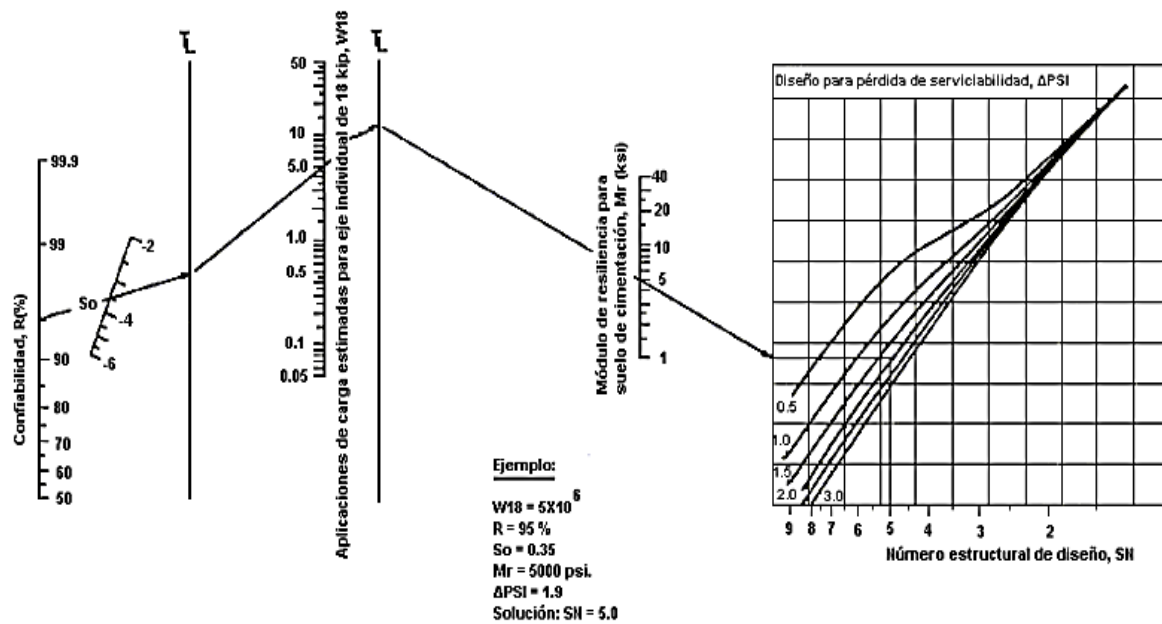
Donde:

$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3 + \dots \quad (73)$$

- **a₁** = Coeficiente de las capas de pavimento (carpeta, base y subbase)
- **D₁** = Espesor de capa en pulgadas (carpeta, base y subbase)
- **m₁** = Coeficiente de drenaje de las capas de base y subbase.

Figura 44

Nomograma para diseño Guía AASHTO



Fuente: AASHTO, 1993

2.7. DISEÑO HIDRÁULICO DE CUNETAS Y ALCANTARILLA

Las cunetas y alcantarillas forman parte del drenaje superficial de una carretera. Su diseño debe permitir que el agua de lluvia salga de la plataforma sin afectar el tránsito, erosionar el terreno ni acelerar el deterioro de la estructura vial.

El Ministerio de Infraestructura y Transporte (MIT) señala que las cunetas y alcantarillas deben dimensionarse de acuerdo con los caudales esperados, pues de su funcionamiento depende que la vía continúe operativa durante las lluvias. Estas obras permiten conducir el agua superficial y evitar acumulaciones que podrían comprometer la seguridad de los usuarios y reducir la vida útil del pavimento (NEVI, 2013).

Bajo este criterio, el diseño hidráulico incorpora parámetros como el caudal probable, el coeficiente de escorrentía, la intensidad de lluvia, el período de retorno, el área de drenaje y la velocidad de escurrimiento. Estos valores se determinan mediante procedimientos hidrológicos e hidráulicos reconocidos, con el fin de proponer obras de drenaje acordes con las condiciones reales del proyecto.

De acuerdo con (Maidment & Mays, 1994), la aplicación de los principios de la hidráulica de canales abiertos resulta esencial para la estimación de caudales de diseño y la selección de secciones transversales apropiadas para las cunetas, mientras que las alcantarilla se dimensionan en función del caudal máximo esperado y las condiciones topográficas del terreno.

2.7.1. Estudio hidrológico.

Involucra el análisis y dimensionamiento de los sistemas de drenaje superficial y subterráneo, cuyo objetivo es evacuar eficientemente las aguas de escorrentía generadas por las precipitaciones, evitando la acumulación de agua sobre la calzada y mitigando los riesgos de erosión, inundaciones o deterioro prematuro de la estructura vial.

Los estudios de campo deben efectuarse con el propósito de identificar, obtener y evaluar la información referida: al estado actual de las obras de drenaje existentes, condiciones topográficas e hidrológicas del área de su emplazamiento.

Asimismo, el estudio de reconocimiento de campo permite identificar y evaluar los sectores críticos actuales y potenciales, de origen hídrico como deslizamientos, derrumbes, erosiones, áreas inundables, asentamientos, etc. que inciden negativamente en la conservación y permanencia de la estructura vial (carreteras y/o puentes) (MANUAL_Hidrologia, 2011).

Los suelos y materiales que conforman los elementos de infraestructura de terraplenes, afirmado y pavimentos de las carreteras tienen como factor disturbante la presencia de agua. Las principales causas de la presencia de agua en las carreteras son las lluvias y las aguas freáticas.

2.7.2. Diseño de cunetas.

Las cunetas forman parte esencial del drenaje longitudinal de una vía, ya que permiten recoger y conducir el agua superficial generada por las lluvias o por el escurrimiento proveniente de terrenos cercanos. Generalmente se ubican en zonas de corte o en sectores donde los taludes aportan caudales hacia la plataforma vial.

Para su diseño se deben analizar varios aspectos técnicos, como la geometría de la sección transversal, la capacidad hidráulica requerida, la pendiente longitudinal, las características del suelo y la velocidad de circulación considerada para la vía.

Según NEVI (2013) se recomienda que la inclinación del talud interior de la cuneta (V/H) se ajuste a las condiciones de seguridad, volumen de tránsito y características del terreno, mientras que el talud exterior debe adaptarse al tipo de corte del terreno. Existen diferentes tipos de cunetas, entre las más comunes están:

- **Triangulares:** eficaces en la conducción de agua y estables en terrenos naturales.
- **Trapezoidales:** adecuadas para zonas con mayor necesidad de evacuación de agua.
- **Rectangulares:** se emplean con mayor frecuencia en zonas urbanas, debido a su buena capacidad de conducción y a la facilidad que ofrecen para realizar labores de limpieza y mantenimiento.

El tipo de material utilizado también influye en el funcionamiento y vida útil de la cuneta. Entre las opciones de construcción se utiliza el concreto vaciado en obra, elegido por su resistencia y vida útil, y el concreto prefabricado, que reduce el tiempo de montaje y ofrece elementos con características más uniformes. Una cuneta correctamente dimensionada evita que el agua permanezca sobre la plataforma. Al disminuir la erosión, la socavación y el deterioro anticipado del pavimento, también contribuye a que la carretera conserve sus condiciones de servicio durante más tiempo. De esta manera, estas estructuras cumplen un papel importante en la seguridad, estabilidad y funcionalidad general de la infraestructura vial.

2.7.2.1. *Coefficiente de escorrentía C.*

Según GRAF, como se citó en Duchicela & Lopez (2023) el coeficiente de escorrentía pluvial constituye un factor vinculado a la superficie de recolección y se emplea como multiplicador de la cantidad de aguas pluviales generadas para determinar la cantidad efectiva de escorrentía pluvial que se descarga en el sistema de drenaje.

Este coeficiente de corriente pluvial se utiliza como un factor para calcular la superficie efectivamente impermeable, variando según el tipo de superficie.

Tabla 46

Coefficiente de escorrentía C

Coeficiente de escorrentía C						
Cobertura	Tipo de suelo	Pendiente del terreno				
		Pronunciada	Alta	Media	Suave	Despreciable
Vegetal		50%	20%	15%	5%	1%

Sin Vegetación	Impermeable	0.80	0.75	0.70	0.65	0.60
	Semipermeable	0.70	0.65	0.60	0.55	0.50
	Permeable	0.50	0.46	0.40	0.35	0.30
Cultivos	Impermeable	0.70	0.65	0.60	0.55	0.50
	Semipermeable	0.60	0.55	0.50	0.45	0.40
	Permeable	0.40	0.35	0.30	0.25	0.20
Pastos vegetación ligera	Impermeable	0.65	0.60	0.55	0.50	0.45
	Semipermeable	0.55	0.50	0.45	0.40	0.35
	Permeable	0.35	0.30	0.25	0.20	0.15
Hierba, grama	Impermeable	0.60	0.55	0.50	0.45	0.40
	Semipermeable	0.50	0.45	0.40	0.35	0.30
	Permeable	0.30	0.25	0.20	0.15	0.10
Bosque densa vegetación	Impermeable	0.55	0.50	0.45	0.40	0.35
	Semipermeable	0.45	0.40	0.35	0.30	0.25
	Permeable	0.25	0.20	0.15	0.10	0.05

Fuente: Citado de la Normativa de Diseño Geométrico (MIT, 2025).

2.7.2.2. Periodo de retorno.

El período de retorno es un concepto estadístico utilizado en hidrología para estimar la frecuencia con la que un evento extremo, como una lluvia intensa, puede repetirse en un lugar determinado. Se expresa en años y representa el intervalo promedio entre eventos de igual o mayor magnitud. Así, para un período de retorno de 25 años, la probabilidad anual de ocurrencia del evento es del 4 %.

El período de retorno orienta el dimensionamiento de cunetas, canales y alcantarillas, porque relaciona la obra con un evento de lluvia cuya probabilidad de ocurrencia es conocida. Elegirlo de forma adecuada reduce la posibilidad de desbordamientos, socavaciones, erosión y daños en la infraestructura.

El Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) señala que el período de retorno debe adoptarse considerando el tipo de obra hidráulica, su función dentro del

proyecto y el nivel de importancia de la infraestructura a proteger. Además, proporciona herramientas estadísticas y ecuaciones IDF (Intensidad–Duración–Frecuencia) que permiten calcular la intensidad de lluvia asociada a diferentes períodos de retorno, considerando datos históricos de estaciones pluviográficas distribuidas en todo el país (INAMHI, 2015).

Es importante destacar que el periodo de retorno no predice cuando ocurrirá un evento, sino que indica la probabilidad de que suceda en un año cualquiera. Por ello, incluso eventos con un periodo de retorno de 50 o 100 años pueden repetirse en intervalos más cortos, especialmente en contextos de cambio climático.

2.7.2.3. *Tiempo de concentración.*

El tiempo de concentración (T_c) es el intervalo que tarda una gota de agua en desplazarse desde el punto más alejado de una cuenca hidrográfica hasta el punto de salida o desagüe. En el cálculo del drenaje, este dato define cuánto tiempo debe durar la lluvia crítica para que se produzca el mayor caudal de escorrentía.

Las Normas de Diseño Geométrico del Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MIT, 2025) incluyen la ecuación de Rowe entre los procedimientos para estimar el tiempo de concentración en cuencas rurales. Su formulación incorpora las condiciones del terreno y proporciona valores conservadores para el diseño del drenaje. Esta fórmula ha sido difundida y explicada en el artículo técnico (CivilGeeks, 2011).

$$t_c = 0.0195 \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0.385} \quad (74)$$

Donde:

- t_c = Tiempo de concentración en, min.
- L = Longitud del cauce principal, en m.
- H = Desnivel entre extremo de la cuenca y el punto de descarga, en m.

2.7.2.4. *Intensidad de lluvia.*

La intensidad de lluvia es un parámetro hidrológico que expresa la cantidad de precipitación que cae sobre una superficie en un determinado periodo de tiempo, generalmente en milímetros por hora (mm/h). Este valor es clave para estimar el caudal

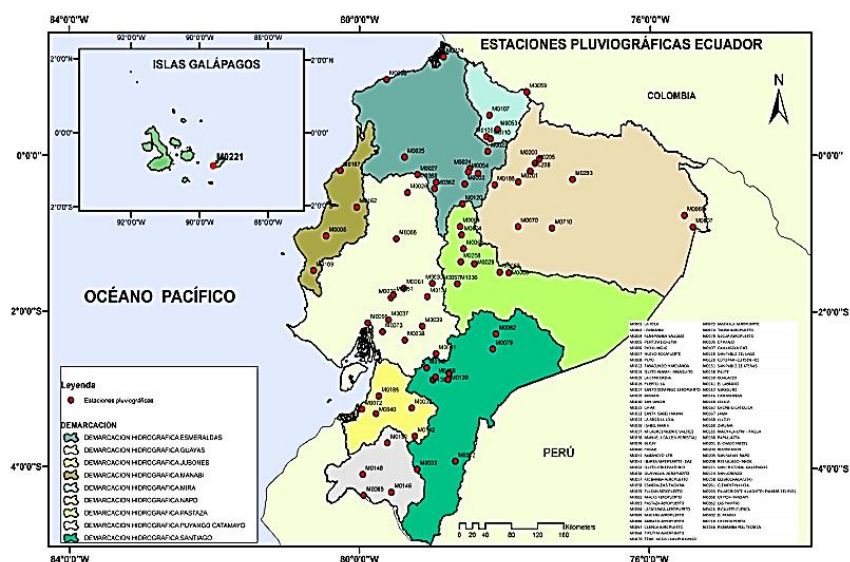
de escorrentía superficial y, por tanto, para el diseño adecuado de obras de drenaje como cunetas y alcantarillas (Chereque Moran, 1989).

Dentro del método racional, la intensidad de lluvia adoptada debe estar relacionada con una duración equivalente al tiempo de concentración de la cuenca y con un período de retorno previamente definido, el cual depende de la importancia y función de la obra hidráulica que se va a diseñar (Chereque Moran, 1989).

En el caso de Ecuador, el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) dispone de estudios estadísticos de precipitación que permiten establecer la relación intensidad–duración–frecuencia (IDF). A partir de estas curvas y ecuaciones pluviométricas, es posible estimar la intensidad de lluvia necesaria para los cálculos hidrológicos del proyecto. Estas ecuaciones están definidas para distintas zonas de intensidades en las que se ha dividido el país, y se basan en datos obtenidos de estaciones pluviográficas distribuidas en puntos estratégicos del territorio nacional (INAMHI, 2015).

Figura 45

Estaciones Pluviográficas del Ecuador



Fuente: INAMHI, 2019

2.7.2.5. Área de drenaje.

El área de drenaje es la superficie de terreno que contribuye al escurrimiento superficial hacia un punto de salida, como la cuneta, alcantarilla o canal. Esta superficie recibe y concentra el agua proveniente de las lluvias, conduciéndola hacia un punto de descarga

o hacia las obras de drenaje proyectadas en la vía. Por esta razón, tanto su extensión como su forma tienen una influencia directa en el caudal que puede llegar a una estructura hidráulica durante un evento de precipitación.

Según Ponce (2017), una cuenca hidrográfica corresponde a una porción del terreno capaz de reunir el escurrimiento superficial y dirigirlo hacia un punto común, conocido como boca o salida de la cuenca.

2.7.2.6. Caudal probable.

El caudal probable es el volumen de agua que se espera que fluya por una sección de drenaje durante un evento de lluvia determinado. Este parámetro es esencial en el diseño de cunetas, ya que permite dimensionar adecuadamente las estructuras de drenaje para garantizar que puedan evacuar el agua sin causar daños en la vía ni afectar su funcionalidad.

Para estimar el caudal probable, se deben considerar factores como la intensidad de lluvia, el tipo de suelo, la pendiente del terreno, el área de drenaje y el coeficiente de escorrentía, que representa la proporción de agua que no se infiltra en el suelo y fluye superficialmente. El área, la intensidad de lluvia y el coeficiente de escorrentía se integran en métodos hidrológicos como el racional, utilizado habitualmente para dimensionar estructuras de drenaje vial.

Según Chereque Moran (1989), explica que el método racional estima el caudal máximo que una cuenca puede producir durante una lluvia intensa. El cálculo combina la intensidad de precipitación, la superficie que aporta agua y el coeficiente de escorrentía, parámetro que representa la fracción de lluvia que se convierte en flujo superficial.

El tiempo de concentración es uno de los datos centrales del procedimiento. Corresponde al intervalo que necesita el agua para recorrer la distancia desde el punto hidráulicamente más alejado de la cuenca hasta la salida. Cuando ese intervalo se cumple, toda el área aportante participa en la escorrentía y se alcanza el caudal máximo. La relación se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$Q = CIA \quad (75)$$

Donde:

- **Q** = Caudal máximo de escorrentía
- **C** = Coeficiente de escorrentía
- **I** = Intensidad máxima de la lluvia para un periodo de duración igual al tiempo de concentración, y para la frecuencia deseada en el diseño
- **A** = Área de la cuenca

Cuando **I** se expresa en m/s y **A** en m², el resultado **Q** se obtiene en m³/s. Si la intensidad se encuentra en mm/h y el área en hectáreas, se utiliza la forma ajustada indicada a continuación:

$$Q = \frac{CIA}{360} \quad (76)$$

La expresión ajustada entrega el caudal en metros cúbicos por segundo (m³/s), unidad empleada para verificar cunetas y demás obras de drenaje.

2.7.2.7. Caudal de diseño.

El caudal de diseño se refiere al volumen de agua que alcanzará las instalaciones de drenaje durante un evento de lluvia. Su cálculo permite asignar una probabilidad de ocurrencia a diferentes magnitudes de escorrentía, lo cual es fundamental para dimensionar correctamente las estructuras hidráulicas y prevenir daños a la vía.

Para este proyecto, se utilizará el método de Manning, recomendado por la Normativa de Ministerio de Infraestructura y Transporte (MIT, 2025) pág. 300, mediante la siguiente ecuación que permite calcular el caudal de diseño en canales abiertos como cunetas. La fórmula se expresa como:

$$Q = \frac{(A)(R)^{\frac{2}{3}}(S)^{\frac{1}{2}}}{n} \quad (77)$$

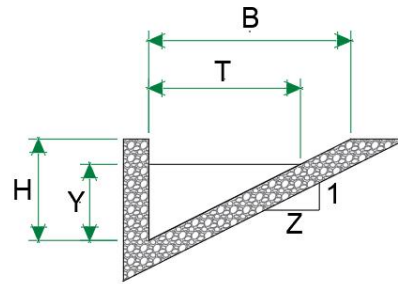
Donde:

- **Q** = Caudal de diseño (m³/s)
- **A** = Área hidráulica (m²)
- **R** = Radio hidráulico (m)
- **S** = Pendiente del canal (m/m)
- **n** = coeficiente de rugosidad de Manning

En este estudio se opta por el diseño de cunetas de sección triangular, ya que esta geometría es la más comúnmente utilizada en la construcción de carreteras en Ecuador y está aprobada por la normativa MIT (2025). Esta fórmula permite el cálculo de las variables hidráulicas necesarias para aplicar la ecuación de Manning.

Figura 46

Cuneta de sección triangular



Donde:

- **T** = Espejo de agua (m).
- **B** = Ancho de solera (m).
- **Y** = Tirante de agua (m).
- **H** = Altura (m).
- **z** = Pendiente de talud

2.7.2.8. Espejo de agua.

El espejo de agua es un parámetro hidráulico que representa el ancho de la superficie libre del flujo dentro de una cuneta o canal. En el diseño vial, este valor permite visualizar el ancho superficial del agua que circula por la sección hidráulica, contribuyendo a la verificación de la capacidad del canal frente al caudal de diseño (Villón Béjar, 2008). En cunetas de sección triangular, el espejo de agua se calcula mediante la fórmula:

$$T = (y)(z) \quad (78)$$

2.7.2.9. Área mojada.

El área mojada, también denominada área hidráulica, corresponde a la superficie ocupada por el flujo de agua dentro de una sección transversal del canal o cuneta. Este parámetro es fundamental en el análisis hidráulico, ya que interviene en la

determinación de la capacidad de conducción del flujo y forma parte de las relaciones empleadas en la ecuación de Manning para el cálculo del caudal (Villón Béjar, 2008).

En cunetas de sección triangular, el área mojada se determina mediante la siguiente formula:

$$A_m = \frac{(T)(y)}{2} \quad (79)$$

Esta expresión permite representar el área ocupada por el agua dentro de la sección triangular de la cuneta, a partir del espejo de agua y el tirante correspondiente.

2.7.2.10. *Perímetro mojado.*

El perímetro mojado es la longitud total de la superficie del canal que está en contacto directo con el flujo del agua. Este parámetro resulta importante dentro del diseño hidráulico, debido a que interviene en la resistencia que presenta el flujo al desplazarse por la sección. Además, forma parte de la ecuación de Manning, utilizada para determinar la capacidad de conducción y el caudal que puede transportar la estructura.

En el caso de cunetas con sección triangular, el perímetro mojado se determina a partir de los lados inclinados que permanecen en contacto directo con el agua. Para su cálculo se emplea la siguiente expresión:

$$Pm = y + \sqrt{y^2 + T^2} \quad (80)$$

Este valor ayuda a estimar la fricción que se produce cuando el agua circula por el canal o la cuneta. Su determinación es necesaria para dimensionar adecuadamente las obras de drenaje y verificar que puedan conducir el caudal previsto de manera eficiente y segura (Yepes Piqueras, 2023).

2.7.2.11. *Radio hidráulico.*

El radio hidráulico es un parámetro fundamental en el diseño de obras de drenaje, ya que permite evaluar la eficiencia de conducción de un canal. Se define como el cociente entre el área y el perímetro mojados de la sección donde circula el flujo. Este valor se utiliza directamente en la ecuación de Manning para calcular el caudal de diseño. La ecuación general es:

$$Rh = \frac{Am}{Pm} \quad (81)$$

Este parámetro permite estimar las pérdidas de carga por fricción y es especialmente útil en el análisis de flujo permanente uniforme en canales abiertos. Su aplicación en cunetas triangulares facilita el dimensionamiento técnico de las secciones, asegurando que el diseño sea eficiente y seguro (Yepes Piqueras, 2023).

2.7.2.12. Velocidad.

La velocidad de flujo en una cuneta representa la rapidez con que el agua se desplaza a lo largo del canal. Este parámetro es esencial para evaluar el comportamiento hidráulico del sistema de drenaje, ya que influye en la capacidad de conducción, la erosión del canal y la eficiencia del diseño. La ecuación de Manning ayuda a calcular la velocidad del flujo, relacionada por el radio hidráulico, la pendiente y el coeficiente de rugosidad:

$$V = \frac{(Rh)^{\frac{2}{3}} * (S)^{\frac{1}{2}}}{n} \quad (82)$$

Donde:

- V: velocidad de flujo (m/s)
- Rh: Radio hidráulico (m)
- S: Pendiente del canal (m/m)
- n: Coeficiente de rugosidad de Manning

Esta fórmula, permite estimar la velocidad media del agua en función de las características geométricas y de fricción del canal. Su aplicación es fundamental en el diseño de sistema de drenaje superficial como cunetas y canales viales (Ponce, 2015).

Tabla 47

Coeficiente de rugosidad de Manning “n”

Tipo de canal y descripción	Mínimo	Normal	Máximo
5. Canales revestidos o construidos			
a. Cemento			
1. Superficie limpia	0.010	0.011	0.013
2. Mortero	0.011	0.013	0.015

b. Madera

1. Cepillado, sin tratar	0.010	0.012	0.014
2. Cepillado, creosotado	0.011	0.012	0.015
3. No planeado	0.011	0.013	0.015
4. Tablón con listones	0.012	0.015	0.018
5. Forrado con papel para techos	0.010	0.014	0.017

c. Concreto

1. Acabado con llana	0.011	0.013	0.015
2. Acabado flotado	0.013	0.015	0.016
3. Terminado, con grava en el fondo	0.015	0.017	0.020
4. Inacabado	0.014	0.017	0.020
5. Gunita, buena sección	0.016	0.019	0.023
6. Gunita, buena sección ondulada	0.018	0.022	0.025
7. Sobre buena roca excavada	0.017	0.020	
8. Sobre roca excavada irregular	0.022	0.027	

Nota: Citado de Chow (1959) pág. 111

La siguiente tabla muestra los intervalos de velocidad aceptables según el material de la cuneta.

Tabla 48

Velocidades del agua con que se erosionan diferentes materiales.

Material	Velocidad m/s	Material	Velocidad m/s
Arena fina	0.45	Pizarra suave	2.0
Arcilla arenosa	0.50	Grava gruesa	3.50
Arcilla ordinaria	0.85	Zampeado	3.4 - 4.5
Arcilla firme	1.25	Roca sana	4.5 - 7.5
Grava fina	2.00	Hormigón	4.5 - 7.5

Nota: Citado de la normativa del MIT (2025).

2.7.3. Diseño de alcantarillas

Las alcantarillas son estructuras hidráulicas de corta longitud que permite el paso de agua por debajo de una vía, especialmente en zonas donde el trazado vial intercepta con cauces naturales como quebradas, arroyos o canales de riego. Según Ponce (2015), se definen como

conductos de drenaje ubicados en las intersecciones entre redes de transporte y redes naturales de escurrimiento.

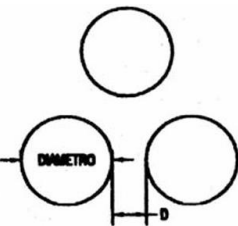
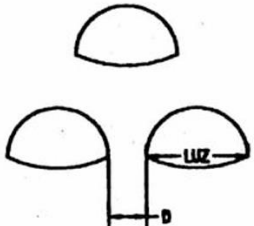
Esta definición coincide con la proporcionada por la Norma Ecuatoriana Vial NEVI-12, pág. 280, que describe a las alcantarillas como conductos cerrados de diversas formas, instalados transversalmente y por debajo del nivel de subrasante de una carretera. La alcantarilla conduce bajo la carretera el agua que llega desde pequeñas cuencas, cunetas o zonas de escurrimiento superficial y la descarga hacia un cauce natural. Con ello se evita el represamiento y la afectación del camino.

Para definir una alcantarilla se debe conocer el caudal que atravesará la vía y revisar la topografía, la categoría de la carretera y los materiales disponibles. El diseño también debe facilitar las tareas de inspección y limpieza, porque una estructura obstruida o deteriorada puede comprometer la estabilidad y reducir la vida útil del tramo.

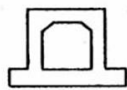
Al igual que en las cunetas, primero se estima el caudal probable y luego se adopta el caudal de diseño. En esta evaluación se combinan el método racional y la ecuación de Manning, de acuerdo con las condiciones hidrológicas e hidráulicas del sitio. Para ello, se recomienda realizar un estudio hidrológico basado en la metodología del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI, 2015).

Tabla 49

Tipos Comunes de Alcantarilla y Materiales

Tipo de alcantarilla	Sección típica	Materiales comunes
Tubo circular simple o múltiple		Hormigón armado metal ⁽¹⁾ corrugado
Tubo en arco, de tramo simple o múltiple		Metal ⁽¹⁾ corrugado

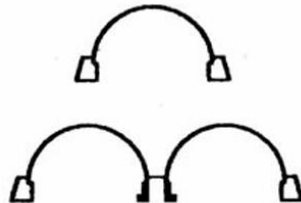
**Alcantarilla de cajón
simple o múltiple**



Hormigón armado



**Bóveda simple o
múltiple**



Metal ⁽¹⁾ corrugado
sobre base de hormigón
armado

Nota. Citado de la Normativa MIT (2025, p.281).

2.7.3.1. Caudal probable.

El caudal probable se refiere a la cantidad estimada de agua que puede circular por la alcantarilla durante un evento de lluvia, considerando las condiciones hidrológicas de la zona. Para este proyecto, se utiliza el mismo enfoque aplicado en el diseño de cunetas, empleando el método racional, recomendado por la normativa (MIT, 2025) pág. 300, para cuencas menores a 400 hectáreas.

El cálculo se realiza con base a la Ecuación 76, ya presentada en la sección anterior, considerando variables como la intensidad de la lluvia, el área de drenaje y el tipo de suelo.

2.7.3.2. Coeficiente de escorrentía C.

El coeficiente de escorrentía C, es un factor que representa a la proporción de agua de lluvia que se convierte en escorrentía superficial. Este valor depende del tipo de superficie, su permeabilidad y cobertura. Para este proyecto, se selecciona el coeficiente adecuado según el tipo de terreno presente en el área de estudio, utilizando como referencia la Tabla 46.

2.7.3.3. Intensidad de lluvia.

La intensidad de lluvia se refiere a la cantidad de precipitación que cae en una región durante un tiempo determinado, expresada en milímetros por hora (mm/h). En Ecuador, este dato se obtiene de estaciones pluviométricas distribuidas en distintas zonas del país.

Para este estudio, se selecciona la estación pluviométrica más cercana al área del proyecto, como muestra en la Figura 45.

Se puede realizar una interpolación con los valores en el periodo de retorno dependiendo del diseño. Usando una fórmula de acuerdo con los valores requeridos.

$$I = I_{30} + (I_{60} - I_{30}) * \frac{tc - 30}{60 - 30} \quad (83)$$

- I = intensidad de lluvia en mm/h.
- tc = tiempo de concentración en min.

2.7.3.4. *Periodo de retorno.*

El periodo de retorno es el intervalo estadístico que se utiliza para definir la magnitud de los eventos hidrológicos considerados en el diseño. Según la normativa (MIT, 2025) pág. 295, los valores mínimos recomendados varían según el tipo de vía:

- 200 años para carreteras arteriales
- 150 años para carreteras colectoras
- 100 años para carreteras vecinales

Para este proyecto de tesis, se selecciona el valor correspondiente al tipo de vía en estudio, con el fin de garantizar la seguridad hidráulica de la alcantarilla.

2.7.3.5. *Tiempo de concentración.*

Según Aristizábal Murillo (2012) tiempo de concentración se defina como el periodo que tarda una gota de agua en desplazarse superficialmente desde el punto más alejados de la cuenca hasta el punto de salida.

Este valor representa el tiempo de viaje del escurrimiento antes de alcanzar la alcantarilla. Para este proyecto, se determina el tiempo de concentración utilizando la Ecuación 74 ya aplicada en el diseño de cunetas, manteniendo la coherencia metodológica con el resto del sistema de drenaje.

2.7.3.6. *Área de drenaje.*

El área de drenaje se define como la superficie delimitada por la divisoria de aguas dentro de la zona de estudio, expresada en hectáreas o kilómetros cuadrados.

La exactitud del área delimitada incide directamente en el caudal calculado y, por tanto, en el tamaño de la obra. Por esa razón, es conveniente contrastar las mediciones con más de un procedimiento y mantener diferencias inferiores al 3 % entre los resultados (Aristizábal Murillo, 2012).

De acuerdo con el MIT (2025), la cuenca de aporte puede delimitarse mediante cartografía topográfica del IGM a escala 1:25.000, fotografías aéreas o herramientas digitales que permitan reconocer las divisorias del drenaje.

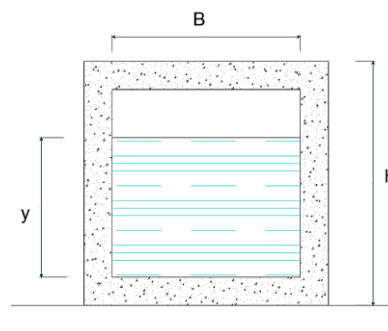
De forma complementaria, el Instituto Universitario Politécnico Santiago Mariño (2023) indica que herramientas como Google Earth Pro también pueden emplearse para delimitar y estimar el área de drenaje de manera práctica, especialmente en sectores rurales donde la disponibilidad de cartografía detallada puede ser limitada.

2.7.3.7. Caudal de diseño.

El caudal de diseño corresponde al flujo máximo que la alcantarilla debe evacuar durante un evento de lluvia con el período de retorno seleccionado. En este proyecto se mantuvo el método racional usado para las cunetas, con el fin de aplicar un mismo criterio en todo el sistema. El cálculo relaciona el área aportante, la intensidad de la precipitación y el coeficiente de escorrentía para comprobar el funcionamiento de la estructura durante el evento de diseño (MIT, 2025).

Figura 47

Sección de alcantarilla ducto cajón.



Donde:

- H: Altura de cajón (m).
- B: Base de cajón (m).
- y: Tirante de agua (m).

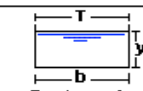
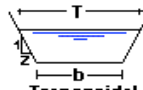
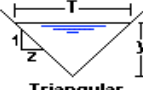
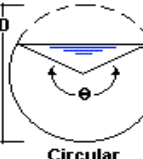
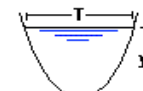
Con las dimensiones adoptadas para el ducto cajón se obtienen las variables hidráulicas necesarias para calcular y verificar el caudal de diseño.

2.7.3.8. Radio Hidráulico.

De acuerdo con las secciones transversales se elige las fórmulas para calcular.

Tabla 50

Sección de alcantarilla ducto cajón.

Tipo de sección	Área A (m ²)	Perímetro mojado P (m)	Radio hidráulico Rh (m)	Espejo de agua T (m)
 Rectangular	by	$b+2y$	$\frac{by}{b+2y}$	b
 Trapezoidal	$(b+zy)y$	$b+2y\sqrt{1+z^2}$	$\frac{(b+zy)y}{b+2y\sqrt{1+z^2}}$	$b+2zy$
 Triangular	zy^2	$2y\sqrt{1+z^2}$	$\frac{zy}{2\sqrt{1+z^2}}$	$2zy$
 Circular	$\frac{(\theta - \text{sen}\theta)D^2}{8}$	$\frac{\theta D}{2}$	$(1 - \frac{\text{sen}\theta}{\theta})\frac{D}{4}$	$(\text{sen}\frac{\theta}{2})D$ ó $2\sqrt{y(D-y)}$
 Parabólica	$\frac{2}{3}Ty$	$T + \frac{8y^2}{3T}$	$\frac{2T^2y}{3T^2+8y^2}$	$\frac{3A}{2y}$

Nota. Citado de Hidráulica de canales abiertos (Chow V. , 1994)

La cual indica la ecuación de radio hidráulico.

$$Rh = \frac{By}{B+2y} \quad (84)$$

2.7.3.9. Área mojada.

El área mojada corresponde a la sección transversal del flujo que está en contacto con el agua dentro de la alcantarilla ducto cajón. Este parámetro es fundamental para aplicar la ecuación de Manning y calcular la capacidad hidráulica del conducto.

Su valor depende de la geometría de la alcantarilla y del tirante de agua, por lo que se determina en función del diseño adoptado (MIT, 2025).

$$Am = B * y \quad (85)$$

Donde el Am se expresa en m².

2.7.3.10. *Perímetro mojado*

El perímetro mojado, en el contexto de un ducto cajón, corresponde a la longitud del contorno interno de la sección transversal que se encuentra en contacto directo con el flujo del líquido transportado. En otras palabras, es la línea que delimita la parte del conducto que permanece en contacto con el agua u otro fluido durante su circulación.

$$Pm = B + 2y \quad (86)$$

Siendo el resultado expresado en m.

2.7.3.11. *Velocidad de diseño*

Corresponde a la rapidez con la que se desplaza el agua u otro fluido a través de un ducto, canal o conducto, la cual se determina mediante la aplicación de la Tabla 47 de Manning y se expresa en m/s.

$$V = \frac{1}{n} * Rh^{2/3} * S^{1/2} \quad (87)$$

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN

3.1.1. Tipo.

La investigación es de tipo aplicada, ya que busca generar una solución técnica a un problema específico mediante la utilización de conocimientos científicos y tecnológicos (Hernández Sampieri et al., 2014). Por lo que, la investigación está orientada a dar respuesta a una necesidad real presente en la comuna Engullima: el mejoramiento de su vía de acceso hacia el centro parroquial de Chanduy desarrollando una propuesta funcional y adecuada al contexto rural.

El estudio se sustenta en la obtención y análisis de información del terreno, lo que permite plantear una solución constructiva alineada con las condiciones reales del sitio.

3.1.2. Nivel.

La investigación descriptiva tiene como propósito especificar las propiedades, las características y los perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o fenómenos, mediante la recolección de información sobre las variables involucradas, sin establecer relaciones causales entre ellas (Hernández Sampieri et al., 2014). Por su parte, la investigación explicativa va más allá de la descripción de conceptos, pues está dirigida a responder por las causas de los eventos y fenómenos estudiados, estableciendo las relaciones existentes entre dos o más variables (Arias, 2012; Hernández Sampieri et al., 2014).

En este contexto, la presente investigación presenta un nivel descriptivo, debido a que caracteriza las condiciones físicas, geotécnicas, topográficas e hidráulicas del tramo vial Engullima–Chanduy mediante la recopilación de información de campo y laboratorio. De igual manera, posee un nivel explicativo, ya que analiza la relación existente entre dichas condiciones del terreno y los criterios técnicos adoptados para el diseño geométrico, estructural e hidráulico de la vía proyectada, lo cual permite comprender el escenario existente y justificar la solución planteada.

3.2. MÉTODO, ENFOQUE Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

3.2.1. Método.

El método hipotético-deductivo consiste en formular una hipótesis a partir de una premisa general, de la cual se derivan consecuencias particulares que posteriormente se contrastan con la evidencia empírica obtenida en campo, permitiendo confirmar o refutar dicha hipótesis (Bernal, 2011).

En la presente investigación se aplica este método partiendo de la premisa de que el mejoramiento geométrico, hidráulico y estructural del tramo vial Engullima–Chanduy contribuye a mejorar la movilidad rural y la seguridad vial del sector. Para validar esta hipótesis, se recaba información en campo, se realizan ensayos de laboratorio y se ejecutan cálculos técnicos que permiten sustentar la propuesta de diseño vial.

3.2.2. Enfoque.

El enfoque cuantitativo se caracteriza por la recolección y el análisis de datos numéricos para responder preguntas de investigación y probar hipótesis previamente establecidas, mediante la medición, el conteo y el uso de herramientas estadísticas que permiten identificar patrones de comportamiento de manera objetiva y verificable (Hernández Sampieri et al., 2014).

El presente estudio adopta este enfoque, pues el análisis se basa en mediciones reales, ensayos geotécnicos y procedimientos técnicos establecidos en normativas como MIT, ASTM y AASHTO. Los resultados obtenidos son numéricos y permiten obtener parámetros confiables para el diseño de la vía proyectada.

3.2.3. Diseño.

La investigación de campo consiste en la recolección de datos directamente de la realidad donde ocurren los hechos, sin manipular ni controlar variable alguna, lo que permite estudiar los fenómenos en su ambiente natural (Arias, 2012). Se complementa con una revisión documental, entendida como el proceso de búsqueda, recuperación y análisis de información proveniente de fuentes impresas y electrónicas (Arias, 2012). Asimismo, corresponde a un diseño no experimental, ya que no existe manipulación deliberada de las variables, sino que estas se observan tal como se presentan en su contexto real para posteriormente analizarlas (Hernández Sampieri et al., 2014).

En este sentido, la presente investigación es de campo y no experimental, complementada con revisión documental, debido a que se desarrollaron actividades directamente en el sitio del proyecto, como el levantamiento topográfico y la toma de muestras de suelo mediante calicatas. En laboratorio se determinaron las propiedades físico-mecánicas del material, apoyándose en normativas técnicas y literatura especializada que respaldan los procedimientos adoptados para el diseño geométrico, hidráulico y estructural.

3.3. POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO

3.3.1. Población.

La población de la investigación está constituida por las unidades geotécnicas presentes a lo largo del tramo vial Engullima–Chanduy, en la parroquia Chanduy, cantón Santa Elena, susceptibles de ser caracterizadas mediante exploración de campo y ensayos de laboratorio. Estas unidades corresponden al terreno donde se desarrollará la vía, por lo que sus propiedades condicionan las decisiones del diseño rural.

En términos metodológicos, la población del estudio comprende el conjunto de características físicas del área que pueden observarse y medirse. López (2004) define la población como el grupo de elementos que comparten rasgos de interés para la investigación.

3.3.2. Muestra.

La muestra se definió mediante puntos de exploración geotécnica ubicados sistemáticamente a intervalos de 500 a 600 m a lo largo del eje vial, conforme a la práctica habitual en estudios geotécnicos para obras lineales, en función de la variabilidad del subsuelo (NORMA 6.1 IC, 2003). Dentro de cada intervalo, la ubicación específica del punto se ajustó considerando la topografía del terreno, considerando los sectores de menor pendiente que permitieran una excavación segura y una muestra representativa de las condiciones del terreno (NEVI-12, 2013). En dichos puntos se realizaron seis calicatas, a una profundidad de hasta 150 cm (detalle que se desarrolla en el apartado 3.6.2), de las cuales se extrajeron muestras representativas del suelo que permiten analizar las condiciones físico-mecánicas del terreno y establecer parámetros de diseño con base en resultados reales.

Siguiendo a López (2004), la muestra corresponde a una parte seleccionada de la población que permite obtener información confiable sin necesidad de estudiar todos los elementos presentes.

3.3.3. Muestreo.

El muestreo aplicado fue de tipo sistemático con ajuste técnico, ya que la selección de los puntos se sustentó en criterios técnicos relacionados con la variabilidad geológica y topográfica del terreno —combinando el intervalo regular de exploración con la identificación de zonas representativas del comportamiento del suelo—, conforme a los lineamientos de caracterización de sitio establecidos en la norma ASTM D 420 (2003).

López (2004), señala que este tipo de muestreo selecciona deliberadamente los puntos que mejor representan las condiciones analizadas. De esta forma se obtiene información pertinente para responder a los objetivos del estudio.

Los puntos de exploración se distribuyeron a lo largo del tramo y se ajustaron según los cambios de suelo observados durante el recorrido. Con esta selección se procuró representar las condiciones que realmente presenta el terreno.

3.4. UBICACIÓN DE LOS SECTORES DE ESTUDIO

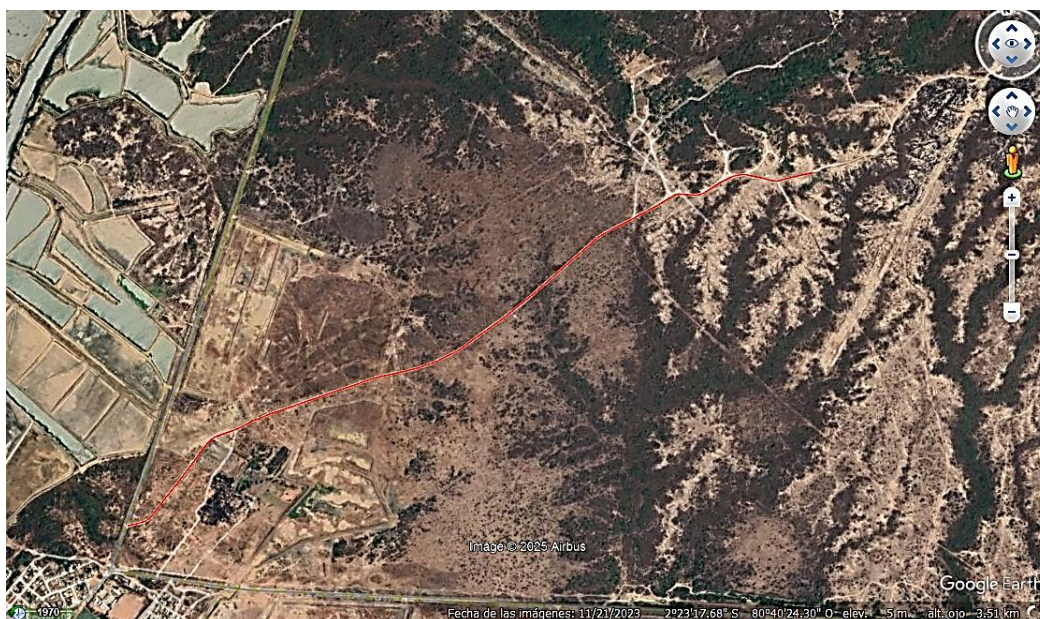
La vía de estudio se ubica en la provincia de Santa Elena, cantón Santa Elena, en el sector de Engullima, perteneciente a la parroquia Chanduy. Se trata de un camino rural de 3,070 km que conecta viviendas y pequeñas áreas productivas de la zona con el centro parroquial.

En la comunidad predominan las actividades económicas de carácter primario, siendo la agricultura y la pesca artesanal las principales ocupaciones de sus habitantes. Estas labores representan una importante fuente de sustento y están influenciadas por las características geográficas de la zona y su cercanía al litoral (Alencastro López et al., 2000; De La Cruz, 2015).

La mejora de este acceso resulta importante para fortalecer la movilidad interna y facilitar el desplazamiento de los habitantes hacia los servicios básicos y actividades económicas presentes en la parroquia.

Figura 48

Ubicación del tramo vial en el sector Engullima – Parroquia Chanduy, Santa Elena



Fuente: Plataforma de Google Earth Pro

Las coordenadas UTM correspondientes al eje del proyecto geométrico se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 51

Coordenadas UTM del proyecto geométrico vial.

Ubicación		Coordenadas UTM		Cota
		E(m)	N(m)	m.s.n.m
Inicio	Vía Engullima	536499.39	9734533.48	11.30
Fin	Pueblo de Engullima	539317.05	9735466.21	19.93

3.5. DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA.

La metodología empleada para el desarrollo de esta investigación se estructuró en tres procesos principales, relacionados directamente con los objetivos específicos planteados. La primera etapa incluyó las actividades iniciales orientadas a conocer técnicamente las condiciones de la vía Engullima–Chanduy. Para ello, se realizó el levantamiento topográfico, la toma y caracterización de muestras de suelo, los ensayos físico-mecánicos en laboratorio y el aforo vehicular para calcular el TPDA.

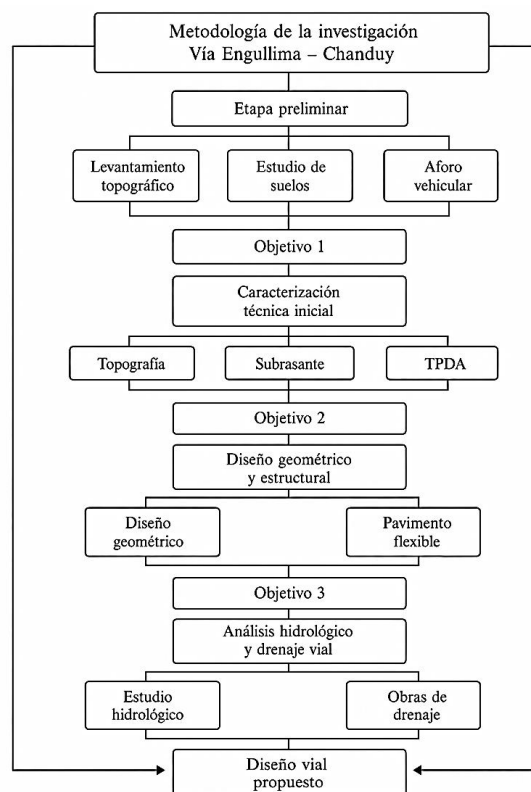
Estos procedimientos permitieron contar con información base sobre el relieve del terreno, la capacidad de soporte de la subrasante, la composición del tránsito y los datos necesarios para iniciar el diseño vial.

Con la información recopilada, se elaboró el diseño geométrico y estructural de la vía, considerando la mejora del alineamiento existente, los elementos del trazado horizontal y vertical, la sección transversal y la estructura de pavimento flexible más adecuada según las condiciones del tránsito y del terreno. Finalmente, se efectuó el análisis hidrológico del área de estudio, determinando los parámetros de la microcuenca, el tiempo de concentración, la intensidad de lluvia y los caudales de diseño.

Estos resultados sirvieron para dimensionar las cunetas, alcantarillas y demás obras de drenaje necesarias para asegurar el correcto funcionamiento de la vía. En la siguiente figura se sintetiza la metodología aplicada para el desarrollo de la investigación.

Figura 49

Descripción metodológica de la investigación



3.6. METODOLOGÍA DEL OE1: REALIZAR EL LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO, EL ESTUDIO DE SUELOS Y EL ESTUDIO DE TRÁFICO PROMEDIO DIARIO ANUAL (TPDA) PARA EL DISEÑO VIAL.

Para cumplir con el primer objetivo específico, se desarrolló una metodología que combina actividades de campo y análisis en laboratorio, siguiendo lineamientos técnicos establecidos por la normativa ecuatoriana y referencias especializadas.

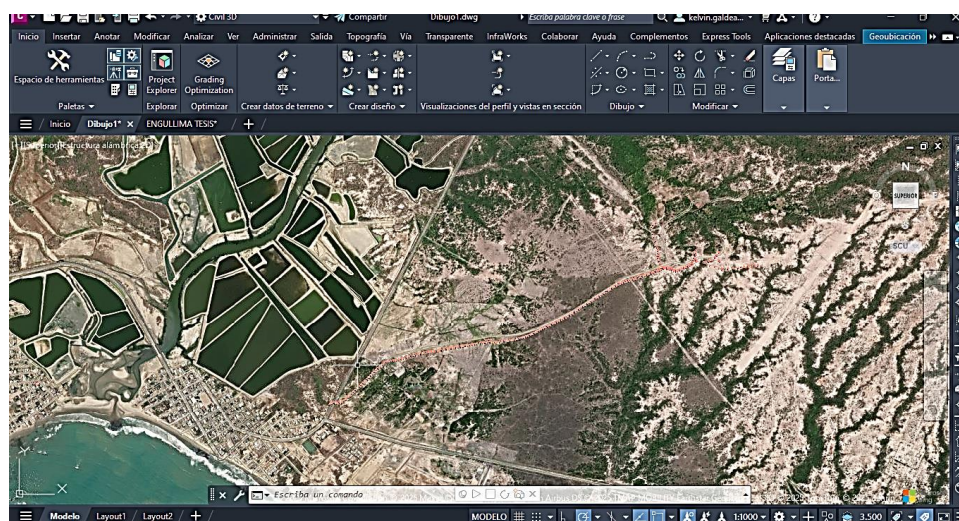
3.6.1. Levantamiento topográfico.

Esta información es indispensable para definir el trazado y las pendientes del proyecto conforme a los criterios de diseño geométrico establecidos en la Norma Ecuatoriana Vial NEVI-12 (MIT, 2025).

El levantamiento topográfico tuvo como finalidad obtener la configuración real del terreno dentro del área de estudio, registrando tanto la geometría planimétrica como las variaciones altimétricas del camino existente. Esta información constituye la base para el diseño vial, ya que permite identificar las pendientes naturales, los puntos críticos del relieve y la localización precisa del eje de la vía. Con los datos recopilados fue posible generar el modelo digital del terreno, las curvas de nivel y los perfiles requeridos para definir de manera adecuada el trazado y las futuras obras de mejoramiento.

Figura 50

Levantamiento topográfico de la vía de diseño



3.6.1.1. Equipos utilizados.

El levantamiento topográfico del terreno se realizó utilizando un receptor GNSS en modo RTK de marca SingularXYZ, modelo E1, capaz de registrar coordenadas planimétricas y altimétricas con una precisión de $\pm 8 \text{ mm} + 1 \text{ ppm}$ en horizontal y $\pm 15 \text{ mm} + 1 \text{ ppm}$ en vertical, conforme a las especificaciones del fabricante. Las especificaciones técnicas del equipo empleado se presentan en el Anexo III.

El equipo se utilizó junto con accesorios como antena, bastón y controlador, lo que permitió registrar de manera eficiente los puntos ubicados sobre el eje de la vía y en sus zonas cercanas. Para la marcación y comprobación del punto base se utilizaron estacas, pintura en aerosol, cinta métrica y otros materiales auxiliares. Los datos obtenidos en campo se procesaron posteriormente con un programa especializado en topografía y diseño vial. En esta etapa se organizó la base de puntos, se verificó la consistencia de los registros y se dejó preparada la información para continuar con el análisis.

Figura 51

Trípode empleado para soporte de receptor GNSS RTK durante el levantamiento.



Figura 52

Controlador topográfico utilizado para la captura de coordenadas en campo.



Figura 53

Equipo GNSS RTK (rover) utilizado para la toma de puntos en campo.



3.6.1.2. Metodología de campo.

El levantamiento se ejecutó mediante una secuencia previamente definida para reducir errores y obtener datos confiables. Primero se recorrió el área con el propósito de reconocer los accesos, ubicar referencias y localizar sectores con recepción satelital favorable. Después de escoger el punto base, se instaló el receptor GNSS y se comprobó tanto la estabilidad de la señal como el número de satélites enlazados antes de iniciar las mediciones.

Figura 54

Levantamiento de puntos con equipo GNSS RTK durante el recorrido de la vía.



Una vez configurados los receptores en modo RTK, se siguió el camino existente y se levantaron puntos del eje con el espaciamiento establecido para el proyecto. También se levantaron puntos adicionales en sectores donde se observaron variaciones importantes del terreno, como pendientes pronunciadas, curvas y pasos de quebradas. Durante todo el proceso se realizó un control de calidad de la información, verificando aspectos como la precisión del equipo, las correcciones diferenciales y las condiciones de recepción de la señal satelital.

Las mediciones se complementaron con observación directa de elementos físicos relevantes, tales como accesos secundarios, drenajes naturales y condiciones generales del terreno, lo que permitió contar con información contextual que aportó a la etapa posterior de diseño. Al finalizar la jornada, los datos fueron respaldados y verificados para confirmar su integridad antes del procesamiento digital.

3.6.1.3. *Procesamiento de datos en civil 3D.*

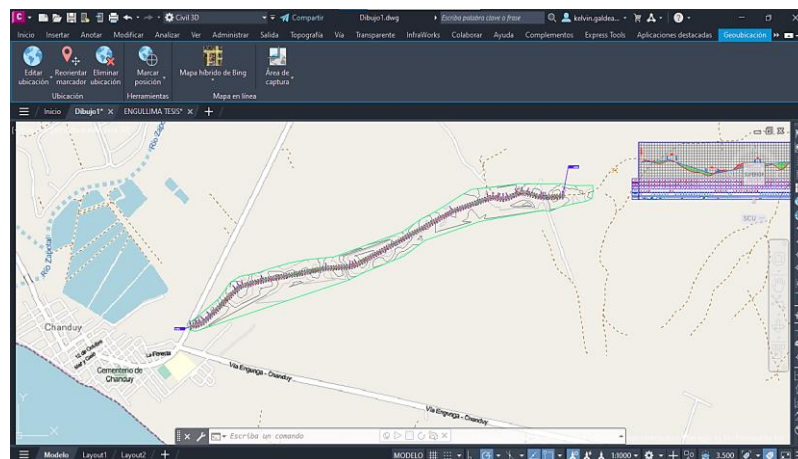
Finalizado el levantamiento en campo, los datos registrados fueron transferidos al equipo de cómputo para su revisión, organización y depuración. Los archivos obtenidos mediante el receptor GNSS se importaron al software Autodesk Civil 3D, donde se comprobaron las coordenadas, cotas y la coherencia general de la base de datos.

En esta fase también se descartaron puntos repetidos o registros con inconsistencias que pudieran alterar la precisión del modelo topográfico. Luego, se configuró el sistema de coordenadas correspondiente al área de estudio, asegurando que la información levantada se encuentre correctamente vinculada al marco georreferenciado del proyecto.

Una vez validada la nube de puntos, se generó una superficie TIN (Triangulated Irregular Network), la cual permitió representar de manera adecuada la forma y variaciones del terreno. Con base en esta superficie digital se obtuvieron las curvas de nivel, el perfil longitudinal del eje vial y las secciones transversales necesarias para el análisis geométrico del camino. Este procesamiento permitió interpretar con mayor claridad las condiciones reales del terreno y sirvió como insumo técnico para las siguientes etapas del diseño vial.

Figura 55

Procesamiento de datos topográficos y visualización del eje de la vía en Autodesk Civil 3D.



3.6.1.4. *Consideraciones técnicas y control de calidad.*

Durante el levantamiento topográfico se aplicaron criterios de control para asegurar la confiabilidad de la información recopilada. Para la toma de puntos se empleó un receptor GNSS RTK modelo E1 – SingularXYZ, trabajando con solución fija RTK. Como criterio de aceptación se tomó en cuenta la precisión establecida en la ficha técnica del equipo, equivalente a 8 mm + 1 ppm en horizontal y 15 mm + 1 ppm en vertical. También se verificó que existiera una cantidad suficiente de satélites para conservar la solución fija, junto con la estabilidad de la señal GNSS y la recepción adecuada de correcciones diferenciales.

Cuando se presentaban pérdidas de señal, solución flotante o valores fuera del rango de precisión permitido, el punto era medido nuevamente hasta obtener condiciones estables antes de ser incorporado al levantamiento.

De igual manera, se mantuvieron registros auxiliares durante el trabajo de campo, incluyendo observaciones sobre las condiciones del entorno, presencia de obstáculos, vegetación densa o interferencias físicas que pudieran afectar la recepción satelital. Además, se realizó un respaldo diario de la información levantada, con el propósito de evitar pérdidas de datos y facilitar una revisión antes del procesamiento final.

Estas acciones permitieron asegurar que la información empleada en el diseño geométrico represente con precisión las condiciones reales del terreno, proporcionando una base técnica confiable para el desarrollo del proyecto vial.

3.6.2. *Recolección de muestras de suelo.*

Durante el trabajo de campo se llevó a cabo la toma de muestras de suelo en distintos puntos del trazado de la vía. La ubicación de cada sitio se eligió considerando las características del terreno, cambios de pendiente y zonas representativas del comportamiento del suelo (ASTM D 420, 2003).

3.6.2.1. *Recolección de muestras de suelo.*

Cada muestra fue identificada directamente en campo con un código, fecha y ubicación precisa, para lo cual se utilizaron coordenadas UTM obtenidas mediante un equipo GPS/RTK.

3.6.2.2. Profundidad.

Para determinar las condiciones reales del terreno, las muestras se obtuvieron principalmente de la capa superficial del suelo, hasta 150 cm de profundidad, que corresponde al nivel donde se trabajará la subrasante vial según los criterios de las normas (AASHTO, 1993; ASTM D 420, 2003; MIT, 2025).

En los sitios donde fue necesario evaluar con mayor detalle la estructura del suelo, se realizaron excavaciones puntuales más profundas, lo que permitió observar la estratificación natural y asegurar una caracterización adecuada del material existente.

3.6.2.3. Equipos utilizados.

Para garantizar una correcta obtención y manejo del material en campo, fue necesario emplear equipos y herramientas adecuados para las actividades de exploración geotécnica según los criterios del libro B de la norma para estudios y diseño vial de la NEVI-12 (2013).

Con este propósito, se ejecutaron 6 calicatas, distribuidas a lo largo del eje de la vía con un espaciamiento aproximado de 500 – 600 m y una profundidad de 1,50 m cada una, con el fin de obtener muestras representativas de la subrasante para su posterior caracterización en laboratorio. Las calicatas se excavaron manualmente con palas, picos y barras.

El material se extrajo de manera controlada para conservar, en la medida de lo posible, sus condiciones originales. Durante cada excavación se anotaron la ubicación, la profundidad y las características visibles de los estratos.

Una vez identificadas, empacadas y selladas, las muestras se llevaron al laboratorio procurando que conservaran su humedad y que no sufrieran alteraciones importantes durante el traslado. De esta manera, se buscó asegurar que los ensayos posteriores reflejen de forma confiable las propiedades reales del suelo analizado.

Se recolectó material en estado natural destinado a ensayos geotécnicos, siguiendo criterios establecidos en normas técnicas como ASTM.

Tabla 52

Muestras de las calicatas extraídas

Abscisa	Calicata	N.º muestra	Profundidad (m)	Observación
0+010	C-1	M-1	1,50	1 estrato
0+550	C-2	M-2 ^a	0,00 – 0,80	Estrato 1
0+550	C-2	M-2B	0,80 – 1,50	Estrato 2
1+200	C-3	M-3	1,50	1 estrato
1+760	C-4	M-4	1,50	1 estrato
2+350	C-5	M-5	1,50	1 estrato
3+000	C-6	M-6	1,50	1 estrato

Nota: En ninguna de las calicatas realizadas se encontró nivel freático hasta la profundidad de 1,50 m.

Figuras 56

Extracción de muestras a lo largo de la vía de estudio



Nota: Las imágenes de las demás calicatas se encuentran en la parte de Anexo VI.

Figuras 57

Traslado de las muestras de suelo para ser evaluadas en laboratorio



3.6.3. Caracterización del suelo, estudio y recolección de muestras en campo.

Para comprender el comportamiento del terreno donde se desarrolla el proyecto, se llevó a cabo la caracterización del suelo obtenido en campo.

Figura 58

Inspección del suelo en el lugar del proyecto



Una vez recolectadas las muestras, se realizó una revisión inicial en sitio, observando aspectos como color, textura, formación de capas y presencia de material orgánico. Esta primera apreciación permitió tener una idea general del tipo de suelo predominante y su posible desempeño según las normas (ASTM D2487-17, 2017; ASTM D2488-17e1, 2017).

Figura 59

Evaluación física del material encontrado en sitio



3.6.4. Ensayos físicos mecánicos de laboratorio.

En el laboratorio se efectuaron diversos ensayos para conocer con mayor precisión las propiedades del material. Entre las pruebas realizadas se incluyen análisis de granulometría, contenido de humedad, determinación de límites de plasticidad, densidad y clasificación del suelo mediante los sistemas AASHTO y USCS. También se desarrollaron ensayos de compactación y soporte, como Proctor y CBR, con los cuales se evaluó la capacidad del suelo para funcionar como subrasante en la estructura vial.

Figura 60

Muestras dejadas en el laboratorio de suelos



3.6.4.1. *Ensayo de contenido de humedad.*

Para este ensayo se toma una pequeña muestra de cada material extraído de las calicatas, para cada muestra se determinó su humedad natural. Este procedimiento da siguiendo a la norma ASTM D2216-19, cuyo valor es importante debido a que la humedad influye en la compactación del suelo y en su comportamiento bajo carga.

Tabla 53

Materiales y equipos utilizados para el ensayo de humedad

Material / Equipo	Descripción técnica
Horno de secado	Capaz de mantener una temperatura constante de 110 ± 5 °C.
Balanza digital	Con precisión mínima de 0,01 g.
Recipientes metálicos (taras)	Contenedores resistentes al calor, identificados individualmente.
Espátula de acero inoxidable	Para manipular la muestra sin alterarla.
Muestras de suelo	Extraídas directamente de las canteras a una profundidad de 1 m y 1,5 m.
Guantes de látex y elementos de protección	Para manipular los materiales y garantizar seguridad e higiene.

Procedimiento:

- Se tomó una muestra representativa del material granular obtenido en cada calicata, verificando que no presentara alteraciones visibles ni contaminación con otros materiales. Posteriormente, fue colocada en un recipiente hermético para conservar sus condiciones hasta el momento de realizar el ensayo.

- Se pesó primero el recipiente metálico vacío para obtener la tara. A continuación, se introdujo una porción de suelo húmedo y se registró el peso del conjunto.
- El recipiente con la muestra se colocó en el horno durante cerca de 24 horas y permaneció allí hasta que su masa dejó de variar.
- Al terminar el secado, el recipiente se retiró del horno, se dejó enfriar y luego se registró la masa final del suelo seco.

Figura 61

Ensayo de contenido de humedad en laboratorio



Para determinar el contenido de humedad de cada calicata se aplica la Ecuación 1:

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

Donde W_w corresponde al peso del agua y W_s al peso del suelo seco. Los valores obtenidos para cada calicata se detallan en el Anexo VII.

El valor obtenido representa el porcentaje de humedad natural del suelo al momento de la extracción de la muestra. A largo del proyecto se tiene la tabla detallada en los cálculos de Ensayos de laboratorio.

3.6.4.2. Ensayo de granulometría y clasificación de suelo

Con el propósito de determinar las características físicas y la clasificación de los materiales provenientes a lo largo de la vía de estudio, se realizaron ensayos de laboratorio orientados a identificar las muestras de suelo conforme a las recomendaciones establecidas en las normas ASTM aplicables.

Tabla 54*Materiales y equipos utilizados para el análisis granulométrico*

Material / Equipo	Descripción técnica
Juego de tamices	Desde el Tamiz N.º 4 (4,75 mm) hasta el Tamiz N.º 200 (0,075 mm), con base y tapa.
Agitador mecánico	Para la vibración durante el tamizado se procede a realizarlo manual
Balanza digital	Precisión de 0,01 g.
Horno de secado	A 110 ± 5 °C.
Muestras de suelo secas	Extraídas directamente de las canteras a una profundidad de 1 m y 1,5 m.

Procedimiento:

- Inicialmente, se efectuó la recolección de muestras representativas de cada calicata procurando evitar alteraciones o contaminación del material durante el transporte y almacenamiento.
- La selección del método de análisis granulométrico se realizó en función de las características visuales y el contenido de material fino presente en cada muestra. Para los materiales predominantemente granulares se efectuó un análisis granulométrico mediante tamizado mecánico, mientras que para los suelos con alto contenido de finos se complementó el estudio mediante ensayos de límites de Atterberg, donde previamente las muestras fueron sometidas a un proceso de secado en horno a una temperatura aproximada de 105 °C a 110 °C,
- Para la clasificación granulométrica del suelo, se realizó el ensayo de análisis granulométrico mediante tamizado, siguiendo la norma (ASTM D6913-04, 2017) (tamices N.º 4, N.º 10, N.º 40 y N.º 200).

El ensayo permitió identificar el porcentaje de partículas gruesas y finas presente en las muestras, lo cual es fundamental para clasificar el suelo y determinar su comportamiento como subrasante.

Figuras 62

Ensayo de granulometría por tamizado



3.6.4.3. Ensayo de Límites de Atterberg (Límite Líquido, Plástico e Índice Plástico).

Estos parámetros son esenciales para el diseño y evaluación del desempeño de materiales granulares en capas estructurales de vías. Se ejecutaron los ensayos de límites de Atterberg, específicamente límite líquido y límite plástico a partir de la norma (ASTM D6913-04, 2017).

Tabla 55

Materiales y equipos utilizados para el ensayo de Límites de Atterberg

Material / Equipo	Descripción técnica
Dispositivo de copa de Casagrande	Para la determinación del límite líquido
Espátula de acero	Para moldear y cortar la muestra
Tamiz N.º 40 (0,425 mm)	Para obtener la fracción fina del suelo
Superficie lisa	Para moldear cilindros de suelo en el límite plástico
Balanza digital	Precisión de 0,01 g
Recipientes metálicos	Recipientes metálicos Para pesar las muestras húmedas y secas.
Horno de secado	Capaz de mantener $110 \pm 5^\circ\text{C}$
Muestras de suelo	Procedentes de las calicatas a lo largo de la vía Engullima – Chanduy

Procedimiento Límite Líquido:

- La muestra de suelo fue secada, triturada y pasada por el tamiz N.º 40 para obtener el material apto para el ensayo.

- Se colocó el suelo húmedo en la copa de Casagrande, se la niveló e hizo una ranura con la espátula a mitad de la muestra puesta y se contabilizó el número de golpes necesarios para cerrar la ranura
- Se retiró una parte para determinar el contenido de la muestra y se repitió el proceso hasta determinar los 4 puntos.
- Se graficó el número de golpes vs el contenido de humedad correspondiente de la muestra a 25 golpes.

Procedimiento Límite Plástico:

- Se tomó una porción de la muestra ya tamizada y agregó agua hasta que se formó una masa plástica.
- Se moldeó con las manos un cilindro de 3mm. de diámetro sobre una superficie lisa o hasta desmoronarse hasta llegar al grosor indicado.
- Las muestras fueron depositadas en un recipiente, repitiendo al menos 3 veces para cada muestra de la calicata y llevada al horno.
- Se determinó el contenido de humedad de las muestras.

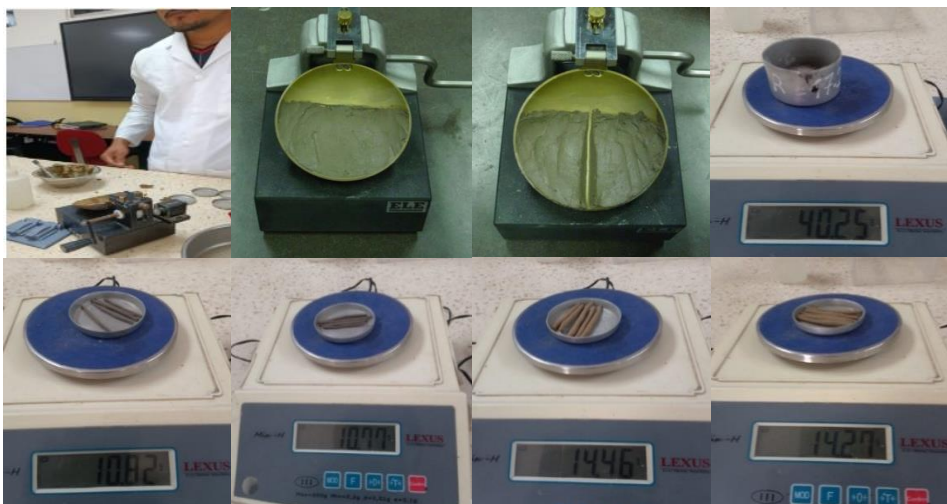
Procedimiento Índice Plástico:

El índice plástico se calculó mediante la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico por medio de la Ecuación 2:

$$IP = LL - LP$$

Figuras 63

Ensayo de Límites de Atterberg (Límite Líquido, Plástico e Índice de Plasticidad)



3.6.4.4. Sistema SUCS y Sistema AASHTO.

Con los datos obtenidos en los ensayos anteriores, se clasificó el suelo según los sistemas SUCS y AASHTO por la norma ASTM D2487-17 y ASTM D3282-15, respectivamente.

Esta clasificación permitió ubicar el material dentro de categorías estándar y facilitar su evaluación para uso vial permitiendo identificar el comportamiento y tipo de suelo presente en cada calicata estudiada.

Tabla 56

Cuadro Comparativo de clasificación AASHTO - SUCS

Clasificación De Suelos AASHTO	Clasificación De Suelos SUCS
A-1-a	GW, GP, GM, SW, SP, SM
A-1-b	GM, GP, SM, SP
A-2	GM, GC, SM, SP
A-3	SP
A-4	CL, ML
A-5	ML, MH, CH
A-6	CL, CH
A-7	OH, MH, CH

Fuente: Ensayo de laboratorio de suelos MTC, 2016 Pg.36

3.6.4.5. Ensayo de Gravedad Específica de Sólidos de Suelo.

Se determinó la gravedad específica del material con el propósito de conocer su densidad relativa y la proporción de sólidos presentes. El ensayo se realizó conforme a la norma ASTM D854-14.

Tabla 57

Materiales y equipos utilizados para el ensayo de gravedad específica

Material / Equipo	Descripción
Picnómetro de vidrio	Utilizado para determinar el volumen desplazado por las partículas sólidas.
Balanza digital	Con precisión mínima de 0,01 g para el pesaje de las muestras.
Horno de secado	Empleado para eliminar la humedad natural del suelo.
Agua destilada	Utilizada durante el ensayo para evitar alteraciones químicas.

Tamiz ASTM	Utilizado para preparar la muestra antes del ensayo.
Cuchara metálica	Para manipulación de las muestras.
Termómetro	Para controlar la temperatura del agua durante el procedimiento.
Glicerina	Para calentar la muestra
Cocina eléctrica	Para realizar el baño María a la muestra

Procedimiento:

- Las muestras obtenidas de las calicatas fueron secadas en horno a una temperatura controlada de 105 ± 5 °C hasta alcanzar peso constante. Posteriormente las muestras fueron trituradas y tamizadas según los criterios de la norma ASTM D854-14 (2023).
- Para el desarrollo del ensayo se utilizó un picnómetro de vidrio previamente calibrado, el cual fue pesado vacío, se pesó la muestra tamizada, luego se agregó agua destilada hasta la marca del recipiente recubrir completamente la muestra y fue pesada.
- Se agregó la muestra previamente vaciando el recipiente y se llenó con el agua destilada hasta la marca indicada agitando para eliminar cuidadosamente las burbujas de aire atrapadas mediante agitación suave y controlada, nuevamente fue pesado el recipiente con la muestra y el agua destilada.
- Con el termómetro se tomó la temperatura y se procedió a calentar la muestra en baño María para eliminar las burbujas y que el agua penetre mejor en la muestra, luego se dejó enfriar.
- Una vez completado estos pasos se realizó el llenado del picnómetro, tomando la temperatura y se registró el peso total del conjunto y determinar la gravedad específica de las partículas sólidas del suelo. Finalmente, se evaluó el comportamiento físico de los materiales complementando la caracterización geotécnica de las muestras provenientes de las distintas calicatas estudiadas.

Figuras 64

Realización del ensayo de Gravedad Específica



Durante este proceso se utilizó la tabla de valores de corrección establecida en la norma ASTM D854, con el fin de compensar las variaciones de densidad del agua ocasionadas por cambios térmicos durante el ensayo. Los detalles de los cálculos se encuentran en los anexos de Ensayos de laboratorio.

3.6.4.6. Ensayo de Abrasión.

Para la metodología del ensayo de abrasión Los Ángeles se realizó con las normas (ASTM C131 / C131M - 20, 2020; ASTM C535 - 16, 2016) con la finalidad de evaluar la resistencia al desgaste, fragmentación e impacto de los agregados utilizados en la investigación, permitiendo determinar su comportamiento frente a las solicitaciones mecánicas generadas por el tránsito y las cargas vehiculares.

Tabla 58

Materiales y equipos utilizados para el ensayo de abrasión de los Ángeles

Material / Equipo	Descripción
Máquina de abrasión Los Ángeles	Equipo mecánico utilizado para evaluar la resistencia al desgaste e impacto de los agregados mediante rotación controlada.
Esferas de acero de 6 a 12	Elementos abrasivos colocados dentro del tambor para generar fricción e impacto sobre el agregado.
Juego de tamices ASTM	Utilizados para clasificar granulométricamente el material antes y después del ensayo.
Tamiz N.º 12	Empleado para separar el material desgastado luego de finalizar el ensayo.
Balanza digital	Con precisión mínima de 0,01 g para determinar el peso inicial y final de la muestra.
Horno de secado	Utilizado para secar el agregado a temperatura controlada antes del ensayo.
Bandejas metálicas	Recipientes empleados para manipular y almacenar las muestras durante el procedimiento.
Cepillo metálico	Utilizado para limpiar tamices y retirar partículas retenidas.
Muestra de agregado grueso	Material granular sometido al ensayo para evaluar su resistencia al desgaste.

Procedimiento:

- Para este ensayo inicialmente la muestra fue pesada y lavada para eliminar cualquier material fino en el agregado grueso.
- Las muestras de agregado fueron secadas en horno con el propósito de eliminar la humedad presente en el material.
- Después, fueron clasificadas granulométricamente de acuerdo con los rangos establecidos en la norma ASTM correspondiente.

- Una vez acondicionada la muestra, esta se introdujo en la máquina de abrasión Los Ángeles junto con la cantidad correspondiente de esferas de acero normalizadas. Estos elementos permiten reproducir los efectos de impacto y fricción que actúan sobre el agregado durante el desarrollo del ensayo.
- Luego, el tambor metálico se hizo girar a una velocidad controlada hasta completar el número de revoluciones indicado por la norma. Durante esta etapa, el agregado fue sometido a un desgaste progresivo, producido por el contacto con las esferas de acero y por el rozamiento entre sus propias partículas.
- Finalizado el ensayo, el material fue extraído y tamizado mediante el tamiz N.º 12, determinándose el peso retenido y el material desgastado con el cual se calcula el porcentaje de pérdida por abrasión, parámetro utilizado para evaluar la calidad y durabilidad del agregado.

Figuras 65

Realización del ensayo de abrasión de los Ángeles



El método utilizado para este ensayo fue Peso del Agregado y número de esferas para Agregados Gruesos de tamaños menores a 3/4" tomado de la norma ASTM C535 - 16 (2016) siguiendo la Tabla 10 y la Ecuación 5:

$$\% \text{ Desgaste} = \frac{W_1 - W_2}{W_1} * 100\%$$

3.6.4.7. *Ensayo de Proctor.*

Para evaluar el comportamiento del suelo frente al proceso de compactación, se realizó el ensayo Proctor siguiendo los lineamientos de la norma ASTM D698-12 (2021). Con este ensayo se obtuvo la curva que relaciona la humedad con la densidad seca. De ella se determinaron la humedad óptima y la densidad seca máxima, valores que sirven para controlar la compactación de la subrasante y alcanzar la resistencia y estabilidad requeridas durante la construcción.

Tabla 59

Materiales y equipos utilizados para el ensayo de Proctor

Material / Equipo	Descripción
Molde Proctor	Recipiente cilíndrico metálico donde se compacta la muestra de suelo. Tiene volumen conocido para calcular la densidad húmeda y seca.
Collar de extensión	Accesorio que se coloca sobre el molde para permitir el llenado del suelo durante la compactación sin pérdida de material.
Pisón o martillo de compactación	Herramienta utilizada para aplicar energía de compactación al suelo mediante golpes controlados. Su peso y altura de caída dependen del tipo de Proctor (estándar o modificado).
Base metálica	Superficie rígida donde se coloca el molde durante el ensayo para asegurar una compactación uniforme.
Balanza	Equipo utilizado para determinar la masa del molde, suelo húmedo y muestras para contenido de humedad.
Horno de secado	Utilizado para secar las muestras de suelo a temperatura controlada y determinar el contenido de humedad.
Tamices	Se emplean para separar partículas gruesas y obtener el material adecuado para el ensayo. Generalmente se usa el tamiz N.º 4.
Recipientes metálicos	Envases usados para almacenar y pesar muestras húmedas y secas.
Espátula o cuchara metálica	Herramienta para mezclar, distribuir y nivelar el suelo dentro del molde.
Regla metálica	Se utiliza para enrasar el exceso de material y dejar el volumen exacto del molde.
Agua	Se añade gradualmente al suelo para variar el contenido de humedad en cada muestra ensayada.
Bandejas metálicas	Utilizadas para mezclar y homogenizar el suelo con agua antes de la compactación.

Procedimiento:

- Se seleccionó una porción representativa del suelo recuperado en campo. Antes del ensayo, el material se secó al aire y se desmenuzó para poder trabajarlo de forma uniforme.

- Posteriormente, la muestra se tamizó mediante el tamiz N.º 4, retirando el material de mayor tamaño para trabajar únicamente con el suelo requerido para el ensayo.
- Una vez preparada la muestra, el material fue dividido en varias porciones, agregando diferentes cantidades de agua a cada una de ellas con la finalidad de obtener distintos contenidos de humedad.
- Cada mezcla se homogenizó hasta lograr una distribución uniforme en toda la muestra.
- El suelo húmedo fue colocado dentro del molde Proctor en capas sucesivas. Cada capa se compactó mediante golpes uniformes aplicados con el pisón de compactación. En el caso del Proctor estándar, se utilizaron 3 capas compactadas con 25 golpes por capa, mientras que en el Modificado se utilizaron 5 capas con 56 golpes cada una.
- Finalizada la compactación, se retiró el collar del molde y se niveló la superficie del material utilizando una regla metálica, eliminando el exceso de suelo. Luego de la compactación, se pesó el molde con el material contenido en su interior para registrar la masa correspondiente.
- Posteriormente, se tomó una pequeña porción del suelo compactado con el fin de determinar su contenido de humedad.
- Estas muestras fueron colocadas en recipientes metálicos y llevadas al horno de secado hasta alcanzar una masa constante. Con la información obtenida en el laboratorio, se procedió al cálculo de la densidad húmeda y la densidad seca de cada muestra compactada.
- La densidad seca se determinó mediante la Ecuación 15:

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{(1 + w)} = kg/cm^3$$

- Finalmente, se elaboró la curva de compactación relacionando la densidad seca con el contenido de humedad.
- A partir de esta gráfica se identificó la humedad óptima y la máxima densidad seca del suelo analizado, valores que permiten evaluar el grado de compactación más adecuado para el material estudiado.

Figuras 66

Realización de ensayo de Proctor



La elección del tipo de ensayo Proctor se realizó de acuerdo con la granulometría y el comportamiento plástico de cada muestra analizada. Para los suelos finos y cohesivos se utilizó el Proctor Estándar, de acuerdo con la ASTM D698-12, debido a que su energía representa las condiciones usuales de compactación en subrasantes y rellenos convencionales. En los materiales predominantemente granulares se aplicó el Proctor Modificado, conforme a la ASTM D1557-12, ya que su mayor energía se aproxima mejor a la compactación exigida en capas estructurales de una vía.

3.6.4.8. Ensayo de CBR.

La prueba permite determinar el porcentaje de resistencia del suelo, comparando su comportamiento con un material patrón. Los valores obtenidos proporcionan una referencia clara para definir si el terreno cumple con los requisitos estructurales del diseño vial o si requiere estabilización. El ensayo se desarrolló conforme a la norma ASTM D1883-21 (2021).

Tabla 60

Materiales y equipos utilizados para el ensayo de CBR

Material / Equipo	Descripción técnica
Molde CBR	Molde cilíndrico metálico utilizado para compactar y contener la muestra de suelo durante el ensayo.
Collar de extensión	Accesorio colocado sobre el molde para facilitar el llenado y compactación del material.
Disco espaciador	Elemento metálico utilizado en la base del molde para controlar la altura de compactación de la muestra.

Martillo de compactación	Herramienta utilizada para compactar el suelo mediante golpes controlados conforme a la norma ASTM.
Máquina de penetración CBR	Equipo empleado para aplicar carga al pistón de penetración a velocidad constante.
Pistón de penetración	Elemento metálico normalizado encargado de penetrar la muestra compactada durante el ensayo.
Sobrecargas metálicas	Pesas colocadas sobre la muestra para simular el peso de las capas estructurales del pavimento.
Deformímetro	Instrumento utilizado para medir la expansión de la muestra durante el proceso de saturación.
Balanza digital	Equipo utilizado para determinar la masa de las muestras y controlar el contenido de humedad.
Horno de secado	Utilizado para secar las muestras a temperatura controlada y obtener masas secas constantes.
Recipientes metálicos	Utilizados para almacenar y manipular las muestras de suelo durante el ensayo.
Agua destilada	Empleada en el proceso de saturación de las muestras compactadas.
Juego de tamices ASTM	Utilizados para preparar granulométricamente el material antes del ensayo.
Espátula metálica	Herramienta utilizada para mezclar y distribuir uniformemente el suelo dentro del molde.
Muestras de suelo	Material extraído de las calicatas y sometido al ensayo para evaluar su capacidad portante.

Procedimiento:

- Inicialmente, las muestras de suelo fueron secadas al aire para evitar la alteración de las partículas naturales del material. Después, el suelo fue tamizado y preparado conforme a las especificaciones granulométricas establecidas en la norma AASHTO - T 193 (2022).
- Con base en los resultados del ensayo Proctor, se determinó previamente la humedad óptima y la densidad seca máxima de compactación.
- El material fue colocado dentro del molde CBR en capas sucesivas, compactándose mediante la energía correspondiente al ensayo Proctor seleccionado. La compactación se realizó hasta alcanzar la densidad requerida, procurando una distribución uniforme del material dentro del molde.
- Una vez finalizada la compactación, se colocó sobre la muestra un disco de expansión y sobrecargas metálicas destinadas a simular las condiciones reales de confinamiento y peso del pavimento.

- A continuación, las muestras fueron sumergidas en agua durante un período aproximado de 96 horas, con la finalidad de evaluar el comportamiento del suelo bajo condiciones críticas de humedad y saturación.
- Durante este proceso se registró el porcentaje de expansión del material mediante lecturas periódicas realizadas con deformímetros.
- Culinado el tiempo de inmersión, cada molde se instaló en la máquina de carga y el pistón normalizado penetró la muestra a velocidad constante.
- Durante la penetración se anotaron las cargas para distintas deformaciones, con especial atención a 0,1 pulgadas (2,54 mm) y 0,2 pulgadas (5,08 mm).
- Las cargas medidas se relacionaron con los valores patrón de la norma para calcular el CBR correspondiente a cada material.

Figuras 67

Ensayo de CBR, procedimiento y preparación de las muestras de suelo



3.6.4.9. Criterio de expansibilidad.

El criterio de expansibilidad se evaluó comparando el índice de plasticidad de cada muestra con los rangos de clasificación propuestos por Oteo (1986) encontradas de la Figura 3, los cuales permiten determinar la capacidad de un suelo de aumentar su volumen al absorber agua.

3.6.4.10. Criterio de colapsabilidad.

La Tabla 3 determinó la evaluación del potencial de colapso de un suelo cuando se humedece bajo carga, determinando si un suelo aparentemente estable puede experimentar asentamientos bruscos al entrar en contacto con agua

3.6.5. Estudio de tráfico vehicular.

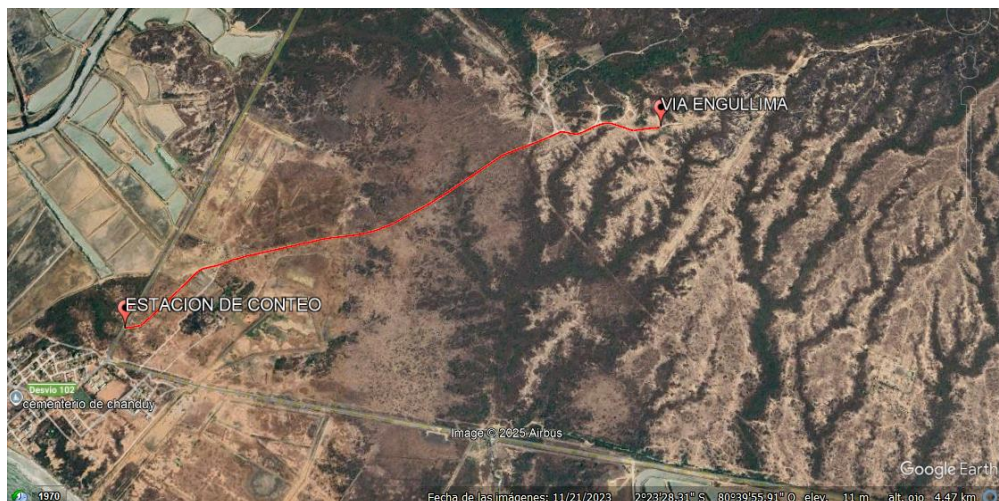
3.6.5.1. Metodología de conteo y periodo de observación.

El aforo vehicular se realizó durante cuatro días consecutivos en la vía principal de acceso a la parroquia Chanduy, con el propósito de obtener información representativa del tránsito en el área de influencia del proyecto. Debido a que la vía hacia la comuna Engullima había sido recientemente mejorada mediante trabajos de lastrado y su función como vía secundaria frente al acceso principal a la parroquia, se consideró que el 40 % del flujo vehicular registrado correspondía al tramo Engullima–Chanduy según los criterios de Cal y Mayor & Cárdenas (2007).

Este tipo de estimación está basada en la observación directa y juicio profesional, constituyendo una práctica reconocida en estudios de tránsito para vías rurales de bajo volumen que no disponen de infraestructura permanente de conteo ni registros históricos de origen-destino, lo que permitió obtener una aproximación más realista de la demanda vehicular esperada, constituyendo la base para la proyección del tránsito y el desarrollo de los diseños geométrico y estructural de la vía.

Figura 68

Ubicación de punto de conteo vehicular



Fuente1: Tomado de Google Earth Pro

Figura 69

Conteo manual de vehículos a la vía de Engullima - Chanduy



Tabla 61

Tabla de ejecución de aforo vehicular

Día	Fecha	Horario	Método	Observación
Martes	12/05/2026	07h00 – 18h00	Conteo manual	Tráfico continuo
Miércoles	13/05/2026	07h00 – 18h00	Conteo manual	Tráfico continuo
Jueves	14/05/2026	07h00 – 18h00	Conteo manual	Tráfico continuo
Viernes	15/05/2026	07h00 – 18h00	Conteo manual	Tráfico continuo

Nota: Días de conteo manual vehicular.

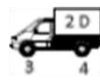
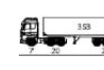
Los resultados del aforo se organizaron por día y por clase de vehículo, de acuerdo con la clasificación del MIT para caminos rurales. La tabla contiene cinco grupos generales, subdivididos según el número de ejes y la capacidad de las unidades registradas. En la fila de cada jornada se anotó el número de vehículos contado por categoría y, al final, se sumaron los valores para obtener el total diario. Una vez completado el registro de los cuatro días de conteo, se determinaron los siguientes valores:

- **Total por categoría:** corresponde a la suma de vehículos contabilizados durante los cuatro días de aforo.
- **TPDS por categoría:** se obtiene dividiendo el total registrado para cada categoría entre el número de días de conteo, de acuerdo con la Ecuación 19.
- **Distribución %:** representa el porcentaje que ocupa cada categoría vehicular respecto al TPDS total de la vía.
- **Total %:** resume la participación porcentual agrupada por tipo de vehículo, considerando livianos, buses, camiones, tráileres y volquetas.

A continuación, se muestra la tabla de llenado para contabilizar el tráfico de la vía, según los criterios de la MIT (2025). La tabla con los datos del aforo se encuentra en el apartado de Registro de Aforo Vehicular.

Tabla 62

Aforo vehicular en la zona de estudio.

FECHA	LIVIANOS		BUSES			CAMIONES			TRAYLER		VOLQUETA		TOTAL	
	Automóvil	Camioneta	Buseta	Bus	0	C2P	C2G	C3	C3-S2	C3-S3	0	0		
	Auto	Familiar	Camioneta	Buseta	Buses	2D	2DA	2DB	3A	3S2	3S3	V3A		VZS
														
						3 4						7 20		7 20
Total														
TPDS (Tránsito)														
Distribución %														
Total %														

3.6.5.2. *Determinación del tránsito diario promedio (TPD).*

Para estimar el tránsito característico del tramo Engullima–Chanduy, se utilizó la Ecuación 19, correspondiente al promedio de vehículos registrados durante los días de observación:

$$TPDS = \frac{\Sigma \text{Tránsito diario}}{n \text{ días}} = \text{veh/día}$$

3.6.5.3. *Factor diario (Fd).*

Se ajusta el valor del Fd para cada uno de los valores registrados conforme la Ecuación 24, permitiendo corregir la variabilidad diaria del tránsito, en un volumen representativo del comportamiento promedio de la semana.

$$Fd = \frac{TPDS}{Td} = \text{veh/día}$$

3.6.5.4. *Factor semanal (Fs).*

Se corrige el valor observado considerando los días no incluidos en el aforo, como fines de semana por medio de la Ecuación 23.

$$Fs = \frac{\#Semanas \text{ del mes de estudio}}{4} = \text{veh/día}$$

3.6.5.5. *Factor mensual o estacional (Fm).*

Se contempla posibles variaciones estacionales del flujo vehicular:

Tabla 63

Factor de ajuste mensual

MES	Factor
Enero	1,07
Febrero	1,132
Marzo	1,085
Abril	1,093
Mayo	1,012
Junio	1,034
Julio	1,982
Agosto	0,974
Septiembre	0,923

Octubre	0,931
Noviembre	0,953
Diciembre	0,878

Fuente: Tomado de MIT, 2025

La estimación del Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) se realizó mediante la Ecuación 21:

$$TPDA = TPDS * Fs * Fm * Fd = veh/día$$

Dado que al momento del aforo la vía Engullima se encontraba recientemente intervenida con obras de lastrado y la circulación vehicular aún estaba estabilizándose, el Tránsito Diario Promedio (TDP) adoptado para el diseño vial se estableció mediante:

$$TPD = TPDA * \alpha$$

Donde α representa el porcentaje de vehículos que acceden al tramo analizado. Este valor se utiliza como referencia para las fases posteriores de diseño geométrico y estructural.

3.6.5.6. Proyección del tráfico.

Una vez definido el Tránsito Diario Promedio (TDP) base, se procedió a estimar la evolución del tránsito durante el período de diseño de la vía. Para ello se consideraron los componentes de tránsito generado y tránsito por desarrollo, asociados al crecimiento de la actividad productiva y poblacional local. Estos valores se incorporaron mediante la Ecuación 27:

$$T_{asignado} = TPDA + T_{generado} + T_{desarrollo} = veh/día$$

Dado que la vía presenta un nivel de tráfico bajo y no todos los vehículos acceden a ella, se adoptó un valor del 40% del tránsito proyectado según los criterios mencionados por Cal y Mayor & Cárdenas (2007).

Esta disminución busca ajustar el diseño geométrico a las condiciones reales y dimensiones del camino, debido a que si se utilizara la totalidad del flujo vehicular proyectado, se correría el riesgo de sobredimensionar la vía, lo que implicaría un uso ineficiente de recursos, mientras que, si se empleara un valor inferior al necesario, la vía no cumpliría con los requerimientos técnicos, lo que podría generar fallas desde las

primeras etapas de operación, siendo fundamental encontrar un equilibrio que garantice funcionalidad, seguridad y durabilidad en el diseño.

Para el análisis de demanda futura se debe considerar el crecimiento poblacional, el desarrollo económico de la zona y posibles cambios en el uso del suelo para proyectar el tráfico esperado en los próximos años.

Tabla 64

Tasa de Crecimiento Anual (%)

PERIODO	LIVIANO	BUS	CAMIÓN
2010-2015	4,47	2,22	2,18
2015-2020	3,97	1,97	1,94
2020-2025	3,57	1,78	1,74
2025-2030	3,25	1,62	1,58
2030-2035	3,35	1,72	1,67
2035-2040	3,59	1,97	1,88

Fuente: Coordinación de Factibilidad -MIT

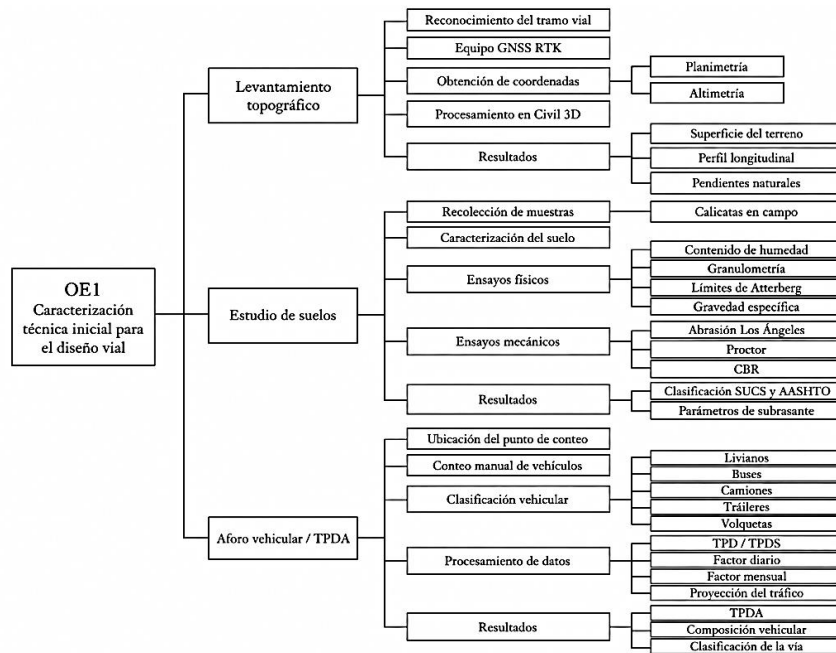
El volumen vehicular obtenido en el aforo se proyectó para un período de diseño de 10 años, permitiendo prever el crecimiento del tráfico y definir los parámetros de diseño de la vía conforme a las condiciones de circulación esperadas durante su vida útil.

3.6.5.7. Parámetros de diseño (tráfico y tipo de vía).

El tipo de vía se determinará con base al Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) proyectado conforme a los establecidos en las normas del diseño geométrico del MIT (2025).

Figura 70

Organigrama metodológico del OE1 - Vía Engullima - Chanduy



3.7. METODOLOGÍA DEL OE2: REALIZAR EL DISEÑO GEOMÉTRICO Y ESTRUCTURAL DE LA VÍA, OPTIMIZANDO EL ALINEAMIENTO EXISTENTE Y DEFINIENDO LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO FLEXIBLE ACORDE A LAS CONDICIONES DE TRÁFICO Y CARACTERÍSTICAS DEL TERRENO.

A partir del aforo vehicular realizado se determinó el volumen y composición del tránsito, información que permitió definir la categoría de la vía y proyectar su demanda futura. Con estos datos y las condiciones topográficas del sector, se desarrolló el diseño geométrico considerando criterios de seguridad, visibilidad y comodidad para los usuarios de las normativas (Green Book, 2018; MIT, 2025).

Además, se definió la estructura del pavimento flexible considerando el tipo de suelo, las cargas vehiculares proyectadas, siguiendo los lineamientos establecidos por la AASHTO (1993), garantizando una solución técnica adecuada a la necesidad de movilidad y las condiciones propias del sector.

3.7.1. Diseño geométrico del camino.

Para realizar un diseño geométrico adecuado, fue fundamental analizar previamente la composición vehicular que transita, según los datos obtenidos.

Tabla 65

Procedimiento y aplicación para el diseño vial en Civil 3D

Actividad	Procedimiento aplicado	Resultado obtenido
Configuración inicial del proyecto	Se configuró el dibujo en unidades métricas y se estableció el sistema de coordenadas WGS 84 / UTM zona 17 Sur, correspondiente a la zona de estudio en Ecuador.	Archivo de trabajo georreferenciado y preparado para recibir la información topográfica.
Importación de puntos topográficos	Se importaron los puntos obtenidos mediante levantamiento RTK, considerando número de punto, coordenada Este, coordenada Norte, elevación y descripción.	Nube de puntos COGO incorporada en Civil 3D.
Revisión y etiquetado de puntos	Se revisaron las descripciones de los puntos para identificar terreno natural, eje, taludes, cauces, puntos bajos, referencias y demás elementos levantados en campo.	Puntos clasificados y etiquetados para facilitar la interpretación del terreno.
Creación de grupos de puntos	Se organizaron los puntos según su función dentro del proyecto, separando los puntos representativos del terreno natural de los elementos auxiliares.	Información topográfica ordenada para la generación de superficie.
Generación de superficie del terreno natural	Con los puntos válidos del levantamiento se creó una superficie TIN del terreno natural, verificando triángulos, contornos y posibles puntos atípicos.	Modelo digital del terreno natural dentro de Civil 3D.
Trazado del eje vial	Sobre la topografía procesada se definió el alineamiento horizontal de la vía, ajustándolo al recorrido proyectado y a las condiciones del terreno.	Alineamiento horizontal con sus correspondientes elementos geométricos.
Determinación de curvas horizontales	Se identificaron los puntos de intersección y se definieron los elementos de las curvas horizontales, tales como radios, longitudes y tangentes.	Cuadro de curvas horizontales y parámetros del alineamiento.

Obtención del perfil longitudinal	A partir de la superficie del terreno natural se generó el perfil longitudinal del eje vial.	Perfil del terreno natural a lo largo del trazado.
Diseño de rasante y curvas verticales	Se proyectó la rasante de diseño considerando pendientes, puntos altos, puntos bajos y la adaptación del perfil a la topografía existente.	Perfil de diseño con pendientes y curvas verticales.
Definición de sección típica	Se definió la sección típica de la vía considerando los elementos principales del diseño, como calzada, espaldones, taludes de corte y relleno, así como la disposición de cunetas en los tramos donde fueron necesarias.	Sección típica utilizada para el modelado del corredor vial.
Modelado del corredor vial	La sección típica fue aplicada sobre el alineamiento horizontal y la rasante proyectada, permitiendo generar el corredor vial correspondiente al diseño geométrico.	Corredor vial con la geometría propuesta.
Generación de secciones transversales	Se establecieron líneas de muestreo a lo largo del eje vial para obtener las secciones transversales, con el fin de comparar el terreno natural con la superficie proyectada.	Secciones transversales para análisis de corte y relleno.
Cálculo de volúmenes	A partir de las secciones transversales generadas, se determinaron los volúmenes de corte y relleno producidos por la propuesta de diseño geométrico.	Cuadros de movimiento de tierras.
Diagrama de masas	Con los volúmenes obtenidos se generó el diagrama de masas para interpretar la compensación de materiales a lo largo del eje.	Diagrama de masas del proyecto vial.
Ubicación de obras de drenaje	Se verificaron los puntos bajos del perfil y los cauces naturales identificados previamente para ubicar las alcantarillas y definir la continuidad del drenaje superficial.	Ubicación referencial de alcantarillas y cunetas dentro del diseño vial.
Presentación de planos	Finalmente se prepararon las láminas con planta, perfil, secciones, tablas de curvas y elementos principales del diseño geométrico.	Planos técnicos para presentación y respaldo del proyecto.

3.7.1.1. *Diseño del alineamiento horizontal.*

Para este diseño se establece el eje de la vía sobre el plano horizontal por medio de Civil 3D, considerando tangentes, curvas simples y compuestas, así como los radios mínimos de curvatura según la velocidad de diseño, buscando garantizar una circulación segura y evitando maniobras bruscas según la MIT (2025).

3.7.1.1.1. **Velocidad de diseño.**

Se estableció para la vía proyectada una velocidad de acuerdo con las condiciones topográficas y los criterios técnicos establecidos para este tipo de infraestructura. Este valor servirá de base para definir los parámetros geométricos siguientes del proyecto.

3.7.1.1.2. **Velocidad de circulación.**

La velocidad de circulación corresponde a la velocidad promedio real de los vehículos bajo las condiciones operativas de la vía, considerando las características del tramo ubicado en la comunidad de Engullima conforme la Ecuación 28:

$$V_c = 0,80V_d + 6,5$$

Este valor refleja una operación segura y estable para el tránsito proyectado.

Tabla 66

Velocidad de circulación

Velocidad de diseño (km/h)	Volumen de tránsito bajo	Volumen de tránsito intermedio	Volumen de tránsito alto
20	24	23	22
30	28	27	26
40	37	35	34
50	46	41	42
60	55	51	48
70	63	59	53
80	71	66	57
90	79	73	59
100	86	79	60
110	92	85	61

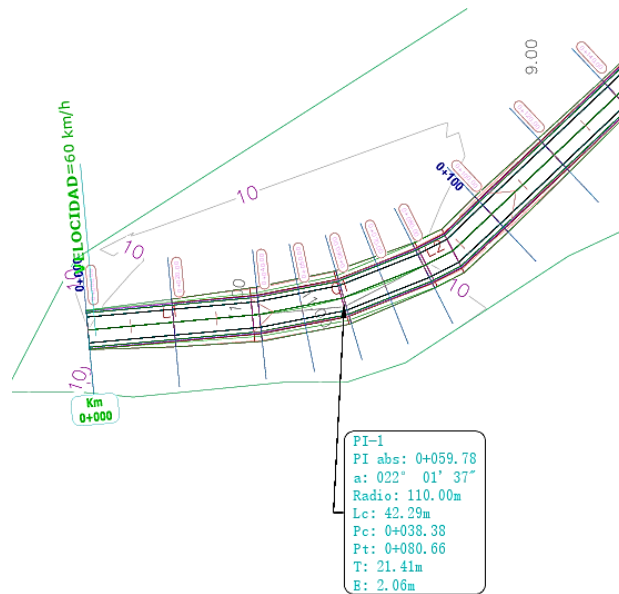
Fuente: Normas de Diseño Geométrico (MIT, 2025)

3.7.1.1.3. Curvas horizontales circulares.

Para el diseño de la vía en la comuna Engullima se consideraron la topografía del terreno y la velocidad de diseño, adaptando un radio mínimo para garantizar condiciones seguras y confortables de circulación. A continuación, se muestran las fórmulas aplicadas determinadas por la deflexión (α) y el radio mínimo (R).

Tabla 67

Curva horizontal circular



Longitud de la curva:

$$Lc = \frac{\pi * R * \alpha}{180} = m$$

Tangente:

$$T = R * \tan \frac{\alpha}{2} = m$$

Cuerda larga:

$$Cl = 2 * R * \text{Sen} \frac{\alpha}{2} = m$$

Externa:

$$E = R * \left(\text{Sec} \frac{\alpha}{2} - 1 \right) = m$$

3.7.1.1.4. Peralte.

El coeficiente de fricción lateral se obtuvo de la Tabla 16, según las Normas de Diseño Geométrico de la MIT (2025) que garantiza una conducción segura en curvas, teniendo en cuenta que para las condiciones típicas de operación de una vía se usa la Ecuación 29, expresada en porcentaje:

$$e = \frac{V^2}{127 * R} - f$$

3.7.1.1.5. Longitud de transición.

Para este diseño se emplea la Ecuación 30, que permite enlazar de forma gradual los tramos rectos con las curvas, favoreciendo el desarrollo del peralte, mejorando la seguridad y comodidad en la circulación:

$$L_{min} = 0.56 * Vd = m$$

3.7.1.1.6. Sobreancho.

Su determinación se realizó en función de la Ecuación 43, garantizando condiciones adecuadas de circulación para la velocidad de diseño adoptada:

$$S = n \left(R_c - \sqrt{R_c^2 - L^2} \right) + \frac{V}{10\sqrt{R}} = m$$

El cálculo de los demás elementos de las curvas horizontales se encuentra detallada en el Anexo VIII.

3.7.1.2. Diseño del alineamiento vertical.

Para proyectar el perfil longitudinal de la vía, las pendientes, curvas verticales y niveles de rasante, se adaptaron a la topografía del terreno cumpliendo con los parámetros de la normativa Green Book (2018) y la NEVI (2013).

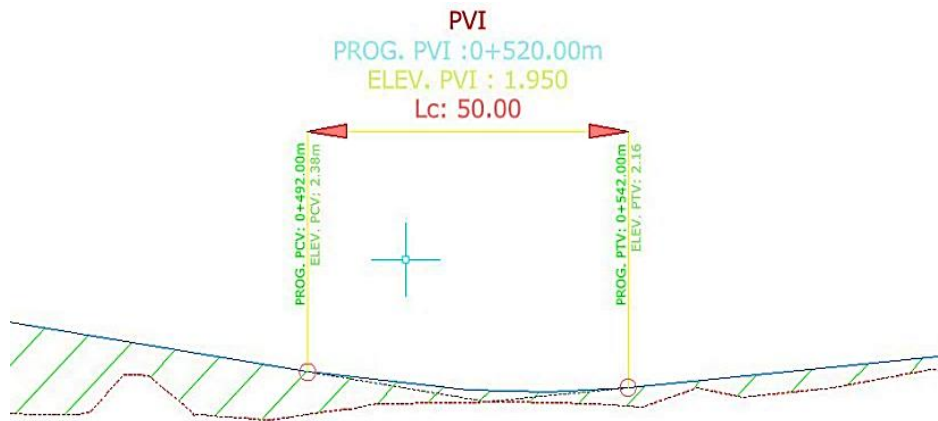
3.7.1.2.1. Gradiente.

Las pendientes fueron definidas considerando las características del terreno y los criterios establecidos para vías, manteniendo valores iguales o superiores al 0,50 %. Esto permite garantizar un adecuado escurrimiento del agua y condiciones seguras de operación a lo largo del trazado.

Para el cálculo de una curva vertical, se describe la metodología empleada de los elementos geométricos cuyas unidades se expresan en metros:

Figura 71

Curva vertical convexa



Fuente: Datos de los elementos de la curva vertical.

3.7.1.2.2. Longitud de la curva vertical.

$$Lv = K * A = m$$

Se toma la ecuación de la norma MIT (2025).

3.7.1.2.3. Inicio de la curva vertical.

$$PCV = PIV - \frac{Lv}{2} = m$$

3.7.1.2.4. Final de la curva vertical.

$$PTV = PCV + Lv = m$$

3.7.1.2.5. Cota del punto de inicio.

$$CPCV = CPIV - \frac{Lv * p}{200} = m$$

3.7.1.2.6. Cota del punto final.

$$CPTV = CPIV + \frac{Lv * q}{200} = m$$

3.7.1.2.7. Externa.

$$E = \frac{Lv * (q - p)}{800} = m$$

El cálculo de los elementos de las curvas horizontales se encuentra detallada en el Anexo IX.

3.7.1.3. *Diseño de la sección transversal.*

Se determina la forma y dimensiones de la vía, incluyendo el ancho de calzada, bermas, cunetas, taludes y sobreanchos en curvas, considerando en el diseño el tipo de vehículos que transitarán, el TPDA ajustado, y las condiciones del terreno según la norma MIT (2025) y NEVI (2013).

3.7.1.3.1. Ancho de calzada.

Para la vía proyectada se adoptó un ancho de calzada acorde con las características y necesidades operativas de una carretera rural proyectada, permitiendo una circulación segura y eficiente de los vehículos que utilizan la vía.

3.7.1.3.2. Espaldones.

Se consideró la incorporación de espaldones conforme a las características de una vía rural, complementando la sección transversal de la carretera y mejorando las condiciones de seguridad para los usuarios, la estabilidad y el correcto funcionamiento de la infraestructura vial según la NEVI (2013).

3.7.1.3.3. Taludes.

La definición de los taludes de corte y relleno se realizó considerando las condiciones topográficas del área de estudio y la información obtenida del estudio geotécnico. Como criterio de diseño, se empleó una relación de talud de 2:1 para ambas condiciones, con el propósito de favorecer la estabilidad de la plataforma vial, facilitar su integración con el terreno natural y reducir el riesgo de procesos erosivos o desprendimientos durante la vida útil de la infraestructura establecidos por la NEVI (2013).

3.7.1.3.4. Diagrama de masas.

El diagrama de masas evaluó la distribución de los volúmenes de corte y relleno a lo largo del trazado, identificar sectores con excedentes o faltantes de material, facilitar la

planificación de los movimientos de tierra y contribuir a una ejecución más eficiente del proyecto a partir del perfil longitudinal y las secciones transversales de la vía.

3.7.1.4. Verificación de cumplimiento normativo.

Se verificará el cumplimiento de los parámetros establecidos en la norma NEVI (2013), garantizando condiciones de operación adecuadas y seguras para los usuarios.

3.7.2. Diseño estructural de pavimento flexible.

El análisis del factor de ingreso vehicular permitió estimar la cantidad y tipo de vehículos que utilizarán la vía durante su vida útil, constituyendo una base fundamental para proyectar el tránsito futuro y definir un diseño acorde con las necesidades de movilidad del sector, determinada por la siguiente ecuación:

$$TPD = T_{asignado} * \alpha$$

3.7.2.1. Selección de metodología (MIT y AASTHO93).

El diseño del pavimento flexible se desarrolló siguiendo los lineamientos del MIT (2025) y la metodología AASHTO (1993). Esto permitió definir una estructura adecuada para soportar las cargas previstas y garantizar un desempeño satisfactorio durante su vida útil.

3.7.2.2. Determinación del número estructural (SN).

Para determinar el número estructural de diseño se consideran los siguientes parámetros de entrada conforme la metodología AASHTO (1993):

- Pt: seleccionada en función de la clasificación de la vía y nivel de servicio mínimo aceptable al final de su vida útil.
- R: nivel de confiabilidad según la función o nivel de servicio de la vía.
- Las cargas vehiculares del tráfico, los ejes simples, tándem y trídem.
- SN: valor asumido previamente debido al cálculo de los factores equivalentes que depende al número estructural del pavimento

Para determinar el daño acumulado sobre el pavimento, se emplearon los factores de equivalencia vehicular establecidos en normativa AASHTO (1993), el cálculo de este factor se detalla en el Anexo IV.

El factor crecimiento se determinó mediante la Ecuación 65 usando los factores de la Tabla 64:

$$F_{crec} = \frac{(1 + r)^n - 1}{r}$$

Con los datos obtenidos se determinó el tráfico de diseño que circularán por la vía durante el período de vida útil del pavimento.

Para el factor dirección y factor carril se lo obtiene mediante la Tabla 34 y Tabla 35, se reemplazan los valores en la Ecuación 66:

$$W_{18} = F_{direccional} * F_{carril} * [\Sigma(T_{asignado} * F_{proyección} * F_{camión} * 365)]$$

3.7.2.3. *Parámetros de diseño (CBR de Diseño, Módulo Resiliente y Coeficiente de Drenaje).*

Se determinó la rigidez y comportamiento de la subrasante dentro de la estructura del pavimento, los cuales se efectuaron conforme a las normas (AASHTO, 1993; AASHTO T307, 2003).

Con los datos obtenidos de CBR a lo largo de la subrasante se determina un valor de CBR de diseño, mientras que el tráfico proyectado establecido determinó el número de ejes en el carril de diseño marcando el percentil a utilizar:

Tabla 68

Límites para selección de resistencia

Número de ejes de 8,2 toneladas en carril de diseño (N)	Percentil a seleccionar para halla la resistencia
<104	60
<104 - <106	75
<106	87,5

Una vez hallado ese valor, de la Ecuación 68 se obtuvo el módulo resiliente de la subrasante relacionada con el percentil y el CBR de diseño:

$$MR = 1500 * CBR = PSI$$

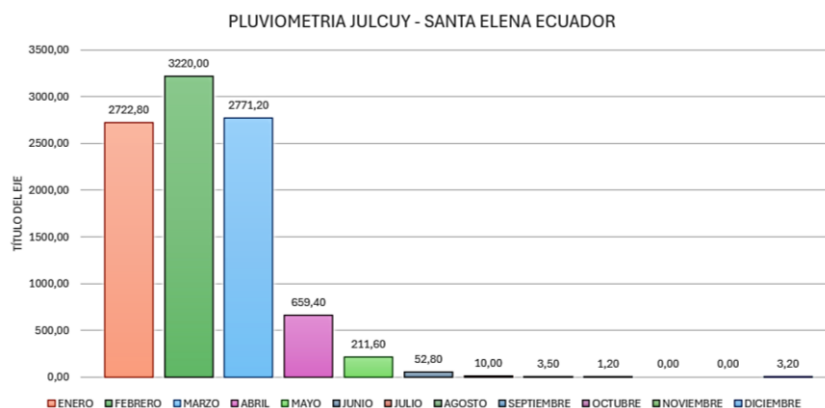
Para la condición de drenaje se tiene en cuenta el material utilizado para la subbase, extraído de la cantera Juan Montalvo, siendo que los ensayos de limite líquido y plástico,

CBR y granulometría, son favorables para implantación en el diseño estructural de la vía.

Los datos de lluvia fueron tomados de la zona más cercana al proyecto:

Figura 72

Antecedentes de precipitación de la zona más cercana a la vía



Fuente: Datos del INAHMI

Se consideró los siguientes factores según la AASHTO (1993):

- Precipitación anual promedio.
- % de finos de material granular de Juan Montalvo.
- Índice de Plasticidad (IP).

Tabla 69

Valores recomendados del Coeficiente e Drenaje m, para Bases y Subbases granulares no tratadas en Pavimentos Flexibles

Calidad de Drenaje	Término Remoción de Agua	% de Tiempo de exposición de la estructura del pavimento a nivel de la humedad próximos a la saturación			
		<1%	1-5%	5-25%	>25%
Excelente	2 horas	1.40 - 1.35	1.35 - 1.30	1.30 - 1.20	1.20
Buena	1 día	1.35 - 1.25	1.25 - 1.15	1.15 - 1.00	1.00
Aceptable	1 semana	1.25 - 1.15	1.15 - 1.05	1.00 - 0.80	0.80
Pobre	1 mes	1.15 - 1.05	1.05 - 0.80	0.80 - 0.60	0.60
Muy Pobre	El agua no drena	1.05 - 0.95	0.95 - 0.75	0.75 - 0.40	0.40

Fuente: AASHTO, 1993.

Los valores se determinaron dependiendo del porcentaje de saturación que tiene el material al ser expuesto a grandes cantidades de agua y al tiempo que tarda en drenarse.

La capacidad de drenaje de un material dependió del tipo de suelo predominante y de la cantidad de finos presentes. Mientras menor sea el contenido de finos, mayor será el drenaje por gravedad; en cambio, si aumentan los finos plásticos, como la arcilla, la capacidad de drenaje disminuye.

Este parámetro permite evaluar la calidad de drenaje del material para calcular el coeficiente de drenaje (m_i) según AASHTO (1993).

Tabla 70

Cantidad de agua que puede drenar por gravedad

Material Predominante	Cantidad de finos								
	< 2,5%			5%			10%		
	Tipo de finos			Tipo de finos			Tipo de finos		
	Filler	Limo	Arcilla	Filler	Limo	Arcilla	Filler	Limo	Arcilla
Grava	70	60	40	60	40	20	40	30	10
Arena	57	50	35	50	35	15	25	18	8

Fuente: AASHTO, 1993

Al tratarse de una construcción nueva se considera la norma AASHTO (1993):

Tabla 71

Desviación Estándar en relación con la condición de la vía

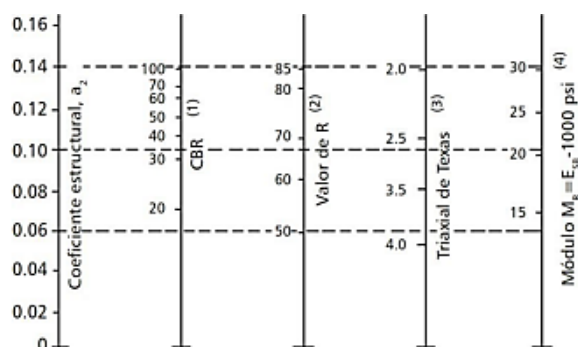
Desviación Estándar para Pavimentos Flexibles	
Construcción Nueva	0,45
Sobrecapas	0,50

Fuente: AASHTO, 1993

Se determinó el coeficiente estructural y el módulo de la subrasante por medio del siguiente ábaco, a partir del CBR de diseño, necesario para conocer que espesor tendrá el material sobre el cual se va a asentar la capa de carpeta asfáltica:

Figura 73

Módulo resiliente de la capa subbase

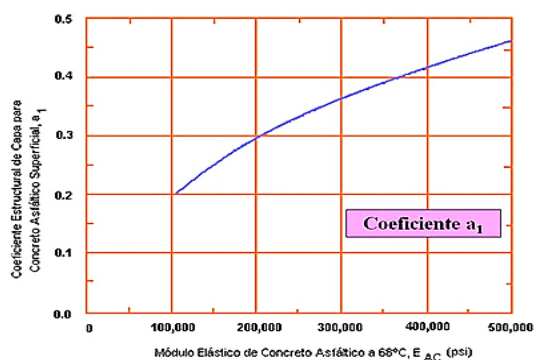


Fuente: AASHTO, 1993

De igual forma, se debe determinó el coeficiente estructural de la carpeta asfáltica:

Figuras 74

Determinación del coeficiente estructural



Fuente: CELIS, 2019

Para la confiabilidad, se determinó que la (AASHTO, 1993) recomienda para clasificación funcional de la vía lo siguiente:

Tabla 72

Confiabilidad (R)

NIVELES DE CONFIABILIDAD	
CLASIFICACIÓN FUNCIONAL	NIVEL RECOMENDADO AASHTO
Carretera interestatal o autopista	80 - 99
Red principal o federal	75 - 95
Red secundaria o estatal	75 - 95
Red rural o local	50 - 80

Fuente: AASHTO, 1993

Se consideró el nivel de confiabilidad debido al siguiente criterio:

Tabla 73

Valores de Desviación estándar normal (ZR) correspondientes a los niveles de confiabilidad seleccionados

CONFIABILIDAD (R%)	Desviación normal estándar (ZR)
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
99.99	-3.090
99.99	-3,750

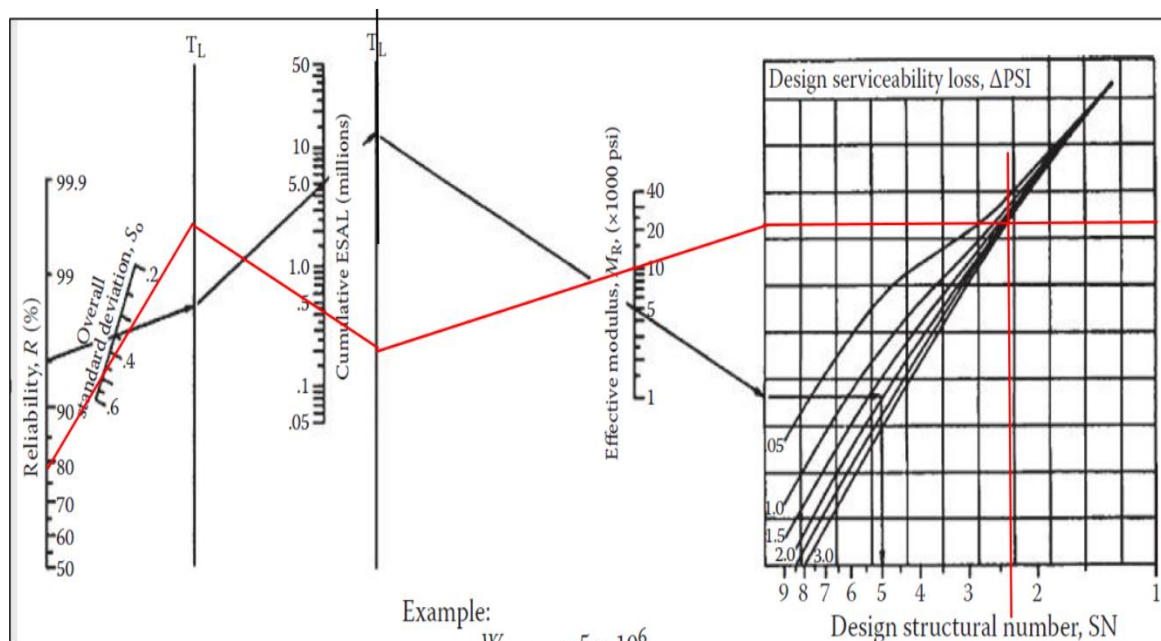
Fuente: AASHTO, 1993

3.7.2.4. Espesores de capas del pavimento.

Se comprobó el valor de SN con los datos de confiabilidad, desviación estándar, ESAL's y módulo de la subrasante hallados anteriormente, según metodología la AASHTO (1993):

Figura 75

Nomograma para diseño Guía AASHTO



Fuente: AASHTO, 1993

Siguiendo este método de diseño, fue aplicado por medio de la Ecuación 72:

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R * S_o 9,36 \log_{10}(SN + 1) - 0,20 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4,2 - 1,5} \right]}{0,40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5,19}}} + 2,32 \log_{10}(M_R) - 8,07$$

Comprobando que tanto por el ábaco como por formula que el SN requerido cumple el criterio de este método. Una vez definido este valor se procederá a calcular los espesores de la carpeta. La AASHTO (1993) recomienda:

Tabla 74

Espesores mínimos en centímetros

Tráfico, ESAL's	Carpeta Asfáltica	Base granular
Menos de 50 000	2,5 cm (o tratamiento superficial)	10 cm
50 000 - 150 000	5 cm	10 cm
150 001 - 500 000	6,5 cm	10 cm
500 001 - 2 000 000	8 cm	16 cm
2 000 001 - 7 000 000	9 cm	16 cm
Más de 7 000 000	10 cm	16 cm

Fuente: AASHTO, 1993

Al ser una vía de bajo tráfico según las proyecciones del Tráfico de diseño se comprueba que con el espesor propuesto la estructura cumple con el criterio de espesores mínimos.

En caso de no cumplirse esta condición, se ajusta el valor asumido y se repite el procedimiento hasta alcanzar la convergencia entre el SN asumido y el SN verificado.

3.7.2.5. *Sección final del pavimento propuesto.*

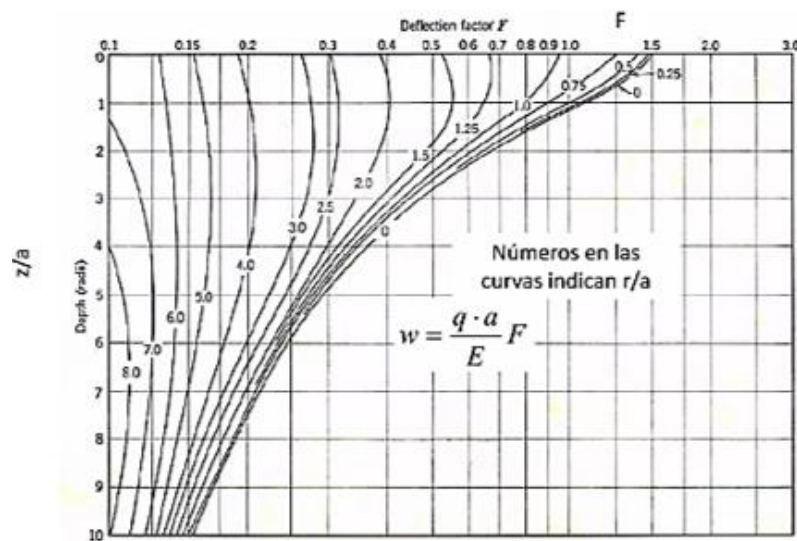
Una vez la propuesta de diseño es comprobada verificando si cumple con los requerimientos considerados, se procedió a diseñar la estructura de pavimento a implementar en la zona del proyecto con las dimensiones requeridas.

3.7.2.6. *Deflexión admisible del pavimento.*

El método de Foster & Ahlvin (1954) indica que para evitar a futuro algún problema respecto a los esfuerzos y deformaciones de la estructura de pavimento, se evalúa si con dicho espesor cumple estructuralmente este diseño. Se consideraron los siguientes criterios de la Figura 39:

Tabla 75

Determinación del factor F



Fuente: Foster & Ahlvin, 1954

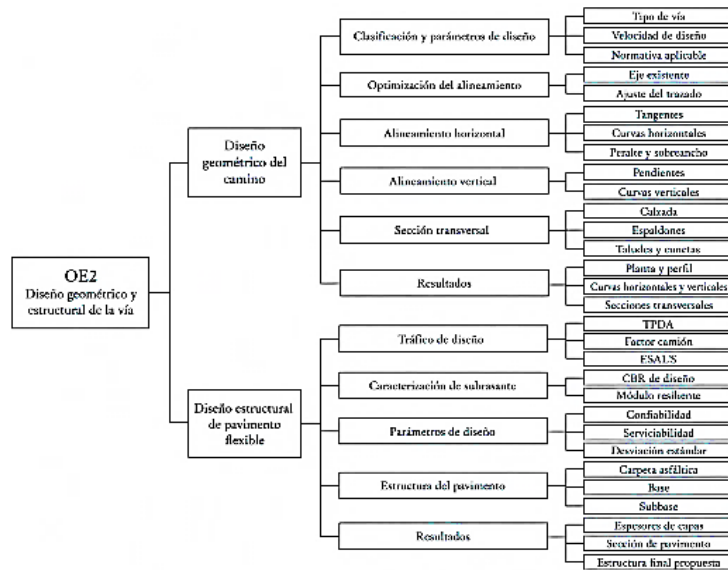
Con estos datos se procedió a determinar el w :

$$w = \frac{q * a * F}{E} = mm$$

Con este diseño se cumple que SN total es mayor al SN requerido, pero también debe cumplir que el valor de deformación admisible es mayor que la deformación de la carpeta, de modo que cumple como una estructura posible a implementar según los criterios de Huang (2004).

Figura 76

Organigrama metodológico del OE2 - Vía Engullima - Chanduy



3.8. METODOLOGÍA DEL OE3: ANALIZAR LAS CONDICIONES HIDROLÓGICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO Y DISEÑAR LAS OBRAS DE DRENAJE DIMENSIONAMIENTO CUNETAS Y ALCANTARILLAS.

Para el cumplimiento del objetivo específico 3, se desarrolló una metodología orientada al análisis de las condiciones hidrológicas del área de estudio y al dimensionamiento hidráulico de las obras de drenaje necesarias para garantizar el adecuado funcionamiento de la vía. Para ello, se consideró la delimitación de la microcuenca aportante, el análisis de precipitaciones máximas, la generación de curvas Intensidad–Duración–Frecuencia, la determinación del período de retorno, el cálculo del tiempo de concentración, la obtención de la intensidad de lluvia de diseño y la estimación del caudal mediante el método racional.

Posteriormente, los resultados hidrológicos obtenidos fueron empleados como base para el dimensionamiento hidráulico de alcantarillas y cunetas, verificando la capacidad de conducción de las estructuras propuestas en función del caudal de diseño, la pendiente, la velocidad y las condiciones geométricas adoptadas. (NEVI, 2013).

3.8.1. Determinación de parámetros hidrológicos de entrada.

Para obtener los parámetros hidrológicos necesarios para el diseño hidráulico, se realizó la delimitación de la microcuenca aportante mediante el uso de un Modelo Digital de Elevación procesado en QGIS. Este procedimiento permitió identificar el cauce principal, el punto de descarga y el área de aporte hacia la estructura de drenaje transversal proyectada. El uso de un DEM para extraer redes de drenaje, delimitar cuencas y obtener estadísticas hidrológicas corresponde a un flujo de trabajo reconocido dentro del análisis hidrológico con herramientas SIG. (QGIS Documentation, n.d.)

La delimitación de la microcuenca se efectuó mediante herramientas de procesamiento hidrológico, considerando la corrección del DEM, la generación de dirección de flujo, la acumulación de flujo y la definición del punto de salida. La herramienta *r.watershed* permite generar mapas de acumulación de flujo, dirección de drenaje, ubicación de corrientes y cuencas; mientras que *r.water.outlet* permite crear cuencas a partir de un mapa de dirección de drenaje y un punto de salida definido (Metz et al., 2011).

Para el análisis hidrológico del área de estudio se utilizaron herramientas SIG mediante el software QGIS, con el propósito de delimitar la microcuenca aportante, identificar el cauce principal y obtener los parámetros hidrológicos necesarios para el cálculo del caudal de diseño de las obras de drenaje proyectadas.

El procedimiento aplicado para la delimitación de la cuenca y obtención de parámetros hidrológicos se resume a continuación:

Tabla 76

Determinación de parámetros morfométricos para el cálculo de la microcuenca en QGIS.

N.º 1	Actividad	Herramienta/ Procedimiento	Criterio aplicado
1	Descarga de información base	Obtención del Modelo Digital de Elevación (DEM) mediante herramientas SIG compatibles con QGIS.	Ráster de elevación del área de estudio.
2	Configuración del sistema de referencia	Definición del sistema de coordenadas proyectadas WGS 84 / UTM Zona 17S (EPSG:32717).	Proyecto georreferenciado correctamente.
3	Carga del DEM en QGIS	Incorporación del raster DEM al entorno de trabajo de QGIS.	Visualización del relieve del terreno.

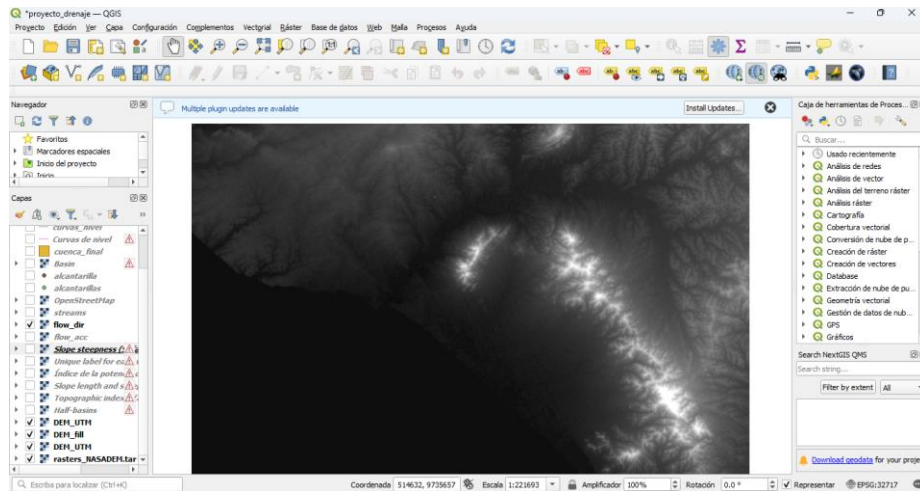
4	Corrección hidrológica del DEM	Aplicación de herramientas de llenado de depresiones (Fill Sinks / r.fill.dir).	DEM corregido para análisis hidrológico.
5	Obtención de dirección de flujo	Generación de raster Flow Direction mediante herramientas GRASS GIS.	Dirección del escurrimiento superficial.
6	Obtención de acumulación de flujo	Generación de raster Flow Accumulation.	Identificación de drenajes naturales y cauce principal.
7	Definición del punto de salida	Ubicación manual del punto de descarga correspondiente a la alcantarilla proyectada.	Punto de control hidráulico definido.
8	Delimitación de cuenca	Aplicación de la herramienta r.water.outlet usando el punto de salida y dirección de flujo.	Delimitación de la microcuenca aportante.
9	Conversión a polígono	Conversión de raster de cuenca a formato vectorial (Polygonize).	Polígono de la cuenca hidrográfica.
10	Cálculo del área de la cuenca	Obtención del área mediante herramientas geométricas SIG.	Área aproximada de 1.90 km ² .
11	Generación de curvas de nivel	Aplicación de herramienta Contour a partir del DEM.	Curvas de nivel con equidistancia de 2 m.
12	Recorte de curvas por cuenca	Aplicación de herramienta Clip usando el límite de la cuenca.	Aplicación de herramienta Clip usando el límite de la cuenca.
13	Identificación de cotas	Determinación de cotas máxima y mínima mediante curvas de nivel.	Z _{max} = 22 m; Z _{min} = 2 m.
14	Determinación de longitud hidráulica	Medición manual del cauce principal siguiendo el recorrido del flujo superficial.	Longitud hidráulica L = 1882.82 m.
15	Cálculo de pendiente media	Aplicación de relación H/L.	Pendiente media S = 1.06 %.

Los parámetros morfométricos obtenidos mediante el procesamiento hidrológico fueron utilizados como datos de entrada para el cálculo del tiempo de concentración y la estimación del caudal de diseño.

Estos valores se presentan y analizan en el Capítulo IV.

Figura 77

Modelo Digital de Elevación del área de estudio.



La imagen corresponde al Modelo Digital de Elevación (DEM) del área de estudio, el cual representa la variación altimétrica del terreno mediante una superficie ráster, donde cada celda contiene un valor de elevación. Este DEM fue obtenido a partir de información satelital disponible en (Opentopography, n.d.) y posteriormente procesado en QGIS, permitiendo visualizar el relieve del sector, identificar zonas altas y bajas, reconocer posibles cauces naturales y apoyar la delimitación de la microcuenca utilizada en el análisis hidrológico.

El DEM utilizado presenta una resolución espacial aproximada de 30 m, por lo que fue empleado como apoyo para el análisis morfométrico e hidrológico general, mas no como reemplazo del levantamiento topográfico de detalle realizado con RTK.

3.8.2. Cálculo del tiempo de concentración.

El tiempo de concentración fue calculado a partir de las características físicas de la microcuenca, considerando la longitud hidráulica principal, el desnivel y la pendiente media del cauce. Este parámetro representa el tiempo requerido para que el escurrimiento generado en el punto hidráulicamente más alejado alcance el punto de salida de la cuenca, por lo que se utiliza para seleccionar la duración de lluvia asociada a la intensidad de diseño (Maidment & Mays, 1994). Para su determinación se aplicó la siguiente expresión de la Ecuación 74:

$$Tc = 0.0195 \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0.385}$$

Donde:

- T_c = tiempo de concentración, en minutos.
- L = longitud hidráulica principal o longitud de recorrido del flujo, en metros.
- H = desnivel entre el punto más alto y el punto de salida, en metros.

Para el caso de las cunetas laterales, el tiempo de concentración se evaluó considerando de forma independiente el aporte generado sobre la media calzada y el aporte proveniente del talud de corte. Ambos componentes fueron integrados para obtener el tiempo de concentración total del tramo analizado:

$$T_{\text{total}} = t_{c, \text{calzada}} + t_{c, \text{talud}}$$

3.8.3. Determinación de la intensidad de lluvia de diseño.

La intensidad de lluvia de diseño fue determinada a partir de las ecuaciones Intensidad-Duración-Frecuencia correspondientes a la estación meteorológica M0169 Julcuy, las cuales permiten estimar la intensidad de precipitación en función del período de retorno y la duración de lluvia considerada. Para el presente estudio se emplearon las ecuaciones publicadas por el INAMHI para el cálculo de intensidades máximas de precipitación (INAMHI, 2015).

En la Tabla 77 se presentan las ecuaciones Intensidad–Duración–Frecuencia consideradas para la estación M0169 Julcuy, diferenciadas según los intervalos de duración de lluvia establecidos.

Tabla 77

Ecuaciones Intensidad–Duración–Frecuencia de la estación meteorológica M0169 Julcuy

Estación		Intervalos de tiempo	Ecuaciones	R	R ²
Código	Nombre				
M0169	JULCUY	5<30	$i=161.6041 * T^{0.2087} * t^{-0.4192}$	0.9841	0.9684
		30<120	$i=302.5648 * T^{0.2098} * t^{-0.6192}$	0.9906	0.9813
		120<1440	$i=1043.3208 * T^{0.2669} * t^{-0.8892}$	0.994	0.9881

Fuente:(INAMHI, 2015)

Para el presente estudio se adoptaron períodos de retorno diferenciados según el tipo de obra de drenaje. Para la alcantarilla tipo ducto cajón se consideró un período de retorno de 10 años, mientras que para las cunetas laterales se adoptó un período de retorno de 5 años. Esta diferenciación permite asignar un criterio de diseño acorde con la función hidráulica de cada estructura dentro del sistema de drenaje vial (NEVI-12, 2013).

La ecuación IDF fue seleccionada de acuerdo con el intervalo de duración en el que se ubicó el tiempo de concentración calculado para cada estructura hidráulica. De esta manera, para el ducto cajón se empleó la ecuación correspondiente al intervalo de duración asociado al tiempo de concentración de la microcuenca aportante, mientras que para las cunetas se consideró el tiempo de concentración correspondiente a cada tramo analizado.

$$i = a * T^b * t^c$$

Donde:

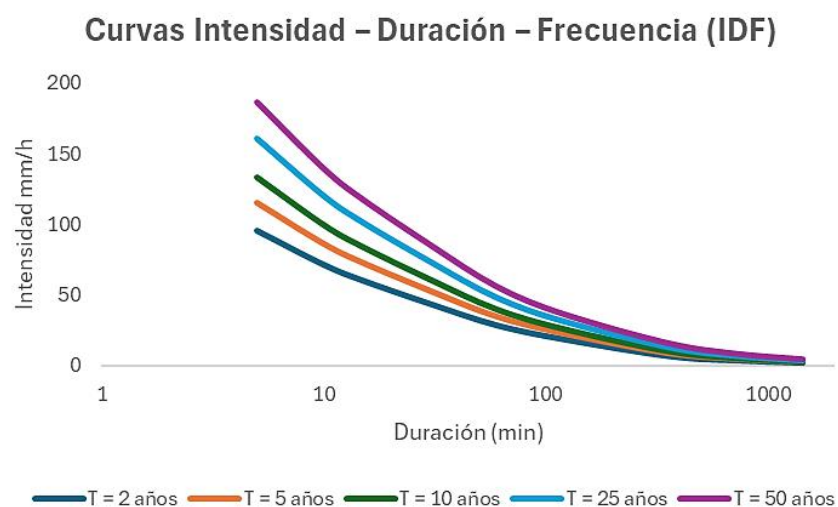
- i = intensidad de precipitación, en mm/h.
- T = período de retorno, en años.
- t = duración de lluvia o tiempo de concentración, en minutos.
- a , b y c = coeficientes definidos por la ecuación IDF correspondiente a la estación meteorológica y al intervalo de duración considerado.

En los casos en que se trabajó con valores tabulados de intensidad para duraciones específicas, se aplicó interpolación lineal para obtener la intensidad correspondiente al tiempo de concentración calculado.

$$I = I_1 + (I_2 - I_1) \left(\frac{t_c - t_1}{t_2 - t_1} \right)$$

Figura 78

Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia de la estación M0169 Julcuy.



3.8.4. Diseño de cuneta.

La definición de las cunetas se desarrolló a partir de una metodología hidrológica e hidráulica orientada a garantizar la captación y conducción del escurrimiento superficial generado sobre la calzada y los taludes en los tramos donde la vía se desarrolla en corte (MIT, 2025). Para ello, se identificaron las áreas de aporte correspondientes, se adoptó un coeficiente de escorrentía acorde con las condiciones superficiales del terreno y se determinó la intensidad de lluvia mediante las curvas IDF de la estación M0169 Julcuy, considerando el tiempo de concentración previamente calculado.

Para el diseño de cunetas se adoptó un periodo de retorno de 5 años, debido a que estas obras corresponden a elementos de drenaje longitudinal cuya función principal es evacuar el agua superficial de la vía hacia puntos bajos, cauces naturales o estructuras de cruce. Este período de retorno permite adoptar una condición de diseño acorde con obras complementarias de drenaje vial, considerando la jerarquía rural del proyecto y el nivel de riesgo hidráulico asociado a este tipo de estructuras. Con este criterio se descartan períodos de retorno propios de estructuras hidráulicas de mayor escala, cuyo empleo podría conducir a dimensiones superiores a las que realmente necesita la obra.

El método racional se utilizó para calcular el caudal, a partir del coeficiente de escorrentía, la intensidad de lluvia y el área de aporte. Después se comprobó la capacidad de la cuneta con la ecuación de Manning, empleando la pendiente disponible, la rugosidad y las dimensiones de la sección propuesta. Para el proyecto se adoptó una sección triangular con vértice en ángulo recto, debido a su facilidad constructiva, su aplicación frecuente en vías rurales y su capacidad para conducir eficientemente los caudales superficiales generados en los tramos de corte.

En los tramos donde la escorrentía superficial tiende a concentrarse en puntos bajos o en cruces naturales del terreno, el sistema de drenaje longitudinal conformado por cunetas se complementa con una obra de drenaje transversal tipo ducto cajón. Esta solución se consideró debido a que permite conducir el caudal concentrado por debajo de la vía, manteniendo la continuidad natural del flujo y reduciendo el riesgo de acumulación de agua sobre la calzada. De esta manera, las cunetas cumplen la función de captar y conducir el agua superficial, mientras que el ducto cajón permite el cruce seguro del caudal hacia su descarga natural.

3.8.4.1. *Coefficiente de escorrentía.*

El coeficiente de escorrentía superficial se seleccionó a partir de las condiciones fisiográficas del área de aporte, considerando la cobertura vegetal, la capacidad de infiltración del suelo, la pendiente del terreno y el uso predominante del área drenada. Para ello, se tomó como referencia la Tabla 46 de coeficientes de escorrentía empleada en el estudio, asociando las características del terreno con el valor correspondiente para el cálculo de los caudales de diseño.

La selección de este coeficiente permite representar la fracción de la precipitación que se transforma en escorrentía superficial y que, posteriormente, es conducida hacia las cunetas laterales.

3.8.4.2. *Periodo de retorno.*

Para el diseño de las cunetas laterales se adoptó un período de retorno de 5 años, considerando que estas estructuras forman parte del sistema de drenaje longitudinal de la vía y cumplen la función de captar y conducir la escorrentía superficial generada sobre la calzada y los taludes en los tramos de corte. Al tratarse de obras menores de drenaje vial, este período permite representar una condición de lluvia adecuada para el control del escurrimiento superficial, de acuerdo con la función hidráulica de la cuneta, la jerarquía rural del proyecto y el nivel de riesgo asociado a este tipo de estructura.

La elección del período de retorno se definió considerando aspectos técnicos como el tipo de obra de drenaje, el área aportante, la función que cumple la vía y el nivel de afectación que podría producirse si la estructura no logra evacuar el caudal esperado. No se seleccionaron períodos de retorno mayores porque suelen reservarse para obras más relevantes o para estructuras cuya falla ocasionaría daños de mayor gravedad. En este caso, un período de 5 años se ajusta a la función de las cunetas laterales de una vía rural: recoger el agua superficial y llevarla hacia puntos bajos, cauces naturales o drenajes transversales.

Este criterio se relaciona con los lineamientos generales de diseño vial y drenaje aplicados en proyectos de infraestructura, donde el período de retorno debe seleccionarse de acuerdo con la función de la obra, su importancia dentro del sistema hidráulico y las condiciones hidrológicas propias del área de estudio (NEVI, 2013).

3.8.4.3. *Tiempo de concentración.*

El tiempo de concentración utilizado para el diseño de cunetas fue determinado previamente en el apartado 3.8.2, considerando el aporte de escorrentía proveniente de la calzada y del talud. Con base en dicho valor, se seleccionó la intensidad de lluvia correspondiente en las curvas IFD para el periodo de retorno adoptado.

3.8.4.4. *Intensidad de lluvia.*

La intensidad de lluvia de diseño para las cunetas fue determinada a partir de las ecuaciones Intensidad – Duración – Frecuencia de la estación meteorológica M0169 Julcuy, considerando el período de retorno adoptado y el tiempo de concentración correspondiente a cada tramo analizado.

Cuando el tiempo de concentración no coincidió directamente con una duración tabulada, se aplicó interpolación lineal entre las intensidades correspondientes a los tiempos de referencia. La expresión utilizada fue la siguiente:

$$I = I_1 + (I_2 - I_1) \left(\frac{t_c - t_1}{t_2 - t_1} \right)$$

3.8.4.5. *Área de drenaje.*

El área de aporte hacia la cuneta se definió a partir de la superficie de escurrimiento correspondiente a la media sección de la vía, integrada por la media calzada y el aporte generado por el talud de corte. La cuantificación de estas áreas se realizó para cada tramo de cuneta evaluado.

Para la aplicación del método racional, el área total obtenida en metros cuadrados fue convertida a hectáreas.

3.8.4.6. *Caudal probable.*

El caudal probable o caudal de aporte hacia la cuneta se estimó mediante el método racional, utilizando el coeficiente de escorrentía, la intensidad de lluvia de diseño y el área tributaria correspondiente al tramo analizado (Maidment & Mays, 1994; MIT, 2025).

$$Q = \frac{C.I.A}{360} = m^3/s$$

Donde Q es el caudal probable en m³/s, C es el coeficiente de escorrentía, I es la intensidad de lluvia en mm/h, A es el área de drenaje en hectáreas y 360 es el factor de conversión de unidades.

3.8.4.7. Verificación hidráulica de la sección de cuneta.

Para verificar la capacidad hidráulica de la cuneta se emplearon las formulaciones derivadas de la ecuación de Manning, considerando una sección transversal triangular. El procedimiento inició con la definición del tirante de diseño, seguido de la determinación de los parámetros geométricos de la sección. Con estos valores se calcularon la velocidad del flujo y el caudal que puede conducir la cuneta.

El ancho del espejo de agua se obtuvo mediante:

$$T = z * y$$

El área mojada se determinó con la siguiente expresión:

$$Am = \frac{T * y}{2}$$

El perímetro mojado se calculó mediante:

$$Pm = T + \sqrt{T^2 + y^2}$$

El radio hidráulico se obtuvo a partir de la relación entre el área mojada y el perímetro mojado:

$$Rh = \frac{Am}{Pm}$$

La velocidad del flujo se determinó aplicando la ecuación de Manning:

$$V = \frac{Rh^{2/3} * S^{1/2}}{n}$$

Finalmente, la capacidad hidráulica de la cuneta o caudal de diseño se calculó mediante:

$$Qd = Am * V$$

La sección propuesta fue considerada adecuada cuando el caudal de diseño resultó superior al caudal probable. Además, se verificó que la velocidad del flujo se mantuviera

dentro de rangos admisibles, con el fin de evitar procesos de erosión, socavación o pérdida de estabilidad en la sección hidráulica.

3.8.4.8. *Evaluación por secciones de cunetas.*

El procedimiento descrito se aplicó a todas las secciones de corte identificadas en el corredor vial. Posteriormente, se compararon los caudales probables con las capacidades hidráulicas de la sección triangular propuesta, con el propósito de verificar el funcionamiento del sistema de drenaje longitudinal y seleccionar la condición más crítica para el diseño general de las cunetas.

3.8.5. Diseño de alcantarillas

Luego de estimar el caudal probable generado por la microcuenca aportante, se definió el procedimiento para el dimensionamiento hidráulico de la alcantarilla tipo ducto cajón ubicado en el punto donde se concentra la escorrentía superficial.

Esta estructura forma parte del drenaje transversal de la vía, ya que permite conducir el flujo por debajo de la plataforma vial, conservando la continuidad natural del escurrimiento y disminuyendo el riesgo de acumulación de agua sobre la calzada.

El ducto cajón se escogió por la concentración de agua observada en el cruce y por las condiciones geométricas del sitio. Mientras las cunetas transportan la escorrentía paralelamente a la carretera, esta alcantarilla conduce el caudal de la microcuenca por debajo de la vía hasta su descarga natural.

La forma rectangular ofrece una sección amplia, ayuda a controlar el flujo en la depresión y se ajusta al espacio disponible para el recubrimiento y la rasante.

Se adoptó un ducto doble de sección rectangular y su capacidad se revisó mediante la ecuación de Manning. La comprobación incluyó las dimensiones de la estructura, la pendiente hidráulica, el coeficiente de rugosidad, el área de flujo, el perímetro mojado, el radio hidráulico y la velocidad. Este procedimiento permitió analizar el flujo con superficie libre dentro de la alcantarilla, como se realiza habitualmente en canales y drenajes viales.

Para la alcantarilla se trabajó con un período de retorno de 10 años. La elección responde a que el ducto recibe el caudal concentrado de la microcuenca y tiene una responsabilidad mayor que las cunetas longitudinales.

Con este valor se comprueba la sección frente a lluvias más intensas, considerando el área de aporte, el carácter rural de la carretera y las consecuencias que tendría bloquear el drenaje natural. Este enfoque se enmarca en los lineamientos generales establecidos para el diseño vial y drenaje en proyectos de infraestructura vial (NEVI, 2013).

El procedimiento se orientó a seleccionar una sección que permita conducir el caudal de diseño de la microcuenca, garantizando el adecuado funcionamiento hidráulico de la vía y manteniendo condiciones de seguridad frente al escurrimiento superficial concentrado.

Asimismo, se consideró que en el entorno del proyecto existen zonas intervenidas y presencia de material granular, por lo que la estructura debe permitir una conducción adecuada del flujo y facilitar futuras labores de mantenimiento ante posibles arrastres de sedimentos o material suelto.

3.8.5.1. Longitud de ducto cajón

La longitud del ducto cajón se definió considerando el ancho de la vía, la geometría transversal del camino, la ubicación del punto de cruce, el recubrimiento necesario y las condiciones de entrada y salida del flujo.

Al tratarse de una estructura de drenaje transversal, su longitud debe permitir atravesar completamente la plataforma vial y garantizar que el caudal captado pueda ser conducido hacia una descarga controlada, sin afectar la estabilidad de la calzada ni los taludes laterales.

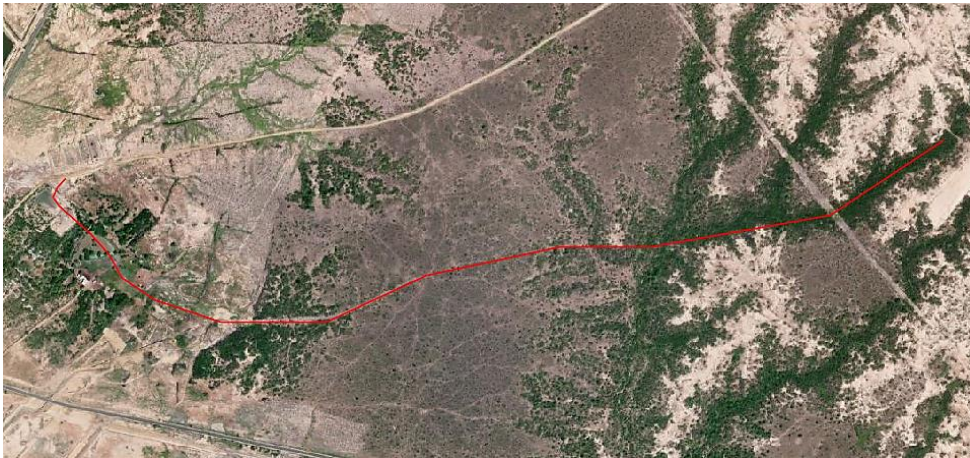
Asimismo, se recomienda que la salida del ducto cajón se complemente con una sección de canal abierto, dissipador de energía o estructura de protección hidráulica, según las condiciones del terreno natural.

Esta consideración es importante debido a que el flujo concentrado puede generar erosión en la zona de descarga, especialmente en sectores donde existen pendientes, material suelto o evidencias de intervención del terreno.

Por ello, la longitud adoptada debe acompañarse de medidas de protección que aseguren la continuidad del escurrimiento y reduzcan posibles afectaciones aguas abajo (Maidment & Mays, 1994).

Figura 79

Longitud del cauce más largo que desembocará en el ducto cajón



Fuente: Google Earth, 2026.

3.8.5.2. Área de drenaje

El área de drenaje aportante hacia el ducto cajón fue obtenida a partir de la delimitación de la microcuenca mediante herramientas SIG. Esta área representa la superficie que contribuye escorrentía hacia el punto bajo donde se proyecta la estructura transversal. El valor obtenido fue utilizado posteriormente como dato de entrada para la estimación del caudal probable mediante el método racional.

3.8.5.3. Sección ducto cajón

La sección del ducto cajón fue definida de acuerdo con el caudal probable de la microcuenca y la capacidad hidráulica requerida para permitir el cruce del flujo concentrado por debajo de la vía. Se adoptó una alcantarilla tipo ducto cajón debido a que esta estructura se adapta adecuadamente a puntos bajos o cruces naturales del terreno, permite mantener la continuidad del escurrimiento superficial y ofrece una mayor estabilidad hidráulica frente a caudales concentrados, en comparación con soluciones de menor capacidad.

Para el análisis hidráulico se adoptó una sección rectangular doble, compuesta por dos celdas de iguales dimensiones. Esta configuración permite repartir el caudal de diseño entre ambos conductos, aumentar la capacidad de conducción y disminuir la altura hidráulica necesaria en comparación con una estructura de una sola celda de mayor tamaño. Asimismo, la forma rectangular facilita su colocación bajo la plataforma vial,

permite controlar mejor el recubrimiento disponible y se adapta a las condiciones geométricas del camino proyectado.

La base hidráulica total se obtuvo a partir de la suma de las bases internas de las dos celdas, mientras que la altura corresponde a la dimensión vertical disponible para el paso del flujo. Con estos valores se calcularon el área hidráulica, el perímetro mojado y el radio hidráulico, parámetros empleados posteriormente en la ecuación de Manning para comprobar la capacidad de conducción de la sección propuesta. La elección de esta configuración se realizó considerando criterios de drenaje vial, capacidad hidráulica, protección de la plataforma y continuidad del cauce natural en el punto de cruce.

3.8.5.4. *Tiempo de concentración*

Para estimar el tiempo de concentración de la microcuenca aportante al ducto cajón, se consideró la longitud hidráulica principal del cauce, el desnivel entre el punto más alto y el punto de descarga, y la pendiente media del recorrido del flujo. Este parámetro permitió seleccionar la duración de lluvia correspondiente para la obtención de la intensidad de diseño.

La expresión utilizada para la estimación del tiempo de concentración fue la siguiente:

$$T_c = 0.0195 \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0.385}$$

Donde:

- t_c = tiempo de concentración, en minutos.
- L = longitud hidráulica principal o recorrido del flujo, en metros.
- H = desnivel entre el punto más alto y el punto de salida, en metros.

3.8.5.5. *Periodo de retorno*

Para el diseño de la alcantarilla tipo ducto cajón se adoptó un período de retorno de 10 años, debido a que se trata de una estructura de drenaje transversal encargada de conducir el escurrimiento concentrado de la microcuenca hacia el punto bajo de la vía.

3.8.5.6. *Intensidad de lluvia*

La intensidad de lluvia de diseño se determinó a partir de las ecuaciones Intensidad – Duración – Frecuencia, correspondientes a la estación meteorológica M0169 Julcuy. La

ecuación o los valores de intensidad fueron seleccionados de acuerdo con el período de retorno adoptado y el tiempo de concentración de la microcuenca.

Cuando el tiempo de concentración no coincidió directamente con los tiempos tabulados, se aplicó interpolación lineal mediante la siguiente expresión:

$$I = I_1 + (I_2 - I_1) \left(\frac{t_c - t_1}{t_2 - t_1} \right)$$

Donde:

- I = intensidad de lluvia interpolada, en mm/h.
- I_1 = intensidad correspondiente a la duración menor considerada, en mm/h.
- I_2 = intensidad correspondiente a la duración mayor considerada, en mm/h.
- t_c = tiempo de concentración calculado, en minutos.
- t_1 y t_2 = duraciones de referencia, en minutos.

3.8.5.7. Caudal Probable

El caudal probable de la microcuenca se calculó mediante el método racional, considerando el coeficiente de escorrentía, la intensidad de lluvia de diseño y el área de drenaje aportante. Para obtener el caudal en litros por segundo se utilizó el factor de conversión correspondiente.

$$Q = 2.78 * CIA$$

Donde:

- Q = caudal probable, en L/s.
- C = coeficiente de escorrentía.
- I = intensidad de lluvia de diseño, en mm/h.
- A = área de drenaje, en hectáreas.
- 2.78= factor de conversión de unidades.

3.8.5.8. Base y altura de sección

La base y la altura del ducto cajón fueron definidas en función del caudal a conducir y de la capacidad hidráulica requerida. Para la sección rectangular doble, la base hidráulica total corresponde a la suma de las bases internas de las dos celdas. El tirante de funcionamiento fue considerado como un porcentaje de la altura total, con la finalidad de mantener un borde libre dentro de la sección.

$$y = H * p$$

Donde:

- y = tirante de funcionamiento, en metros.
- H = altura total de la sección, en metros.
- p = porcentaje de ocupación hidráulica de la sección.

3.8.5.9. Parámetros hidráulicos de la sección

Con la geometría seleccionada se calcularon el área mojada, el perímetro mojado y el radio hidráulico de la sección. Estos parámetros fueron empleados posteriormente en la ecuación de Manning para determinar la velocidad del flujo.

$$Am = B * y$$

$$Pm = B * 2y$$

$$Rh = \frac{Am}{Pm}$$

Donde:

- Am = área mojada, en m².
- B = base hidráulica total, en metros.
- y = tirante de funcionamiento, en metros.
- Pm = perímetro mojado, en metros.
- Rh = radio hidráulico, en metros.

3.8.5.10. Velocidad y caudal de diseño

La velocidad de diseño se calculó mediante la ecuación de Manning, utilizando el coeficiente de rugosidad, el radio hidráulico y la pendiente hidráulica expresada en forma decimal. Posteriormente, el caudal de diseño se obtuvo a partir del producto entre el área mojada y la velocidad del flujo.

$$V = \frac{1}{n} * Rh^{2/3} * S^{1/2}$$

$$Qd = Am * V * 1000$$

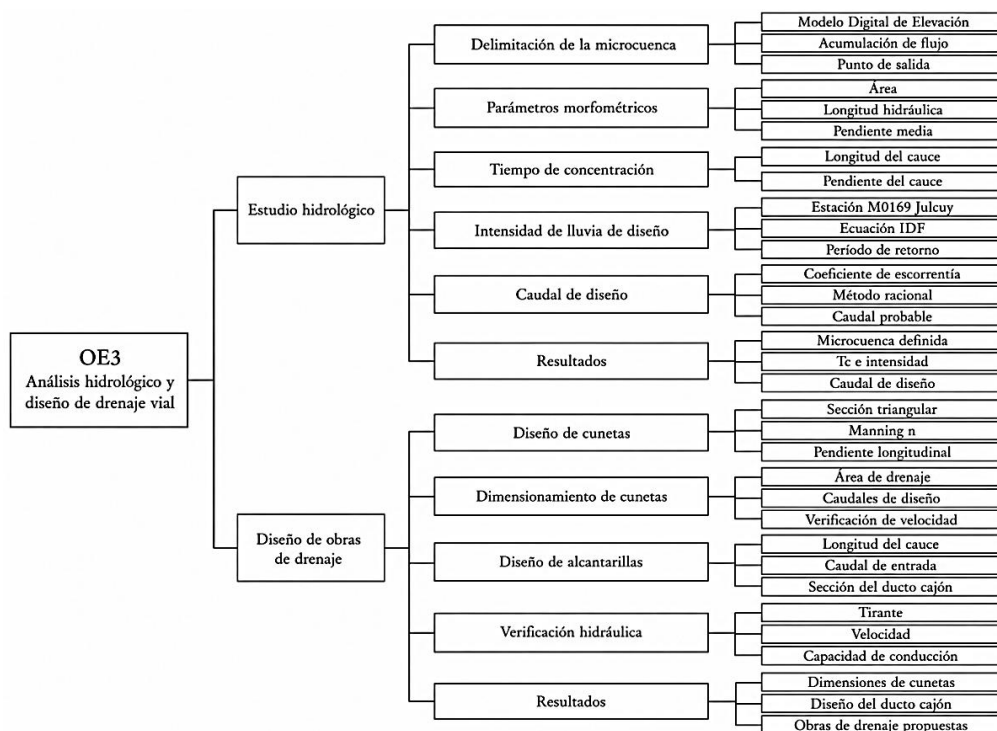
Donde:

- V = velocidad del flujo, en m/s.
- n = coeficiente de rugosidad de Manning.
- S = pendiente hidráulica, expresada en m/m
- Q_d = caudal de diseño o capacidad hidráulica, en L/s.

La sección propuesta se considera hidráulicamente adecuada cuando el caudal de diseño es mayor que el caudal probable de la microcuenca y la velocidad calculada se encuentra dentro de los valores admisibles para el material de la estructura.

Figura 80

Organigrama metodológico del OE3 - Via Engullima - Chanduy



3.9. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Tabla 78

Operacionalización de Variables independientes

Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala
Levantamiento topográfico	Conjunto de procedimientos técnicos utilizados para determinar la ubicación y características físicas del terreno mediante coordenadas, distancias y elevaciones.	Se realizará mediante trabajo de campo utilizando estación total y/o GPS para obtener las características geométricas del terreno de la vía Engullima–Chanduy.	Levantamiento Planimétrico	Coordenadas georreferenciadas	m
			Levantamiento Altimétrico	Cotas	m.s.n.m.
Estudio de suelos	Análisis geotécnico que permite identificar las propiedades físicas y mecánicas del suelo para determinar su capacidad de soporte.	Se ejecutarán mediante ensayos de laboratorio para clasificar el suelo y definir la estructura del pavimento.	Resistencia del suelo	Proctor Modificado: Densidad seca máxima Humedad óptima Capacidad de soporte (CBR)	Kg/cm ³ % %
			Comportamiento del suelo	Límites de Atterberg Contenido de humedad	%
			Clasificación del suelo	Granulometría	%

			Propiedades físicas	Clasificación SUCS Clasificación AASHTO	Nominal
Tráfico promedio diario anual (TPDA)	Parámetro que representa el número promedio de vehículos que circulan diariamente por una vía durante un año.	Se realizará mediante conteo vehicular manual y clasificación de vehículos para la determinación del TPDA mediante la estimación del tráfico actual y el tráfico futuro.	Tráfico actual	Aforo TPDS Tráfico Asignado	veh/día
			Tráfico futuro	Crecimiento vehicular TPDA Tráfico de desarrollo	% veh/día veh/día
				Área de drenaje Longitud hidráulica pendiente media Tiempo de concentración Intensidad de lluvia Coeficiente de escorrentía Período de retorno Caudal probable	km ² o ha m % min mm/h adimensional; años m ³ /s
Condiciones hidrológicas e hidráulicas	Características de la precipitación, la cuenca aportante, la escorrentía y el flujo que condicionan el funcionamiento de las obras de drenaje vial.	Se determinarán mediante el procesamiento del modelo digital de elevación en QGIS, curvas IDF de la estación M0169 Julcuy, método racional para estimar los caudales probables y ecuación de Manning para comprobar la capacidad hidráulica de cunetas y alcantarillas.	Condiciones hidrológicas	Dimensiones de la sección; tirante; área mojada; perímetro mojado; radio hidráulico; rugosidad de Manning; pendiente; velocidad; capacidad hidráulica	m m ² adimensional % o m/m m/s m ³ /s
			Condiciones hidráulicas		

Tabla 79*Operacionalización de Variables Dependientes*

Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala
Diseño geométrico	Proceso técnico mediante el cual se definen las características geométricas de una vía para garantizar seguridad y funcionalidad.	Se desarrollará aplicando normas MIT y AASHTO para definir alineamiento horizontal, vertical y sección transversal de la vía.	Geometría vial	Radio de curvatura Pendiente Ancho de calzada Bombeo Velocidad de diseño	m
Diseño estructural del pavimento	Proceso de dimensionamiento de las capas del pavimento para soportar las cargas del tránsito y condiciones del terreno.	Se determinarán espesores de subbase, base y carpeta asfáltica utilizando el método AASHTO 93 en función del TPDA y del CBR del suelo.	Estructura del pavimento flexible	Espesor de capas Número estructural Vida útil del pavimento	m Nominal año
Diseño hidráulico	Conjunto de cálculos y procedimientos destinados al manejo y evacuación de aguas superficiales en una vía.	Se calcularán caudales y se diseñarán cunetas y alcantarillas considerando precipitación, escorrentía y condiciones hidrológicas del sector.	Obras de drenaje vial	Caudal de diseño Dimensiones de cunetas Diámetro de alcantarillas Capacidad hidráulica	m ³ /s m m m ³ /s

CAPITULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADO

4.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL OE1: REALIZAR EL LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO, EL ESTUDIO DE SUELOS Y EL ESTUDIO DE TRÁFICO PROMEDIO DIARIO ANUAL (TPDA) PARA EL DISEÑO VIAL.

El análisis de los resultados del levantamiento topográfico, del estudio geotécnico y del estudio de tránsito permitió identificar las condiciones físicas y operativas de la vía Engullima – Chanduy, proporcionando los criterios técnicos necesarios para el desarrollo del diseño vial propuesto.

4.1.1. Análisis de los resultados del levantamiento topográfico.

Del análisis del perfil longitudinal del terreno natural se obtuvo una pendiente promedio de 1,88%, valor que indica una condición general de terreno predominantemente plano. Sin embargo, al revisar de manera detallada las pendientes parciales entre los vértices de alineamiento vertical, se evidencia que el comportamiento del terreno no es completamente uniforme, ya que existen varios sectores con cambios importantes de pendiente.

Por esta razón, el tramo no se interpreta como un terreno completamente plano, sino como un terreno predominantemente plano con sectores ondulados. Entre los sectores más representativos se identifican los siguientes:

Tabla 80

Pendientes representativas a lo largo de la vía Engullima - Chanduy

N.º del sector	Abscisa	Pendiente absoluta del terreno %
1	0+304,43 – 0+347,79	8,09%
2	0+457,97 – 0+467,26	5,83 %
3	0+604,27 – 0+613,62	5,47%
4	0+730,33 – 0+753,42	6,28%
5	1+188,85 – 1+258,88	6.56%
6	1+879,41 – 1+915,57	4,67%

Estas variaciones altimétricas demuestran que el eje vial posee ondulaciones locales que influyen en el desarrollo del perfil longitudinal, el movimiento de tierras y la adaptación geométrica de la vía al relieve existente.

Por lo tanto, debido a que estos sectores mencionados representan las condiciones más críticas del trazado, se tomó la decisión de adaptar de manera conservadora para la selección y verificación de los parámetros geométricos del diseño vial, con la finalidad de representar de mejor manera las condiciones críticas observadas en el eje y evitar una subestimación de las características reales del terreno.

Tabla 81

Pendientes a lo largo de la vía Engullima - Chanduy

N.º	P,K, de VAV	Elevación de VAV	Inclinación de rasante T,E,	Inclinación de rasante T,S,	A (Cambio de pendiente)	Pendiente absoluta del terreno %
1	0+000,00m	10,000m		2,70%		
2	0+045,28m	11,224m	2,70%	-3,48%	6,18%	2,70%
3	0+080,00m	10,015m	-3,48%	-2,74%	0,74%	3,48%
4	0+140,00m	8,369m	-2,74%	-0,27%	2,47%	2,74%
5	0+188,85m	8,237m	-0,27%	-2,02%	1,75%	0,27%
6	0+260,00m	6,799m	-2,02%	1,01%	3,03%	2,02%
7	0+286,94m	7,072m	1,01%	-3,32%	4,33%	1,01%
8	0+304,43m	6,492m	-3,32%	-8,09%	4,77%	3,32%
9	0+347,79m	2,986m	-8,09%	-1,48%	6,60%	8,09%
10	0+399,83m	2,214m	-1,48%	-0,72%	0,76%	1,48%
11	0+457,97m	1,792m	-0,72%	5,83%	6,55%	0,72%
12	0+467,26m	2,333m	5,83%	-3,41%	9,24%	5,83%
13	0+486,23m	1,685m	-3,41%	0,71%	4,12%	3,41%
14	0+552,89m	2,158m	0,71%	0,42%	0,29%	0,71%
15	0+604,27m	2,376m	0,42%	5,47%	5,04%	0,42%
16	0+613,62m	2,887m	5,47%	-1,24%	6,71%	5,47%
17	0+642,18m	2,532m	-1,24%	1,65%	2,89%	1,24%
18	0+700,00m	3,486m	1,65%	3,51%	1,86%	1,65%
19	0+730,33m	4,550m	3,51%	6,28%	2,77%	3,51%
20	0+753,42m	6,000m	6,28%	0,78%	5,50%	6,28%
21	0+808,33m	6,428m	0,78%	0,24%	0,54%	0,78%

22	0+869,67m	6,577m	0,24%	2,76%	2,51%	0,24%
23	0+886,34m	7,037m	2,76%	-0,90%	3,65%	2,76%
24	0+915,21m	6,778m	-0,90%	3,58%	4,48%	0,90%
25	0+927,07m	7,204m	3,58%	-1,32%	4,90%	3,58%
26	0+949,48m	6,908m	-1,32%	0,94%	2,26%	1,32%
27	0+971,86m	7,117m	0,94%	-1,14%	2,07%	0,94%
28	1+042,00m	6,319m	-1,14%	0,00%	1,14%	1,14%
29	1+100,00m	6,321m	0,00%	1,20%	1,20%	0,00%
30	1+168,60m	7,146m	1,20%	-2,13%	3,33%	1,20%
31	1+188,85m	6,715m	-2,13%	6,56%	8,69%	2,13%
32	1+258,88m	11,311m	6,56%	4,35%	2,21%	6,56%
33	1+286,09m	12,494m	4,35%	1,53%	2,81%	4,35%
34	1+340,46m	13,328m	1,53%	1,12%	0,41%	1,53%
35	1+392,96m	13,917m	1,12%	2,39%	1,27%	1,12%
36	1+425,34m	14,691m	2,39%	-0,39%	2,78%	2,39%
37	1+480,00m	14,479m	-0,39%	0,31%	0,70%	0,39%
38	1+520,00m	14,603m	0,31%	2,26%	1,95%	0,31%
39	1+542,41m	15,109m	2,26%	0,36%	1,90%	2,26%
40	1+564,92m	15,189m	0,36%	-0,20%	0,56%	0,36%
41	1+597,22m	15,124m	-0,20%	-0,89%	0,69%	0,20%
42	1+680,00m	14,388m	-0,89%	-2,81%	1,92%	0,89%
43	1+760,00m	12,142m	-2,81%	-2,64%	0,17%	2,81%
44	1+800,00m	11,086m	-2,64%	-0,67%	1,97%	2,64%
45	1+834,87m	10,851m	-0,67%	-0,72%	0,05%	0,67%
46	1+879,41m	10,532m	-0,72%	4,67%	5,39%	0,72%
47	1+915,57m	12,222m	4,67%	3,04%	1,63%	4,67%
48	1+941,67m	13,016m	3,04%	2,33%	0,71%	3,04%
49	1+969,91m	13,675m	2,33%	1,48%	0,85%	2,33%
50	2+016,13m	14,360m	1,48%	1,32%	0,16%	1,48%
51	2+080,00m	15,203m	1,32%	0,31%	1,01%	1,32%
52	2+160,52m	15,450m	0,31%	-1,08%	1,39%	0,31%
53	2+220,00m	14,809m	-1,08%	-0,98%	0,10%	1,08%
54	2+260,00m	14,418m	-0,98%	-1,04%	0,07%	0,98%
55	2+300,00m	14,000m	-1,04%	-0,64%	0,40%	1,04%
56	2+345,25m	13,711m	-0,64%	0,64%	1,28%	0,64%
57	2+372,62m	13,885m	0,64%	2,43%	1,79%	0,64%

58	2+440,00m	15,521m	2,43%	0,53%	1,90%	2,43%
59	2+510,36m	15,894m	0,53%	-0,97%	1,50%	0,53%
60	2+587,59m	15,146m	-0,97%	1,34%	2,31%	0,97%
61	2+652,01m	16,012m	1,34%	1,64%	0,30%	1,34%
62	2+680,00m	16,472m	1,64%	1,58%	0,07%	1,64%
63	2+700,69m	16,798m	1,58%	0,34%	1,23%	1,58%
64	2+760,00m	17,002m	0,34%	0,88%	0,53%	0,34%
65	2+860,00m	17,877m	0,88%	-0,01%	0,88%	0,88%
66	2+960,00m	17,869m	-0,01%	0,60%	0,61%	0,01%
67	3+070,00m	18,532m	0,60%			0,60%

4.1.2. Análisis de los resultados de los ensayos de laboratorio.

Los ensayos de humedad, granulometría, límites de Atterberg, gravedad específica, compactación, abrasión, Proctor y CBR permitieron caracterizar las propiedades geotécnicas de los materiales del área de estudio y evaluar su aptitud vial. Los suelos naturales del tramo presentan predominio de suelo limosos y arcillosos, con variaciones en plasticidad, compactación y capacidad de soporte, lo que evidencia condiciones heterogéneas acorde con (Zavala Coronel & Rodríguez, 2020), quienes reportaron depósitos limo-arenosos y arcillosos en sectores cercanos a la cuenca del río Zapotal, sensibles a cambios de humedad y drenaje.

En contraste, el material de la cantera Juan Montalvo presentó mejores condiciones estructurales, reflejadas en su baja plasticidad, adecuada gradación, buena compactación, resistencia al desgaste y capacidad de soporte, por lo que resulta apto como material de mejoramiento y para capas granulares del pavimento.

En conjunto, estos resultados evidencian la necesidad de incorporar las condiciones geotécnicas específicas de cada tramo dentro del diseño vial. Este criterio coincide con lo planteado por el (Departamento Nacional de Planeación (DNP) e Instituto Nacional de Vías (INVIAS), 2020) y por (Chancusig Cajas & Vivas Acosta, 2024), quienes señalan que el buen desempeño de una infraestructura vial depende de una caracterización adecuada del terreno y de la selección de materiales compatibles con las condiciones locales del proyecto.

4.1.2.1. Contenido de Humedad.

En la Tabla **87** se presentan los resultados del ensayo de humedad natural para diferentes puntos de calicatas a lo largo del proyecto vial. Los valores obtenidos muestran

variaciones que van desde **2,61%** (calicata 2 – estrato 1) hasta **9,03%** (calicata 2 – estrato 2).

Estas diferencias pueden relacionarse a factores como la composición granulométrica del suelo, el nivel de compactación natural, la profundidad de extracción y las condiciones de drenaje presentes evidenciando diferentes condiciones de humedad relacionados a suelos costeros localizados en la provincia de Santa Elena, donde predominan materiales arenosos, arcillosos de baja plasticidad y condiciones ambientales relativamente secas donde las precipitaciones son estacionales y escasas, y los suelos se mantienen en condición de baja saturación durante la mayor parte del año.

La muestra procedente de la cantera Juan Montalvo registró una humedad natural de **2,18%**. Al momento de la extracción, el material se encontraba relativamente seco, condición favorable para su manejo y compactación en capas estructurales. El bajo contenido de agua también es coherente con un material granular de préstamo o mejoramiento, que presenta poca retención de humedad.

Al compararlo con las muestras extraídas de las calicatas del proyecto, el material de cantera muestra una condición más estable y homogénea en cuanto a humedad natural. No obstante, este valor debe analizarse junto con la humedad óptima determinada en el ensayo Proctor, con el fin de establecer si será necesario añadir agua durante la compactación para alcanzar la densidad seca máxima y asegurar un comportamiento adecuado dentro de la estructura vial.

4.1.2.2. Granulometría y Clasificación de Suelos.

El análisis granulométrico por tamizado permitió determinar la distribución de tamaños de partículas en las seis calicatas del proyecto y en el material de la cantera Juan Montalvo. Los resultados de la Tabla **87** evidencian que el suelo natural del tramo está conformado predominantemente por materiales finos: el porcentaje de partículas que pasa el tamiz N°200 varía entre **41,48%** (calicata - 2 estrato 1) y **62,77%** (calicata 3).

Con base en esta distribución, en la Tabla **82** hace una comparación sobre la clasificación SUCS y AASHTO para los 3 tipos de suelo predominantes: arena arcillosa (SC) en la calicata 1, arena limosa (SM) en el estrato superficial de la calicata 2, arcillas de baja plasticidad (CL) en las calicatas 3, 4 y 6, y materiales transicionales limo-arcilla (ML–CL) en el estrato profundo de la calicata 2 y en la calicata 5, mientras confirma

que la mayoría de los suelos naturales pertenecen a los grupos A-4 (suelo limoso) y A-6 (suelo arcilloso).

El material proveniente de la cantera Juan Montalvo presenta una composición granulométrica más favorable para fines viales. Solo el **3,71%** de su masa pasa el tamiz N.º 200, mientras que la fracción gruesa, correspondiente a grava, alcanza el **72,18%** del total. Esta distribución evidencia un material predominantemente granular, con buena gradación y bajo contenido de finos. Por ello, se clasifica como GW, grava bien gradada según el sistema SUCS, y como A-1-a según AASHTO, con un índice de grupo igual a cero. Estos resultados confirman su aptitud para ser utilizado como material estructural en capas de base y subbase. A continuación, se presentan de la Figura 81 a la Figura 88 las curvas granulométricas de cada calicata con su abertura de tamiz y porcentaje pasante.

Figura 81
Curva granulométrica Calicata 1

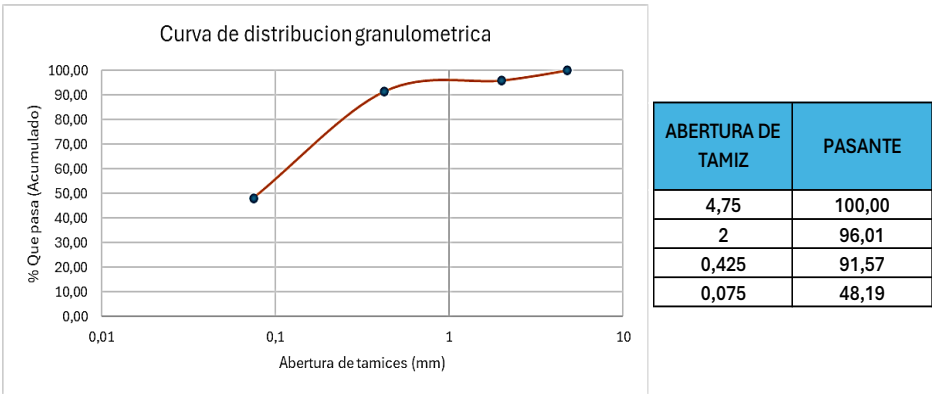


Figura 82
Curva granulométrica Calicata 2 - Estrato 1

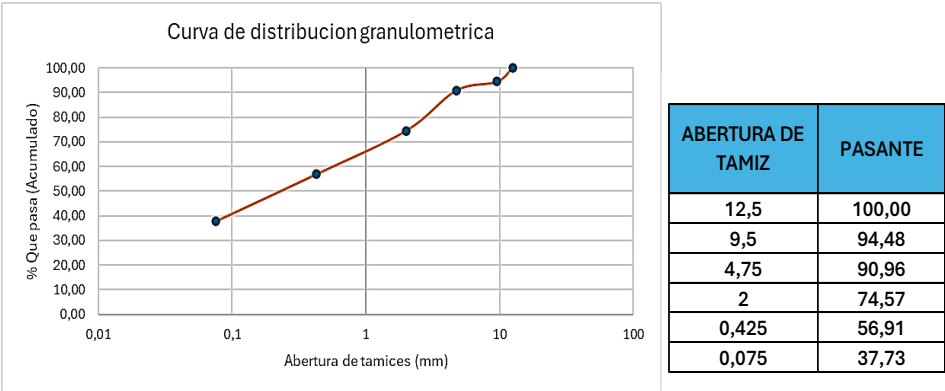
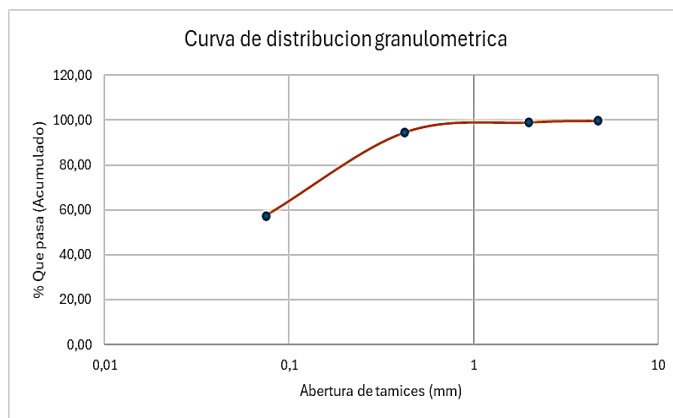


Figura 83

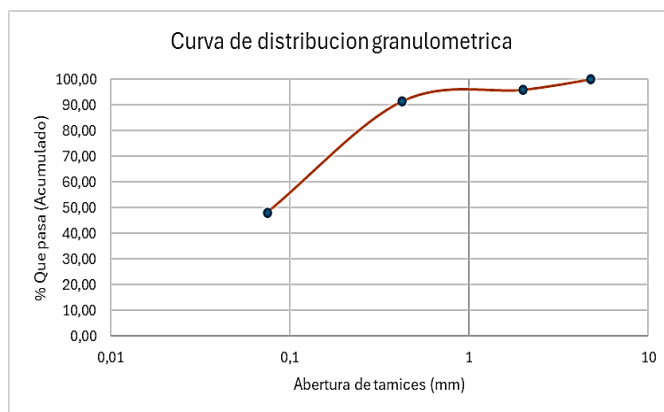
Curva granulométrica Calicata 2 - Estrato 2



ABERTURA DE TAMIZ	PASANTE
4,75	99,65
2	98,90
0,425	94,51
0,075	57,27

Figura 84

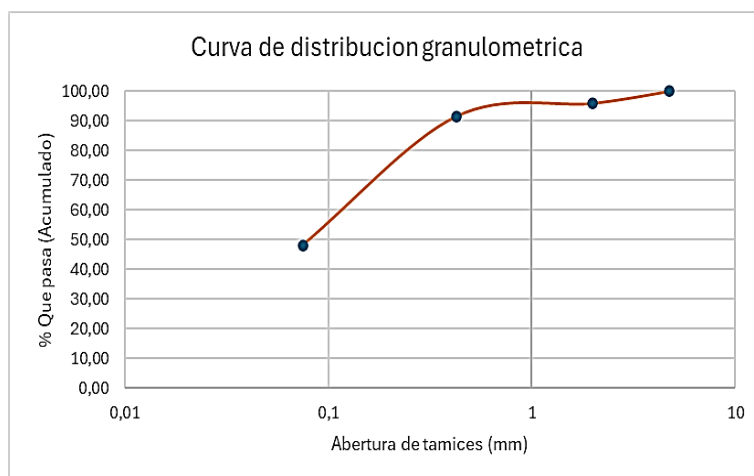
Curva granulométrica Calicata 3



ABERTURA DE TAMIZ	PASANTE
4,75	99,88
2	99,45
0,425	97,43
0,075	62,69

Figura 85

Curva granulométrica Calicata 4



ABERTURA DE TAMIZ	PASANTE
4,75	100,00
2	99,22
0,425	97,08
0,075	57,75

Figura 86

Curva granulométrica Calicata 5

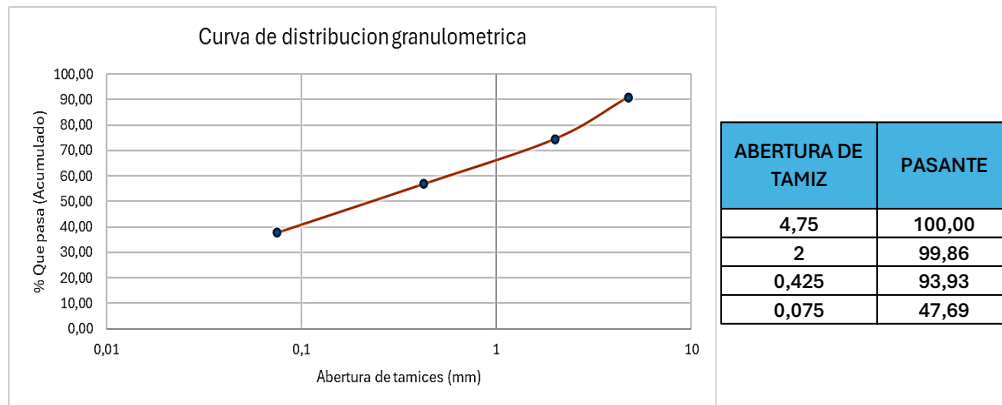


Figura 87

Curva granulométrica Calicata 6

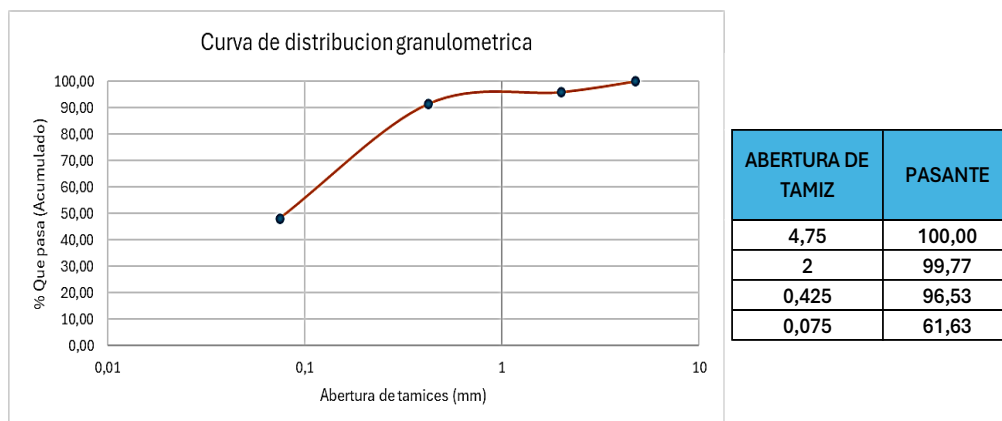
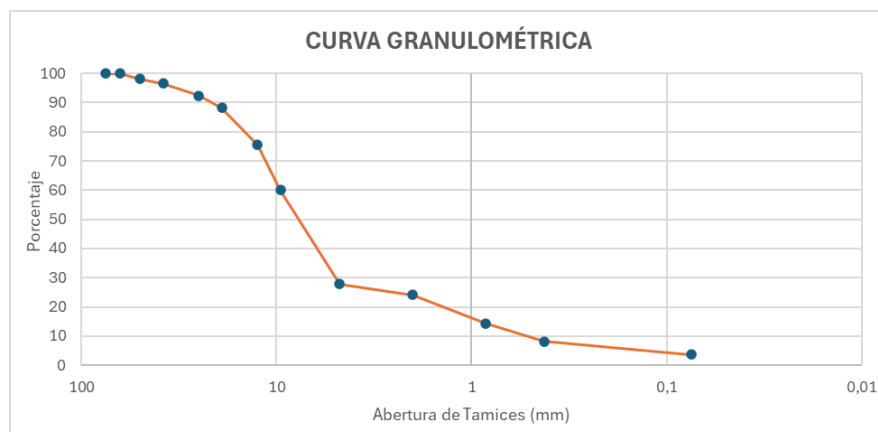


Figura 88

Curva granulométrica Cantera Juan Montalvo



Se detalla también una estratigrafía que relaciona la clasificación SUCS y AASHTO en cuanto a las muestras obtenidas durante los ensayos de laboratorio.

Tabla 82*Clasificación de las muestras por medio de la SUCS y AASHTO*

Calicata	Abscisa	Muestra	AASHTO	SUCS	Estratigrafía
		N.º			
1	0+010	1	A - 4	SC	
2	0+550	1	A - 4	SM	
	0+550	2	A - 4	ML - CL	
3	1+200	1	A - 6	CL	
4	1+760	1	A - 6	CL	
5	2+350	1	A - 4	ML - CL	
6	3+000	1	A - 6	CL	
Cantera Juan Montalvo	—	1	A - 1 a	GW	

4.1.2.3. Límites de Atterberg (Límite Líquido, Plástico e Índice Plástico).

Los resultados mostrados en la Tabla 87 evidencian que dentro de los límites se encuentran variaciones importantes entre calicatas: el límite líquido (LL) oscila entre **22,01%** y **38,91%**, mientras que el índice de plasticidad (IP) varía desde valores no plásticos (NP) hasta un máximo de **19,78%**.

Las calicatas 1, 2 estrato 2 y 5 presentan plasticidad baja, con índices entre **4,48%** y **7,81%**, lo que indica materiales con menor sensibilidad a los cambios de humedad y comportamiento más estable como subrasante. En contraste, se observa que las calicatas 3, 4 y 6 exhiben plasticidad media, con valores de IP entre **15,89%** y **19,78%**, asociada a límites líquidos superiores al **33%**, lo que señala la presencia de arcillas de baja a media plasticidad (CL) que pueden experimentar variaciones volumétricas al modificarse su contenido de humedad, representando un factor de riesgo para la estabilidad del pavimento si no se controla adecuadamente durante la construcción, particularmente la calicata 6, con el IP más alto del proyecto, que requiere especial

atención durante la compactación y en la etapa de mantenimiento. El material de la cantera Juan Montalvo, por su parte, mostró un IP de **4,75%**, asociado a su naturaleza granular, confirmando su excelente comportamiento para uso como material estructural en pavimentos y obras viales.

Desde la Figura 89 a la

Figura 95, se muestran la relación entre el porcentaje de humedad con el número de golpes de cada muestra unidas por una línea logarítmica de los puntos cada calicata.

Figura 89

Límites Líquido vs N.º de golpes de la Calicata 1

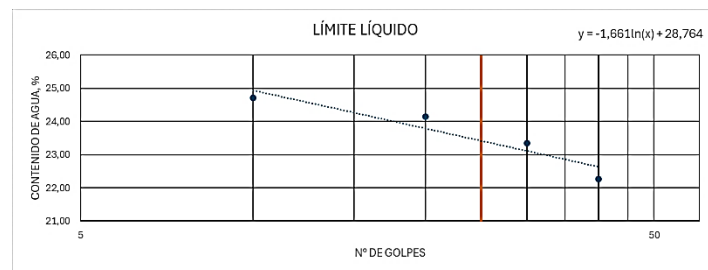


Figura 90

Límites Líquido vs N.º de golpes de la Calicata 2 - Estrato 2 (del Estrato 1 se determinó que era no plástico (N.P))

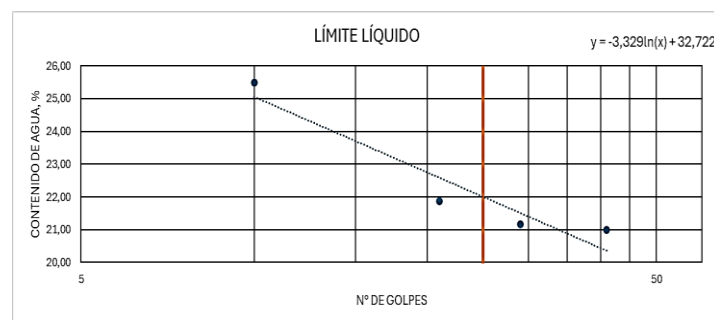


Figura 91

Límites Líquido vs N.º de golpes de la calicata 3

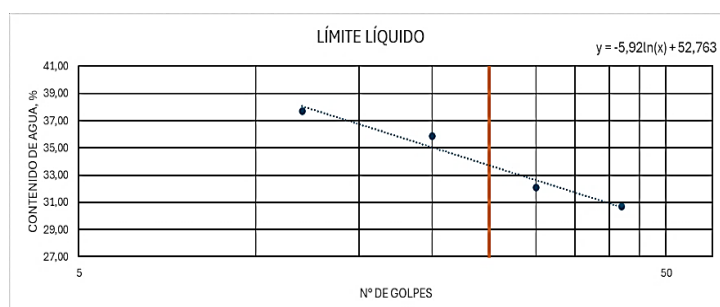


Figura 92

Límites Líquido vs N.º de golpes de la Calicata 4

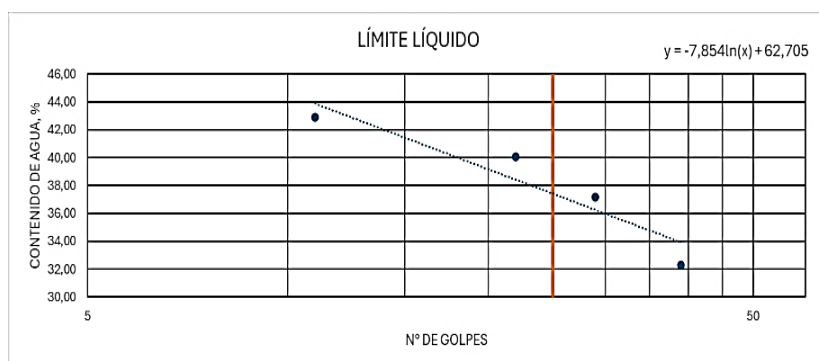
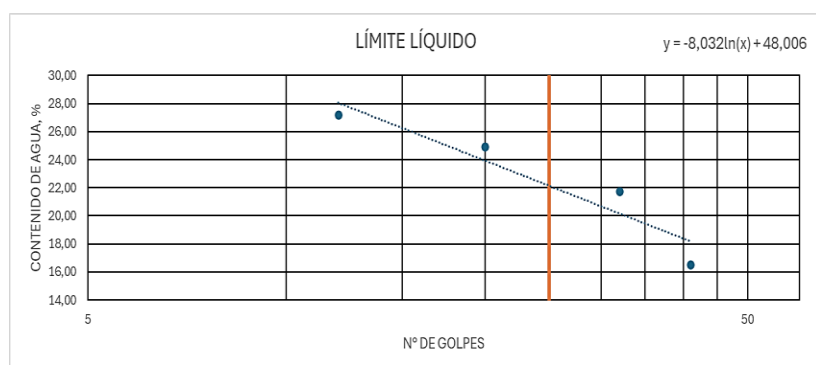


Figura 93

Límites Líquido vs N.º de golpes de la Calicata 5



Figuras 94

Límites Líquido vs N.º de golpes de la Calicata 6

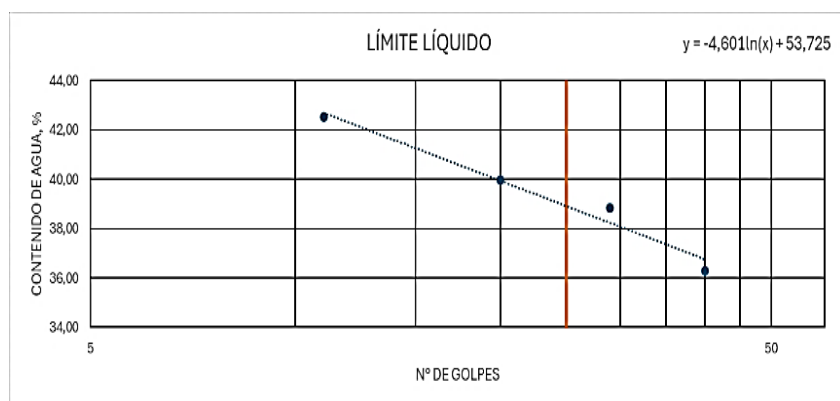
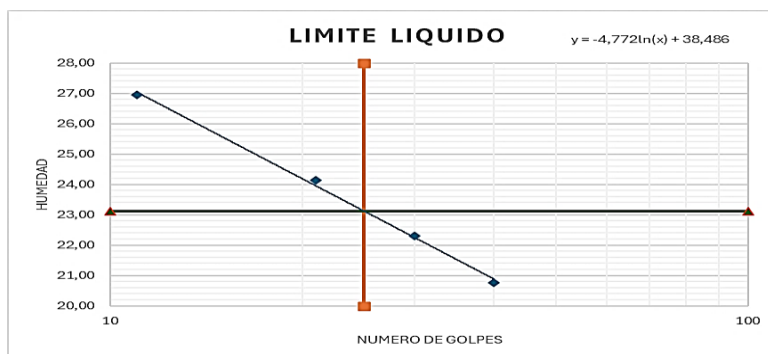


Figura 95

Límites Líquido vs N.º de golpes de la Cantera Juan Montalvo



La siguiente tabla muestra el índice de plasticidad (IP) de cada muestra ensayada.

Tabla 83

Índice de Plasticidad de las muestras de suelo

Calicata 1		Calicata 2 - Estrato 1		Calicata 2 - Estrato 2		Calicata 3	
L. Líquido	23,4 2	L. Líquido	N.P.	L. Líquido	22,0 1	L. Líquido	33,7 1
L. Plástico	15,6 1	L. Plástico	N.P.	L. Plástico	17,5 3	L. Plástico	17,4 9
I. Plasticidad	7,81	I. Plasticidad	N.P.	I. Plasticidad	4,48	I. Plasticidad	16,2 2
Calicata 4		Calicata 5		Calicata 6		Cantera Juan Montalvo	
L. Líquido	37,4 2	L. Líquido	22,15	L. Líquido	38,9 1	L. Líquido	23,1 2
L. Plástico	21,5 3	L. Plástico	15,79	L. Plástico	19,1 3	L. Plástico	18,3 7
I. Plasticidad	15,8 9	I. Plasticidad	6,36	I. Plasticidad	19,7 8	I. Plasticidad	4,75

4.1.2.4. Gravedad Específica de Sólidos de Suelo.

En la Tabla **87** se determinó la relación entre la masa de los sólidos del suelo y la masa de un volumen igual de agua destilada a la temperatura de ensayo, aplicando el factor de corrección k correspondiente a la Tabla **8** para cada temperatura registrada. Los resultados obtenidos de la Tabla **84** oscilan entre **2,52** y **2,80** para el suelo natural, con suelos finos de naturaleza arcillosa y limosa, tal como lo evidencian las clasificaciones SUCS y AASHTO obtenidas previamente, pertenecientes a suelos de composición mineral inorgánica sin presencia significativa de materia orgánica.

La mayor gravedad específica correspondió a la calicata 2, estrato 1, relacionado a una mayor proporción de minerales densos. El menor valor se obtuvo en la calicata 2, estrato

2, condición que responde a diferencias mineralógicas propias del sector. Estos datos se utilizan en las relaciones volumétricas, en el control de compactación y en la estimación de la relación de vacíos y del grado de saturación del suelo.

La cantera Juan Montalvo registra un valor de **2,58** del material ensayado, consistente con materiales granulares de origen pétreo, confirmando su capacidad de uso estructural dentro del proyecto vial, respaldando su selección como fuente de material para mejorar zonas donde el suelo natural presenta limitaciones.

Tabla 84

Datos de ensayo de Gravedad específica de los suelos

CALICATA 1 Primer estrato		CALICATA 2 Primer estrato		CALICATA 2 Segundo estrato	
DATOS DEL ENSAYO		DATOS DEL ENSAYO		DATOS DEL ENSAYO	
Recipiente N°	1	Recipiente N°	2	Recipiente N°	3
Temperatura °C	26,2	Temperatura °C	26,3	Temperatura °C	27,3
Peso Recipiente	155,5	Peso Recipiente	155,5	Peso Recipiente	158,5
Recipiente + Ws	355,5	Recipiente + Ws	355,5	Recipiente + Ws	358,5
Frasco + agua	Wbw 655,3	Frasco + agua	Wbw 650,4	Frasco + agua	Wbw 655,3
Frasco + agua + suelo	Wbws 780,2	Frasco + agua + suelo	Wbws 779,3	Frasco + agua + suelo	Wbws 776,2
CÁLCULOS		CÁLCULOS		CÁLCULOS	
Ws	200	Ws	200	Ws	200
Ws + Wbw	855,3	Ws + Wbw	850,4	Ws + Wbw	855,3
Ws + Wbw - Wbws	75,1	Ws + Wbw - Wbws	71,1	Ws + Wbw - Wbws	79,1
Factor de corrección k	0,9964	Factor de corrección k	0,9964	Factor de corrección k	0,9961
Gs= Ws*k / (Ws + Wbw - Wbws)	2,65	Gs= Ws*k / (Ws + Wbw - Wbws)	2,80	Gs= Ws*k / (Ws + Wbw - Wbws)	2,52

CALICATA 3 Primer estrato		CALICATA 4 Primer estrato		CALICATA 5 Primer estrato	
DATOS DEL ENSAYO		DATOS DEL ENSAYO		DATOS DEL ENSAYO	
Recipiente N°	4	Recipiente N°	5	Recipiente N°	6
Temperatura °C	27,5	Temperatura °C	27,2	Temperatura °C	26,8
Peso Recipiente	158,5	Peso Recipiente	158,2	Peso Recipiente	155,5
Recipiente + Ws	358,5	Recipiente + Ws	358,2	Recipiente + Ws	355,5
Frasco + agua	Wbw 655,4	Frasco + agua	Wbw 655,4	Frasco + agua	Wbw 655,3
Frasco + agua + suelo	Wbws 778,5	Frasco + agua + suelo	Wbws 778,7	Frasco + agua + suelo	Wbws 780,5
CÁLCULOS		CÁLCULOS		CÁLCULOS	
Ws	200	Ws	200	Ws	200
Ws + Wbw	855,4	Ws + Wbw	855,4	Ws + Wbw	855,3
Ws + Wbw - Wbws	76,9	Ws + Wbw - Wbws	76,7	Ws + Wbw - Wbws	74,8
Factor de corrección k	0,9961	Factor de corrección k	0,9961	Factor de corrección k	0,9962
Gs= Ws*k / (Ws + Wbw - Wbws)	2,59	Gs= Ws*k / (Ws + Wbw - Wbws)	2,60	Gs= Ws*k / (Ws + Wbw - Wbws)	2,66

CALICATA 6 Primer estrato		MATERIAL DE LA CANTERA JUAN MONTALVO	
DATOS DEL ENSAYO		DATOS DEL ENSAYO	
Recipiente N°	7	Recipiente N°	1
Temperatura °C	26,9	Temperatura °C	26,1
Peso Recipiente	158,5	Peso Recipiente	158,0
Recipiente + Ws	358,5	Recipiente + Ws	358
Frasco + agua	Wbw 655,2	Frasco + agua	Wbw 655,2
Frasco + agua + suelo	Wbws 778,8	Frasco + agua + suelo	Wbws 777,9
CÁLCULOS		CÁLCULOS	
Ws	200	Ws	200
Ws + Wbw	855,2	Ws + Wbw	855,2
Ws + Wbw - Wbws	76,4	Ws + Wbw - Wbws	77,3
Factor de corrección k	0,9962	Factor de corrección k	0,9964
Gs= Ws*k / (Ws + Wbw - Wbws)	2,61	Gs= Ws*k / (Ws + Wbw - Wbws)	2,58

4.1.2.5. *Abrasión de los Ángeles.*

El ensayo de resistencia a la abrasión fue aplicado exclusivamente al material de la cantera Juan Montalvo, en tanto que este material está destinado a conformar la capa de subbase granular del pavimento flexible proyectado. El ensayo se ejecutó con 12 esferas de acero y 1,000 revoluciones, empleando 10,039 g de muestra original. El peso retenido en el tamiz N.º 12 al finalizar el ensayo fue de 5,980 g, obteniéndose un porcentaje de desgaste del **40,43%**.

La siguiente tabla muestra que el valor es inferior al límite máximo del **50%** establecido por la Norma Ecuatoriana Vial (NEVI, 2013) para agregados destinados a capas de subbase granular, confirmando que el material de la cantera Juan Montalvo posee la resistencia mecánica suficiente para ser utilizado en esa función dentro de la estructura del pavimento. El resultado ratifica que el agregado no presenta degradación excesiva ante las cargas de impacto y desgaste a las que estará sometido durante su vida útil.

Tabla 85

Ensayo de abrasión de los Ángeles

PASA TAMIZ	% RETIENE TAMIZ	TIPO DE GRADACION PESO DEL MATERIAL A EMPLEAR
2"	1 ½"	
1 ½"	1"	5018
1"	¾"	5021
ESFERAS		12
REVOLUCIONES		1000
TOTAL		10039
Peso total de la muestra gr. (W1)		10039
Peso retenido en el tamiz N.º 12 gr. (W2)		5980
Porcentaje de desgaste %		40,43

4.1.2.6. *Proctor (Compactación).*

El ensayo de compactación Proctor fue aplicado a cada muestra de suelo con el fin de establecer la relación entre el contenido de humedad y la densidad seca del suelo

compactado, determinando así la densidad seca máxima ($\gamma_{d_{max}}$) y la humedad óptima (w_{opt}) correspondientes.

En la Tabla **87** se registra que para las muestras de suelo natural de las seis calicatas se empleó el Proctor Estándar (ASTM D698-12, 2021), con 3 capas de compactación y 25 golpes por capa, mientras que para el material de la cantera Juan Montalvo se aplicó el Proctor Modificado (ASTM D1557-12, 2021), con 5 capas y 56 golpes por capa, en concordancia con el mayor tamaño de partículas y la mayor energía de compactación requerida para materiales granulares destinados a capas estructurales.

Los resultados obtenidos en el suelo natural permiten diferenciar dos comportamientos principales. Por un lado, las calicatas 1 y 2 - estrato 2 registraron densidades secas máximas de **1715** y **1665** kg/m³, con humedades óptimas de **9,0%** y **10,0%**, respectivamente. Estos valores se relacionan con una mayor presencia de fracción arenosa, lo que favorece una compactación más eficiente con menor contenido de agua.

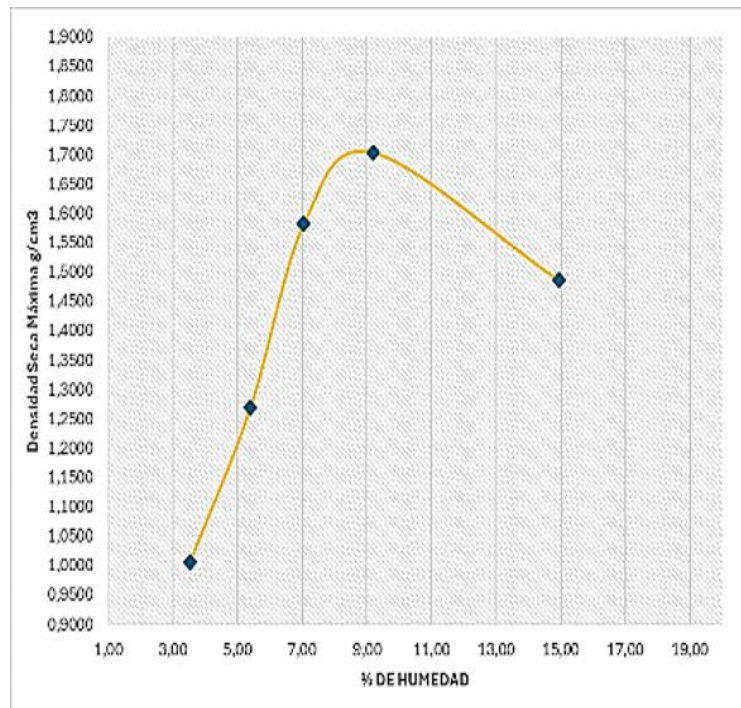
Por otro lado, las calicatas 3, 4 y 6, clasificadas como arcillas de baja plasticidad (CL), presentaron densidades máximas inferiores, de **1469**, **1532** y **1627** kg/m³, junto con humedades óptimas del **19%**. Este comportamiento evidencia que dichos materiales requieren mayor incorporación de agua para alcanzar su máxima densidad seca, por lo que resulta necesario controlar cuidadosamente la humedad durante los procesos de compactación en campo. La calicata 5 ocupa una posición intermedia con $\gamma_{d_{max}}$ de **1513** kg/m³ y w_{opt} de **16,5%**.

El material de cantera destaca significativamente: con una densidad seca máxima de **2227** kg/m³ y una humedad óptima de apenas **6,0%**, siendo su curva de compactación característica de materiales granulares de alta rigidez, confirmando su superioridad estructural para la conformación de capas de subbase y base.

En las siguientes gráficas se observa los resultados de cada muestra, mostrando los puntos de cada porcentaje de contenido de humedad con relación a la densidad seca máxima, obteniendo así el porcentaje óptimo de las muestras ensayadas con sus respectivas curvas.

Figura 96

Curva Densidad seca máxima vs % humedad calicata 1

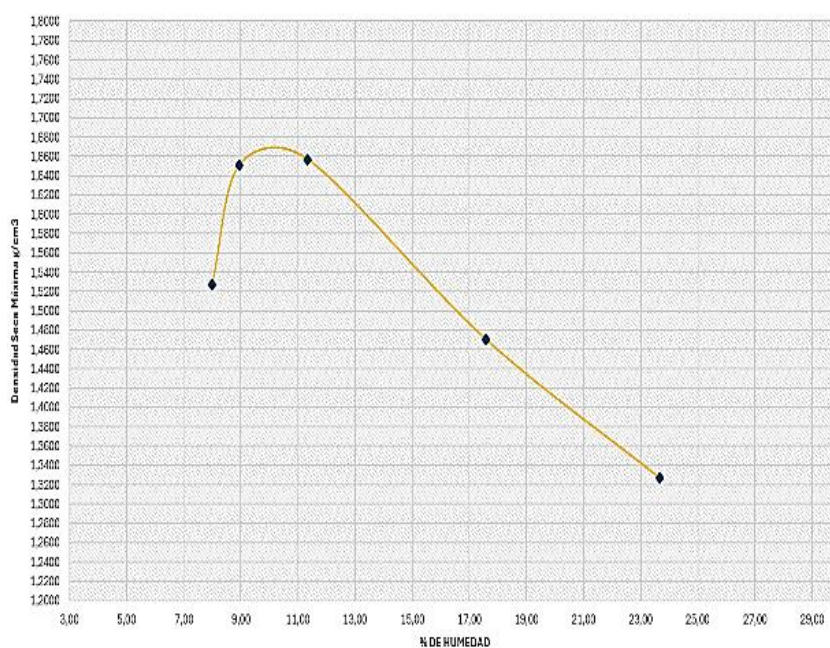


3,52	1,0061
5,39	1,2687
7,05	1,5826
9,18	1,7037
14,94	1,4859

Humedad optima	9,00	%
Densidad Seca max	1,715	gr/cm ³
	1715	kg/m ³

Figura 97

Curva Densidad seca máxima vs % humedad calicata 2 – Estrato 2

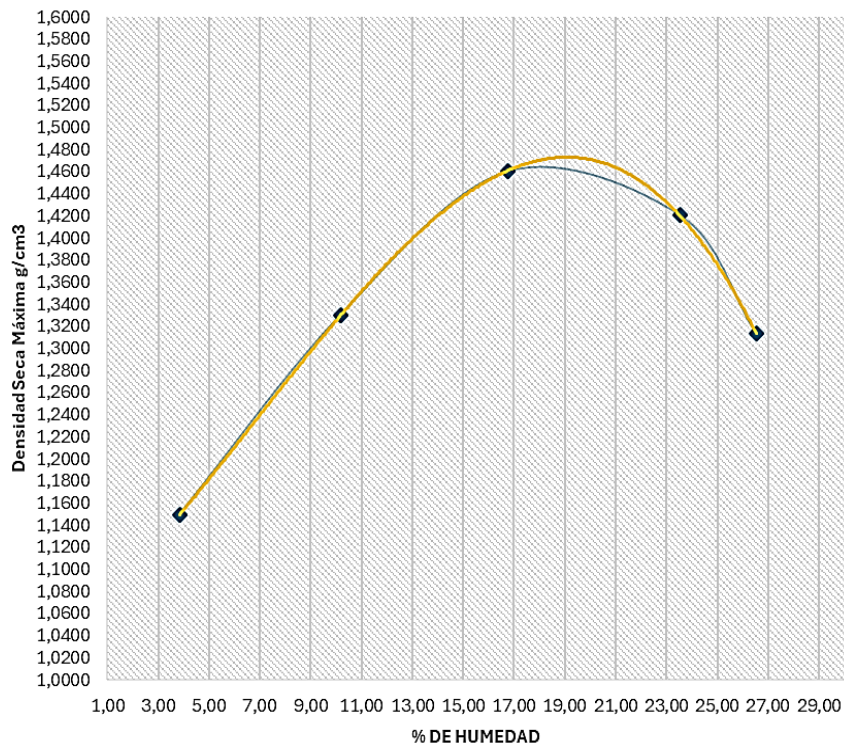


7,99	1,5269
8,94	1,6509
11,33	1,6570
17,59	1,4701
23,66	1,3268

Humedad optima	10	%
Densidad Seca max	1,665	gr/cm ³
	1665	kg/m ³

Figura 98

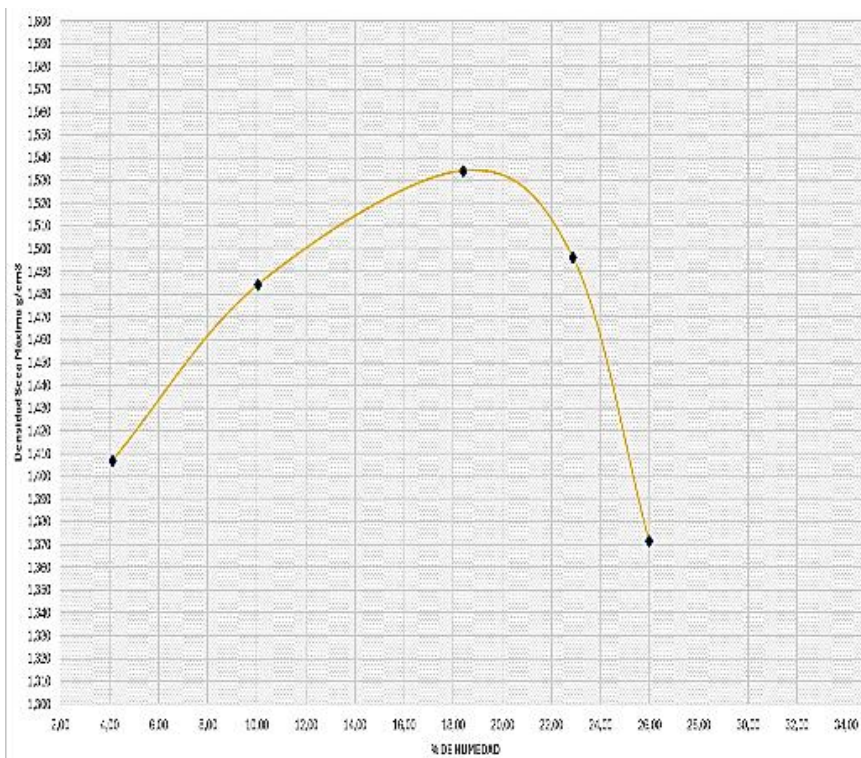
Curva Densidad seca máxima vs % humedad calicata 3



	3,85	1,1496
	10,18	1,3303
	16,76	1,4603
	23,54	1,4206
	26,53	1,3132
Humedad optima	19	%
Densidad Seca max	1,4688	gr/cm ³
	1468,80	kg/m ³

Figura 99

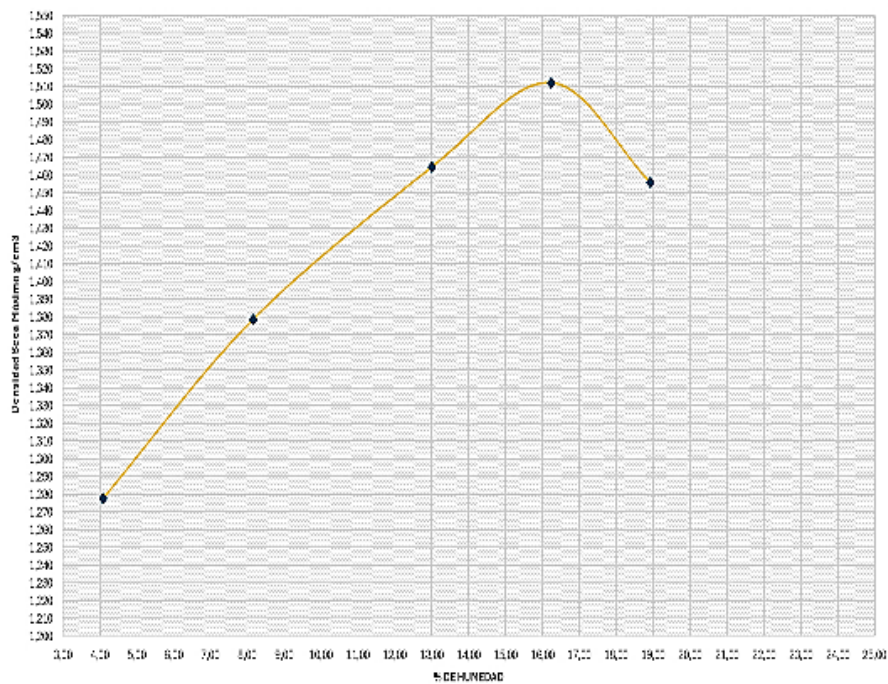
Curva Densidad seca máxima vs % humedad calicata 4



	4,12	1,4070
	10,05	1,4843
	18,41	1,5342
	22,88	1,4961
	25,99	1,3714
Humedad optima	19	%
Densidad Seca max	1,532	gr/cm ³
	1532	kg/m ³

Figura 100

Curva Densidad seca máxima vs % humedad calicata 5

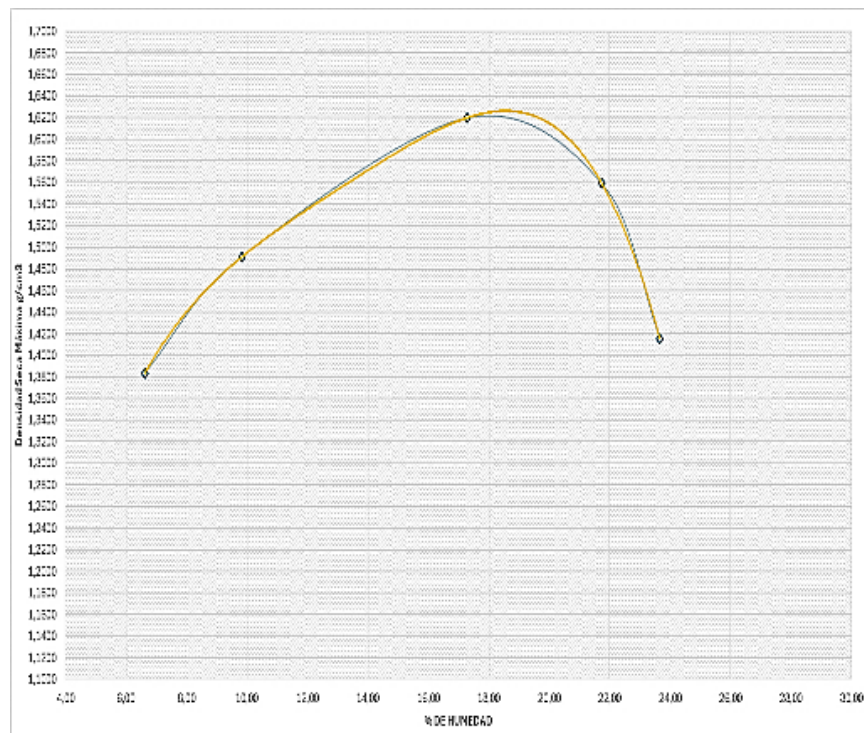


4,09	1,2775
8,16	1,3787
13,01	1,4647
16,23	1,5122
18,92	1,4559

Humedad optima	16,5	%
Densidad Seca max	1,513	gr/cm ³
	1513	kg/m ³

Figura 101

Curva Densidad seca máxima vs % humedad calicata 6

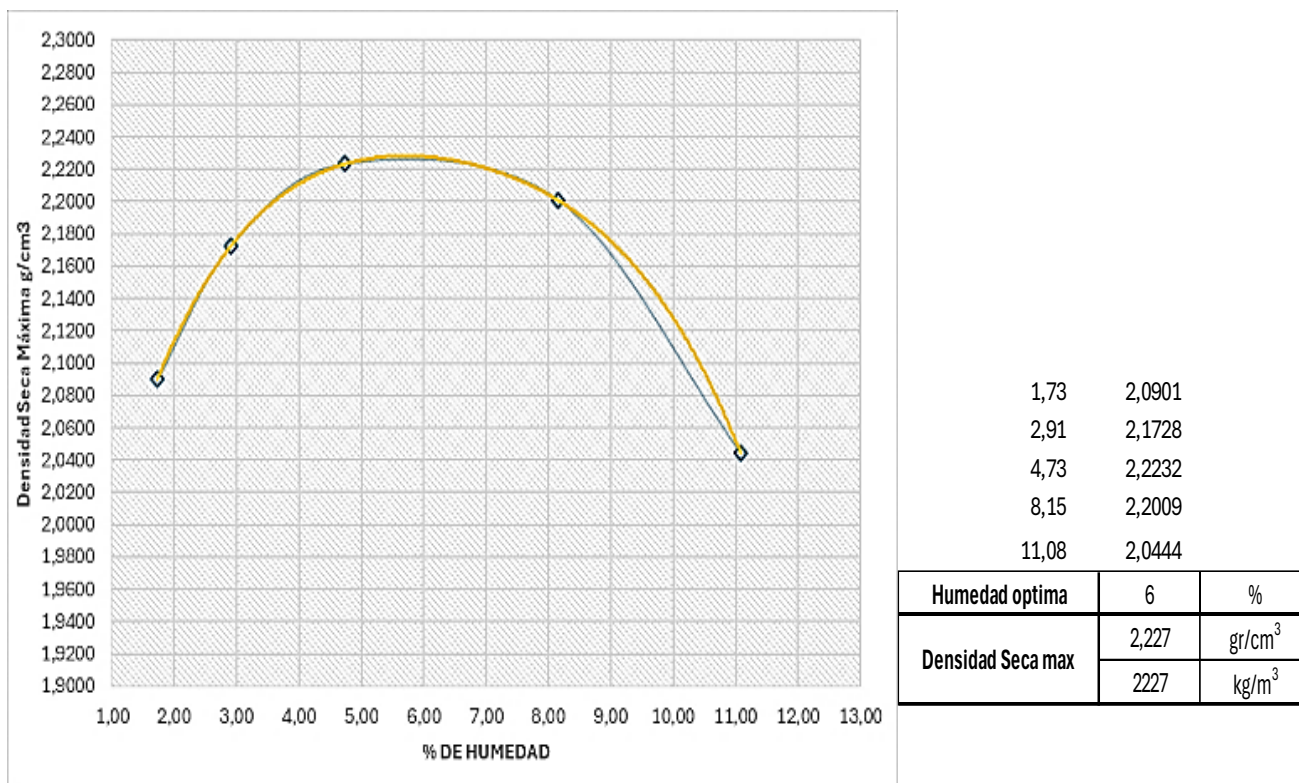


6,62	1,3833
9,84	1,4913
17,29	1,6199
21,73	1,5593
23,66	1,4155

Humedad optima	19	%
Densidad Seca max	1,627	gr/cm ³
	1627	kg/m ³

Figura 102

Curva Densidad seca máxima vs % humedad Cantera Juan Montalvo



4.1.2.7. CBR (California Bearing Ratio).

El ensayo permitió evaluar la capacidad de soporte de cada material bajo condiciones controladas de compactación e inmersión. Para cada muestra se prepararon tres moldes compactados con 12, 25 y 56 golpes por capa, sometidos a inmersión durante 72 horas, tras lo cual se realizó la penetración a velocidad constante de 1.27 mm/min. Los resultados de la Tabla 87 exhiben una amplia dispersión de la capacidad portante a lo largo del tramo.

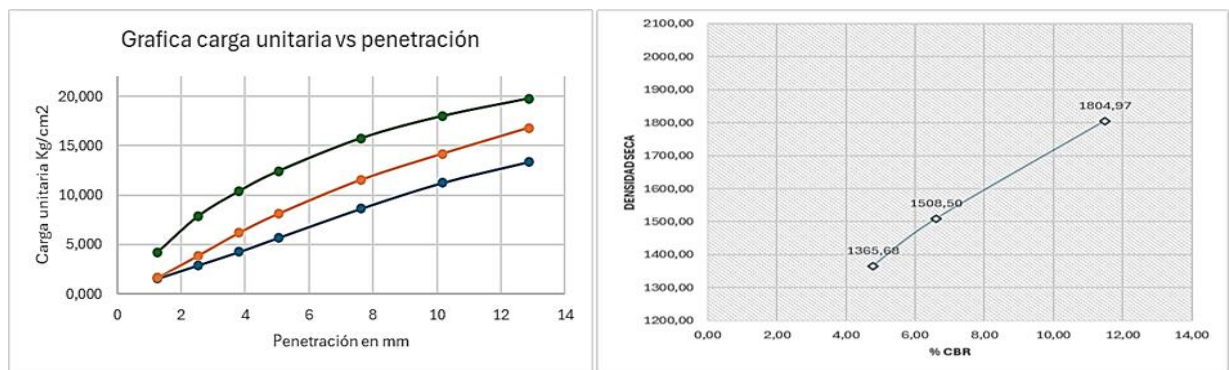
Los sectores correspondientes a las calicatas 5 y 6 registraron los valores más bajos: **2,30%** y **4,90%** respectivamente, clasificando como subrasante muy mala (**S0**) e inadecuada (**S1**) según los criterios de la Tabla 22. Ambos sectores, dominados por arcillas y limo-arcillas de baja plasticidad con densidades máximas inferiores a **1530 kg/m³**, requerirán mejoramiento puntual de la subrasante mediante sustitución con material granular de cantera antes de la colocación de la estructura del pavimento.

Las calicatas 2 - estrato 2 y 4 presentaron CBR de **23,00%** y **19,00%** respectivamente, categorizados como subrasante buena (S4), sectores que pueden soportar directamente las cargas de la estructura de pavimento propuesta. Las calicatas 1 y 3 se ubican en el rango intermedio de subrasante regular, con valores de **8,50%** y **10,25%**, mientras que el material de la cantera Juan Montalvo, el ensayo CBR bajo compactación Proctor modificado arrojó un valor de **22,50%**, confirmando su capacidad técnica para conformar la capa de subbase granular del pavimento flexible proyectado.

Las imágenes a continuación muestran las curvas de penetración (mm) vs carga unitaria (kg/cm²), así como su densidad máxima con relación al porcentaje óptimo de humedad de cada muestra ensayada.

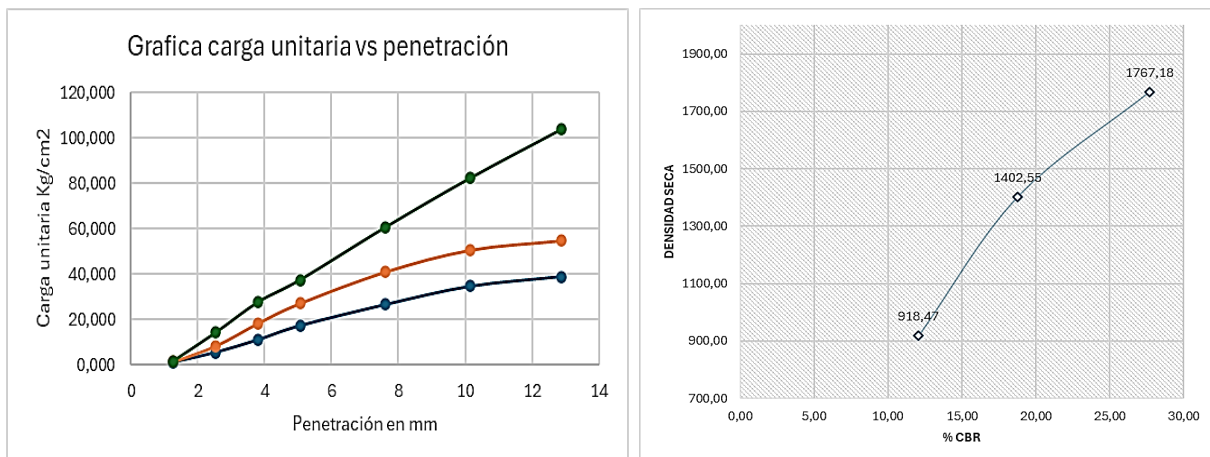
Figuras 103

Gráficas CBR Calicata 1



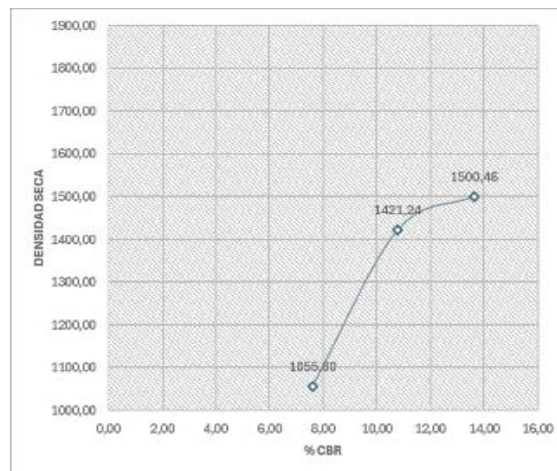
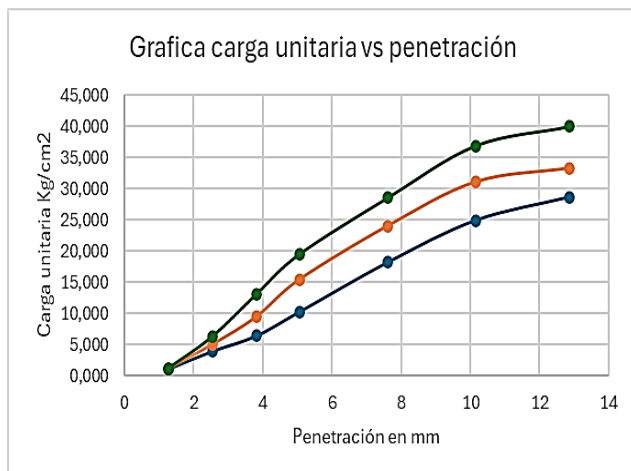
Figuras 104

Gráficas CBR Calicata 2 - Estrato 2



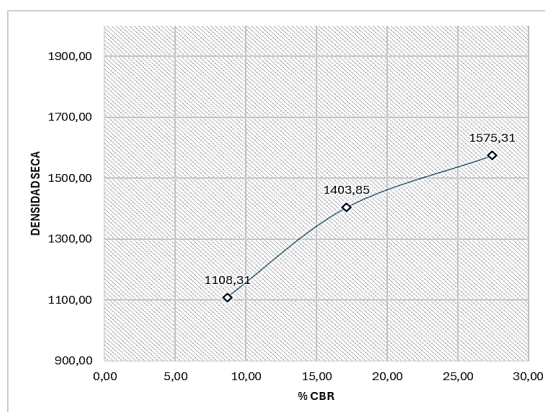
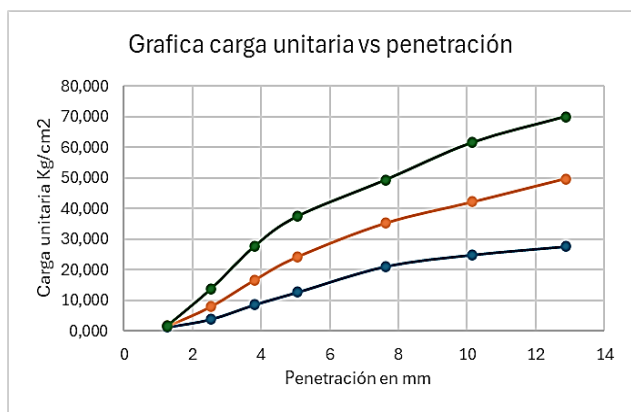
Figuras 105

Gráficas CBR Calicata 3



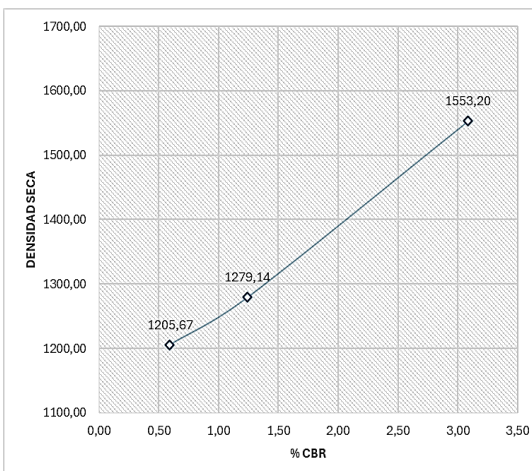
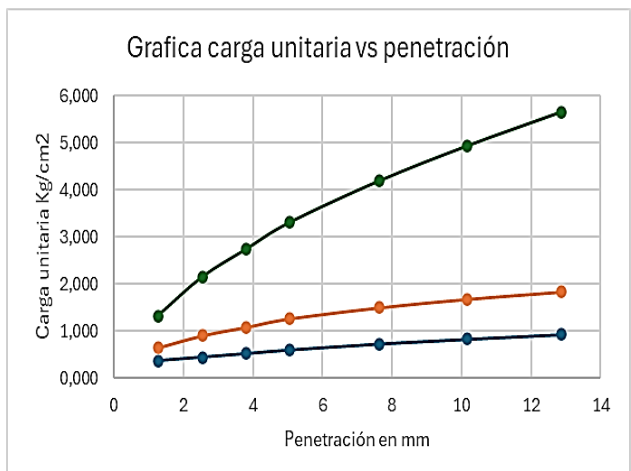
Figuras 106

Gráficas CBR Calicata 4



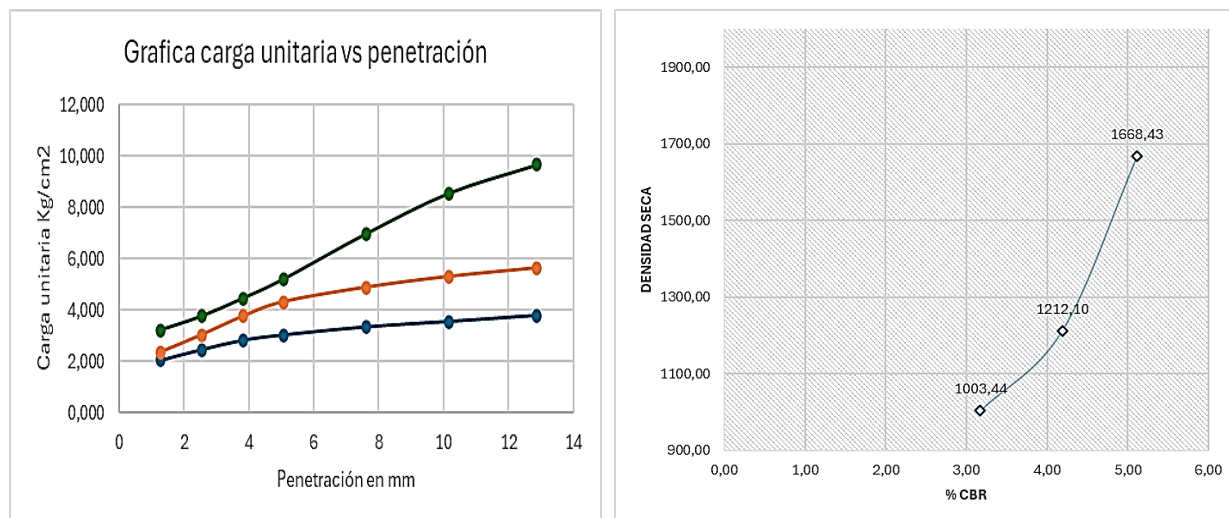
Figuras 107

Gráficas CBR Calicata 5



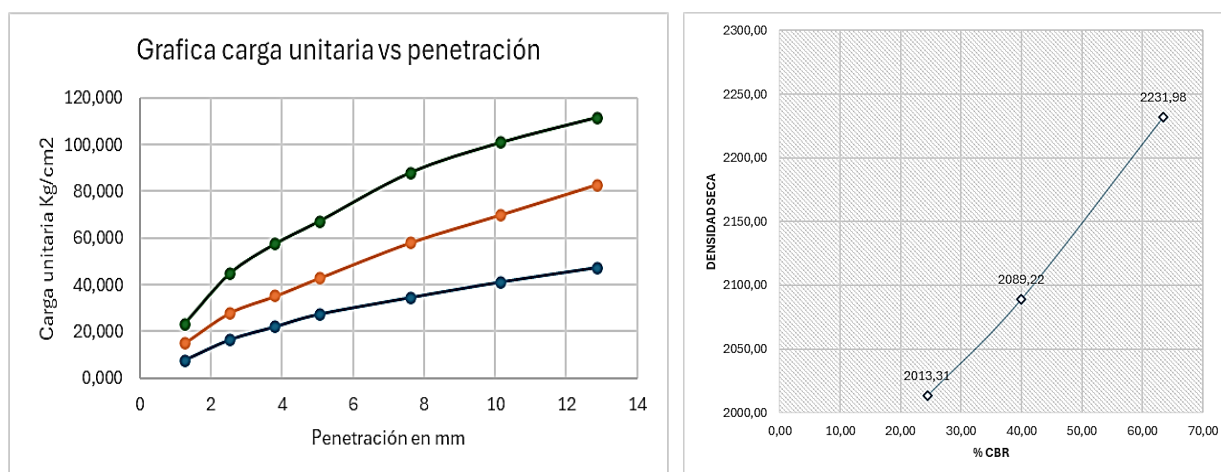
Figuras 108

Gráficas CBR Calicata 6



Figuras 109

Gráficas CBR Cantera Juan Montalvo



4.1.2.8. *Expansibilidad.*

Se evaluó la relación entre contenido de humedad y límite líquido. La mayoría de las muestras presentan expansividad nula a baja. La baja expansividad indica que no se esperan deformaciones volumétricas significativas asociadas a cambios de contenidos de humedad, reduciendo el riesgo de agrietamiento o levantamiento de la estructura de pavimento.

Se muestra a continuación el criterio aplicado, en el Anexo VII se detalla este criterio para cada muestra.

Figura 110

Criterio de expansibilidad de las muestras



Fuente: Oteo, 1986

4.1.2.9. Colapsabilidad.

Se evaluó el potencial de colapso por humedad. Todas las muestras presentan un grado de bajo valor ($<0,25\%$) según el criterio aplicado de la tabla siguiente, lo que indica que la subrasante no presentará asentamientos cuando se humedezca, reduciendo el riesgo de fallas diferenciables durante la vida útil del pavimento.

Tabla 86

Criterio de colapsabilidad de las muestras

Grado de colapso	Peso específico seco (kN/m^2)	Potencial de colapso (%) (*)
Bajo	$> 14,0$	$< 0,25$
Bajo a medio	12,0-14,0	0,25-1,0
Medio a alto	10,0-12,0	1,0-5,0
Alto a muy alto	$< 10,0$	$> 5,0$

Fuente: Mejora y Estabilización de suelos con nuevos materiales cementantes revalorizando residuos, 2023.

4.1.2.10. Resumen de resultados sobre el estudio de la caracterización de los suelos y ensayos de laboratorio.

Tabla 87

Resumen de ensayos de laboratorio

Calicata	Abscisa	Muestra	Prof	W. natural	LL	LP	IP	AASHTO	SUCS	Estratigrafía	Granulometría Pasante el Tamiz N°			Y seca máx.	w op	Y sitio	GS	Humedad Limite Liquido	% CBR
Abscisa	N°	m	%	%	%	%	%				N°4	N°40	N°200	kg/m3	%	kg/m3			
1	0+010	1	1,4	3,25%	23,42%	15,61%	7,81%	A-4	SC		100,00	91,57	48,19	1715	9,00	1629,3	2,65	13,88%	8,50%
2	0+550	1	0,8	2,61%	NP	NP	NP	A-4	SM		91,71	57,38	41,48	—	—	—	2,80	NP	—
	0+550	2	1,5	9,03%	22,01%	17,53%	4,48%	A-4	ML-CL		99,65	94,51	57,47	1665	10,00	1581,8	2,52	41,04%	23,00%
3	1+200	1	1,5	4,08%	33,71%	17,49%	16,22%	A-6	CL		99,88	97,55	62,77	1468,80	19	1395,4	2,59	12,11%	10,25%
4	1+760	1	1,45	4,18%	37,42%	21,53%	15,89%	A-6	CL		100,00	97,08	57,75	1532,00	19	1455,4	2,60	11,18%	19,00%
5	2+350	1	1,5	4,55%	22,15%	15,79%	6,36%	A-4	ML-CL		100,00	93,93	47,69	1513	16,5	1437,4	2,66	20,56%	2,30%
6	3+000	1	1,5	7,32%	38,91%	19,13%	19,78%	A-6	CL		100,00	96,53	61,63	1627	19	1545,7	2,61	18,80%	4,90%
cantera Juan Montalvo	—	—	—	3,25%	23,12%	18,37%	4,75%	A-1 a	GW		27,82	8,21	3,71	2227	6	2115,7	2,58	14,06%	22,50%

La Tabla **87** muestra un resumen de los resultados obtenidos de laboratorio, se observa que las celdas vacías o marcadas con guion no representan necesariamente ausencia de información por error, sino que corresponden a datos no aplicables o no determinados para ciertas muestras. En el caso de la Calicata 2, muestra 1, al tratarse de un estrato superficial no plástico (**NP**) y con características diferentes al estrato evaluado posteriormente, no se registraron valores de compactación, densidad seca máxima, humedad óptima, densidad en sitio ni CBR. Esto puede deberse a que dichos ensayos fueron aplicados únicamente a las muestras consideradas representativas para la evaluación mecánica de la subrasante.

Los ensayos evidencian que los sectores con mayor contenido de finos y mayor índice de plasticidad (IP) presentan mayores valores de CBR y mayores humedades óptimas. Esta relación justifica la necesidad de emplear material granular de la cantera Juan Montalvo, mejorando el material de subrasante, así como la calidad de drenaje

4.1.3. Análisis del estudio de aforo vehicular y clasificación de la vía.

Con el aforo anual se identificaron el día y la hora durante un periodo de 11 horas cada día, mostrando el momento de mayor afluencia vehicular, donde se detalla el día y la hora pico.

Tabla 88

Día y hora con mayor afluencia vehicular

Día	Hora
Miércoles	12h00 - 13h00
511 veh. mixtos	78 veh. mixtos

El aforo vehicular permitió identificar el volumen y la composición del tránsito de la vía, información esencial para definir los criterios de diseño geométrico.

Tabla 89

Composición vehicular

Vehículo	Porcentaje	Cantidad
Liviano	53,7	195
Buses	6,2	19
Pesados	40,1	124

TPDA (10 años)	100%	339
-----------------------	-------------	------------

Considerando el bajo volumen de circulación y la presencia representativa de vehículos de carga, la vía fue clasificada como rural de bajo tránsito. A partir de esta condición, se definieron parámetros geométricos acordes con sus características operativas y topográficas, permitiendo que la infraestructura proyectada se adapte de manera adecuada a las necesidades de movilidad del sector.

Tabla 90

Resumen de parámetros de diseño

Parámetros requeridos	Absoluta
TPDA (Proyectado a 10 años)	339 Veh/día ambos sentidos
Clasificación de la vía	Clase III
Terreno	Ondulado
Velocidad de diseño	60 km/h
Radio mínimo de curvas horizontales	110 m
Distancia mínima de visibilidad para parada	70 m
Distancia mínima de visibilidad para rebasamiento	415 m
Peralte	Máximo = 10%
Coefficiente K para curvas verticales convexas (m)	12
Coefficiente K para Curvas verticales cóncavas (m)	13
Gradiente longitudinal máxima (%)	7
Gradiente longitudinal mínima (%)	0,50%
Ancho de pavimento	6,00
Ancho de espaldones	1,0 m
Gradiente transversal para pavimento (%)	2,00
Gradiente transversal para espaldones (%)	2,0 - 4,0

4.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL OE2: REALIZAR EL DISEÑO GEOMÉTRICO Y ESTRUCTURAL DE LA VÍA, OPTIMIZANDO EL ALINEAMIENTO EXISTENTE Y DEFINIENDO LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO FLEXIBLE ACORDE A LAS CONDICIONES DE TRÁFICO Y CARACTERÍSTICAS DEL TERRENO.

El aforo vehicular y la proyección del tránsito permitieron estimar las condiciones de circulación durante el período de diseño, proporcionando información clave para el diseño estructural del pavimento. Este análisis permitió prever las cargas que soportará la vía y definir una estructura capaz de garantizar un adecuado desempeño y durabilidad a lo largo de su vida útil.

4.2.1. Análisis del diseño geométrico de la vía.

El diseño geométrico desarrollado para la vía Engullima–Chanduy se fundamentó en la integración del alineamiento horizontal, alineamiento vertical y sección transversal, elementos que en conjunto determinan las condiciones de seguridad, comodidad y operatividad de la carretera. Su definición consideró la topografía del sector, las características del tránsito proyectado y los criterios establecidos por el Manual_NEVI-12_VOLUMEN_3 (2013) buscando una solución compatible con las condiciones reales del terreno y con las necesidades de conectividad de la población beneficiaria.

Los criterios adoptados mantienen relación con lo expuesto por el Departamento Nacional de Planeación (DNP) e Instituto Nacional de Vías (INVIAS) (2020), quienes señalan que la funcionalidad de las vías rurales depende de la adecuada integración entre el trazado geométrico, el manejo de drenajes y las características del entorno físico. Los resultados también coinciden con Chancusig Cajas & Vivas Acosta (2024), quienes relacionan el desempeño de una vía rural con la coordinación entre el trazado, el drenaje y la estructura del pavimento. En Engullima-Chanduy esta integración es particularmente necesaria: el relieve ondulado y la presencia de materiales sedimentarios exigen ajustar cada componente a las condiciones del terreno para mantener la estabilidad y prolongar la vida de la carretera.

4.2.1.1. *Alineamiento Horizontal.*

El diseño en planta de la vía Engullima–Chanduy contempla un total de 9 curvas horizontales simples distribuidas a lo largo del trazado, con radios que varían desde **110 m** en las curvas 1, 6 y 7, correspondientes al valor mínimo absoluto establecido para la velocidad directriz de **60 km/h**, hasta **240 m** en la curva 5, lo que refleja el aprovechamiento de las zonas de mayor amplitud topográfica para suavizar el trazado, minimizando las pérdidas de control en las curvas más representativas y que garanticen la operación de la vía.

Las longitudes de curva varían entre 19.24 m (curva 3) y 99.66 m (curva 8), siendo esta última la de mayor desarrollo geométrico por su alta deflexión de $38^{\circ}04'02''$. En cuanto al peralte, las curvas con radio de 110 m adoptan el valor máximo del **10,0%**, mientras que las curvas de mayor radio aplican el **4%**, ambos dentro del rango permitido por la NEVI (2013). Los sobreanchos calculados van desde **0.7 m** hasta **0.90 m** en función del radio de cada curva, garantizando el paso seguro de los vehículos de diseño en las zonas de curvatura más pronunciada, lo cual resulta especialmente importante para los vehículos pesados que conforman una parte significativa del tránsito local.

Asimismo, en el tramo comprendido entre las abscisas 2+155,25 y 2+902,18 se concentra una sucesión de curvas que refleja una mayor adaptación del alineamiento al terreno natural.

Por lo tanto, aunque la pendiente promedio del terreno como se muestra en la Tabla **91** y Figura **111**, corresponde a una condición predominantemente plana, el comportamiento del alineamiento horizontal y las variaciones locales del perfil longitudinal justifican adoptar un criterio de diseño para terreno ondulado. Esta decisión permite que los parámetros geométricos seleccionados respondan a las condiciones más críticas del trazado, garantizando mayor seguridad, funcionalidad y adaptación de la vía al relieve existente.

Figura 111

Alineamiento horizontal a lo largo de la vía

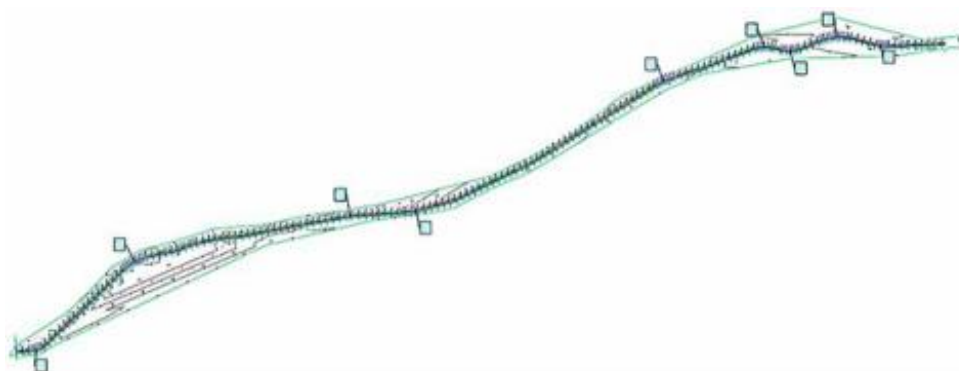


Tabla 91

Curvas horizontales de alineamiento

Diseño Geométrico Horizontal													
N° Curva	Norte	Este	Deflexión	Peralte (%)	Radio (m)	Longitud de la curva (m)	Tangente (m)	Cuerda larga (m)	Externa (m)	Sobreeancho (m)	PC	PI	PT
1	9735547,22	538995,629	22°01`37``	10%	110	42,29	21,41	42,03	2,06	0,90	0+038,37	0+059,78	0+080,66
2	9734530,32	536494,227	32°22`07``	4%	140	79,09	40,63	78,04	5,78	0,8	0+422,58	0+463,21	0+501,67
3	9734523,24	536490,596	6°53`19``	4%	160	19,24	9,63	19,23	0,29	0,70	1+124,21	1+133,84	1+143,45
4	9734548,04	536503,482	8°01`02``	4%	200	27,99	14,02	27,96	0,49	0,60	1+320,46	1+334,48	1+348,45
5	9734554,06	536506,849	14°35`34``	4%	240	61,13	30,73	60,96	1,96	0,54	2+155,25	2+185,98	2+216,38
6	9734544,18	536511,209	38°12`32``	10%	110	73,36	38,10	72,00	6,41	0,90	2+472,21	2+510,31	2+545,57
7	9734557,93	536516,954	39°58`17``	10%	110	76,74	40,01	75,19	7,05	0,90	2+552,84	2+592,85	2+629,58
8	9734535,58	536509,274	38°04`02``	4%	150	99,66	51,75	97,84	8,68	0,7	2+687,74	2+739,49	2+787,40
9	9734523,14	536508,091	17°28`12``	4%	170	51,83	26,12	51,63	1,99	0,7	2+850,35	2+876,47	2+902,18

4.2.1.2. *Alineamiento Vertical.*

La Tabla 92 y la Figura 112 muestran que la vía presenta 4 curvas verticales que responden a los cambios de pendiente identificados a lo largo del trazado. Las curvas 1 y 2 son de tipo cóncava, ubicadas en las abscisas 0+492 – 0+542 m y 1+005 – 1+035 m respectivamente, con diferencias algebraicas de pendiente de **2,49%** y **0,64%**, siendo esta última la transición más suave del proyecto. La curva 3, de tipo convexo, se localiza entre las abscisas 1+530 – 1+590 m con una diferencia algebraica de **2,31%**, pasando de una pendiente positiva del **1,58%** a **-0,73%**, lo que representa la única cresta del trazado y donde la distancia de visibilidad resulta determinante. La curva 4, nuevamente

cóncava, cierra el perfil en los cadenados 1+975 – 2+015 m con una diferencia de **1,34%**, conectando una pendiente de **-0,73%** con una ascendente del **0,61%**.

Las longitudes de curva varían entre **30 m** y **60 m**, calculadas a partir de los coeficientes K de diseño (**12** para convexas y **13** para cóncavas), verificando en todos los casos el cumplimiento de las distancias mínimas de visibilidad de parada para la velocidad directriz adoptada.

Figura 112

Alineamiento vertical

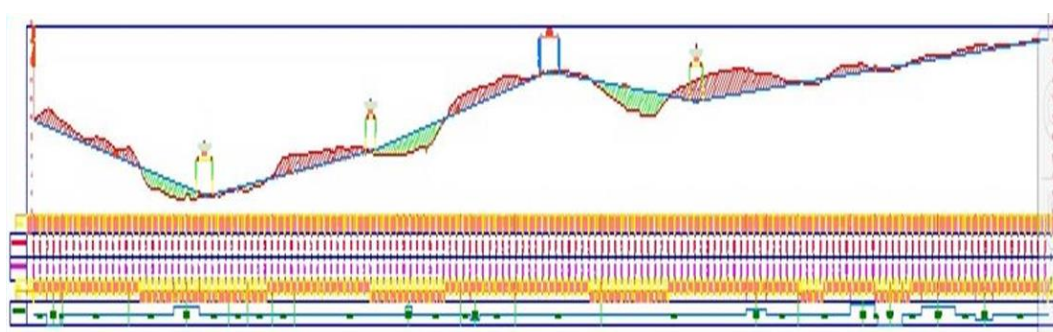


Tabla 92

Resumen de curvas verticales

Diseño Geométrico Vertical										
Nº	Tipo de curva	Pendiente de entrada (%)	Pendiente de salida (%)	PCV (m)	PIV (m)	PTV (m)	CPCV (m.s.n.m.)	CPIV (m.s.n.m.)	CPTV (m.s.n.m.)	Longitud de la curva (m)
1	Cóncava	-1,55%	0,94%	0+492,00	0+520,00	0+542,00	1,952	1,950	1,951	50,0
2	Cóncava	0,94%	1,58%	1+005,00	1+020,00	1+035,00	6,643	6,644	6,646	30,0
3	Convexa	1,58%	-0,73%	1+530,00	1+560,00	1+590,00	15,013	15,018	15,016	60,0
4	Cóncava	-0,73%	0,61%	1+965,00	2+000,00	2+025,00	12,002	12,000	12,002	60,0

4.2.1.3. *Sección Transversal.*

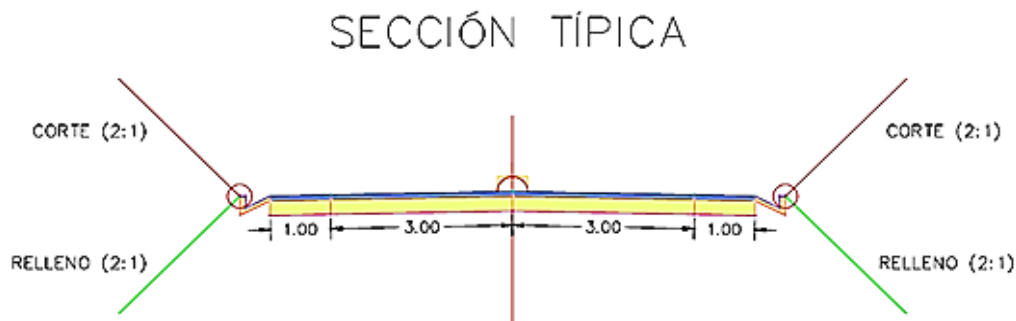
La sección transversal de la vía Engullima–Chanduy se definió de manera uniforme a lo largo del tramo, con un ancho de calzada de **6.00 m** distribuido en dos carriles de **3.00 m** y espaldones laterales de **1.00 m** a cada lado, en concordancia con los parámetros mínimos establecidos para vías rurales Clase **III** en la NEVI (2013). Los taludes de corte y relleno se establecieron en una relación **2H:1V**, configuración adoptada en consideración a los suelos predominantes del sector, arcillas y limo-arcillas de baja a

media plasticidad (CL y ML-CL), los cuales, si bien presentan una cohesión moderada que admite este ángulo de inclinación, requieren protección superficial ante la acción erosiva de las lluvias estacionales.

La sección incluye cunetas triangulares laterales que recogen y encauzan la escorrentía superficial tanto de la calzada como de los taludes de corte, evitando la infiltración hacia la estructura del pavimento, aspecto crítico dada la sensibilidad a la saturación de los materiales finos identificados en las calicatas del proyecto.

Figura 113

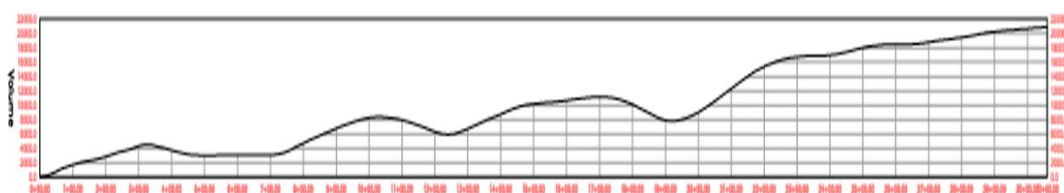
Sección transversal de la vía



En la Figura 114 se observa que la curva de masas de la vía Engullima – Chanduy, presenta una tendencia general ascendente, con descensos puntuales a lo largo del trazado. En el diagrama, los ascensos corresponden a tramos donde se acumula material de corte y los descensos representan su utilización en rellenos. Como la ordenada final supera a la inicial, el volumen excavado es mayor que el necesario para conformar los terraplenes. Parte de ese suelo puede redistribuirse dentro de la obra; el sobrante, en cambio, deberá transportarse y disponerse en un lugar autorizado. Esta condición también evidencia que el trazado presenta una combinación de sectores en corte y relleno, lo cual es coherente con el ajuste de la rasante proyectada a la forma del terreno natural.

Figura 114

Diagrama de masas de la vía



4.2.2. Análisis y determinación de la estructura de la vía.

El diseño del pavimento flexible se desarrolló considerando el tránsito proyectado y las características geotécnicas identificadas en la zona de estudio. Para ello, se adoptó un CBR representativo de subrasante del **7%** determinado por los ensayos de laboratorio de las calicatas a lo largo del tramo vial, valor que refleja una capacidad de soporte moderada propia de los suelos finos predominantes en el proyecto y que sirvió de base para estimar el módulo resiliente y dimensionar la estructura del pavimento a través del porcentaje del percentil y el número de ejes en el carril de diseño, mostrada en la siguiente imagen.

Figura 115

Capas del pavimento a diseñar



La alternativa diseñada incluye **8 cm** de carpeta asfáltica y **25 cm** de subbase granular, combinación que alcanza un número estructural (SN) de 2,4. Este aporte permite transmitir las cargas del tránsito hacia la subrasante sin superar su capacidad. La revisión de las deformaciones producidas por los ESAL's de diseño también arrojó valores admisibles, por lo que se espera un desempeño satisfactorio durante la vida útil prevista.

Figura 116

Estructura de pavimento a diseñar

Pav. Flexible	DATOS	E	a	m	D (cm)	SN	esperor
Carp. Asf		350000	0,39	1	8	3,12	3,15 in
SUBBASE	CBR 65%	18500	0,125	1,2	25,00	3,75	9,84 in
MEJORAMIENTO	CBR 42%						in
						z	12,99 in

Snreq	a1*D1 + a2*m2*D2
2,40	6,87 CUMPLE

$$w = \frac{q \cdot a}{E} F \quad D_{adm} = 25.64N^{-0.2383}$$

	w _o	>	w _{adm}	
pulg	0,0448		1,20063	mm
mm	1,1379		1,201	mm

De igual manera, en el Anexo VII, el material de la cantera Juan Montalvo presentó mejores propiedades mecánicas que el suelo natural, por lo que su utilización contribuye a incrementar la capacidad de soporte, reducir el riesgo de deformaciones permanentes y mejorar el desempeño general de la estructura del pavimento. En conjunto, la estructura propuesta cumple los criterios establecidos por la metodología (AASHTO, 1993) y garantiza condiciones adecuadas de servicio durante el período de diseño.

4.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL OE3: ANALIZAR LAS CONDICIONES HIDROLÓGICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO Y DISEÑAR LAS OBRAS DE DRENAJE DIMENSIONAMIENTO CUNETAS Y ALCANTARILLAS.

En el análisis hidrológico e hidráulico se estudiaron las condiciones de escorrentía que aporta el área de estudio, tomando en cuenta la delimitación de la microcuenca, el tiempo de concentración, las intensidades de lluvia de diseño y los caudales probables calculados mediante el método racional. A partir de los caudales calculados se dimensionaron las cunetas laterales y la alcantarilla de ducto cajón.

En cada comprobación se revisaron la sección, la pendiente, la rugosidad, la velocidad y la capacidad de conducción. Los resultados indican que las obras propuestas pueden evacuar el caudal de diseño y mantener operativa la vía bajo las condiciones analizadas.

4.3.1. Análisis de los resultados del estudio hidrológico y diseño de obras hidráulicas.

A partir del procesamiento hidrológico realizado en QGIS, se delimitó la microcuenca aportante hacia el punto de descarga considerado para el diseño de las obras de drenaje. Mediante el Modelo Digital de Elevación se identificó el cauce principal, la dirección y acumulación de flujo, así como el área tributaria que aporta escorrentía hacia la vía.

Estos parámetros permitieron establecer las condiciones hidrológicas de entrada necesarias para el cálculo de los caudales de diseño mostradas en la siguiente tabla.

Tabla 93

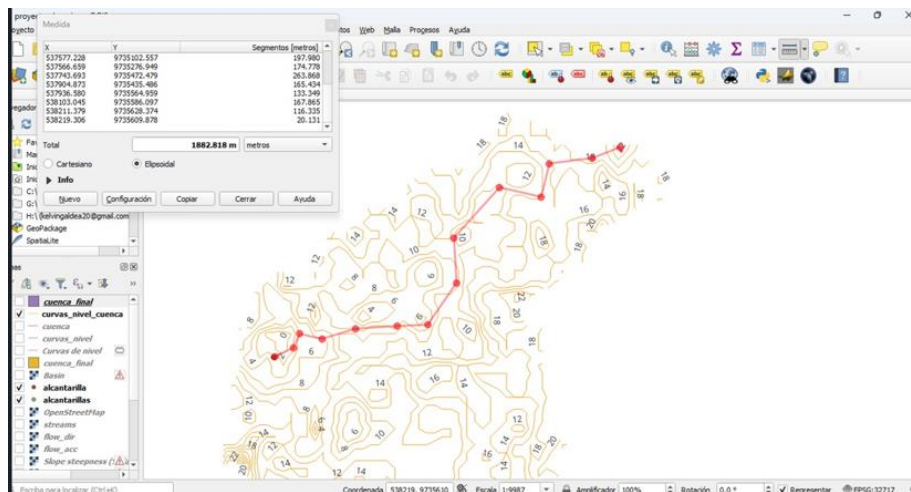
Parámetros morfométricos de la microcuenca aportante.

Parámetro	Valor
Área de aporte	1.915 km ²
Cota máxima	22 m
Cota mínima	2 m
Desnivel	20 m
Longitud hidráulica	1882.818 m
Pendiente media	1.062 %

Los parámetros morfométricos obtenidos, tales como el área de aporte, la longitud hidráulica, el desnivel y la pendiente media, fueron utilizados para determinar el tiempo de concentración de la microcuenca mostrada a continuación. Este valor permitió definir la duración de lluvia correspondiente para la selección de la intensidad de diseño, tanto para el ducto cajón como para las cunetas laterales.

Figura 117

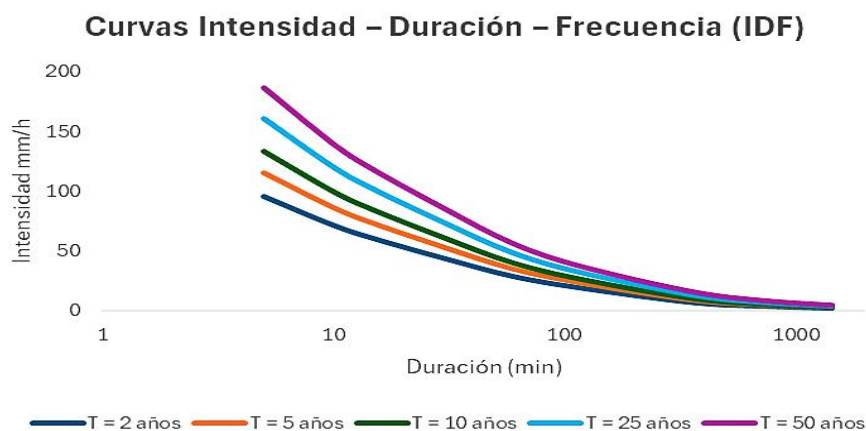
Longitud hidráulica o cauce principal.



Con base en las ecuaciones Intensidad–Duración–Frecuencia de la estación meteorológica M0169 Julcuy, se determinaron las intensidades de lluvia de diseño para los períodos de retorno adoptados. Para las cunetas se empleó un período de retorno de 5 años, mientras que para el ducto cajón se consideró un período de retorno de 10 años conforme a los lineamientos de NEVI (2013). Estos valores sirvieron como base para la estimación de los caudales probables mediante el método racional y para la posterior verificación hidráulica de las estructuras de drenaje.

Figura 118

Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia de la estación M0169 Julcuy.



4.3.2. Análisis del diseño de cunetas

Para el diseño de las cunetas laterales se evaluaron los tramos en corte identificados a lo largo del corredor vial, considerando como área de aporte la media calzada y el talud de corte. Con estos datos se obtuvieron los caudales probables de cada tramo y se verificó la capacidad hidráulica de la sección triangular adoptada.

Tabla 94

Área de drenaje.

Área de drenaje			
Áreas de aporte	Largo (m)	Ancho (m)	Área Parcial (m ²)
Media calzada	321.67	3.20	1029.34
Talud de corte	321.67	1.80	579.01
Área Total			1608.35

A partir de la cuantificación realizada para el tramo inicial, se obtuvo un área total de aporte de **1608.35 m²**, equivalente a **0.1608 ha**. Este valor fue utilizado para el cálculo del caudal probable mediante el método racional, considerando el coeficiente de escorrentía y la intensidad de lluvia correspondiente.

Los resultados obtenidos muestran que el tramo más crítico corresponde a la abscisa **2+650.10** hasta **3+070.00**, donde se obtuvo el mayor caudal probable, con un valor de **0.014 m³/s**. Para la sección triangular adoptada, con tirante de **0.15 m**, talud lateral **2H:1V** y coeficiente de Manning de **0.015**, se obtuvo una capacidad hidráulica de **0.015 m³/s**.

Para sustentar los criterios geométricos empleados en el análisis de los tramos en corte y relleno, se incorporó como referencia la tabla de valores de diseño para taludes establecida por el MIT (2025). Esta tabla permite relacionar la clase de carretera y el TPDA con los taludes recomendados para corte y relleno, sirviendo como respaldo técnico previo al análisis de las cunetas laterales.

Tabla 95

Valores de diseño para taludes según el tipo de carretera

Clase de carretera	TPDA	Talud	
		Corte	Relleno
R-I o R-II	Más de 8000	3:1	4:1
I	De 3000 a 8000	3:1	4:1
II	De 1000 a 3000	2:1	3:1
III	De 300 a 1000	2:1	2:1
IV	De 100 a 300	1,8:1 - 1:1	1,5:1 - 2:1
V	Menos de 100	1,8:1 - 1:1	1,5:1 - 2:1

Fuente: Tomado de la Norma de Diseño Geométrico de Carreteras, (MIT, 2025).

Con base en estos criterios y en las condiciones geométricas del proyecto, las cunetas fueron evaluadas únicamente en los tramos donde la vía se desarrolla en corte, debido a que contribuyen al escurrimiento superficial que debe ser captado y conducido por el sistema de drenaje longitudinal.

Los resultados de Tabla 96 muestran que el tramo ubicado entre las abscisas **2+650,10** y **3+070,00** presenta el caudal probable más alto, con un valor de **0,014 m³/s**. Esto se debe principalmente a que dicho sector cuenta con el área de drenaje más representativa, equivalente a **0,2078** ha, por lo que se convierte en el tramo más crítico para la verificación hidráulica de la cuneta.

También se evidencia que la mayor intensidad de lluvia no siempre produce el mayor caudal, ya que este valor depende de manera conjunta del área aportante, el coeficiente de escorrentía y la intensidad considerada en el cálculo. La selección de la sección de cuneta se realizó considerando el mayor caudal probable identificado, con la finalidad de garantizar que la geometría adoptada tenga capacidad suficiente para conducir las condiciones más críticas del drenaje longitudinal.

La Tabla 97 presenta la verificación hidráulica de la sección triangular adoptada para las cunetas laterales en los tramos de corte. Para todos los tramos se mantuvo una misma geometría de diseño, conformada por taludes **2H:1V**, tirante de **0,15 m**, espejo de agua de **0,30 m**, área mojada de **0,023 m²**, perímetro mojado de **0,49 m** y radio hidráulico de **0,047 m**. La variación del caudal de diseño está relacionada principalmente con la pendiente longitudinal de cada tramo, ya que este parámetro incide directamente en la velocidad del flujo determinada mediante la ecuación de Manning.

De acuerdo con los resultados obtenidos, los caudales de diseño se encuentran entre **0,015 m³/s** y **0,025 m³/s**. Al comparar estos valores con los caudales probables calculados previamente, se verifica que la sección propuesta cuenta con capacidad suficiente para conducir el escurrimiento superficial generado en los tramos evaluados. Por tanto, la cuneta diseñada cumple con las condiciones hidráulicas requeridas para evacuar el agua de lluvia sin comprometer la estabilidad de la vía.

El caso más representativo corresponde al tramo **2+650,10 – 3+070,00**, donde el caudal probable alcanza **0,014 m³/s** y el caudal de diseño es **0,015 m³/s**; por tanto, se considera el tramo más ajustado y representativo para la comprobación hidráulica de la cuneta.

Tabla 96

Caudales probables para las cunetas de la vía Engullima - Chanduy

Abs cisa		Talud		Media calzada		Pendiente longitudinal	Desnivel	Tiempo de concentración		
Entrada	Salida	Ancho	Longitud	Ancho	Longitud			Parcial	Total	
m	m	m	m	m	m	%	m	Talud	Media calzada	Min
								min		
0+000	0+321.67	1.80	321.67	3.20	321.67	1.55	4.98	0.021	8.27	8.29
0+708.71	1+020.00	1.20	311.29	3.20	311.29	0.94	2.95	0.016	9.75	8.77
1+246.62	1+559.99	1.65	313.37	3.20	313.37	1.58	4.79	0.019	8.15	8.17
1+559.99	1+638.59	0.50	078.60	3.20	078.60	0.73	0.72	0.009	3.42	3.43
1+924.74	2+324.42	1.70	399.68	3.20	399.68	0.61	1.91	0.028	15.38	15.41
2+393.28	2+546.45	0.60	153.17	3.20	153.17	0.61	0.93	0.011	6.70	6.71
2+650.10	3+070.00	1.75	419.90	3.20	419.90	0.61	2.56	0.026	14.54	14.57

Abs Cisa		Área de dren aje			Intensidad de lluvia	Coeficiente de escorrentía	Caudal probable
Entrada	Salida	Ár ea parcial		Área total			
m	M	Talud	Media calzada	Ha	mm/h	-	m³/s
0+000	0+321.67	579.01	1029.34	0.1608	66.11	0.4	0.012
0+708.71	1+020.00	373.55	996.13	0.1369	65.20	0.4	0.010
1+246.62	1+559.99	517.06	1002.78	0.1519	66.18	0.4	0.011
1+559.99	1+638.59	039.30	251.52	0.0290	69.07	0.4	0.0022
1+924.74	2+324.42	679.46	1278.98	0.1958	61.77	0.4	0.013
2+393.28	2+546.45	091.90	490.14	0.0582	67.07	0.4	0.0043
2+650.10	3+070.00	734.83	1343.68	0.2078	62.28	0.4	0.014

Tabla 97*Caudales de diseño para las cunetas de la vía Engullima - Chanduy*

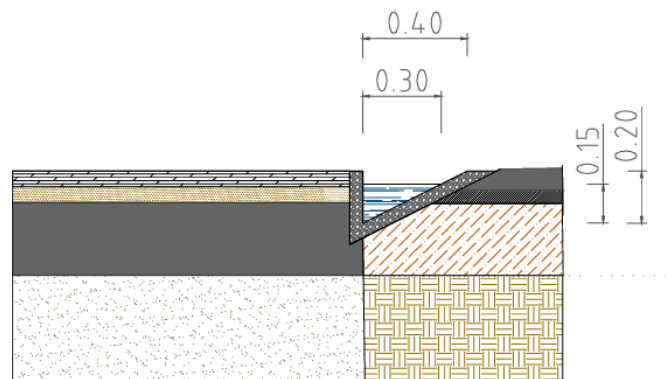
Abscisa		Pendiente talud		Pendiente longitudinal	Tirante	Espejo de agua	Área mojada	Perímetro mojado	Radio hidráulico	Coficiente de rugosidad de Manning	Velocidad	Caudal de diseño
Entrada	Salida	Corte	Relleno	S	Y	T	Am	Pm	Rh	n	v	Q
M	M	-	-	%	M	M	m ²	M	m	-	m/s	m ³ /s
0+000	0+321.67	2H: 1V	2H: 1V	1.55	0.15	0.30	0.023	0.49	0.047	0.015	1.08	0.025
0+708.71	1+020.00	2H: 1V	2H: 1V	0.94	0.15	0.30	0.023	0.49	0.047	0.015	0.84	0.019
1+246.62	1+559.99	2H: 1V	2H: 1V	1.58	0.15	0.30	0.023	0.49	0.047	0.015	1.09	0.025
1+559.99	1+638.59	2H: 1V	2H: 1V	0.73	0.15	0.30	0.023	0.49	0.047	0.015	0.74	0.017
1+924.74	2+324.42	2H: 1V	2H: 1V	0.61	0.15	0.30	0.023	0.49	0.047	0.015	0.68	0.015
2+393.28	2+546.45	2H: 1V	2H: 1V	0.61	0.15	0.30	0.023	0.49	0.047	0.015	0.68	0.015
2+650.10	3+070.00	2H: 1V	2H: 1V	0.61	0.15	0.30	0.023	0.49	0.047	0.015	0.68	0.015

La Figura 119 presenta la sección transversal adoptada para la cuneta lateral del tramo crítico, correspondiente a una geometría triangular revestida. En la imagen se identifican las dimensiones principales de la sección, entre ellas el ancho superior de **0,40 m**, el espejo de agua de **0,30 m**, el tirante hidráulico de **0,15 m** y la altura total de **0,20 m**. Esta configuración permite recoger y conducir la escorrentía superficial generada por la media calzada y el talud de corte, manteniendo una geometría simple, funcional y adecuada para las condiciones de una vía rural.

La sección planteada presenta una capacidad hidráulica superior al caudal probable del tramo crítico, por lo que resulta apropiada para el drenaje longitudinal de la vía. Además, sus dimensiones favorecen una construcción sencilla y facilitan las labores de limpieza y mantenimiento durante la etapa de operación del proyecto.

Figura 119

Diseño de cuneta



4.3.3. Análisis del diseño de alcantarilla tipo ducto cajón

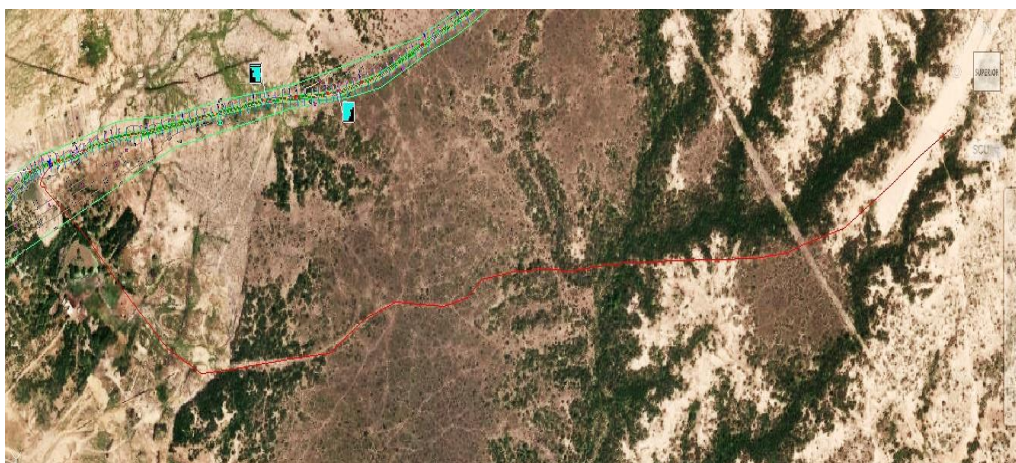
La Figura 120 muestra la longitud del cauce principal o recorrido hidráulico más largo que desemboca hacia el punto donde se proyecta el ducto cajón. La línea roja representa la trayectoria preferencial del escurrimiento superficial, identificada a partir del análisis topográfico e hidrológico del área de aporte.

Esta longitud fue utilizada como uno de los parámetros principales para el cálculo del tiempo de concentración de la microcuenca, debido a que representa el recorrido que debe realizar el flujo desde el punto hidráulicamente más alejado hasta la estructura de drenaje transversal. Por tanto, la figura permite justificar la selección de la longitud hidráulica empleada en el dimensionamiento del ducto cajón.

Para el drenaje transversal se diseñó una alcantarilla tipo ducto cajón doble, ubicada en el punto bajo donde se concentra el escurrimiento superficial de la microcuenca aportante. El área de drenaje analizada corresponde a 191,5 ha, condición que exige una obra hidráulica con capacidad suficiente para evacuar el caudal generado por la cuenca y conducirlo de forma segura hacia la salida hidráulica proyectada.

Figura 120

Longitud del cauce más largo que desembocará en el ducto cajón



Fuente: Google Earth, 2026.

Con base en el área de drenaje, el coeficiente de escorrentía y la intensidad de lluvia asociada al período de retorno de 10 años, se determinó un caudal probable de **11855 L/s**. Este resultado fue utilizado como valor de referencia para comprobar si el ducto cajón propuesto cuenta con la capacidad hidráulica necesaria para conducir el flujo generado por la cuenca.

La Tabla **98** presenta el resumen del cálculo hidráulico del ducto cajón proyectado para el cruce del caudal concentrado de la microcuenca. En la primera parte se muestran los parámetros hidrológicos empleados para la estimación del caudal probable, considerando un área de aporte de **191,50 ha**, un coeficiente de escorrentía de **0,40**, un tiempo de concentración de **37,76 min** y una intensidad de lluvia de **55,67 mm/h**. Con estos valores se obtuvo un caudal probable de **11855 L/s**, equivalente a **11,855 m³/s**, el cual representa el caudal que debe ser conducido por la estructura transversal.

Asimismo, la tabla resume las condiciones geométricas e hidráulicas adoptadas para el ducto cajón, considerando una sección rectangular doble con altura de **2,00 m** y un tirante de diseño de **1,60 m**, lo que permite mantener un borde libre de **0,40 m**. La pendiente hidráulica

considerada fue de **0,10 %**, valor que permite conducir el flujo hacia la descarga manteniendo una pendiente controlada en la estructura.

En la segunda parte de la tabla se comprueba la capacidad hidráulica de la sección trabajando llena, obteniéndose una velocidad de **2,10 m/s** y un caudal máximo de conducción de **16813 L/s**. Al contrastar este valor con el caudal probable de **11855 L/s**, se observa que la capacidad del ducto cajón supera el caudal aportado por la microcuenca, por lo que la sección planteada cumple con la verificación hidráulica. Asimismo, la relación q/Q de **0,71** indica que la estructura funcionaría al **71%** de su capacidad total, dejando un margen adecuado para conducir el flujo sin llegar a condiciones críticas de operación.

Finalmente, se presentan las cotas de terreno y cotas de diseño del ducto cajón, con una cota de terreno inicial de **1,93 m.s.n.m.** y final de **1,89 m.s.n.m.**, así como cotas invert de entrada y salida de **-1,30 m.s.n.m.** y **-1,31 m.s.n.m.**, respectivamente. Estos valores permiten verificar la implantación longitudinal de la estructura, la pendiente de conducción y la profundidad disponible para alojar el ducto bajo la vía.

Tabla 98

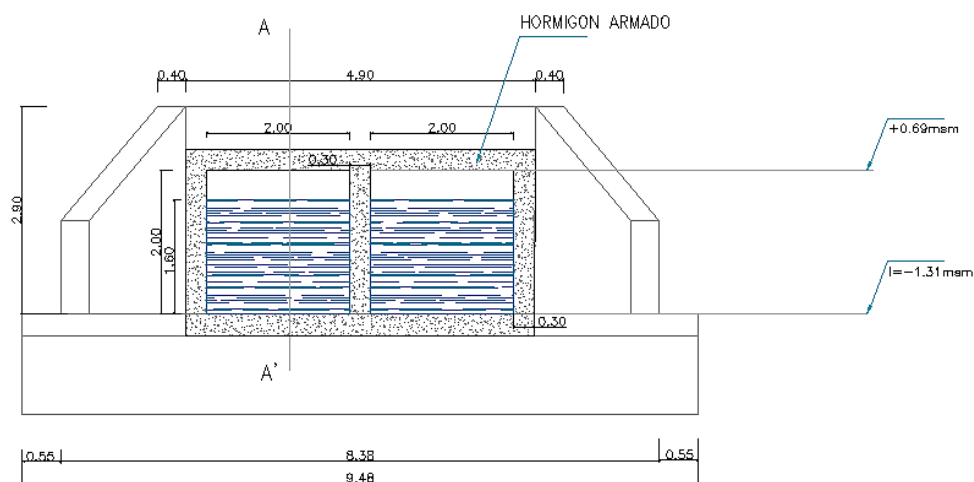
Resumen de cálculo del caudal probable del ducto cajón.

PUNTO	Longitud m	AREA (Ha.)			C	T. concent. (min) de llegada	Intensidad I(mm/h) por Ha.	Q probable Q(l/seg)		y m	h m	BORDE LIBRE m	s %
		Propia	Adicional	Acumulada				Total					
DUCTO	11,45	191,50	0,00	191,50	0,4	37,76	55,67	11855		1,60	2,00	0,40	0,10
SECCION LLENA													
V	Q	q/Q	y/H	v/V	V	DH	COTA DE TERRENO		COTAS DE DISEÑO		ALTURA	ALTURA	
m/seg	l/seg				m/seg	(m)	INICIO	FIN	INICIO	FIN	I	F	
2,10	16813	0,71	0,70	0,95	2,00	0,01	1,93	1,89	-1,30	-1,31	3,23	3,20	

La sección adoptada de la Figura 121 corresponde a un ducto cajón doble, conformado por dos celdas de **2,00 m × 2,00 m** cada una. Para la verificación hidráulica se consideró una pendiente de **0,1 %**, coeficiente de Manning de **0,015** y las dimensiones hidráulicas de la sección propuesta. Con estos parámetros se obtuvo una velocidad de **2,10 m/s**, valor que se encuentra por debajo de la velocidad máxima admisible considerada para este tipo de estructura.

Figura 121

Sección de ducto cajón



La sección transversal presenta un ducto cajón doble proyectado para el drenaje transversal de la vía. En la imagen se observan las dos celdas hidráulicas de **2,00 m × 2,00 m**, el tirante de funcionamiento de **1,60 m**, el borde libre disponible y la disposición general de los elementos laterales de protección. Esta sección fue utilizada para la verificación hidráulica de la estructura, considerando el caudal probable de la microcuenca aportante.

Al comparar el caudal probable con la capacidad hidráulica del ducto cajón, se obtiene que:

$$Q \text{ probable} = 11855 \text{ L/s}$$

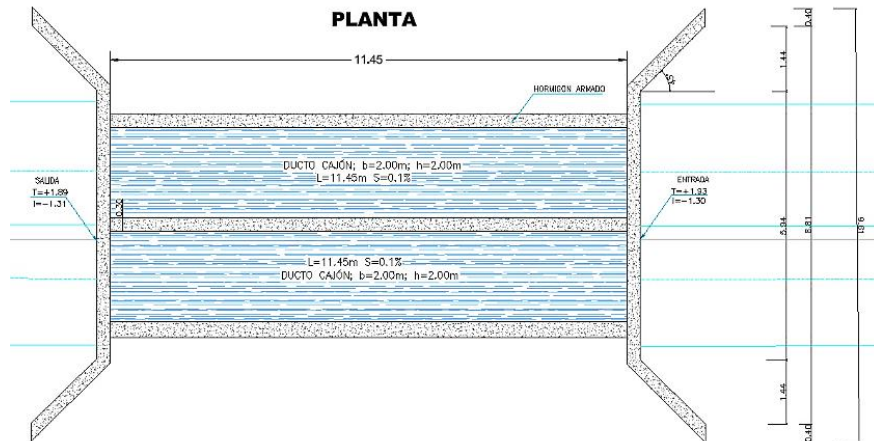
$$Q \text{ diseño} = 16813 \text{ L/s}$$

Por lo tanto, el ducto cajón propuesto cumple hidráulicamente, debido a que su capacidad de conducción es mayor que el caudal probable estimado para la microcuenca.

Asimismo, el diseño mantiene condiciones adecuadas de funcionamiento hidráulico para evacuar el flujo concentrado hacia la salida proyectada.

Figura 122

Diseño en planta del ducto cajón.

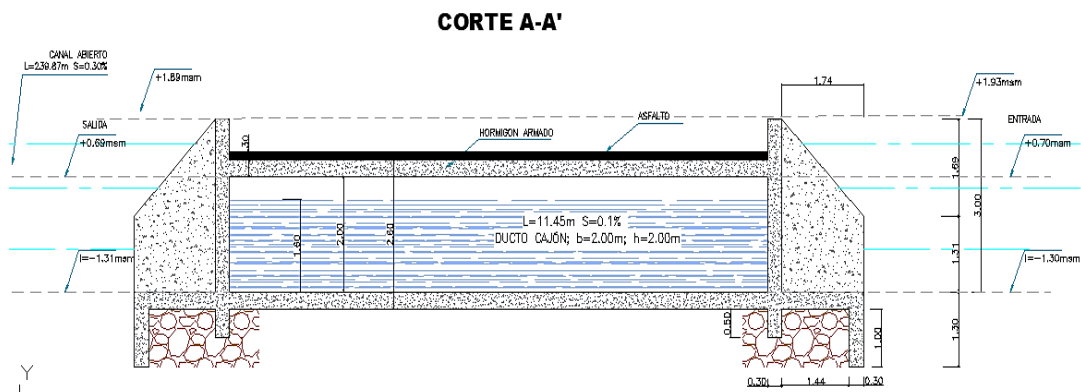


La Figura 122 muestra la disposición en planta del ducto cajón doble proyectado para el cruce hidráulico de la vía. En la imagen se identifican las dos celdas de **2,00 m** de base y **2,00 m** de altura, la longitud total de **11,45 m**, la pendiente longitudinal adoptada de **0,1%** y el sentido de entrada y salida del flujo. Además, se observan los elementos laterales de encauzamiento, los cuales permiten orientar el escurrimiento hacia la estructura y facilitar su descarga aguas abajo.

Esta representación permite verificar la implantación general del ducto cajón dentro del corredor vial, así como su alineación respecto al flujo natural. La planta confirma que la estructura propuesta cuenta con una disposición adecuada para recibir el caudal concentrado de la microcuenca y conducirlo bajo la vía hacia el punto de salida proyectado.

Figura 123

Corte longitudinal del ducto cajón.



La Figura **123** muestra el corte longitudinal A-A' del ducto cajón, en el cual se aprecia la ubicación de la estructura bajo la vía, su longitud total de **11,45** m y la pendiente longitudinal considerada de **0,1**. El detalle también muestra las cotas de entrada y salida, el nivel del terreno, la elevación de la solera del ducto y su posición respecto del relleno superior y la cimentación.

En el corte se observa que la diferencia de cotas genera la pendiente necesaria para desplazar el agua desde la entrada hasta la descarga, sin dejar zonas de empozamiento dentro del cajón. El dibujo permite además reconocer las transiciones y protecciones de ambos extremos, cuya función es ordenar el ingreso y la salida del flujo y disminuir la erosión alrededor de la estructura.

A partir de la comparación entre el caudal probable y el caudal de diseño, se verifica que la alcantarilla tipo ducto cajón doble cumple con la capacidad hidráulica requerida. La estructura propuesta permite evacuar el caudal generado por la microcuenca, manteniendo una capacidad superior al aporte estimado y asegurando el funcionamiento adecuado del drenaje transversal de la vía.

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

5.1.1. Conclusiones Generales.

Este estudio logró diseñar una propuesta técnica de diseño geométrico, estructural e hidráulica, para el tramo Engullima – Chanduy, apoyada en información real levantada en campo y laboratorio, y alineada con la normativa vigente NEVI-12 y AASHTO (1993). Trabajar los tres objetivos específicos de forma articulada, y no como piezas sueltas, permitió confirmar algo que ya se intuía desde el diagnóstico inicial: las condiciones del tramo (una subrasante heterogénea, terreno ondulado, tránsito rural de bajo volumen y un drenaje que hasta ahora no ha funcionado) no admitían soluciones parciales como las que se habían intentado antes sin éxito. Los resultados obtenidos muestran que sí es viable convertir el actual camino lastrado en una vía pavimentada, funcional y segura, y con eso queda sentada la base técnica para que las autoridades correspondientes puedan continuar hacia el diseño definitivo y, eventualmente, la construcción de la obra, aportando así a la conectividad, la seguridad vial y el desarrollo de la comuna Engullima.

5.1.2. Conclusiones Específicas.

- ✓ En relación con el primer objetivo: El levantamiento topográfico del tramo Engullima– Chanduy reveló una longitud de 3,070 km con topografía ondulada, la cual condicionó las decisiones de diseño geométrico al limitar la velocidad directriz y exigir un trazado que minimice movimientos de tierra excesivos. La caracterización de suelos mediante seis calicatas permitió identificar una subrasante heterogénea, conformada principalmente por arcillas y limo-arcillas de baja a media plasticidad (grupos AASHTO A-4 y A-6), con valores de CBR que oscilan entre 2.30% y 23.00%, lo que determina sectores críticos en los que se hace imprescindible el mejoramiento de la subrasante previo a la colocación de la estructura de pavimento. El estudio de tráfico arrojando un TPDA proyectado de 339 vehículos/día, con predominio de vehículos livianos seguido de transportes pesados asociados a actividades productivas locales, que define una infraestructura de bajo volumen de tránsito que, sin embargo, demanda un diseño estructural reforzado dada la incidencia de cargas pesadas sobre la subrasante.

- ✓ Respecto al segundo objetivo: El diseño geométrico se clasificó como vía Clase III en terreno ondulado, con velocidad directriz de 60 km/h, ancho de calzada de 6.00 m en dos carriles de 3.00 m, espaldones de 1.00 m y radio mínimo de curvas horizontales de 110 m. En cuanto al diseño estructural, el CBR de diseño de 7% de la subrasante, permitió determinar mediante la metodología AASHTO 93, el módulo resiliente (MR) empleado en el cálculo de esfuerzos y deformaciones, del cual se derivó una estructura de pavimento flexible compuesta por una carpeta asfáltica de 8 cms. y subbase granular de 25 cms. Dado que el material natural del sitio no alcanza por sí solo la capacidad de soporte requerida para esta capa, se optó por el material de la cantera Juan Montalvo, cuyo ensayo de CBR de 22,50% (S4: buena) confirmó que cumple con las condiciones necesarias para conformar la subbase granular del pavimento proyectado. Los espesores obtenidos fueron verificados mediante de esfuerzos verticales de Foster & Ahlvin, comprobando que la presión transmitida a la subrasante se mantiene por debajo del MR estimado de 10 500 PSI, quedando así definida la infraestructura vial geométrica y estructuralmente.
- ✓ Concluyendo el tercer objetivo: Se analizaron las condiciones hidrológicas del área de estudio mediante la delimitación de la microcuenca aportante, la identificación del cauce principal y la obtención de parámetros morfométricos como área de drenaje, longitud hidráulica, desnivel y pendiente media. Estos parámetros permitieron establecer las condiciones de entrada necesarias para determinar el tiempo de concentración, la intensidad de lluvia de diseño y los caudales probables empleados en el dimensionamiento de las obras de drenaje.

A partir de las ecuaciones Intensidad–Duración–Frecuencia de la estación meteorológica M0169 Julcuy, se determinaron las intensidades de lluvia correspondientes a los períodos de retorno adoptados. Para las cunetas laterales se consideró un período de retorno de 5 años y para la alcantarilla tipo ducto cajón un período de retorno de 10 años, aplicando un criterio diferenciado según la función hidráulica de cada estructura. Esta selección permitió obtener dimensiones hidráulicas funcionales y proporcionales al tipo de vía, evitando sobredimensionamientos innecesarios que podrían generarse al adoptar períodos de retorno mayores sin una justificación acorde al alcance del proyecto.

Las cunetas laterales fueron dimensionadas considerando los tramos en corte de la vía, el aporte de la media calzada y el talud de corte. La sección triangular propuesta

presentó capacidad suficiente para conducir los caudales probables calculados, verificándose que en el tramo crítico el caudal de diseño fue mayor que el caudal probable. Por tanto, el sistema de drenaje longitudinal cumple con la función de captar y conducir la escorrentía superficial generada sobre la plataforma vial.

Para el drenaje transversal se diseñó una alcantarilla tipo ducto cajón doble, conformada por dos celdas de $2,00\text{ m} \times 2,00\text{ m}$. La verificación hidráulica demostró que la capacidad de conducción de la estructura es mayor que el caudal probable de la microcuenca aportante. Asimismo, la pendiente hidráulica adoptada de 0,1 % permitió obtener una velocidad de flujo adecuada y una capacidad suficiente para evacuar el caudal de diseño. El análisis hidrológico se desarrolló con apoyo de un Modelo Digital de Elevación con resolución espacial de 30 m, el cual permitió delimitar la microcuenca aportante, reconocer el cauce principal y obtener los parámetros necesarios para el diseño hidráulico. No obstante, debido a la escala de resolución utilizada, este tipo de DEM puede simplificar ciertos detalles del relieve, especialmente en sectores donde existen variaciones topográficas locales, cauces menores o depresiones puntuales que no siempre se representan con suficiente precisión. Por ello, los resultados obtenidos fueron complementados con el levantamiento topográfico realizado en campo.

En conjunto, las obras de drenaje propuestas permiten captar, conducir y evacuar la escorrentía superficial generada en el área de estudio, reduciendo el riesgo de acumulación de agua sobre la vía y favoreciendo el adecuado funcionamiento hidráulico del tramo Engullima–Chanduy durante eventos de precipitación.

5.2. RECOMENDACIONES

5.2.1. Recomendaciones Generales.

De este estudio, es importante que instituciones como el GAD Municipal de Santa Elena, el MIT o las demás instituciones involucradas tomen los resultados como punto de partida técnico para formular el proyecto vial definitivo de Engullima–Chanduy, dándole prioridad debido al aislamiento que actualmente enfrenta la comunidad, sobre todo en época de lluvias. También conviene que, en cualquier etapa posterior del proyecto —ya sea el diseño definitivo, estudios adicionales o la construcción misma— se mantenga la lógica integrada que se siguió aquí entre lo geométrico, lo estructural y lo hidráulico, en lugar de tratarlos por separado, porque como se vio a lo largo del estudio, estos tres aspectos están estrechamente conectados entre sí y de esa relación depende que la vía sea duradera y funcione bien a largo plazo.

5.2.2. Recomendaciones Específicas.

- Dado que los sectores correspondientes a las calicatas 5 y 6 presentaron valores de CBR de 2.30% y 4.90% respectivamente, clasificados como subrasante muy mala (S0) e inadecuada (S1), se recomienda que el proyecto ejecutivo contemple el reemplazo del material natural en esos tramos con material granular de cantera a una profundidad mínima de 30 cm por debajo del nivel de subrasante, antes de colocar las capas estructurales del pavimento. Cuando el CBR se encuentre entre 5 % y 8 %, condición regular (S2) conviene el reemplazo del suelo con una estabilización mediante cal o cemento. La literatura geotécnica reporta resultados favorables de estos tratamientos en materiales arcillosos costeros semejantes a los encontrados en el proyecto.
- Antes de desarrollar el diseño definitivo, se recomienda repetir o actualizar el aforo vehicular. La pavimentación y el crecimiento de las actividades del sector pueden generar aumento de tráfico y modificar el TPDA proyectado para los próximos 10 años. Este conteo deberá incluir la clasificación detallada de vehículos pesados por tipo de eje y factor camión, con el fin de recalcular los ESAL's de diseño con mayor precisión. En particular, si el TPDA supera los 500 veh/día en el horizonte de diseño, deberá revisarse la clasificación vial y los parámetros geométricos adoptados.
- En el diseño geométrico, se recomienda que en el proyecto definitivo se evalúen intersecciones en los puntos de acceso a predios agrícolas y a la cabecera parroquial de Chanduy, diseñándolas con visibilidad garantizada y carriles de desaceleración donde el TPDA de la ruta transversal lo justifique. También deberá incorporarse la señalización vertical y horizontal prevista en el Manual de Señalización Vial del MIT. Una demarcación completa y señales correctamente ubicadas son necesarias para proteger a todos los usuarios, en particular a motociclistas y peatones, cuya presencia es frecuente en los caminos rurales de la costa ecuatoriana.
- Para conservar el desempeño del pavimento flexible durante el período de diseño, se recomienda realizar inspecciones visuales cada 6 meses, principalmente antes y después de la temporada lluviosa, con el fin de identificar fisuras, baches, deformaciones, pérdida de material en espaldones o deficiencias en el drenaje superficial. Las actividades correctivas, como sellado de fisuras, bacheo localizado, reposición de material en espaldones y limpieza del sistema de drenaje, deberán ejecutarse cuando se evidencien deterioros que puedan afectar la seguridad y funcionalidad de la vía. Asimismo, se recomienda evaluar intervenciones de conservación periódica cada 3 a 5

años, de acuerdo con el nivel de deterioro observado, el crecimiento del tránsito y el comportamiento real de la estructura.

- En el caso de las cunetas laterales, el tiempo de concentración se calculó con base en la información topográfica de detalle obtenida mediante RTK, considerando las pendientes, longitudes de escurrimiento y secciones transversales del corredor vial. El DEM de 30 m se utilizó para el análisis hidrológico general de la microcuenca aportante al ducto cajón, mas no para determinar el tiempo de concentración local de las cunetas.
- Para las cunetas y el ducto cajón se deberá realizar limpieza y mantenimiento cada 3 a 6 meses, priorizando los periodos antes, durante y después la temporada de lluvias. Retirar sedimentos, maleza, residuos y material arrastrado impedirá que la sección hidráulica se reduzca o quede obstruida.
- En la entrada y en la salida del ducto cajón se recomienda construir las protecciones que requiera el terreno, tales como cabezales, muros de ala, disipadores o canales de descarga. Estos elementos encauzan el agua, controlan la erosión y favorecen una descarga estable.
- Durante la ejecución se deberán controlar las pendientes longitudinales de las cunetas y del ducto cajón para que coincidan con las establecidas en los planos y cálculos. Una modificación de la rasante hidráulica puede alterar la velocidad, reducir la capacidad o afectar el funcionamiento del drenaje.
- Antes de construir el ducto cajón, su diseño hidráulico deberá complementarse con el cálculo estructural. En esa revisión se considerarán las cargas del tránsito, el espesor de recubrimiento, la resistencia del hormigón, el refuerzo de acero, el suelo de cimentación y la estabilidad de los elementos laterales. Esta recomendación se plantea debido a que el presente estudio se centró en el dimensionamiento hidrológico e hidráulico, mas no en el diseño estructural definitivo de la obra.
- Se recomienda realizar inspección y limpieza del ducto cajón como mínimo una vez al año, preferentemente antes del inicio de la época lluviosa. Además, deberá efectuarse una revisión adicional después de eventos de precipitación intensa, verificando la presencia de sedimentos, residuos, vegetación, obstrucciones, erosión en la entrada o salida y posibles afectaciones en cabezales, taludes o zonas de descarga.
- Se recomienda elaborar un presupuesto referencial y análisis de costos en una etapa posterior del proyecto, una vez definidos los diseños definitivos, especificaciones constructivas, materiales y cantidades de obra. Este componente no fue incluido en el

presente estudio debido a que no forma parte de los objetivos ni del alcance establecido para la investigación.

- Se recomienda realizar un estudio hidrológico e hidráulico complementario en el sector donde el cauce natural conduce las aguas hacia el río Zapotal y cruza la vía asfaltada que conecta con el sector de San Rafael. En dicho punto deberá evaluarse si corresponde implementar una alcantarilla, ducto cajón, badén o puente, considerando el caudal de avenida, las condiciones topográficas, el tránsito vehicular y la seguridad de los usuarios, debido a que en eventos de lluvia el agua puede sobrepasar la calzada existente.
- Se recomienda que, en futuras etapas de diseño o construcción, se revise la conveniencia de utilizar períodos de retorno mayores únicamente si el nivel de servicio de la vía, la importancia de la infraestructura, el riesgo hidráulico o las condiciones aguas abajo lo justifican. De esta manera se evitará sobredimensionar las obras de drenaje y se mantendrá un equilibrio entre seguridad hidráulica, funcionalidad y eficiencia técnica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASHTO. (1993). AASHTO Guide for Design of Pavement Structures. In *<https://habib00ugm.wordpress.com/wp-content/uploads/2010/05/aashto1993.pdf>*.
- AASHTO - T 193. (2022, January 1). *Standard Method of Test for The California Bearing Ratio*. https://Standards.Globalspec.Com/Std/14554096/t-193?Utm_source=chatgpt.Com.
- AASHTO T307. (2003, January). *AASHTO T307 - Background and Discussion*. American Society for Testing and Materials. <https://Store.Astm.Org/Stp12519s.Html>. <https://doi.org/10.1520/stp12519s>
- Agencia Valenciana de la Innovación. (2023). *Mejora y Estabilización de suelos con nuevos materiales cementantes revalorizando residuos*. <https://Personal.Ua.Es/Es/Ajt-Abril/Documentos/Gestadm/Seleccion-Materiales-Web.Pdf>.
- Aguilar, S., Chuquillanqui, E., Lopez, J., PAriola, J., & Tello, J. (2014). Gravedad específica de los sólidos. In *<https://es.slideshare.net/slideshow/gravedad-especifica-de-los-solidos/41631783>*.
- Alencastro López, L., Parra Fonseca, A., & Espinel, R. (2000). *EVALUACIÓN SOCIOECONÓMICA DE LA PARROQUIA CHANDUY DE LA PENINSULA DE SANTA ELENA Y ALTERNATIVAS DE DESARROLLO DE SUS COMUNAS*. <https://Www.Dspace.Espol.Edu.Ec/Bitstream/123456789/378/1/702.Pdf>.
- Arias, F. G. (2012). *El Proyecto de Investigación Introducción a la metodología científica*. https://Dn721508.ca.Archive.Org/0/Items/2012ElProyectoDeInvestigacion/2012_el-Proyecto-de-Investigacion_introduccion-a-La-Metodologia-Cientifica.Pdf.
- Aristizábal Murillo, V. (2012, February). (PDF) *Manual de hidrología para obras viales basado en el uso de Sistemas de Información Geográfica*. https://Www.Researchgate.Net/Publication/236826280_Manual_de_hidrologia_para_obras_viales_basado_en_el_uso_de_Sistemas_de_Informacion_Geografica.
- Ascencio, J. (2020, September 8). *Curvas Verticales (Point I)*. <https://Mysitetopografiaorg.Wordpress.Com/2020/09/08/Curvas-Verticales-Point-i/>.
- ASTM C131 / C131M - 20. (2020, February). *Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine*. ASTM

- International. <https://V1backup.Astm.Org/Standards/C131C131M.Htm>.
https://doi.org/10.1520/C0131_C0131M-20
- ASTM C535 - 16. (2016, June). *Standar Test Method for Resistance to Degradation of Large-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine*. ASTM International. <https://V1backup.Astm.Org/Standards/C535.Htm>. <https://doi.org/10.1520/C0535-16>
- ASTM D 420. (2003). *Norma Astm d 420 Caracteizacion | TOAZ.INFO*. <https://Toaz.Info/Doc-View-4>.
- ASTM D698-12. (2021). Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort (12,400 ft-lbf/ft³ (600 kN-m/m³)). In <https://store.astm.org/d0698-12r21.html>. ASTM International. <https://doi.org/10.1520/D0698-12R21>
- ASTM D854-10. (2010, June 3). *Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer*. ASTM International. https://Store.Astm.Org/D0854-10.Html?Utm_source=.
<https://doi.org/10.1520/D0854-10>
- ASTM D854-14. (2023). Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer. In <https://store.astm.org/d0854-14.html>. ASTM International.
<https://doi.org/10.1520/D0854-14>
- ASTM D1557-12. (2021, July 5). *Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort (56,000 ft-lbf/ft³ (2,700 kN-m/m³))*. ASTM International. <https://Store.Astm.Org/D1557-12r21.Html>. <https://doi.org/10.1520/D1557-12R21>
- ASTM D1883-21. (2021, December 10). *Test Method for California Bearing Ratio (CBR) of Laboratory-Compacted Soils*. ASTM International. <https://Store.Astm.Org/D1883-21.Html>.
<https://doi.org/10.1520/D1883-21>
- ASTM D2216-19. (2019, March 19). *Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass*. ASTM International. <https://Store.Astm.Org/D2216-19.Html?Utm=>. <https://doi.org/10.1520/D2216-19>
- ASTM D2487-17. (2017, December). *Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)*. ASTM International. <https://Store.Astm.Org/D2487-17.Html>. <https://doi.org/10.1520/D2487-17>
- ASTM D2488-17e1. (2017, July). *Practice for Description and Identification of Soils (Visual-Manual Procedures)*. ASTM International. <https://Store.Astm.Org/D2488-17e01.Html>.
<https://doi.org/10.1520/D2488-17E01>

- ASTM D3282-15. (2015, November). *Practice for Classification of Soils and Soil-Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes*. ASTM International. <https://Store.Astm.Org/D3282-15.Html>. <https://doi.org/10.1520/D3282-15>
- ASTM D4318-17e1. (2018, April 17). *Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils*. ASTM International. <https://Store.Astm.Org/D4318-17e01.Html>. <https://doi.org/10.1520/D4318-17E01>
- ASTM D6913-04. (2017, May 18). *Test Methods for Particle-Size Distribution (Gradation) of Soils Using Sieve Analysis*. ASTM International. <https://Store.Astm.Org/D6913-04r09e01.Html>. <https://doi.org/10.1520/D6913-04R09E01>
- Bernal, C. (2011, April 14). *Metodología de la Investigación 3era. Edición Bernal (PDF)*. <https://Pdfroom.Com/Books/Metodologia-de-La-Investigacion-3era-Edicion-Bernal/KNpgppnkgjr>.
- Bernard, K. (2008). *LOS ANGELES ABRASION TESTING MACHINE-(ASTM C131, C535*. https://Www.Academia.Edu/43803083/LOS_ANGELES_ABRASION_TESTING_MACHINE_ASTM_C131_C535.
- Bonifaz, D., Buele, D., Cruz, M., & Cuyo, E. (2022, December 20). *CARRETERAS*. <https://View.Genially.Com/63a13ef48eaff0001969c00d>.
- Borselli, L. (2025). GEOTECNIA I Año Académico 2024-2025. In https://www.lorenzo-borselli.eu/geotecnia1/Geotecnia_I_parte_II.pdf. www.lorenzo-borselli.eu
- Bowles, J. (1990). *Manual de laboratorio de suelos en ingeniería civil joseph e. bowles*. <https://Es.Slideshare.Net/Slideshow/Manual-de-Laboratorio-de-Suelos-En-Ingenieria-Civil-Joseph-e-Bowles/25194156>.
- Braja M. Das, D. E. (2014). *Das, B.M. Principles of Geotechnical - Ingles | TOAZ.INFO*. <https://Toaz.Info/Doc-View-4>.
- Bravo, C. (2022). Gerencia del proyecto ejecutivo de la construcción de la carpeta asfáltica de la carretera Purísima del Rincón entrada a caseta de cobro en León, Gto. In http://repositorio.ugto.mx/bitstream/20.500.12059/6922/1/CHRISTIAN%20ALAN%20BRAVO%20M%20c3%89NDEZ_Tesis24.pdf.
- Cadillo, N. (2024). ESTABILIZACIÓN DE SUELOS PARA PAVIMENTO USANDO ADITIVO QUÍMICO EN TRAMO DE MEJORAMIENTO DEL CORREDOR VIAL ALIMENTADOR N°11, REGIÓN CAJAMARCA. In

<https://repositorio.usil.edu.pe/server/api/core/bitstreams/28191afa-b70b-45c6-b3ba-c78f1d76ed00/content>.

Cal y Mayor, R., & Cárdenas, J. (2007, January). *Ingeniería de Tránsito: Fundamentos y Aplicaciones (8a ed.)*. <https://Dokumen.Pub/Ingenieria-de-Transito-9789701512388.Html>.

Celi, A., Mendoza, J. P., & Tejeda, E. (2023). Mejoramiento de subrasante mediante la estabilización con cemento en obras viales del cantón Portoviejo. In <https://dominiodelasciencias.com/ojs/index.php/es/article/view/3184>. ASTM International. <https://doi.org/10.1520/C0117-17>

Chancusig Cajas, M. C., & Vivas Acosta, L. A. (2024). PROPUESTA DE DISEÑO VIAL PARA LA PAVIMENTACIÓN DE LA RUTA QUE UNE LOS SECTORES DE “PUEMBO – SAN PEDRO”, EN EL CANTÓN LA MANÁ, PROVINCIA DE COTOPAXI. In <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/28401/1/TTS1923.pdf>.

Chereque Moran, W. (1989). Hidrologia para estudiantes de ingeniería civil. In <https://repositorio.pucp.edu.pe/server/api/core/bitstreams/3530659b-0bf2-4576-a97b-ef552626322d/content>.

CivilGeeks. (2011, September 20). *MÉTODOS PARA CÁLCULO DEL TIEMPO DE CONCENTRACIÓN*. <https://Civilgeeks.Com/2011/09/20/Metodos-Para-Calculo-Del-Tiempo-de-Concentracion/>.

Consejo Nacional de Planificación. (2015, July 13). *Buen vivir : plan nacional 2013-2017 : todo el mundo mejor*. Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo. <https://Www.Gobiernoelectronico.Gob.Ec/Wp-Content/Uploads/2018/10/Plan-Nacional-Para-El-Buen-Vivir-2013-%E2%80%93-2017.Pdf>. <https://www.gobiernoelectronico.gob.ec/wp-content/uploads/2018/10/Plan-Nacional-para-el-Buen-Vivir-2013-%E2%80%93-2017.pdf>

Consejo Sectorial de Ministros de Transporte de Centroamérica. (2011). *Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras Gestión de Riesgo y Seguridad Vial con enfoque de*. <https://Intercoonecta.Aecid.Es/Gestin%20del%20conocimiento/Manual%20Centroamerica%20de%20normas%20para%20el%20dise%C3%B1o%20geometrico%20de%20carreteras%202011.Pdf>.

CONSTRUNEIC. (2021, December 9). *Pavimento Rígido definición, tipos, espesores y mantenimiento*. <https://Construneic.Com/Pavimentos/Pavimento-Rigido/>.

- Cordero, J. (2018). ESTABILIZACIÓN QUÍMICA DE SUELOS PARA MEJORAMIENTO DE LA ESTRUCTURA VIAL AGROPECUARIA DE LA PARROQUIA CHUQUIRIBAMBA. In <https://dspace.unl.edu.ec/server/api/core/bitstreams/d5837b51-e7cd-485e-a961-cfdffbb6e1af/content>.
- Correa, G. (2012). *Esfuerzos dentro del suelo debido a cargas externas, puntuales, lineales, franjas, areas circulares y rectangular*. <https://Es.Slideshare.Net/Slideshow/Tema-3-Esfuerzos-Dentro-Del-Suelo-Debido-a-Cargas-Externas-Esfuerzospptx/260860136>.
- De La Cruz, K. V. (2015). CARACTERIZACIÓN DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGROPECUARIA, A TRAVÉS DE LA PERCEPCIÓN DE LOS PRODUCTORES EN COMUNAS DE LA PARROQUIA CHANDUY, PROVINCIA DE SANTA ELENA. In <https://repositorio.upse.edu.ec/server/api/core/bitstreams/1e0bb889-55bd-46fd-bea6-4b7500dda98b/content>.
- Departamento Nacional de Planeación (DNP) e Instituto Nacional de Vías (INVIAS). (2020). *Mejoramiento de vías terciarias - Vías de tecer orden*. https://Proyectostipo.Dnp.Gov.Co/Images/Pdf/Viasterciarias/PT_MEJORAMIENTO_VIA_S_Terciarias_17_04_2020.Pdf.
- Departamento Nacional de Planeación Subdirección Territorial y de Inversiones Públicas. (2017). *Construcción de pavimento rígido en vías urbanas de bajo tránsito*. <https://Proyectostipo.Dnp.Gov.Co/Images/Pdf/Pavimento/PTpavimento.Pdf>.
- División de Recursos Naturales e Infraestructura, C. (2018). Transporte de carretera en América Latina: evolución de la infraestructura y de sus impactos entre 2007 y 2015. <https://Repositorio.Cepal.Org/Server/Api/Core/Bitstreams/59ca6cc5-83c8-4422-B5ab-807a7244efdb/Content>.
- Duchicela, E., & Lopez, K. (2023). ESTUDIOS TÉCNICOS PARA LA VÍA ENTRE RÍOSATAHUALPA UBICADA EN EL CANTÓN SANTA ELENA,. In <https://repositorio.upse.edu.ec/server/api/core/bitstreams/0f3fc720-8684-4f36-b073-31a29ae87be0/content>.
- Duque, G., & Escobar, C. (2002). *Estructura del Suelo y Análisis de Granulometría en Geotecnia*. <https://Www.Academia.Edu/25443236/Suelos>.
- EGC consulting. (2024, August 5). *Taludes en carreteras* ⇨ *Tipos, Técnicas y Mantenimiento* | EGC Consulting. <https://Egcconsulting.Net/Taludes-En-Carreteras-Tipos-Tecnicas-de-Proteccion-y-Mantenimiento/>.

- Extra ec. (2024, September 18). *Este es el estado de las vías en Ecuador hoy, jueves 18 de septiembre: ¿hay cierres?* <https://www.Extra.Ec/Noticia/Servicios-y-Tramites/Este-Es-El-Estado-de-Las-Vias-En-Ecuador-Hoy-Jueves-18-de-Septiembre-Hay-Cierres-137033.Html>.
- ferrovial. (2025). *Partes de una carretera: calzada, carril, mediana...* - Ferrovial. <https://www.Ferrovial.Com/Es/Recursos/Partes-de-Una-Carretera/>.
- Figuerola, O., & Rozas, P. (2006, September). *Conectividad, ámbitos de impacto y desarrollo territorial: análisis de experiencias internacionales: volumen I*. <https://Repositorio.Cepal.Org/Server/Api/Core/Bitstreams/Fd551da4-8944-42bb-A139-Ff638b784cca/Content>.
- Foster, C. R., & Ahlvin, R. G. (1954). *DEPARTMENT OF SOILS Stresses and Deflections Induced by a Uniform Circular Load*. <https://Onlinepubs.Trb.Org/Onlinepubs/Hrbproceedings/33/33-037.Pdf>.
<https://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/hrbproceedings/33/33-037.pdf>
- GADPR Manglaralto. (n.d.). *Información general de la parroquia Manglaralto GADPR Manglaralto*. <https://Gadmanglaralto.Gob.Ec/Page/Clima/>.
- Gámez, W. (2015). Instrumentos de Topografía y Geodesia | PDF. In <https://es.scribd.com/document/389891454/William-Gamez-TEXTO-BASICO-AUTOFORMATIVO-DE-TOPOGRAFIA-GENERAL-pdf>.
- Geotechnical Consulting. (2017). *TALUD Y TALUD NATURAL DEFINICIONES Y TIPOS*. <https://www.Mecanicasuelosabcchile.Com/Talud-Natural/>.
- Geotechnical Consulting. (2025). *Limites Atterberg*. <https://Geotecniaymecanicasuelosabc.Com/Limites-Atterberg/>.
- GEOTEXAN. (2025). *Limites de Atterberg: Consistencia del suelo - Geotexan*. <https://Geotexan.Com/Es/Technical/Soil-Properties/Atterberg-Limits/>.
- Glosario Vial. (n.d.). *Berma* | *Glosario Vial* | *Educación Vial*. <https://www.Educacionvial.Cl/Categoria/Glosario-Vial/Berma>.
- Green Book. (2018, September 28). *Geometric Design of Highways and Streets Policy (2018)*. https://Studylib.Net/Doc/28162918/Aashto-2018-7th-Ed-Green-Book?Utm_source=chatgpt.Com.
- Grupo Banco Mundial. (2024, March 22). *Transporte: Panorama General*. <https://www.Bancomundial.Org/Es/Topic/Transport/Overview>.

- Guevara Martínez, F. (2022, February 19). *Diagrama de Curva Masa: Análisis y Ejecución de Movimiento de Tierras - IngeCivil*. https://Www.Ingecivil.Net/2022/02/19/Diagrama-de-Curva-Masa-Analisis-y-Ejecucion-de-Movimiento-de-Tierras/#2_Diagrama_de_curva_masa.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collafdo, C., & Baptista Lucio, P. (2014, March). *Metodología de la investigación - Sexta Edición*. https://Apiperiodico.Jalisco.Gob.Mx/Api/Sites/Periodicooficial.Jalisco.Gob.Mx/Files/Metodologia_de_la_investigacion_-_roberto_hernandez_sampieri.Pdf.
- Huang, Y. H. (2004). *Pavement Analysis and Design - Solutions Manual [2nd Ed., 2 ed.] 0131842447 - DOKUMEN.PUB*. <https://Dokumen.Pub/Pavement-Analysis-and-Design-Solutions-Manual-2nd-Ed-2 ed-0131842447.Html>.
- INAMHI. (2015). DETERMINACIÓN DE ECUACIONES PARA EL CÁLCULO DE INTENSIDADES MÁXIMAS DE PRECIPITACIÓN INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA EQUIPO TÉCNICO 2015. In https://www.inamhi.gob.ec/Publicaciones/Hidrologia/ESTUDIO_DE_INTENSIDADES_V_FINAL.pdf.
- INSTITUTO MEXICANO DE TRANSPORTE. (2019). *Manual de Ensayos AG para Evaluación de Agregados en Mezclas Asfálticas*. <https://Www.Studocu.Com/Latam/Document/Universidad-Nacional-de-Ingenieria-Nicaragua/Mecanica-de-Suelos-1/Ensayos-Para-Arena/14007728>.
- INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. (2008). *Manual de diseño de pavimentos de concreto para vías con bajas, medios y altos volúmenes de tránsito*. <https://Es.Scribd.Com/Document/333852020/25163721-Manual-Diseno-Concreto-INVIAS>.
- INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS (INVIAS). (2008). *MANUAL DE DISEÑO DE PAVIMENTO EN CONCRETO*. https://Www.Academia.Edu/14900377/MANUAL_DE_DISEÑO_DE_PAVIMENTO_EN_CONCRETO.
- Instituto Universitario Politécnico Santiago Mariño. (2023). *Estimación de Caudales y Uso de Google Earth para Delimitar Cuencas*. <https://Www.Studocu.Com/Latam/Document/Instituto-Universitario-Politecnico-Santiago-Marino/Pavimento/Estimacion-de-Caudales-y-Enlaces-de-Uso-de-Google-Earth-Para-Delimitar-Cuencas-y-Enlace-de-Tranforven/95410168>.

- INVIAS. (2025, October 17). *MANUAL DE GESTIÓN VIAL INTEGRAL SECTOR VIAL NO CONCESIONADO VERSIÓN 1 (LINEA BASE)*.
<https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/13572-manual-de-gestion-vial-integral-sector-vial-no-concesionado-v-1-mepi-mgvi-mn-1/file>.
- Keilich, L. (2021). Estabilización de subrasante del suelo natural con adición de polímeros, en camino vecinal Maras Moray, Cusco. In <https://repositorio.continental.edu.pe/backend/api/core/bitstreams/7818b264-7cea-4a76-985d-9c77d1ad2d0a/content>.
- Lara, J. (2016). “LA INFRAESTRUCTURA VIAL EN EL SECTOR TELIGOTE SAN FRANCISCO MAZABACHO DE LA PARROQUIA BENÍTEZ, CANTÓN PELILEO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA Y SU INCIDENCIA EN EL DESARROLLO LOCAL.” In <https://repositorio.uta.edu.ec/server/api/core/bitstreams/eed42bd-7959-4741-a7e1-25585e053a44/content>.
- López, P. (2004). *POBLACIÓN MUESTRA Y MUESTREO*.
http://scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-02762004000100012.
- Madrigal, K. (2015). Alternativas para la estabilización de taludes en el cantón de León Cortés. In <https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/6787/alternativas-estabilizaci%C3%B3n-taludes-cant%C3%B3n-%20Le%C3%B3n-Cort%C3%A9s.pdf>.
- Maidment, D., & Mays, L. (1994). *Hidrología Aplicada - Ven Te Chow PDF | PDF*.
<https://es.scribd.com/document/447733434/Hidrologia-Aplicada-Ven-Te-Chow-Pdf>.
- Manrique, V., & Tigrero, P. (2019). Análisis de estabilidad de taludes a partir de la evaluación geomecánica del macizo rocoso en Anconcito, provincia de Santa Elena. In <https://repositorio.upse.edu.ec/items/8c2993d5-6b42-4579-8487-bed21409026f>.
- MANUAL DE CARRETERAS. (2017, October 5). *Manual de carreteras: Suelos, geología, geotecnia y pavimentos*. <https://plataforma.constructivo.com/articulo/manual-de-carreteras-suelos-geologia-geotecnia-y-pavimentos>.
- MANUAL_Hidrología. (2011). *Manual de carreteras: Hidrología, hidráulica y drenaje*.
<https://plataforma.constructivo.com/articulo/manual-de-carreteras-hidrologia-hidraulica-y-drenaje>.
- Manual_NEVI-12_VOLUMEN_3. (2013). *MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS DEL ECUADOR SUBSECRETARÍA DE INFRAESTRUCTURA DEL*

TRANSPORTE VOLUMEN N° 3 ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CAMINOS Y PUENTES. https://Www.Mit.Gob.Ec/Wp-Content/Uploads/Downloads/2013/12/01-12-2013_Manual_NEVI-12_VOLUMEN_3.Pdf.

Marchan, R. (2005, February 24). *Métodos de Rehabilitación de Pavimentos.* <https://1library.Co/Document/Zwv28kwv-M%C3%A9todos-de-Rehabilitaci%C3%B3n-En-Pavimentos.Html>.

Marin, S., & Mendez, K. (2025). "EVALUACIÓN DE COEFICIENTES DE DRENAJE DE SUB-BASE EN 3 CANTERAS UBICADAS EN LA PROVINCIA DE SANTA ELENA PARA DISEÑO DE PAVIMENTO". In <https://repositorio.upse.edu.ec/server/api/core/bitstreams/ffb9ee02-3eb0-4b27-bf0a-c5b6ed00b69b/content>. UPSE.

Metz, M., Mitsova, H., & Harmon, R. S. (2011). Efficient extraction of drainage networks from massive, radar-based elevation models with least cost path search. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15(2), 667–678. <https://doi.org/10.5194/HESS-15-667-2011>

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2008). MANUAL DE DISEÑO DE CARRETERAS NO PAVIMENTADAS DE BAJO VOLUMEN DE TRÁNSITO. In <https://www.sutran.gob.pe/wp-content/uploads/2015/08/manualdedisenodecarreterasnopavimentadasdebajovolumendetransito.pdf>.

MIT. (2025). *Normas de Diseño Geométrico MTOP ECUADOR YV 3 | Julio Erraez | uDocz.* https://Sjnavarro.Wordpress.Com/Wp-Content/Uploads/2011/08/Manual-Dedisecc3b1o-de-Carretera_2003-Ecuador.Pdf.

MOP. (2002). *Especificaciones Generales Para La Construcción De Caminos y Puentes.* <https://Es.Slideshare.Net/Slideshow/Mop-001-f-2002pdf-252096113/252096113>.

Naranjo, V. (2011). Las características del suelo de subrasante de los caminos vecinales de la comunidad de Echaleche Pilahuín y su incidencia en el comportamiento de la capa de rodadura. In <https://repositorio.uta.edu.ec/server/api/core/bitstreams/2b688ed6-110e-4fd4-bbda-e36311b27ebd/content>.

National Standards for Traffic Control Devices. (2023, December). *AASHTO Journal - New Manual on Uniform Traffic Control Devices Issued.* <https://Aashtojournal.Transportation.Org/New-Manual-on-Uniform-Traffic-Control-Devices-Issued/>.

- NEVI. (2013). MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS DEL ECUADOR VOLUMEN N° 2 – LIBRO A NORMA PARA ESTUDIOS Y DISEÑOS VIALES NORMA ECUATORIANA VIAL NEVI-12 -MTOP.
https://www.Academia.Edu/33342790/MINISTERIO_DE_TRANSPORTE_Y_OBRAS_P%20C3%9ABLICAS_DEL_ECUADOR_VOLUMEN_No_2_LIBRO_A_NORMA_PARA_ESTUDIOS_Y_DISE%20C3%91OS_VIALES_NORMA_ECUATORIANA_VIAL_NEVI_12_MTOP.
- NEVI-12. (2013). *VOLUMEN N° 2 – LIBRO B NORMA PARA ESTUDIOS Y DISEÑO VIAL*.
<https://Feismo.Com/Doc-Viewer-V3>.
- NORMA 6.1 IC. (2003, December 12). *ORDEN FOM/3460/2003, DE 28 DE NOVIEMBRE, POR LA QUE SE APRUEBA LA NORMA 6.1 IC SECCIONES DE FIRME, DE LA INSTRUCCIÓN DE CARRETERAS (BOE DE 12 DE DICIEMBRE DE 2003)*.
https://www.Transportes.Gob.Es/Recursos_mfom/1010100.Pdf.
https://www.transportes.gob.es/recursos_mfom/1010100.pdf
- Opentopography. (n.d.). *OpenTopography Data*.
<https://Portal.Opentopography.Org/RasterOutput?JobId=rt1774916164139>. Retrieved May 29, 2026, from <https://portal.opentopography.org/rasterOutput?jobId=rt1774916164139>
- Peñaloza, B. (2023). DISEÑO DE ENLACE VIAL PARA COMPLETAR EL ACCESO DE LA CALLE 31 CON LA NUEVA AUTOPISTA GUAYAQUIL-SALINAS DEL SECTOR SAN VICENTE EN EL CANTÓN LA LIBERTAD, PROVINCIA DE SANTA ELENA. In <https://repositorio.upse.edu.ec/server/api/core/bitstreams/57d9bb85-961e-40e0-a457-c9351a1836ec/content>.
- Perez, G. (2020, July 14). *Boletín FAL 377 Caminos rurales: vías claves para la producción, la conectividad y el desarrollo territorial*.
<https://Repositorio.Cepal.Org/Server/Api/Core/Bitstreams/05dfba47-0c4a-42e5-A77d-Feabc108a05b/Content>.
- Ponce, V. (2015). *Fundamentos de la Hidráulica de Canales*, Victor M. Ponce, San Diego State University. <https://Ponce.Sdsu.Edu/Canales/>.
- Ponce, V. (2017). *Drenaje de carreteras*. https://Ponce.Sdsu.Edu/Drenaje_de_carreteras_a.Html.
- pruebademanejo.cl. (2024). *¿Que es una Vía Rural Convencional?*
<https://Pruebademanejo.Cl/Index.Php/Que-Es-Una-via-Rural-Convencional/>.
- Puy Santín, A. J. (2005, December). *Influencia de la temperatura en el límite líquido para suelos con diferentes índices de plasticidad*.

<https://Upcommons.Upc.Edu/Entities/Publication/F9f0417c-143f-4586-A88a-98f136165aba>.

QGIS Documentation. (n.d.). 17.16. *Hydrological analysis*.
https://docs.qgis.org/3.44/en/docs/Training_manual/Processing/Hydro.html. Retrieved
May 29, 2026, from
https://docs.qgis.org/3.44/en/docs/training_manual/processing/hydro.html

Quezada, N. (2025). *Proyecto 1: Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) y su Cálculo*.
<https://www.studocu.com/ec/document/universidad-estatal-peninsula-de-santa-elena/diseño-de-proyectos-educativos/proyecto-1-parte-2/123321137>.

Reddy, K. (2002, August). *ENGINEERING PROPERTIES OF SOILS BASED ON LABORATORY TESTING* *Engineering Properties of Soils Based on Laboratory Testing - PDFCOFFEE.COM*. <https://pdfcoffee.com/engineering-properties-of-soils-based-on-laboratory-testing-engineering-properties-of-soils-based-on-laboratory-testing-pdf-free.html>.

Registro de Investigación sobre Transporte. (2011, December). *Comprehensive life-cycle cost analysis for selection of stabilization alternatives for better performance of low-volume roads*. National Research Council. <https://journals.sagepub.com/doi/10.3141/2204-16>.
<https://doi.org/10.3141/2204-16>

REGLAMENTO TECNICO ECUATORIANO RTE INEN. (2011). *INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN*. https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/04/LOTAIP2015_reglamento-Tecnico-Ecuatoriano-Rte-Inen-004-1-2011.pdf.

Rincón, M., Wilson, V., & Carlos, G. (2017). *CONCEPTOS Y APLICACIONES TOPOGRAFÍA*. <https://www.ecoediciones.com/wp-content/uploads/2018/02/Topograf%C3%ADa-Conceptos-y-Aplicaciones-Ebook.pdf>.

Rojas, T., Chavez, P., Delgado, A., Soria, O., & Fasanand, T. (2015). *ENSAYO DE GRANULOMETRÍA Y RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DEL AGREGADO GRUESO*. <https://www.studocu.com/es/document/universidad-europea-de-madrid/tecnología-de-materiales/ensayo-de-resistencia-a-la-abrasión-del-agregado-grueso/2456934>.

Salazar, A. (2015). *Guía para el diseño y construcción de pavimentos rígidos*. https://www.academia.edu/39532297/Gu%C3%ADa_para_el_dise%C3%B1o_y_construcci%C3%B3n_de_pavimentos_r%C3%ADgidos.

- Secretaría de Comunicaciones Y Transportes. (2016). *MANUAL DE PROYECTO GEOMÉTRICO DE CARRETERAS DIRECCIÓN GENERAL DE SERVICIOS TÉCNICOS 2016*. https://Www.Academia.Edu/34611182/MANUAL_DE_PROYECTO_GEOM%C3%89TRICO_DE_CARRETERAS_DIRECCI%C3%93N_GENERAL_DE_SERVICIOS_T%C3%89CNICOS_2016.
- Secretaría Nacional de la Administración Pública y Planificación. (2024, February 16). *Plan de Desarrollo para el Nuevo Ecuador*. <https://Planificacion.Presidencia.Gob.Ec/WpContent/Uploads/2024/02/PND2024-2025.Pdf>. <https://planificacion.presidencia.gob.ec/wp-content/uploads/2024/02/PND2024-2025.pdf>
- Señalesdetraficoinf. (2025, April 16). *¿Qué es una intersección vial? Guía completa y tipos*. <https://Senalesdetraficoinfo.Es/Que-Es-Una-Interseccion-Vial/>.
- StudySmarter. (2024). *Comportamiento de suelos*. <https://Www.Studysmarter.Es/Resumenes/Ingenieria/Ingenieria-Quimica/Comportamiento-de-Suelos/>.
- TECNOLOGÍA PARA LA INDUSTRIA. (2021, August 1). *Estabilización de suelos para carreteras con cal*. <https://Tecnologiaparalaindustria.Com/Estabilizacion-de-Suelos-Para-Carreteras-Con-Cal-o-Cemento-Cual-Metodo-Es-Mejor/>.
- Todotest Magazine. (2024, April 17). *Vías urbanas: qué son, los tipos que hay y límites de velocidad*. <https://Noticias.Todotest.Com/2024/04/17/Vias-Urbanas/>.
- Torres, W. (2022, March 17). *4.082 kilómetros de red vial estatal en mal estado serán intervenidos*. <https://Www.Primicias.Ec/Noticias/Economia/Red-Vial-Estatal-Mal-Estado-Ecuador/>.
- Vega, C., & Refrobán, V. (2024). *Diseño geométrico y estructural de la vía Cochapata – Morasloma de la Absisa 0+000 hasta la Absisa 3+000 km, perteneciente al canton Nabón, Provincia del Azuay*. In <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/29076/4/UPS-CT011789.pdf>.
- Villón Béjar, M. (2008). *Hidráulica de canales - Máximo Villón Béjar - Google Libros*. https://Books.Google.Com.Ec/Books?Id=DJnGDwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false. https://books.google.com.ec/books?id=DJnGDwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

- Weather Spark. (n.d.). *El clima y el tiempo promedio en todo el año en Santa Elena Ecuador*.
[https://Es.Weatherspark.Com/y/18289/Clima-Promedio-En-Santa-Elena-Ecuador-Durante-
 Todo-El-A%C3%B1o](https://Es.Weatherspark.Com/y/18289/Clima-Promedio-En-Santa-Elena-Ecuador-Durante-Todo-El-A%C3%B1o).
- Yepes Piqueras, V. (2023, January 17). *El radio hidráulico y el perímetro mojado de una sección - El blog de Víctor Yepes*. <https://Victoryepes.Blogs.Upv.Es/2023/01/17/El-Radio-Hidraulico-y-El-Perimetro-Mojado-de-Una-Seccion/>.
- Zamora, A. (2015, December). *Diseño y Cálculo Geométrico de Viales*.
https://Drive.Google.Com/File/d/1_Ix4RCvBi5k9wGOup3XbuCa2uyIyVC1M/View.
- Zapata, R. (2018). TIPOS DE SUELOS: CARACTERIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS Y LIMOSOS. In
<https://www.fceia.unr.edu.ar/geologiaygeotecnia/TIPOS%20DE%20SUELO.pdf>.
- Zavala Coronel, N., & Rodríguez, C. (2020). Caracterización geológica-geomorfológica de la subcuenca río Zapotal del cantón Santa Elena, provincia de Santa Elena, aplicando técnicas de Teledetección. In <https://repositorio.ug.edu.ec/items/ffa1b6bb-620f-4981-a87c-9a9a37c9682a>.

ANEXOS

Anexo I

Levantamiento Topográfico.

Anexo 1 Levantamiento topográfico.



Anexo 2 Toma de puntos con equipo RTK.



Anexo II

Registro de Puntos Topográficos.

Anexo 1 Registro de puntos topográficos

 UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO 				
PROYECTO: Estudio técnico para la vía Engullima - Chanduy, ubicada en Santa Elena, provincia de Santa Elena				
TUTOR: ING. NÉSTOR ALBERTO ORRALA VERA				
TESISTAS: GALDEA MARTÍNEZ KELVIN FABRICIO - RODRÍGUEZ AQUINO ANTHONY JOSUE				
FECHA: may-26				
PUNTO	NORTE (m)	ESTE (m)	COTA (ms.nm)	DESCRIPCION
4	9735547,22	538995,629	16,652	Base_5
9	9734530,323	536494,227	10,308	Td 1
10	9734523,241	536490,596	10,374	Td 2
11	9734548,038	536503,482	10,1	Ti 1
12	9734554,061	536506,849	9,947	Ti 2
13	9734544,184	536511,209	9,864	Ti 3
14	9734557,933	536516,954	10,041	Ti 4
15	9734535,575	536509,274	10,041	Td 3
16	9734523,135	536508,091	9,966	Td 4
17	9734521,997	536520,211	10,784	Td 5
18	9734530,779	536518,124	10,889	Td 6
19	9734533,163	536517,894	11,004	Td 7
20	9734534,979	536517,709	10,212	Td 8
21	9734542,876	536516,885	10,203	Ti 5
22	9734554,592	536521,586	9,923	Ti 6
23	9734555,622	536533,255	10,845	Ti 7
24	9734544,56	536534,052	10,804	Ti 8
25	9734536,979	536534,88	10,818	Td 9
26	9734533,957	536535,832	11,129	Td 10
27	9734525,898	536538,635	10,599	Td 11
28	9734525,516	536556,041	11,004	Td 12
29	9734536,996	536555,345	11,367	Td 13
30	9734539,119	536554,807	11,235	Td 14
31	9734545,892	536554,759	11,207	Ti 11
32	9734547,021	536554,499	11,526	Ti 12
33	9734560,052	536553,89	11,709	Ti 13
34	9734562,284	536564,547	11,826	Ti 14
35	9734549,633	536564,35	11,249	Ti 15
36	9734547,859	536564,734	11,096	Ti 16
37	9734546,854	536565,269	10,888	Ti 17
38	9734540,167	536567,113	10,945	Td 16
39	9734537,586	536567,569	11,127	Td 17
40	9734525,441	536569,825	10,77	Td 18
41	9734529,984	536583,521	10,415	Td 19
42	9734542,477	536577,23	10,409	Td 20
43	9734549,491	536574,61	10,469	Ti 18
44	9734550,326	536574,595	10,734	Ti 19
45	9734562,155	536570,037	11,31	Ti 20
46	9734559,531	536571,553	11,098	Ti 21
47	9734569,078	536583,275	10,606	Ti 22
48	9734557,768	536590,163	9,87	Ti 23
49	9734553,078	536595,981	9,904	Td 23
50	9734545,009	536605,946	9,92	Td 24
51	9734554,718	536621,375	9,156	Td 25
52	9734566,618	536611,529	9,521	Td 26
53	9734572,295	536606,279	9,45	Ti 24



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



PROYECTO: Estudio técnico para la vía Engullima - Chanduy, ubicada en Santa Elena,
provincia de Santa Elena

TUTOR: ING. NÉSTOR ALBERTO ORRALA VERA

TESISTAS: GALDEA MARTÍNEZ KELVIN FABRICIO - RODRÍGUEZ AQUINO ANTHONY JOSUE

FECHA: may-26

PUNTO	NORTE (m)	ESTE (m)	COTA (ms.nm)	DESCRIPCION
54	9734579,813	536594,237	10,189	Ti 25
55	9734590,6	536599,28	9,617	Ti 26
56	9734581,242	536615,671	8,929	Ti 27
57	9734576,984	536620,964	8,816	Td 27
58	9734576,516	536621,354	8,987	Td 28
59	9734567,591	536633,827	8,762	Td 29
60	9734572,892	536637,423	8,379	Td 30
61	9734580,726	536626,474	8,75	Arbol
62	9734581,578	536625,619	8,638	Td 31
63	9734587,315	536620,652	8,709	Ti 29
64	9734598,489	536611,43	9,067	Ti 30
65	9734610,42	536621,224	8,585	Ti 31
66	9734598,366	536633,361	8,22	Ti 32
67	9734591,754	536638,105	8,257	Td 33
68	9734590,97	536638,632	8,031	Td 34
69	9734581,761	536649,367	7,661	Td 35
70	9734593,94	536654,831	7,635	Td 36
71	9734591,73	536658,771	7,062	Td 37
72	9734599,588	536644,575	8,096	Td 38
73	9734604,199	536639,996	8,149	Ti 33
74	9734604,701	536639,503	7,965	Ti 34
75	9734618,694	536630,286	8,358	Ti 35
76	9734625,119	536644,258	8,573	Ti 36
77	9734616,907	536652,979	8,102	Ti 37
78	9734611,949	536658,032	8,011	Td 39
79	9734610,02	536660,383	8,062	Td 40
80	9734602,562	536670,609	7,549	Td 41
81	9734614,033	536681,548	7,739	Td 42
82	9734623,109	536670,01	8,166	Td 43
83	9734628,827	536665,27	8,339	Ti 38
84	9734630,511	536664,235	8,49	Ti 39
85	9734638,688	536651,968	8,535	Ti 40
86	9734653,347	536662,334	8,282	Ti 41
87	9734645,443	536680,422	8,298	Ti 42
88	9734643,918	536681,702	8,006	Ti 43
89	9734639,39	536687,463	7,981	Td 44
90	9734638,045	536688,99	8,266	Td 45
91	9734628,955	536698,352	7,804	Td 46
92	9734642,396	536710,655	7,352	Td 47
93	9734650,129	536703,063	7,712	Td 48
94	9734652,159	536701,457	7,451	Td 49
95	9734657,974	536696,968	7,381	Ti 45
96	9734660,29	536695,362	7,483	Ti 46
97	9734662,07	536693,806	7,545	Ti 47
98	9734671,007	536682,73	7,039	Ti 48
99	9734680,661	536691,67	6,27	Ti 49



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



PROYECTO: Estudio técnico para la vía Engullima - Chanduy, ubicada en Santa Elena,
provincia de Santa Elena

TUTOR: ING. NÉSTOR ALBERTO ORRALA VERA

TESISTAS: GALDEA MARTÍNEZ KELVIN FABRICIO - RODRÍGUEZ AQUINO ANTHONY JOSUE

FECHA: may-26

PUNTO	NORTE (m)	ESTE (m)	COTA (ms.nm)	DESCRIPCION
100	9734676,345	536698,336	6,509	Ti 50
101	9734674,434	536702,383	6,488	Ti 51
102	9734671,463	536707,447	6,688	Ti 52
103	9734670,109	536709,416	6,846	Ti 53
104	9734665,384	536715,837	6,941	Td 50
105	9734654,533	536724,891	6,549	Td 51
106	9734663,298	536733,569	6,439	Td 52
107	9734666,42	536725,857	6,749	Td 53
108	9734670,641	536721,513	6,878	Td 54
109	9734676,49	536716,259	6,713	Ti 54
110	9734678,647	536713,105	6,311	Ti 55
111	9734691,675	536709,21	6,033	Ti 56
112	9734704,305	536721,601	6,699	Ti 57
113	9734696,301	536735,796	7,237	Ti 58
114	9734690,296	536741,972	6,95	Td 55
115	9734689,017	536745,098	6,624	Td 56
116	9734686,86	536749,944	5,983	Td 57
117	9734682,916	536760,723	4,997	Td 58
118	9734695,983	536766,935	4,716	Td 59
119	9734699,702	536756,31	6,239	Td 60
120	9734700,733	536755,313	6,536	Td 61
121	9734701,81	536754,677	6,306	Td 62
122	9734708,598	536748,806	6,694	Ti 59
123	9734709,77	536747,591	6,902	Ti 60
124	9734710,776	536746,855	6,673	Ti 61
125	9734713,075	536742,955	6,638	Ti 62
126	9734728,235	536740,713	4,751	Ti 63
127	9734737,809	536753,131	3,698	Ti 64
128	9734728,948	536764,525	4,238	Ti 65
129	9734727,049	536767,265	4,064	Ti 66
130	9734721,211	536773,142	4,11	Td 63
131	9734719,865	536774,703	4,275	Td 64
132	9734714,698	536778,725	3,877	Td 65
133	9734704,1	536785,563	3,381	Td 66
134	9734710,843	536797,429	3,046	Td 67
135	9734720,685	536791,274	2,915	Td 68
136	9734732,768	536784,669	3,037	Td 69
137	9734739,058	536780,325	2,913	Ti 67
138	9734751,856	536767,182	2,442	Ti 68
139	9734759,571	536781,692	2,219	Ti 69
140	9734759,82	536782,167	2,081	Ti 70
141	9734749,065	536790,622	2,698	Ti 71
142	9734750,09	536787,956	2,506	Ti 72
143	9734744,111	536795,352	2,833	Td 70
144	9734738,784	536803,297	2,823	Td 71
145	9734738,113	536805,868	3,465	Td 72



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



PROYECTO: Estudio técnico para la vía Engullima - Chanduy, ubicada en Santa Elena,
provincia de Santa Elena

TUTOR: ING. NÉSTOR ALBERTO ORRALA VERA

TESISTAS: GALDEA MARTÍNEZ KELVIN FABRICIO - RODRÍGUEZ AQUINO ANTHONY JOSUE

FECHA: may-26

PUNTO	NORTE (m)	ESTE (m)	COTA (ms.nm)	DESCRIPCION
146	9734737,254	536809,074	2,334	Td 73
147	9734735,145	536819,418	2,06	Td 74
148	9734746,521	536830,789	2,048	Td 75
149	9734748,137	536832,824	1,726	Td 76
150	9734750,339	536835,636	2,142	Td 77
151	9734756,333	536826,967	1,796	Td 78
152	9734755,491	536825,557	1,622	Td 79
153	9734753,522	536823,704	2,014	Td 80
154	9734758,775	536820,399	3,549	Td 81
155	9734762,659	536824,163	3,63	Td 82
156	9734763,132	536816,842	2,675	Td 83
157	9734765,185	536816,718	2,576	Td 84
158	9734767,609	536819,368	2,411	Td 85
159	9734769,324	536810,969	2,575	Ti 73
160	9734774,976	536807,563	2,072	Ti 74
161	9734788,249	536796,718	1,547	Ti 75
162	9734796,544	536806,128	1,47	Ti 76
163	9734784,932	536822,658	1,572	Ti 77
164	9734782,71	536825,74	2,013	Ti 78
165	9734778,789	536831,18	2,104	Td 86
166	9734770,911	536836,362	3,513	Td 87
167	9734768,616	536838,428	2,479	Td 88
168	9734788,243	536841,901	1,963	Td 89
169	9734784,878	536847,877	3,729	Td 90
170	9734792,896	536855,392	3,591	Td 91
171	9734797,205	536851,268	1,952	Td 92
172	9734803,484	536846,975	1,49	Ti 79
173	9734815,615	536838,366	1,512	Ti 80
174	9734823,157	536850,318	1,64	Ti 81
175	9734814,441	536858,946	1,674	Ti 82
176	9734808,436	536865,011	1,801	Td 93
177	9734803,41	536868,441	3,489	Td 94
178	9734796,487	536872,257	2,197	Td 95
179	9734816,304	536879,208	1,769	Td 96
180	9734815,179	536879,182	1,617	Td 97
181	9734806,475	536872,27	3,712	Td 98
182	9734810,592	536871,915	2,524	Td 99
183	9734809,057	536886,723	1,573	Td 100
184	9734790,833	536891,815	2,803	Td 101
185	9734835,332	536869,893	1,74	Ti 90
186	9734824,586	536876,564	1,501	Ti 91
187	9734827,611	536892,66	1,757	Ti 92
188	9734843,866	536891,792	1,828	Ti 93
189	9734845,598	536898,348	2,549	Ti 94
190	9734841,233	536900,128	1,582	Ti 95
191	9734827,947	536905,815	1,953	Ti 96



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



PROYECTO: Estudio técnico para la vía Engullima - Chanduy, ubicada en Santa Elena, provincia de Santa Elena

TUTOR: ING. NÉSTOR ALBERTO ORRALA VERA

TESISTAS: GALDEA MARTÍNEZ KELVIN FABRICIO - RODRÍGUEZ AQUINO ANTHONY JOSUE

FECHA: may-26

PUNTO	NORTE (m)	ESTE (m)	COTA (ms.nm)	DESCRIPCION
192	9734821,047	536907,288	1,895	Td 102
193	9734803,99	536913,863	1,685	Td 103
194	9734807,098	536933,977	1,712	Td 104
195	9734823,439	536927,682	1,93	Td 105
196	9734831,432	536925,849	1,97	Td 106
197	9734831,486	536925,914	1,973	Ti 97
198	9734848,1	536921,535	1,533	Ti 98
199	9734852,163	536921,006	2,615	Ti 99
200	9734857,032	536942,857	2,749	Ti 100
201	9734839,044	536949,872	1,904	Ti 101
202	9734847,195	536976,775	1,501	Ti 102
203	9734847,2	536976,762	1,469	Ti 103
204	9734843,935	536976,364	2,149	Ti 104
205	9734860,636	536973,665	2,383	Ti 105
206	9734862,262	536976,229	3,01	Ti 106
207	9734865,975	536984,169	2,907	Ti 107
208	9734865,015	536987,369	2,421	Ti 108
209	9734866,024	536989,536	3,106	Ti 109
210	9734863,659	536990,07	2,206	Ti 110
211	9734856,745	536992,71	2,5	Ti 111
212	9734852,523	536995,203	1,398	Ti 112
213	9734849,387	536997,02	2,076	Ti 113
214	9734841,809	536998,478	2,573	Td 107
215	9734839,852	536999,209	2,857	Td 108
216	9734837,563	536999,148	2,777	Td 109
217	9734833,573	536975,593	2,149	Td 110
218	9734823,131	536971,333	2,901	Td 111
219	9734813,688	536973,068	2,576	Td 112
220	9734845,045	537010,588	2,933	Pt
221	9734834,168	537016,247	3,434	Pt0
222	9734833,589	537032,794	3,963	Pt2
223	9734851,443	537032,542	3,481	Pt3
224	9734853,805	537031,832	2,998	Pt4
225	9734859,582	537028,885	2,779	Pt5
226	9734863,523	537026,917	1,684	Pt6
227	9734869,136	537023,606	2,745	Pt7
228	9734870,746	537023,053	2,494	Pt8
229	9734880,312	537025,935	3,196	Pt9
230	9734881,164	537025,048	3,512	Pt10
231	9734878,573	537015,693	3,249	Pt11
232	9734874,981	537016,834	2,397	Pt12
233	9734870,477	537034,862	1,86	Pt13
234	9734865,938	537036,837	1,976	Pt14
235	9734855,647	537044,318	3,077	Pt15
236	9734854,453	537045,005	3,747	Pt16
237	9734852,06	537045,733	3,813	Pt17



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



PROYECTO: Estudio técnico para la vía Engullima - Chanduy, ubicada en Santa Elena,
provincia de Santa Elena

TUTOR: ING. NÉSTOR ALBERTO ORRALA VERA

TESISTAS: GALDEA MARTÍNEZ KELVIN FABRICIO - RODRÍGUEZ AQUINO ANTHONY JOSUE

FECHA: may-26

PUNTO	NORTE (m)	ESTE (m)	COTA (ms.nm)	DESCRIPCION
238	9734842,308	537046,96	3,993	Pt18
239	9734844,374	537057,502	3,419	Pt19
240	9734857,27	537056,937	3,338	Pt20
241	9734859,536	537056,56	2,989	Pt21
242	9734867,145	537055,818	2,697	Pt22
243	9734871,801	537055,495	2,157	Pt23
244	9734877,448	537054,385	2,116	Pt24
245	9734880,436	537053,651	1,761	Pt25
246	9734890,929	537063,634	2,742	Pt26
247	9734872,513	537075,246	3,006	Pt27
248	9734862,824	537080,213	3,159	Pt28
249	9734844,526	537090,834	3,523	Pt29
250	9734843,429	537115,893	3,846	Pt30
251	9734870,647	537101,634	3,615	Pt31
252	9734879,797	537099,523	3,524	Pt32
253	9734901,934	537091,231	3,419	Pt33
254	9734908,483	537115,177	4,381	Pt34
255	9734890,734	537124,734	5,107	Pt35
256	9734885,203	537125,936	4,66	Pt36
257	9734875,281	537127,024	4,441	Pt37
258	9734873,9	537127,216	4,663	Pt38
259	9734872,985	537127,268	4,904	Pt39
260	9734861,324	537132,851	4,712	Pt40
261	9734863,765	537138,749	5,252	Pt41
262	9734869,562	537145,481	6,126	Pt42
263	9734876,044	537142,943	6,028	Pt43
264	9734877,962	537142,188	5,499	Pt44
265	9734887,722	537141,218	5,769	Pt45
266	9734896,619	537139,327	6,087	Pt46
267	9734902,915	537137,08	5,709	Pt47
268	9734906,382	537149,785	5,654	Pt48
269	9734894,93	537147,878	6,444	Pt49
270	9734887,331	537147,662	6,016	Pt50
271	9734879,918	537150,487	5,938	Pt51
272	9734877,092	537151,67	6,345	Pt52
273	9734866,008	537153,563	6,276	Pt53
274	9734865,336	537172,911	5,894	Pt54
275	9734878,526	537173,575	6,262	Pt55
276	9734879,51	537173,505	6,542	Pt56
277	9734882,795	537173,406	6,263	Pt57
278	9734890,813	537173,434	6,178	Pt58
279	9734892,136	537173,21	6,355	P LUZ
280	9734904,203	537171,843	5,731	Pt59
281	9734895,332	537200,718	6,174	Pt60
282	9734897,096	537201,172	6,246	Pt61
283	9734909,524	537197,067	5,527	Pt62



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



PROYECTO: Estudio técnico para la vía Engullima - Chanduy, ubicada en Santa Elena,
provincia de Santa Elena

TUTOR: ING. NÉSTOR ALBERTO ORRALA VERA

TESISTAS: GALDEA MARTÍNEZ KELVIN FABRICIO - RODRÍGUEZ AQUINO ANTHONY JOSUE

FECHA: may-26

PUNTO	NORTE (m)	ESTE (m)	COTA (ms.nm)	DESCRIPCION
284	9734886,977	537206,158	6,305	Pt63
285	9734885,18	537206,515	6,645	Pt64
286	9734873,738	537211,497	7,138	Pt65
287	9734866,403	537241,101	8,194	Pt66
288	9734891,808	537239,644	6,976	Pt67
289	9734894,271	537239,166	6,539	Pt68
290	9734902,547	537238,407	6,375	Pt69
291	9734904,513	537237,698	6,257	Pt70
292	9734914,16	537234,227	5,459	Pt71
293	9734919,816	537253,664	5,719	Pt72
294	9734905,371	537256,269	6,4	Pt73
295	9734898,124	537259,181	6,585	Pt74
296	9734895,892	537260,194	7,016	Pt75
297	9734870,998	537268,673	8,769	Pt76
298	9734861,767	537274,389	9,357	Pt77
299	9734858,174	537267,736	9,165	Pt78
300	9734867,474	537282,351	9,186	Pt79
301	9734900,404	537280,772	7,323	Pt80
302	9734909,82	537280,258	6,553	Pt81
303	9734910,732	537279,984	6,739	P LUZ 1
304	9734922,04	537275,543	5,654	Pt 82
305	9734928,922	537301,556	5,641	Pt 83
306	9734916,502	537306,398	6,536	Pt 84
307	9734908,104	537309,326	6,811	Pt 85
308	9734906,391	537311,045	7,383	Pt 86
309	9734874,801	537303,404	8,974	Pt 87
310	9734876,15	537326,382	9,276	Pt 88
311	9734889,01	537334,351	8,472	Pt 89
312	9734900,266	537341,168	7,909	Pt 90
313	9734912,366	537343,13	7,252	Pt 91
314	9734914,222	537342,671	6,925	Pt 92
315	9734922,426	537342,835	6,789	Pt 93
316	9734934,377	537339,117	6,192	Pt 94
317	9734937,573	537358,431	7,312	Pt 95
318	9734925,319	537364,023	7,27	Pt 96
319	9734923,807	537364,294	7,082	Pt 97
320	9734917,62	537364,85	7,13	Pt 98
321	9734910,747	537365,408	7,835	Pt 99
322	9734893,651	537380,886	8,872	Pt 100
323	9734908,726	537378,56	8,16	Pt 101
324	9734917,901	537376,894	7,554	Pt 102
325	9734919,356	537376,747	7,052	Pt 103
326	9734925,961	537377,038	7,126	Pt 104
327	9734927,415	537376,713	7,577	P LUZ 3
328	9734937,795	537373,058	7,803	Pt 105
329	9735547,22	538995,629	16,711	base_1



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



PROYECTO: Estudio técnico para la vía Engullima - Chanduy, ubicada en Santa Elena,
provincia de Santa Elena

TUTOR: ING. NÉSTOR ALBERTO ORRALA VERA

TESISTAS: GALDEA MARTÍNEZ KELVIN FABRICIO - RODRÍGUEZ AQUINO ANTHONY JOSUE

FECHA: may-26

PUNTO	NORTE (m)	ESTE (m)	COTA (ms.nm)	DESCRIPCION
330	9734950,28	537403,835	7,023	Pt 106
331	9735547,22	538995,629	16,711	base_2
332	9734931,473	537413,095	6,6	Pt 107
333	9734924,922	537415,243	6,627	Pt 108
334	9734911,961	537418,827	7,235	Pt 109
335	9734909,88	537441,095	7,184	Pt 110
336	9734929,45	537434,394	6,327	Pt 111
337	9734936,712	537432,357	6,305	Pt 112
338	9734946,685	537428,15	5,693	Pt 113
339	9734943,875	537476,212	6,223	Pt 114
340	9734944,934	537476,197	6,317	P LUZ 4
341	9734956,326	537474,299	5,932	Pt 115
342	9734937,035	537476,497	6,378	Pt 116
343	9734932,173	537477,5	7,683	Pt 117
344	9734933,995	537477,452	7,553	Pt 118
345	9734927,018	537478	7,684	Pt 119
346	9734925,226	537496,448	7,742	Pt 120
347	9734937,662	537497,423	7,402	Pt 121
348	9734940,82	537496,8	6,369	Pt 122
349	9734948,186	537495,405	6,3	Pt 123
350	9734956,642	537494,031	6,195	Pt 124
351	9734962,636	537507,041	6,223	Pt 125
352	9734950,27	537511,551	6,375	Pt 126
353	9734943,73	537512,824	6,514	Pt 127
354	9734941,676	537513,534	7,29	Pt 128
355	9734935,475	537514,865	7,169	Pt 129
356	9734935,097	537530,738	7,593	Pt 130
357	9734930,807	537533,123	7,586	Pt 131
358	9734943,527	537531,103	7,481	Pt 132
359	9734946,257	537530,946	6,653	Pt 133
360	9734952,7	537530,557	6,498	Pt 134
361	9734966,779	537526,502	6,495	Pt 135
362	9734968,996	537544,312	7,187	Pt 136
363	9734953,485	537544,333	6,724	Pt 137
364	9734947,127	537545,41	6,894	Pt 138
365	9734944,85	537546,052	7,639	Pt 139
366	9734932,323	537549,99	7,533	Pt 140
367	9734933,39	537577,483	7,749	Pt 141
368	9734941,32	537576,27	7,725	Pt 142
369	9734949,087	537576,185	7,624	Pt 143
370	9734950,131	537580,852	6,756	Pt 144
371	9734932,702	537589,55	6,969	Pt 145
372	9734938,355	537598,094	7,312	Pt 146
373	9734946,933	537594,458	8,314	Pt 147
374	9734949,754	537591,836	7,21	Pt 148
375	9734951,167	537590,123	7,576	Pt 149



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



PROYECTO: Estudio técnico para la vía Engullima - Chanduy, ubicada en Santa Elena,
provincia de Santa Elena

TUTOR: ING. NÉSTOR ALBERTO ORRALA VERA

TESISTAS: GALDEA MARTÍNEZ KELVIN FABRICIO - RODRÍGUEZ AQUINO ANTHONY JOSUE

FECHA: may-26

PUNTO	NORTE (m)	ESTE (m)	COTA (ms.nm)	DESCRIPCION
376	9734957,061	537573,102	6,589	Pt 150
377	9734961,817	537574,384	7,151	P LUZ 5
378	9734973,412	537570,723	7,222	Pt 151
379	9734975,88	537569,443	7,949	Pt 152
380	9734979,183	537603,137	7,684	Pt 153
381	9734959,885	537606,86	8,283	Pt 154
382	9734951,023	537607,494	8,119	Pt 155
383	9734948,614	537608,181	8,794	Pt 156
384	9734946,229	537608,236	8,719	Pt 157
385	9734939,963	537630,693	8,925	Pt 158
386	9734953,103	537628,571	9,577	Pt 159
387	9734960,234	537629,326	9,901	Pt 160
388	9734962,78	537628,856	10,321	Pt 161
389	9734964,092	537628,492	10,126	Pt 162
390	9734962,133	537648,036	11,821	Pt 163
391	9734952,717	537649,328	11,029	Pt 164
392	9734950,261	537649,946	11,364	Pt 165
393	9734948,315	537649,89	11,178	Pt 166
394	9734952,03	537675,991	12,742	Pt 167
395	9734950,597	537676,118	12,443	Pt 168
396	9734962,81	537676,049	12,273	Pt 169
397	9734964,492	537675,727	12,584	Pt 170
398	9734965,458	537675,647	12,274	Pt 171
399	9734967,681	537699,078	12,948	Pt 172
400	9734971,157	537698,851	12,656	P LUZ 7
401	9734965,926	537698,449	12,742	Pt 173
402	9734957,831	537700,394	12,821	Pt 174
403	9734955,247	537701,189	13,357	Pt 175
404	9734953,969	537701,637	13,043	Pt 176
405	9734960,222	537733,016	13,872	Pt 177
406	9734959,077	537733,942	13,758	Pt 178
407	9734963,113	537732,584	13,397	Pt 179
408	9734970,863	537732,052	13,258	Pt 180
409	9734972,732	537731,984	13,531	Pt 181
410	9734973,377	537731,884	13,321	Pt 182
411	9734977,238	537755,19	13,582	Pt 183
412	9734978,021	537754,941	13,815	Pt 184
413	9734978,572	537754,861	13,445	Pt 185
414	9734968,254	537757,925	13,735	Pt 186
415	9734965,982	537758,124	14,032	Pt 187
416	9734954,836	537761,341	14,225	Pt 188
417	9734960,79	537786,947	14,59	Pt 189
418	9734973,267	537782,554	14,249	Pt 190
419	9734975,357	537782,021	13,936	Pt 191
420	9734982,585	537779,028	13,898	Pt 192
421	9734984,323	537778,262	14,131	Pt 193



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



PROYECTO: Estudio técnico para la vía Engullima - Chanduy, ubicada en Santa Elena,
provincia de Santa Elena

TUTOR: ING. NÉSTOR ALBERTO ORRALA VERA

TESISTAS: GALDEA MARTÍNEZ KELVIN FABRICIO - RODRÍGUEZ AQUINO ANTHONY JOSUE

FECHA: may-26

PUNTO	NORTE (m)	ESTE (m)	COTA (ms.nm)	DESCRIPCION
422	9734985,592	537778,148	13,819	Pt 194
423	9734990,509	537776,586	13,714	P LUZ 8
424	9734991,78	537809,896	14,625	Pt 195
425	9734993,702	537808,955	14,865	Pt 196
426	9734995,268	537808,086	14,595	Pt 197
427	9734983,179	537813,657	14,76	Pt 198
428	9734981,54	537814,526	14,959	Pt 199
429	9734980,372	537815,123	14,832	Pt 200
430	9734967,734	537821,477	14,936	Pt 201
431	9734972,81	537843,526	15,058	Pt 202
432	9734988,552	537838,893	14,851	Pt 203
433	9734989,24	537838,499	15,03	Pt 204
434	9734990,44	537838,178	14,756	Pt 205
435	9734998,691	537836,065	14,516	Pt 206
436	9735002,062	537834,918	14,806	Pt 207
437	9735003,114	537834,783	14,613	Pt 208
438	9735009,492	537867,141	14,411	Pt 209
439	9735010,413	537866,649	14,18	Pt 210
440	9735012,96	537865,558	14,576	P LUZ 9
441	9735013,655	537864,734	14,235	Pt 211
442	9735025,872	537898,743	14,581	Pt 212
443	9735028,755	537897,667	15,02	Pt 213
444	9735029,477	537897,101	14,636	Pt 214
445	9735020,038	537902,265	14,671	Pt 215
446	9735018,07	537903,247	15,042	Pt 216
447	9735015,913	537904,928	14,85	Pt 217
448	9735036,714	537934,211	15,172	Pt 218
449	9735034,579	537936,007	15,426	Pt 219
450	9735025,633	537938,066	15,071	Pt 220
451	9735030,083	537954,412	15,128	Pt 221
452	9735041,479	537950,197	15,496	Pt 222
453	9735043,598	537949,25	15,202	Pt 223
454	9735051,603	537945,878	15,212	Pt 224
455	9735053,473	537945,076	15,455	Pt 225
456	9735055,303	537944,832	15,278	Pt 226
457	9735065,558	537944,766	15,385	Pt 227
458	9735047,447	537956,467	15,106	Pt 228
459	9735045,76	537957,998	15,528	Pt 229
460	9735043,809	537960,035	15,321	Pt 230
461	9735038,12	537963,66	15,271	P LUZ 10
462	9735047,164	537993,832	15,062	Pt 231
463	9735060,023	537987,395	15,255	Pt 232
464	9735062,44	537986,14	15,087	Pt 233
465	9735069,02	537982,55	15,146	Pt 234
466	9735070,982	537982,028	15,586	Pt 235
467	9735073,498	537980,969	15,332	Pt 236



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



PROYECTO: Estudio técnico para la vía Engullima - Chanduy, ubicada en Santa Elena,
provincia de Santa Elena

TUTOR: ING. NÉSTOR ALBERTO ORRALA VERA

TESISTAS: GALDEA MARTÍNEZ KELVIN FABRICIO - RODRÍGUEZ AQUINO ANTHONY JOSUE

FECHA: may-26

PUNTO	NORTE (m)	ESTE (m)	COTA (ms.nm)	DESCRIPCION
468	9735081,462	538009,142	14,923	Pt 237
469	9735084,014	538008,098	15,197	Pt 238
470	9735085,083	538007,845	15,024	Pt 239
471	9735075,325	538013,816	14,81	Pt 240
472	9735072,561	538015,196	15,283	Pt 241
473	9735071,904	538015,451	14,901	Pt 242
474	9735063,278	538019,037	14,773	Pt 243
475	9735070,574	538050,427	14,447	Pt 244
476	9735081,437	538043,43	14,284	Pt 245
477	9735083,76	538040,984	14,742	Pt 246
478	9735087,095	538040,104	14,781	P LUZ 11
479	9735087,924	538039,77	14,525	Pt 247
480	9735095,857	538036,446	14,507	Pt 248
481	9735097,449	538035,152	14,909	Pt 249
482	9735098,099	538034,577	14,736	Pt 250
483	9735112,401	538069,206	13,526	Pt 251
484	9735114,467	538068,128	13,958	Pt 252
485	9735114,986	538067,564	13,775	Pt 253
486	9735104,23	538073,746	13,546	Pt 254
487	9735101,717	538075,542	13,859	Pt 255
488	9735093,682	538078,249	13,57	Pt 256
489	9735098,331	538101,767	13,566	Pt 257
490	9735101,385	538099,81	13,633	Pt 258
491	9735116,083	538095,787	12,767	Pt 259
492	9735123,829	538091,528	12,673	Pt 260
493	9735125,381	538090,602	12,917	Pt 261
494	9735126,275	538090,228	13,035	Pt 262
495	9735126,952	538090,408	12,839	Pt 263
496	9735143,095	538128,171	11,651	Pt 264
497	9735143,673	538127,815	11,704	P LUZ 12
498	9735152,09	538127,001	11,37	Pt 265
499	9735138,083	538135,012	11,635	Pt 266
500	9735547,22	538995,629	16,711	Pt 267
501	9735135,148	538137,14	12,237	Pt 268
502	9735547,22	538995,629	16,711	Pt 269
503	9735134,214	538137,857	11,956	Pt 270
504	9735151,919	538161,387	10,838	Pt 271
505	9735150,739	538162,116	11,167	Pt 272
506	9735149,026	538162,929	10,866	Pt 273
507	9735139,034	538170,185	10,982	Pt 273
508	9735150,829	538185,615	10,566	Pt 274
509	9735158,966	538179,604	10,371	Pt 275
510	9735163,595	538179,438	10,643	Pt 276
511	9735165,414	538178,288	10,598	Pt 277
512	9735173,813	538176,704	10,558	Pt 278
513	9735175,411	538175,147	11,002	Pt 279



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



PROYECTO: Estudio técnico para la vía Engullima - Chanduy, ubicada en Santa Elena,
provincia de Santa Elena

TUTOR: ING. NÉSTOR ALBERTO ORRALA VERA

TESISTAS: GALDEA MARTÍNEZ KELVIN FABRICIO - RODRÍGUEZ AQUINO ANTHONY JOSUE

FECHA: may-26

PUNTO	NORTE (m)	ESTE (m)	COTA (ms.nm)	DESCRIPCION
514	9735196,859	538212,549	10,509	Pt 280
515	9735197,687	538211,606	10,637	P LUZ 13
516	9735200,369	538209,764	10,407	Pt 281
517	9735201,474	538206,578	10,296	Pt 282
518	9735190,858	538216,973	10,611	Pt 283
519	9735189,637	538218,858	10,824	Pt 284
520	9735189,519	538219,587	10,609	Pt 285
521	9735210,819	538248,292	12,176	Pt 286
522	9735207,972	538248,956	12,693	Pt 287
523	9735206,319	538249,556	12,229	Pt 288
524	9735198,067	538253,945	12,225	Pt 289
525	9735217,111	538243,018	12,012	Pt 290
526	9735219,251	538243,028	12,316	Pt 291
527	9735220,217	538242,233	11,983	Pt 292
528	9735237,732	538277,491	13,486	Pt 293
529	9735239,643	538275,628	13,762	Pt 294
530	9735241,076	538275,155	13,483	Pt 295
531	9735232,488	538282,329	13,557	Pt 296
532	9735230,341	538283,765	14,024	Pt 297
533	9735228,726	538284,372	13,715	Pt 298
534	9735215,628	538295,344	13,702	Pt 299
535	9735227,618	538310,927	13,86	Pt 300
536	9735236,391	538305,187	14,069	Pt 301
537	9735240,275	538302,519	14,029	Pt 302
538	9735241,317	538301,624	14,235	Pt 303
539	9735243,812	538299,959	13,927	Pt 304
540	9735249,461	538296,343	13,747	Pt 305
541	9735251,192	538295,232	13,894	P LUZ 14
542	9735251,954	538294,396	13,563	Pt 306
543	9735269,726	538327,977	14,268	Pt 307
544	9735272,351	538327,179	14,354	Pt 308
545	9735281,818	538322,605	14,458	Pt 309
546	9735264,648	538332,912	14,468	Pt 310
547	9735260,711	538333,648	14,829	Pt 311
548	9735259,759	538333,855	14,617	Pt 312
549	9735243,457	538340,704	14,498	Pt 313
550	9735260,446	538361,78	14,697	Pt 314
551	9735265,52	538355,011	14,805	Pt 315
552	9735272,632	538351,494	15,094	Pt 316
553	9735274,177	538349,922	14,707	Pt 317
554	9735280,817	538345,479	14,675	Pt 318
555	9735283,265	538343,343	14,959	Pt 319
556	9735286,878	538342,073	14,571	Pt 320
557	9735293,845	538365,434	14,868	Pt 321
558	9735295,526	538363,954	15,019	Pt 322
559	9735309,703	538350,088	14,766	Pt 323



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



PROYECTO: Estudio técnico para la vía Engullima - Chanduy, ubicada en Santa Elena,
provincia de Santa Elena

TUTOR: ING. NÉSTOR ALBERTO ORRALA VERA

TESISTAS: GALDEA MARTÍNEZ KELVIN FABRICIO - RODRÍGUEZ AQUINO ANTHONY JOSUE

FECHA: may-26

PUNTO	NORTE (m)	ESTE (m)	COTA (ms.nm)	DESCRIPCION
560	9735288,394	538372,091	14,952	Pt 324
561	9735286,607	538373,174	15,158	Pt 325
562	9735275,584	538381,053	15,004	Pt 326
563	9735297,62	538384,637	15,123	Pt 327
564	9735294,672	538386,409	15,503	Pt 328
565	9735280,93	538395,305	15,08	Pt 329
566	9735306,028	538379,285	15,382	P LUZ 15
567	9735306,328	538378,251	15,106	Pt 330
568	9735330,317	538423,962	15,328	Pt 331
569	9735333,329	538422,808	15,651	Pt 332
570	9735334,072	538422,151	15,379	Pt 333
571	9735325,611	538428,457	15,245	Pt 334
572	9735324,222	538429,194	15,162	Pt 335
573	9735322,853	538430,11	15,414	Pt 336
574	9735321,659	538430,533	15,441	Pt 337
575	9735339,349	538451,24	15,272	Pt 338
576	9735337,194	538452,706	15,402	Pt 339
577	9735336,168	538453,586	15,767	Pt 340
578	9735320,265	538465,096	15,125	Pt 341
579	9735348,688	538452,425	15,232	Pt 342
580	9735350,319	538451,456	15,307	Pt 343
581	9735351,349	538451,024	15,518	Pt 344
582	9735352,325	538450,794	15,325	Pt 345
583	9735355,4	538465,367	15,068	Pt 346
584	9735358,769	538464,09	15,42	Pt 347
585	9735359,801	538463,409	15,18	P LUZ 16
586	9735360,953	538462,439	15,107	Pt 348
587	9735348,129	538470,31	15,082	Pt 349
588	9735346,345	538471,482	15,19	Pt 350
589	9735344,854	538471,687	15,033	Pt 351
590	9735327,81	538483,596	15,004	Pt 352
591	9735344,584	538506,847	14,556	Pt 353
592	9735355,469	538495,059	15,052	Pt 354
593	9735356,877	538494,36	14,934	Pt 355
594	9735359,033	538493,419	14,866	Pt 356
595	9735366,088	538492,3	14,852	Pt 357
596	9735368,841	538492,241	15,047	Pt 358
597	9735369,927	538492,363	14,98	Pt 359
598	9735375,44	538522,179	14,749	Pt 360
599	9735377,893	538521,024	14,932	Pt 361
600	9735379,217	538520,566	14,832	Pt 362
601	9735383,514	538518,029	14,606	Pt 363
602	9735369,331	538527,22	14,617	Pt 364
603	9735364,912	538528,804	14,524	Pt 365
604	9735361,969	538529,565	14,411	Pt 366
605	9735381,238	538563,545	14,128	Pt 367



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



PROYECTO: Estudio técnico para la vía Engullima - Chanduy, ubicada en Santa Elena, provincia de Santa Elena

TUTOR: ING. NÉSTOR ALBERTO ORRALA VERA

TESISTAS: GALDEA MARTÍNEZ KELVIN FABRICIO - RODRÍGUEZ AQUINO ANTHONY JOSUE

FECHA: may-26

PUNTO	NORTE (m)	ESTE (m)	COTA (ms.nm)	DESCRIPCION
606	9735376,704	538565,719	14,293	Pt 368
607	9735375,092	538566,044	13,991	Pt 369
608	9735365,685	538570,902	13,562	Pt 370
609	9735388,207	538561,257	14,252	Pt 371
610	9735390,912	538560,523	14,586	Pt 372
611	9735391,519	538559,591	14,336	Pt 373
612	9735396,295	538558,503	14,379	Pt 374
613	9735413,391	538590,016	14,323	Pt 375
614	9735401,532	538593,452	14,207	Pt 376
615	9735398,37	538595,51	13,961	Pt 377
616	9735392,186	538598,012	13,967	Pt 378
617	9735390,325	538599,162	13,918	Pt 379
618	9735387,914	538600,592	13,996	Pt 380
619	9735378,319	538608,081	13,251	Pt 381
620	9735390,268	538631,721	13,174	Pt 382
621	9735396,759	538629,444	13,465	Pt 383
622	9735397,956	538628,975	13,805	Pt 384
623	9735399,069	538627,927	13,676	Pt 385
624	9735401,175	538627,146	13,673	Pt 386
625	9735409,085	538625,773	13,731	Pt 387
626	9735410,915	538624,562	14,019	Pt 388
627	9735412,014	538623,587	13,791	Pt 389
628	9735422,521	538616,666	13,982	Pt 390
629	9735422,755	538614,13	14,125	Pt 391
630	9735423,623	538610,215	14,164	Pt 392
631	9735423,8	538605,925	14,424	Pt 393
632	9735401,901	538606,042	14,036	Pt 394
633	9735400,231	538602,95	14,119	Pt 395
634	9735400,747	538597,817	14,066	Pt 396
635	9735403,379	538610,274	13,952	Pt 397
636	9735399,979	538624,101	13,757	Pt 398
637	9735396,661	538625,698	13,958	Pt 399
638	9735394,723	538625,99	13,575	Pt 400
639	9735389,262	538631,29	13,135	Pt 401
640	9735410,737	538655,159	13,824	Pt 402
641	9735408,601	538656,445	13,869	Pt 403
642	9735398,869	538666,971	14,151	Pt 404
643	9735417,462	538650,956	13,901	Pt 405
644	9735419,947	538650,118	14,054	Pt 406
645	9735421,805	538650,203	13,977	Pt 407
646	9735429,515	538648,959	13,993	Pt 408
647	9735441	538677,827	15,042	Pt 409
648	9735431,707	538681,817	15,049	Pt 410
649	9735428,689	538683,081	14,739	Pt 411
650	9735421,185	538688,489	14,593	Pt 412
651	9735419,269	538689,456	14,993	Pt 413



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



PROYECTO: Estudio técnico para la vía Engullima - Chanduy, ubicada en Santa Elena,
provincia de Santa Elena

TUTOR: ING. NÉSTOR ALBERTO ORRALA VERA

TESISTAS: GALDEA MARTÍNEZ KELVIN FABRICIO - RODRÍGUEZ AQUINO ANTHONY JOSUE

FECHA: may-26

PUNTO	NORTE (m)	ESTE (m)	COTA (ms.nm)	DESCRIPCION
652	9735411,34	538698,498	15,022	Pt 414
653	9735418,929	538726,942	15,592	Pt 415
654	9735431,738	538721,63	15,813	Pt 416
655	9735435,426	538720,431	15,626	Pt 417
656	9735443,179	538719,497	15,644	Pt 418
657	9735446,447	538718,152	15,715	Pt 419
658	9735460,175	538715,089	15,481	Pt 420
659	9735468,389	538743,2	15,497	Pt 421
660	9735458,79	538747,355	15,713	Pt 422
661	9735455,581	538749,156	15,746	Pt 423
662	9735448,214	538752,803	15,739	Pt 424
663	9735445,277	538754,213	15,843	Pt 425
664	9735431,938	538761,827	15,77	Pt 426
665	9735458,992	538755,7	15,723	Pt 427
666	9735460,598	538759,548	15,813	Pt 428
667	9735462,745	538765,952	15,879	Pt 429
668	9735464,301	538770,636	15,933	Pt 430
669	9735492,879	538761,791	15,973	Pt 431
670	9735488,279	538754,01	15,683	Pt 432
671	9735485,619	538749,964	15,631	Pt 433
672	9735481,419	538742,579	15,536	Pt 434
673	9735465,879	538786,7	16,048	Pt 435
674	9735478,172	538789,988	16,333	Pt 436
675	9735457,095	538791,424	15,647	Pt 437
676	9735453,814	538791,956	15,88	Pt 438
677	9735441,561	538794,385	15,514	Pt 439
678	9735427,184	538820,108	15,305	Pt 440
679	9735444,378	538820,614	15,226	Pt 441
680	9735445,301	538820,936	15,438	Pt 442
681	9735448,418	538821,264	15,271	Pt 443
682	9735454,867	538824,359	15,268	Pt 444
683	9735467,073	538828,122	15,428	Pt 445
684	9735447,025	538856,322	15,234	Pt 446
685	9735449,633	538857,434	15,291	Pt 447
686	9735450,175	538858,235	15,073	Pt 448
687	9735439,208	538857,603	15,3	Pt 449
688	9735421,872	538858,157	15,147	Pt 450
689	9735431,18	538884,059	14,989	Pt 451
690	9735434,888	538883,547	15,178	Pt 452
691	9735443,586	538881,009	15,431	Pt 453
692	9735450,732	538878,215	15,348	Pt 454
693	9735463,416	538873,057	15,24	Pt 455
694	9735476,02	538898,401	15,267	Pt 456
695	9735464,189	538905,539	15,787	Pt 457
696	9735456,861	538910,825	15,736	Pt 458
697	9735454,365	538913,34	15,962	Pt 459



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



PROYECTO: Estudio técnico para la vía Engullima - Chanduy, ubicada en Santa Elena,
provincia de Santa Elena

TUTOR: ING. NÉSTOR ALBERTO ORRALA VERA

TESISTAS: GALDEA MARTÍNEZ KELVIN FABRICIO - RODRÍGUEZ AQUINO ANTHONY JOSUE

FECHA: may-26

PUNTO	NORTE (m)	ESTE (m)	COTA (ms.nm)	DESCRIPCION
698	9735447,579	538918,936	15,815	Pt 460
699	9735458,531	538945,054	16,238	Pt 461
700	9735469,302	538938,296	16,257	Pt 462
701	9735476,041	538935,195	16,502	Pt 463
702	9735488,415	538930,827	16,317	Pt 464
703	9735501,237	538950,551	16,711	Pt 465
704	9735489,199	538959,072	16,813	Pt 466
705	9735479,257	538963,965	16,733	Pt 467
706	9735464,84	538974,384	16,297	Pt 468
707	9735492,692	538974,056	16,9	Pt 469
708	9735490,171	538967,035	16,994	Pt 470
709	9735486,04	538956,415	16,784	Pt 471
710	9735483,072	538948,586	16,655	Pt 472
711	9735510,713	538961,565	16,597	Pt 473
712	9735507,161	538970,668	16,662	Pt 474
713	9735506,001	538976,131	16,811	Pt 475
714	9735506,13	538984,48	16,894	Pt 476
715	9735547,22	538995,629	16,632	Pt 270
716	9735547,183	538995,643	16,77	Pt 477
717	9735504,545	538997,289	17,041	Pt 478
718	9735503,822	538992,306	16,988	Pt 479
719	9735507,133	539002,279	17,096	Pt 480
720	9735509,257	539005,261	17,115	Pt 481
721	9735498,706	539001,978	17,019	Pt 482
722	9735500,128	539009,856	17,055	Pt 483
723	9735493,463	539010,409	16,929	Pt 484
724	9735483,369	539012,576	16,713	Pt 485
725	9735502,196	539049,752	17,168	Pt 486
726	9735507,701	539050,394	17,128	Pt 487
727	9735501,646	539052,329	17,2	Pt 488
728	9735496,381	539054,11	17,21	Pt 489
729	9735503,968	539063,147	17,359	Pt 490
730	9735498,422	539065,783	17,349	Pt 491
731	9735488,602	539049,817	17,145	Pt 492
732	9735492,413	539050,893	17,16	Pt 493
733	9735476,641	539086,261	17,581	Pt 494
734	9735481,757	539088,781	17,515	Pt 495
735	9735489,429	539092,502	17,704	Pt 496
736	9735466,445	539083,529	17,583	Pt 497
737	9735465,816	539115,933	17,885	Pt 498
738	9735470,743	539118,207	17,893	Pt 499
739	9735455,929	539156,601	17,744	Pt 500
740	9735451,3	539154,706	17,624	Pt 501
741	9735450,373	539165,985	17,569	Pt 502
742	9735454,461	539166,458	17,628	Pt 503
743	9735465,023	539160,853	17,839	Pt 504



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



PROYECTO: Estudio técnico para la vía Engullima - Chanduy, ubicada en Santa Elena,
provincia de Santa Elena

TUTOR: ING. NÉSTOR ALBERTO ORRALA VERA

TESISTAS: GALDEA MARTÍNEZ KELVIN FABRICIO - RODRÍGUEZ AQUINO ANTHONY JOSUE

FECHA: may-26

PUNTO	NORTE (m)	ESTE (m)	COTA (ms.nm)	DESCRIPCION
744	9735466,306	539164,266	17,884	Pt 505
745	9735455,619	539171,458	17,852	Pt 506
746	9735449,266	539173,626	17,614	Pt 507
747	9735439,705	539170,657	16,824	rio
748	9735445,676	539169,836	16,935	rio0
749	9735434,991	539170,75	16,638	rio1
750	9735430,949	539172,909	16,599	rio2
751	9735429,674	539177,493	16,863	Pt 508
752	9735449,551	539184,366	17,723	Pt 509
753	9735455,923	539184,963	17,798	Pt 510
754	9735457,328	539202,937	17,789	Pt 511
755	9735452,134	539203,521	17,73	Pt 512
756	9735453,534	539222,324	17,878	Pt 513
757	9735458,921	539222,876	17,972	Pt 514
758	9735468,904	539223,993	17,882	Pt 515
759	9735460,36	539241,975	18,036	Pt 516
760	9735454,972	539242,825	18,047	Pt 517
761	9735456,071	539260,788	18,212	Pt 518
762	9735462,456	539261,279	18,261	Pt 519
763	9735477,784	539268,967	18,378	Pt 520
764	9735482,096	539289,407	18,493	Pt 521
765	9735471,863	539291,483	18,574	Pt 522
766	9735465,997	539292,254	18,388	Pt 523
767	9735459,926	539293,237	18,319	Pt 524
768	9735461,48	539301,456	18,364	Pt 525
769	9735468,848	539300,893	18,461	Pt 526
770	9735470,061	539313,548	18,557	Pt 527
771	9735462,991	539315,62	18,469	Pt 528
772	9735464,918	539323,816	18,484	Pt 529
773	9735471,911	539322,046	18,601	Pt 530
774	9735469,525	539334,07	18,587	Pt 531
775	9735476,956	539343,283	18,779	Pt 532
776	9735473,772	539353,366	18,784	Pt 533
777	9735480,144	539360,95	18,915	Pt 534
778	9735475,135	539362,21	18,823	Pt 535
779	9735461,33	539366,697	18,75	Pt 536
780	9735457,681	539352,577	18,51	Pt 537
781	9735455,131	539342,51	18,33	Pt 538
782	9735457,289	539376,563	18,733	Pt 539
783	9735464,137	539377,678	18,935	Pt 540
784	9735476,893	539378,481	18,947	Pt 541
785	9735481,954	539378,799	19,115	Pt 542
786	9735490,862	539378,621	18,621	Pt 543
787	9735482,143	539392,763	19,189	Pt 544
788	9735477,13	539393,682	19,126	Pt 545
789	9735477,073	539403,269	19,249	Pt 546



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



PROYECTO: Estudio técnico para la vía Engullima - Chanduy, ubicada en Santa Elena,
provincia de Santa Elena

TUTOR: ING. NÉSTOR ALBERTO ORRALA VERA

TESISTAS: GALDEA MARTÍNEZ KELVIN FABRICIO - RODRÍGUEZ AQUINO ANTHONY JOSUE

FECHA: may-26

PUNTO	NORTE (m)	ESTE (m)	COTA (ms.nm)	DESCRIPCION
790	9735482,852	539403,881	19,339	Pt 547
791	9735490,076	539406,147	19,276	Pt 548
792	9735480,355	539391,22	19,07	Pt 549
793	9735479,08	539377,264	18,951	Pt 550
794	9735478,274	539366,675	18,841	Pt 551
795	9735477,15	539357,331	18,766	Pt 552
796	9735475,097	539348,02	18,69	Pt 553
797	9735472,342	539337,118	18,63	Pt 554
798	9735470,18	539328,58	18,573	Pt 555
799	9735467,862	539318,971	18,509	Pt 556
800	9735465,918	539309,434	18,431	Pt 557
801	9735463,685	539299,338	18,36	Pt 558
802	9735462,311	539290,476	18,325	Pt 559
803	9735460,504	539278,701	18,263	Pt 560
804	9735459,589	539267,993	18,236	Pt 561
805	9735458,778	539258,293	18,175	Pt 562
806	9735458,088	539247,691	18,063	Pt 563
807	9735457,535	539236,856	17,988	Pt 564
808	9735457,141	539228,111	17,927	Pt 565
809	9735456,819	539217,455	17,868	Pt 566
810	9735456,347	539208,489	17,802	Pt 567
811	9735454,955	539194,816	17,738	Pt 568
812	9735453,004	539186,288	17,711	Pt 569
813	9735452,144	539175,321	17,63	Pt 570
814	9735452,398	539165,385	17,608	Pt 571
815	9735454,195	539156,098	17,642	Pt 572
816	9735457,144	539146,86	17,751	Pt 573
817	9735460,794	539136,706	17,872	Pt 574
818	9735464,071	539126,985	17,906	Pt 575
819	9735467,18	539117,117	17,874	Pt 576
820	9735470,186	539108,569	17,831	Pt 577
821	9735472,981	539100,452	17,692	Pt 578
822	9735477,811	539088,626	17,557	Pt 579
823	9735482,766	539078,411	17,425	Pt 580
824	9735487,561	539068,987	17,319	Pt 581
825	9735485,197	539067,63	17,346	Pt 582
826	9735461,956	539065,4928	17,28384718	Pt 583
827	9735461,63	539056,7366	17,23843325	Pt 584
828	9735461,304	539047,9804	17,19301933	Pt 585

Anexo III

Equipos y Materiales de Topografías.

Anexo 1 Equipos utilizados para el levantamiento

RTK TRIMBLE R10 GNSS



TRIPODE

CONTROLADORA



FLEXÓMETRO

BASTÓN DE CARBONO



Anexo 2 Ficha y Especificaciones Técnicas del equipo utilizado.

Característica	Especificación	Aplicación en el proyecto
Equipo	Receptor GNSS E1	Equipo utilizado para el levantamiento topográfico mediante posicionamiento satelital.
Marca / serie	SingularXYZ - Serie E1	Identificación del modelo según ficha técnica.
Constelaciones GNSS	GPS, BDS, GLONASS, Galileo, QZSS, IRNSS y SBAS	Permite seguimiento simultáneo de varias constelaciones, mejorando disponibilidad de satélites.
Precisión en modo RTK	8 mm + 1 ppm horizontal; 15 mm + 1 ppm vertical	Margen de precisión de referencia para el levantamiento cuando se trabaja con solución RTK fija y condiciones adecuadas.
Precisión en posproceso estático	2,5 mm + 0,5 ppm horizontal; 5 mm + 0,5 ppm vertical	Aplicable en mediciones estáticas procesadas posteriormente.
Precisión autónoma	1,5 m horizontal; 2,5 m vertical	Referencia de precisión sin correcciones diferenciales.
DGPS	0,4 m horizontal; 0,8 m vertical	Precisión mejorada mediante correcciones diferenciales.
SBAS	< 1,0 m RMS 3D	Precisión de referencia con sistemas de aumentación satelital.
Inicialización RTK	< 5 s típico; fiabilidad > 99,9 %	Permite iniciar rápidamente el posicionamiento RTK en condiciones favorables.
Levantamiento con inclinación	< 2,5 cm con inclinación de 60°	Facilita la toma de puntos cuando el jalón no puede mantenerse completamente vertical.
Comunicación UHF	Rango de trabajo de 5 km a 15 km en entornos ideales	Permite trabajar con base y rover, considerando que el alcance depende del entorno.
Protección ambiental	IP68; resistente al agua y al polvo	Adecuado para condiciones de campo.
Batería	6700 mAh; más de 20 horas de trabajo	Autonomía suficiente para jornadas de levantamiento.
Almacenamiento	8 GB, ampliable hasta 32 GB	Capacidad para almacenar datos de medición estática y registros de campo.

RECEPTOR GNSS E1

Versión 12-05-2023

SEGUIMIENTO DE SATÉLITES

BDS	B1I, B2I, B3I, B1C, B2C, B3C
GPS	L1 C/A, L1C, L2P, L2C, L5
GLONASS	G1, G3, G3C
Galileo	E1, E5A, E5B
QZSS	L1, L2, L5
IRNSS	L5
SBAS	GNSS, EGNOS, GAGAN, REGNAV, TANSAT
Banda L	Actualizable <10s
Arranque en frío	
Tiempo de inicialización de RTK	<5 s (típico)
Fiabilidad de inicialización de RTK	>99,9 %
Resolución	<1 s

EXACTITUD

Autónomo	1,5 m horizontalmente 2,5 m verticalmente
DGPS	0,4 m horizontalmente 0,8 m verticalmente
Postprocesamiento estático	2,5 mm + 0,5 ppm horizontalmente 5 mm + 0,5 ppm verticalmente
RTK	8 mm + 1 ppm horizontalmente 15 mm + 1 ppm verticalmente
SBAS	< 1,0 m RMS 3D
Precisión horaria	20 ns
Levantamiento con inclinación	< 2,5 cm con inclinación de 60°

FORMATO DE DATOS

Formato de salida de datos	- NMEA-0183 - RINEX 3.020.04 - Formato binario *Jury 5
Tasa de muestreo en tiempo	50Hz seleccionable
Formato de datos de corrección	- RTCM v3.30, 303, 103.2 - CMR

Protocolos soportados: Cliente Ntrip, Servidor Ntrip, Ntrip Client, TCP

COMUNICACIÓN

Modem UHF2	- Rango de trabajo: 5km - 15km en entornos ideales Rango - de frecuencia: 410-470MHz Protocolo: TRIMATUL, TRANSBOT, SATTEL, TRIMARX3, etc. - Espectro de canales: 25 KHz - Potencia de transmisión: 0,5 W/1 W seleccionable
Bluetooth	Modo dual BT4.2
NFC	Admite conexión NFC
Interfaz	1 puerto lomo de 7 pines para transmisión RS232 y fuente de alimentación 1 conector TNC para antena - UHF 1 puerto USB tipo C para descarga de datos, estática y actualización de firmware
Wi-Fi	Firmware 802.11 a/b/g/n/ac

INTERACCIÓN DEL USUARIO

Indicadores	4 LED que indican batería/carga, seguimiento satelital, transmisión de datos de corrección y grabación estática 2 botones
Botón	para encendido y función

ELÉCTRICO

Consumo de energía	3,0 W
Voltaje de entrada	DC 9-28 V
Batería	- 6700 mAh, más de 20 horas de tiempo de trabajo - Carga rápida de 2,5 horas de tiempo de carga

FÍSICO

Tamaño	Ø120,5 mm x 67 mm
Peso	400g
Resistencia	IP68
Materiales de la carcasa	Aluminio de magnesio y aluminio
Oscilador (opcional)	Para la transmisión de voz del estado en tiempo real

AMBIENTAL

Temperatura de trabajo	-40 °C a +60 °C
Temperatura de almacenamiento	-55 °C a +65 °C
Humedad	100% sin condensación
Resistente al agua y al polvo	IP68
Altura	Diseñado para sobrevivir a una caída de 2 metros horizontal

1. La señal BDS B2C está reservada para futuras actualizaciones.
2. El modem UHF2 integrado no es compatible con los modems UHF externos del mercado. Para solucionar las diferentes necesidades de los usuarios, SingularXYZ también ofrece la opción de UHF externo, compatible con UHF de otros marcas.
3. Por favor, consulte con el proveedor al instalar el perfil.
4. El sistema integrado de trabajo del modem UHF integrado es de 10 L en entornos ideales.
5. El consumo de energía de RTK varía según las diferentes marcas de trabajo.
6. El almacenamiento se puede ampliar hasta 32 GB según las demandas del usuario.

Todas las especificaciones están sujetas a cambios sin previo aviso.

©2023 SingularXYZ Intelligent Technology Ltd. Todos los derechos reservados. SingularXYZ es la marca oficial de SingularXYZ Intelligent Technology Ltd., registrada en la República Popular China, UE. Todas las demás marcas comerciales son propiedad de sus respectivos dueños.

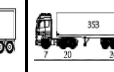
Anexo IV

Registro de Aforo Vehicular.

Anexo 1 Aforo vehicular martes 12 de mayo de 2026.

TRAMO DE LA CARRETERA
SENTIDO
UBICACIÓN

DÍA:	MARTES
FECHA	12/05/2026
ENCUESTADOR	

HORA	LIVIANOS			BUSES		CAMIONES				TRAYLER					VOLQUETA		
	MOTO	AUTOMOVIL		CAMIONETA	BUSETA	BUS		C2P	C2G	C3	C3-S1	C2-S1	C2-S2	C3-S2	C3-S3		
	MOTO	AUTO	FAMILIAR	CAMIONETA	BUSETA	BUSES	2D	2DA	2DB	3A	3S1	2S1	2S2	3S2	3S3	V3A	VZ2
																	
07h00 08h00	12	10	3	2	2	2	4	3	0	2	0	0	0	2	3	2	2
08h00 09h00	4	4	0	0	3	1	5	1	2	3	0	0	0	4	4	2	1
09h00 10h00	3	2	1	4	2	1	4	5	1	5	0	0	0	6	4	1	1
10h00 11h00	5	2	4	1	1	1	2	2	0	4	0	0	0	5	2	1	2
11h00 12h00	11	4	6	0	1	0	6	3	2	3	0	0	0	5	6	2	1
12h00 13h00	16	8	10	6	4	4	4	3	4	8	0	0	0	8	7	2	2
13h00 14h00	12	4	4	2	0	1	1	4	0	7	0	0	0	4	5	1	2
14h00 15h00	6	2	0	3	1	1	2	1	1	3	0	0	0	6	8	0	1
15h00 16h00	4	4	2	0	1	1	0	3	3	3	0	0	0	5	5	1	0
16h00 17h00	5	6	2	0	0	0	3	1	2	1	0	0	0	8	5	0	1
17h00 18h00	14	6	4	2	2	2	2	2	3	4	0	0	0	8	4	1	3
TOTAL	92	52	36	20	17	14	33	28	18	43	0	0	0	61	53	13	16



Anexo 2 Aforo vehicular miércoles 13 de mayo de 2026

TRAMO DE LA CARRETERA
SENTIDO
UBICACIÓN

DÍA:	MIÉRCOLES
FECHA	13/05/2026
ENCUESTADOR	

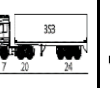
HORA	LIVIANOS				BUSES		CAMIONES				TRAYLER					VOLQUETA		TOTAL
	MOTO	AUTOMOVIL		CAMIONETA	BUSETA	BUS		C2P	C2G	C3	C3-S1	C2-S1	C2-S2	C3-S2	C3-S3			
	MOTO	AUTO	FAMILIAR	CAMIONETA	BUSETA	BUSES	2D	2DA	2DB	3A	3S1	2S1	2S2	3S2	3S3	V3A	VZ2	
																		
07h00 08h00	8	6	2	1	1	1	6	2	1	4	0	0	0	5	3	1	1	42
08h00 09h00	11	4	7	0	1	3	5	2	2	3	0	0	0	7	2	0	1	48
09h00 10h00	6	7	3	1	2	1	3	3	1	6	0	0	0	4	1	1	2	41
10h00 11h00	9	7	5	4	0	1	1	6	0	3	0	0	0	2	5	2	1	46
11h00 12h00	26	12	8	0	2	1	2	8	2	4	0	0	0	9	11	0	2	87
12h00 13h00	15	8	3	3	1	1	5	5	2	6	0	0	0	11	15	0	2	77
13h00 14h00	12	3	5	1	0	1	3	2	0	5	0	0	0	7	8	2	3	52
14h00 15h00	9	2	2	0	0	2	2	1	0	5	0	0	0	4	4	1	2	34
15h00 16h00	8	1	1	0	0	1	3	1	1	4	0	0	0	9	5	2	2	38
16h00 17h00	5	6	3	2	2	3	3	3	1	5	0	0	0	12	3	0	1	49
17h00 18h00	8	11	4	0	2	1	7	3	2	6	0	0	0	5	10	2	1	62
TOTAL	117	67	43	12	11	16	40	36	12	51	0	0	0	75	67	11	18	576



Anexo 3 Aforo vehicular jueves 14 de mayo de 2026

TRAMO DE LA CARRETERA
SENTIDO
UBICACIÓN

DÍA:	JUEVES
FECHA	14/05/2026
ENCUESTADOR	

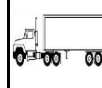
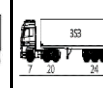
HORA	LIVIANOS				BUSES		CAMIONES				TRAYLER					VOLQUETA		TOTAL
	MOTO	AUTOMOVIL		CAMIONETA	BUSETA	BUS		C2P	C2G	C3	C3-S1	C2-S1	C2-S2	C3-S2	C3-S3			
	MOTO	AUTO	FAMILIAR	CAMIONETA	BUSETA	BUSES	2D	2DA	2DB	3A	3S1	2S1	2S2	3S2	3S3	V3A	VZS	
																		
07h00 08h00	7	7	2	0	2	2	4	4	2	3	0	0	0	6	5	1	3	48
08h00 09h00	5	5	0	2	2	1	3	1	0	1	0	0	0	4	9	0	3	36
09h00 10h00	9	8	3	0	1	1	1	2	0	3	0	0	0	7	11	0	1	47
10h00 11h00	6	7	3	1	1	0	2	2	0	4	0	0	0	6	7	1	1	41
11h00 12h00	13	9	2	0	1	0	4	0	1	3	0	0	0	12	6	1	1	53
12h00 13h00	11	15	2	3	2	1	2	3	1	5	0	0	0	4	9	0	2	60
13h00 14h00	9	5	1	2	0	1	3	2	1	3	0	0	0	6	5	0	3	41
14h00 15h00	10	4	3	1	1	1	1	4	0	3	0	0	0	4	9	1	2	44
15h00 16h00	6	7	0	0	1	0	2	0	1	4	0	0	0	6	9	0	2	38
16h00 17h00	14	5	3	0	0	1	4	1	2	3	0	0	0	9	5	0	1	48
17h00 18h00	12	7	3	0	2	2	3	3	1	7	0	0	0	8	5	2	2	57
TOTAL	102	79	22	9	13	10	29	22	9	39	0	0	0	72	80	6	21	513



Anexo 4 Aforo vehicular viernes 15 de mayo de 2026

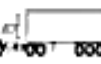
TRAMO DE LA CARRETERA
SENTIDO
UBICACIÓN

DÍA:	VIERNES
FECHA	15/05/2026
ENCUESTADOR	

HORA	LIVIANOS				BUSES		CAMIONES				TRAYLER					VOLQUETA		TOTAL
	MOTO	AUTOMOVIL		CAMIONETA	BUSETA	BUS		C2P	C2G	C3	C3-S1	C2-S1	C2-S2	C3-S2	C3-S3			
	MOTO	AUTO	FAMILIAR	CAMIONETA	BUSETA	BUSES	2D	2DA	2DB	3A	3S1	2S1	2S2	3S2	3S3	V3A	VZ2	
																		
07h00 08h00	12	7	3	1	1	1	4	2	3	3	0	0	0	1	4	1	2	45
08h00 09h00	8	6	1	0	2	0	5	8	2	2	0	0	0	2	3	2	2	43
09h00 10h00	13	4	4	3	2	1	2	5	2	3	0	0	0	3	2	1	0	45
10h00 11h00	16	9	3	3	2	3	2	1	2	4	0	0	0	0	4	0	1	50
11h00 12h00	12	10	5	1	1	1	1	3	3	4	0	0	0	5	9	2	1	58
12h00 13h00	21	12	3	1	2	2	4	3	3	3	0	0	0	11	13	2	0	80
13h00 14h00	10	7	3	5	1	0	2	1	2	1	0	0	0	8	10	1	2	53
14h00 15h00	6	13	5	2	1	1	0	1	2	1	0	0	0	6	8	1	2	49
15h00 16h00	11	6	3	1	2	1	2	6	2	3	0	0	0	6	8	1	3	55
16h00 17h00	9	7	3	1	1	3	3	2	1	4	0	0	0	8	5	1	1	49
17h00 18h00	15	5	4	1	1	0	6	3	1	4	0	0	0	9	9	0	1	59
TOTAL	133	86	37	19	16	13	31	35	23	32	0	0	0	59	75	12	15	586



Anexo 5 Aforo vehicular en la zona de estudio.

FECHA	LIVIANOS			BUSES			CAMIONES			TRAYLER		VOLQUETA		TOTAL
	Automóvil		Camioneta	Buseta	Bus	0	C2P	C2G	C3	C3-S2	C3-S3	0	0	
	Auto	Familiar	Camioneta	Buseta	Buses	2D	2DA	2DB	3A	3S2	3S3	V3A	VZS	
														
martes, 12 de mayo de 2026	113	82	33	17	14	33	28	18	43	29	24	13	16	463
miércoles, 13 de mayo de 2026	150	91	30	14	16	40	36	12	51	21	22	11	18	512
jueves, 14 de mayo de 2026	153	85	28	16	15	29	22	9	39	20	27	6	21	470
viernes, 15 de mayo de 2026	157	94	32	16	13	31	35	23	32	25	22	12	15	507
Total	573	352	123	63	58	133	121	62	165	95	95	42	70	1952
TPDS (Tránsito)	143	88	31	16	15	33	30	16	41	24	24	11	18	488
Distribución %	29,35	18,03	6,30	3,23	2,97	6,81	6,20	3,18	8,45	4,87	4,87	2,15	3,59	100
Total %	53,69		6,20			24,64			9,73		5,74		100	

Anexo 6 Factor diario

FECHA	Días de conteo vehicular	FACTOR DIARIO
martes, 12 de mayo de 2026	463	1,05
miércoles, 13 de mayo de 2026	512	0,95
jueves, 14 de mayo de 2026	470	1,04
viernes, 15 de mayo de 2026	507	0,96
TOTAL	1952	4,01
TPDS (TOTAL/ N.º DIAS)	488	1,00

Anexo 7 Factor de ajuste mensual utilizado

MES	Factor
Enero	1,07
Febrero	1,132
Marzo	1,085
Abril	1,093
Mayo	1,012
Junio	1,034
Julio	1,982
Agosto	0,974
Septiembre	0,923
Octubre	0,931
Noviembre	0,953
Diciembre	0,878

Anexo 8 Composición vehicular de la vía de estudio

COMPOSICIÓN VEHICULAR		
VEHÍCULO	PORCENTAJE	CANTIDAD
Liviano	53,7	141
Buses	6,2	16
Pesados	41,4	105
TOTAL	100%	263

Anexo 9 Distribución del tráfico

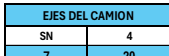
DISTRIBUCIÓN DE TRÁFICO			
TRÁFICO ANUAL	%	VEHÍCULOS	
LIVIANOS			
AUTOS	29,4%	77,194	77
FAMILIAR	18,0%	47,421	47
CAMIONETAS	6,3%	16,570	17
BUSES			
BUSETA	3,2%	8,487	8
BUS	3,0%	7,814	8
PESADOS			
2D	6,8%	17,918	18
2DA	6,2%	16,301	16
2DB	3,2%	8,353	8
3A	8,5%	22,229	22
3S2	4,9%	12,798	13
3S3	4,9%	12,798	13
V3A	2,2%	5,658	6
VZA	3,6%	9,430	9
Σ=	100%	Σ=	263

Anexo 10 Tráfico Futuro (Proyectado 10 años)

TRÁFICO FUTURO (PROYECTADO 10 AÑOS)								
AÑO	N.º	i %	LIVIANOS	i %	BUSES	i %	PESADOS	TOTAL
			Tf=Ta(1+i) ⁿ		Tf=Ta(1+i) ⁿ		Tf=Ta(1+i) ⁿ	
2025	0	0	195	0	16	0	105	263
2026	1		195		17		107	269
2027	2		195		17		109	276
2028	3	3,25	195	1,62	17	1,58	111	283
2029	4		195		17		112	290
2030	5		195		18		114	297
2031	6		195		18		116	305
2032	7		195		18		118	313
2033	8	3,35	195	1,72	19	1,67	120	321
2034	9		195		19		122	330
2035	10		195		19		124	339

Anexo V

Registro de cálculo de factor camión

CALCULO FACTOR CAMION																																																								
LIVIANOS																																																								
AUTOS				FAMILIAR				CAMIONETAS																																																
 <table><tr><td>TN:</td><td>2</td><td>3</td></tr><tr><td>Kips:</td><td>4,41</td><td>6,61</td></tr><tr><td>Factor camion</td><td colspan="2">0,04</td></tr></table>				TN:	2	3	Kips:	4,41	6,61	Factor camion	0,04		 <table><tr><td>TN:</td><td>3</td><td>4</td></tr><tr><td>Kips:</td><td>6,61</td><td>8,82</td></tr><tr><td>Factor camion</td><td colspan="2">0,13</td></tr></table>				TN:	3	4	Kips:	6,61	8,82	Factor camion	0,13		 <table><tr><td>TN:</td><td>3</td><td>4</td></tr><tr><td>Kips:</td><td>6,61</td><td>8,82</td></tr><tr><td>Factor camion</td><td colspan="2">0,13</td></tr></table>		TN:	3	4	Kips:	6,61	8,82	Factor camion	0,13		 <table><tr><td colspan="2">EJES DEL CAMION</td></tr><tr><td>SN</td><td>4</td></tr><tr><td>3</td><td>4</td></tr><tr><td>0,036</td><td>0,093</td></tr></table>		EJES DEL CAMION		SN	4	3	4	0,036	0,093										
TN:	2	3																																																						
Kips:	4,41	6,61																																																						
Factor camion	0,04																																																							
TN:	3	4																																																						
Kips:	6,61	8,82																																																						
Factor camion	0,13																																																							
TN:	3	4																																																						
Kips:	6,61	8,82																																																						
Factor camion	0,13																																																							
EJES DEL CAMION																																																								
SN	4																																																							
3	4																																																							
0,036	0,093																																																							
BUSES																																																								
BUSETA					BUS																																																			
 <table><tr><td>TN:</td><td>7</td><td>11</td></tr><tr><td>Kips:</td><td>15,43</td><td>24,24</td></tr><tr><td>Factor camion</td><td colspan="2">3,53</td></tr></table>					TN:	7	11	Kips:	15,43	24,24	Factor camion	3,53		 <table><tr><td>TN:</td><td>7</td><td>11</td></tr><tr><td>Kips:</td><td>15,43</td><td>24,24</td></tr><tr><td>Factor camion</td><td colspan="2">3,53</td></tr></table>					TN:	7	11	Kips:	15,43	24,24	Factor camion	3,53		 <table><tr><td colspan="2">EJES DEL CAMION</td></tr><tr><td>SN</td><td>4</td></tr><tr><td>7</td><td>11</td></tr><tr><td>1,14</td><td>2,39</td></tr></table>					EJES DEL CAMION		SN	4	7	11	1,14	2,39																
TN:	7	11																																																						
Kips:	15,43	24,24																																																						
Factor camion	3,53																																																							
TN:	7	11																																																						
Kips:	15,43	24,24																																																						
Factor camion	3,53																																																							
EJES DEL CAMION																																																								
SN	4																																																							
7	11																																																							
1,14	2,39																																																							
PESADOS																																																								
2D			2DA			2DB																																																		
 <table><tr><td>TN:</td><td>3</td><td>4</td></tr><tr><td>Kips:</td><td>6,61</td><td>8,82</td></tr><tr><td>Factor camion</td><td colspan="2">0,13</td></tr></table>			TN:	3	4	Kips:	6,61	8,82	Factor camion	0,13		 <table><tr><td>TN:</td><td>3</td><td>7</td></tr><tr><td>Kips:</td><td>6,61</td><td>15,43</td></tr><tr><td>Factor camion</td><td colspan="2">1,18</td></tr></table>			TN:	3	7	Kips:	6,61	15,43	Factor camion	1,18		 <table><tr><td>TN:</td><td>7</td><td>11</td></tr><tr><td>Kips:</td><td>15,43</td><td>24,24</td></tr><tr><td>Factor camion</td><td colspan="2">3,53</td></tr></table>				TN:	7	11	Kips:	15,43	24,24	Factor camion	3,53		 <table><tr><td colspan="2">EJES DEL CAMION</td></tr><tr><td>SN</td><td>4</td></tr><tr><td>7</td><td>11</td></tr><tr><td>1,14</td><td>2,39</td></tr></table>				EJES DEL CAMION		SN	4	7	11	1,14	2,39								
TN:	3	4																																																						
Kips:	6,61	8,82																																																						
Factor camion	0,13																																																							
TN:	3	7																																																						
Kips:	6,61	15,43																																																						
Factor camion	1,18																																																							
TN:	7	11																																																						
Kips:	15,43	24,24																																																						
Factor camion	3,53																																																							
EJES DEL CAMION																																																								
SN	4																																																							
7	11																																																							
1,14	2,39																																																							
3A			3S2			3S3																																																		
 <table><tr><td>TN:</td><td>7</td><td>20</td></tr><tr><td>Kips:</td><td>15,43</td><td>44,08</td></tr><tr><td>Factor camion</td><td colspan="2">3,66</td></tr></table>			TN:	7	20	Kips:	15,43	44,08	Factor camion	3,66		 <table><tr><td>TN:</td><td>7</td><td>20</td><td>20</td></tr><tr><td>Kips:</td><td>15,43</td><td>44,08</td><td>44,08</td></tr><tr><td>Factor camion</td><td colspan="3">6,18</td></tr></table>			TN:	7	20	20	Kips:	15,43	44,08	44,08	Factor camion	6,18			 <table><tr><td>TN:</td><td>7</td><td>20</td><td>24</td></tr><tr><td>Kips:</td><td>15,43</td><td>44,08</td><td>52,90</td></tr><tr><td>Factor camion</td><td colspan="3">5,23</td></tr></table>				TN:	7	20	24	Kips:	15,43	44,08	52,90	Factor camion	5,23			 <table><tr><td colspan="2">EJES DEL CAMION</td></tr><tr><td>SN</td><td>4</td></tr><tr><td>7</td><td>20</td></tr><tr><td>1,14</td><td>2,52</td></tr><tr><td>1,57</td><td></td></tr></table>				EJES DEL CAMION		SN	4	7	20	1,14	2,52	1,57	
TN:	7	20																																																						
Kips:	15,43	44,08																																																						
Factor camion	3,66																																																							
TN:	7	20	20																																																					
Kips:	15,43	44,08	44,08																																																					
Factor camion	6,18																																																							
TN:	7	20	24																																																					
Kips:	15,43	44,08	52,90																																																					
Factor camion	5,23																																																							
EJES DEL CAMION																																																								
SN	4																																																							
7	20																																																							
1,14	2,52																																																							
1,57																																																								
V3A					V3A																																																			
 <table><tr><td>TN:</td><td>7</td><td>20</td></tr><tr><td>Kips:</td><td>15,43</td><td>44,08</td></tr><tr><td>Factor camion</td><td colspan="2">3,66</td></tr></table>					TN:	7	20	Kips:	15,43	44,08	Factor camion	3,66		 <table><tr><td>TN:</td><td>7</td><td>20</td></tr><tr><td>Kips:</td><td>15,43</td><td>44,08</td></tr><tr><td>Factor camion</td><td colspan="2">3,66</td></tr></table>					TN:	7	20	Kips:	15,43	44,08	Factor camion	3,66		 <table><tr><td colspan="2">EJES DEL CAMION</td></tr><tr><td>SN</td><td>4</td></tr><tr><td>7</td><td>20</td></tr><tr><td>1,14</td><td>2,52</td></tr></table>					EJES DEL CAMION		SN	4	7	20	1,14	2,52																
TN:	7	20																																																						
Kips:	15,43	44,08																																																						
Factor camion	3,66																																																							
TN:	7	20																																																						
Kips:	15,43	44,08																																																						
Factor camion	3,66																																																							
EJES DEL CAMION																																																								
SN	4																																																							
7	20																																																							
1,14	2,52																																																							

Anexo 1 Factores Equivalentes De Carga Para Pavimentos Flexibles, Ejes Simples, Pt = 3

Carga/eje		SN pulg (mm)					
(kps)	(kN)	1,0 (25,4)	2,0 (50,8)	3,0 (76,2)	4,0 (101,6)	5,0 (127,0)	6,0 (152,4)
2	8,9	0,0003	0,0009	0,0006	0,0003	0,0001	0,0002
4	17,8	0,004	0,008	0,005	0,004	0,002	0,002
6	26,7	0,014	0,030	0,028	0,018	0,012	0,010
8	35,6	0,035	0,070	0,080	0,055	0,040	0,034
10	44,5	0,082	0,132	0,168	0,132	0,101	0,086
12	53,4	0,173	0,231	0,286	0,260	0,212	0,187
14	62,3	0,332	0,388	0,468	0,447	0,391	0,358
16	71,2	0,594	0,633	0,695	0,693	0,651	0,622
18	80,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
20	89,0	1,60	1,53	1,41	1,38	1,44	1,51
22	97,9	2,47	2,29	1,96	1,83	1,97	2,16
24	106,8	3,67	3,33	2,69	2,39	2,60	2,96
26	115,7	5,29	4,72	3,65	3,08	3,33	3,91
28	124,6	7,43	6,56	4,88	3,93	4,17	5,00
30	133,5	10,2	8,9	6,5	5,0	5,1	6,3
32	142,4	13,8	12,0	8,4	6,2	6,3	7,7
34	151,3	18,2	15,7	10,9	7,8	7,6	9,3
36	160,0	23,8	20,4	14,0	9,7	9,1	11,0
38	169,1	30,6	26,2	17,7	11,9	11,0	13,0
40	178,0	38,8	33,2	22,2	14,6	13,1	15,3
42	186,9	48,8	41,6	27,6	17,8	15,5	17,8
44	195,8	60,6	51,6	34,0	21,6	18,4	20,6
46	204,7	74,7	63,4	41,5	26,1	21,6	23,8
48	213,6	91,2	77,3	50,3	31,3	25,4	27,4
50	222,5	110	94	61	37	30	32

Anexo 2 Crecimiento porcentual de los vehículos

FACTOR DE CRECIMIENTO	
LIVIANOS:	5,34 %
BUSES:	5,16 %
PESADOS:	5,16 %

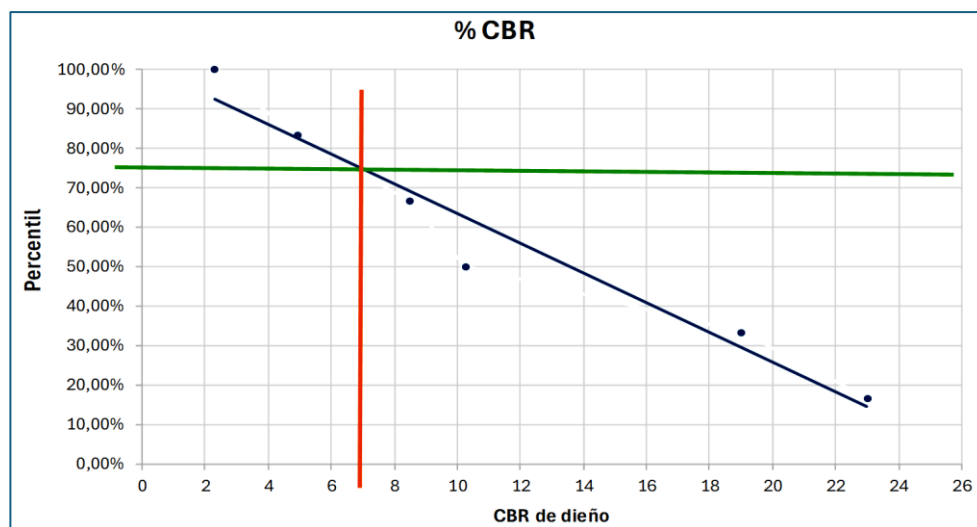
Anexo 3 Tráfico de Diseño

TIPO DE VEHICULOS	N.º	FACTOR PROYECCIÓN	FACTOR CAMIÓN	DÍAS	ESAL's DE DISEÑO	
AUTOS	77	5,34	0,0400	365	6013,53	6014
FAMILIAR	47	5,34	0,1290	365	11913,71	11914
CAMIONETAS	17	5,34	0,1290	365	4163,03	4163
BUSETA	8	5,16	3,5300	365	56477,58	56478
BUS	8	5,16	3,5300	365	51995,23	51995
2D	18	5,16	0,1290	365	4353,66	4354
2DA	16	5,16	1,1760	365	36108,22	36108
2DB	8	5,16	3,5300	365	55536,67	55537
3*	22	5,16	3,6600	365	153242,23	153242
3S2	13	5,16	6,1800	365	148979,15	148979
3S3	13	5,16	5,2300	365	126077,83	126078
V3A	6	5,16	3,6600	365	39007,11	39007
VZA	9	5,16	3,6600	365	65011,85	65012
263					Σ =	758881

Anexo 4 Determinación del CBR de Diseño de la subrasante

	# muestras	% CBR	percentil
8,5	1	2,3	100,00%
23	2	4,9	83,33%
10,25	3	8,5	66,67%
19	4	10,25	50,00%
2,3	5	19	33,33%
4,9	6	23	16,67%

Anexo 5 CBR de Diseño de la subrasante



Anexo 6 Determinación del módulo resiliente y SN requerido

MÓDULO RESILIENTE (MR)	
Pt	1,5
Po	4,2
CBR	7
CONFIABILIDAD	80
DESV. STAN	0,45
PSI	2,7
ZR	-0,841
MR	10500,00
ESAL	379441
Log(w18)	5,58
Formula	5,66

Po = 4,5 para pavimentos rígidos
Po = 4,2 para pavimentos flexibles

→ 10500,00 PSI

SN 2,4

4,396 0,000 1,259

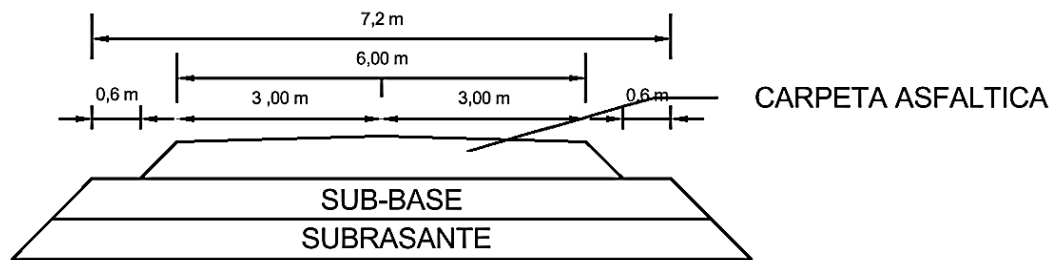
2,308

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R S_o + 9.36 \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log_{10}(M_R) - 8.07$$

Anexo 7 Espesores mínimos en centímetros

Pav. Flexible	DATOS	E	a	m	D (cm)	SN	esperor	
Carp. Asf		350000	0,39	1	8	3,12	3,15	in
SUBBASE	CBR 65%	18500	0,125	1,2	25,00	3,75	9,84	in
						z	12,99	in
Snreq		a1*D1 + a2*m2*D2						
2,40		6,87		CUMPLE				

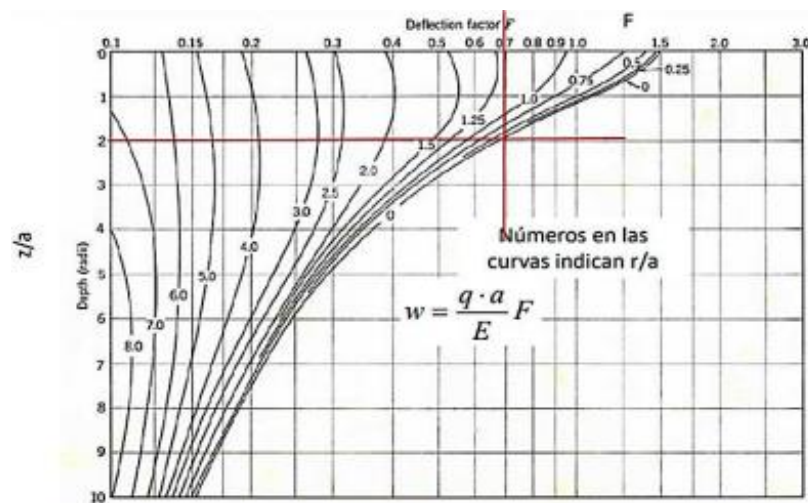
Anexo 8 Diseño de la estructura de pavimento flexible



Anexo 9 Capas del pavimento a diseñar



Anexo 10 Determinación del factor F



Anexo 11 Datos de la estructura del pavimento

DATOS		
Z	12,99	in
a	6,4	in
r	0	
z/a	2,03	
r/a	0	
MR subrasante	10500	PSI
q	70	PSI
F	0,68	

Anexo VI

Extracción de Materiales en sitio.

Anexo 1 Extracción de la primera calicata en la vía de estudio



Anexo 2 Extracción de la segunda calicata en la vía de estudio



Anexo 3 Extracción de la tercera calicata en la vía de estudio



Anexo 4 Extracción de la cuarta calicata en la vía de estudio



Anexo 5 Extracción de la quinta calicata en la vía de estudio



Anexo 6 Extracción de la sexta calicata en la vía de estudio



Anexo VII

Ensayos de laboratorio.

Anexo 1 Ensayo contenido de humedad

CALICATA	1	2		3	4	5	6	7
No. de Recipiente	F (calicata 1)	M (calicata 1)	G6 (calicata 2)	C8 (calicata 1)	J (calicata 1)	R (calicata 1)	T3 (calicata 1)	F (calicata Juan Montalvo)
Peso de Recipiente W_r	17,65	16,53	16,73	17,97	17,13	17,23	17,46	17,65
Peso de Rec. + Peso de Suelo Húmedo W_1	104,04	111,66	100,26	90,9	92,59	94,37	84,49	103,11
Peso de Rec. + Peso de Suelo Seco W_2	101,32	109,24	93,34	88,04	89,56	91,01	79,92	101,29
Peso de Agua $W_w = W_1 - W_2$	2,72	2,42	6,92	2,86	3,03	3,36	4,57	1,82
Peso de Suelo Seco $W_s = W_2 - W_r$	83,67	92,71	76,61	70,07	72,43	73,78	62,46	83,64
Contenido de Humedad $\omega = \frac{W_w}{W_s} \times 100$	3,25%	2,61%	9,03%	4,08%	4,18%	4,55%	7,32%	2,18%



Anexo 2 Ensayo de granulometría

CALICATA 1

ABSCISA: 0+100

Nº de recipiente	1
Peso del recipiente (W _r)	R6
Peso del rec. + Peso de Suelo hum (W ₁)	49,3
Peso del rec. + Peso de Suelo Seco (W ₂)	296,65
Peso del agua (W _w =W ₁ -W ₂)	288,9
Peso del Suelo Seco (W _s =W ₂ -W _r)	239,6
Contenido de humedad w=(W _w /W _s)x100	3,23

SERIE GRUESA				
Tamiz ASTM	Abertura /Nº	Masa Retenida		%Pasante Acumulado
		Parcial	Acumulada	
600,mm	24 "			
300,mm	12 "			
150,mm	3 1/2 "			
75,mm	3 "			
63,mm	2 1/2 "			
60,mm	2 "			
38,1mm	1 1/2 "			
25,mm	1 "			
19,mm	3/4 "			
12,5mm	1/2 "			
9,5mm	3/8 "			
4,75mm	No. 4	48,31	48,31	100,00
Pasa No.4		191,29	239,60	

SERIE FINA					
Tamiz ASTM	Abertura /Nº	Masa Retenida		%Pasante Acumulado	%Pasante Corregido
		Parcial	Acumulada		
2,36mm	No.8				
2,mm	No.10	9,57	9,57	96,01	96,01
1,18mm	No.16				
0,85mm	No.20				
0,60mm	No.30				
0,425mm	No.40	10,63	20,20	91,57	91,57
0,3mm	No.50				
0,15mm	No.100				
0,075mm	No.200	103,93	124,13	48,19	48,19
Pasa No.200					
Masa inicial del material para lavado(gr)				247,35	
Masa final corregida por humedad de los finos(gr)				239,6	
Masa Seca Total del Material utilizados para el Ensayo(gr)				239,60	

ABERTURA DE TAMIZ	PASANTE
4,75	100,00
2	96,01
0,425	91,57
0,075	48,19

Distribución del Tamaño de las Partículas(%)					
Pedron Rodado(>12")				0	
Canto Rodado(12"-3")				0	
Grava (3"-N°4)	Gruesa (3"-3/4")	0	0,00	51,81	
	Fina (3/4"-N°4)	0,00			
Arena (N°4-N°200)	Gruesa (N°4-N°10)	3,99			
	Media (N°10-N°40)	4,44			
	Fina (N°40-N°200)	43,38			
Finos(>N°200)				48,19	
				100,00	

Curva de distribución granulométrica

Abertura de tamices (mm)	% Que pasa (Acumulado)
0.075	48.31
0.15	96.01
0.3	91.57
0.6	48.19

CLASIFICACION AASHTO		INDICE DE GRUPO (IG)	
A-4	Suelo limoso	0,82	1,00

El índice de grupo se calcula con la fórmula:

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

Donde:

IG = Índice de grupo

F = Porcentaje del suelo que pasa por el tamiz No. 200, expresado como número entero.

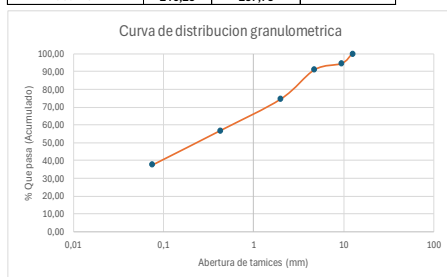
LL = Límite líquido

IP = Índice de plasticidad

CALICATA 2 - ESTRATO 1
ABSISA: 0+550

N° de recipiente	1
Peso del recipiente (Wr)	K15
Peso del rec. + Peso de Suelo hum (W1)	49,49
Peso del rec. + Peso de Suelo Seco (W2)	293,44
Peso del agua (Ww=W1-W2)	287,27
Peso del Suelo Seco (Ws=W2-Wr)	6,17
Peso del Suelo Seco (Ws=W2-Wr)	237,78
Contenido de humedad (w=(Ww/Ws)x100)	2,59

SERIE GRUESA				
Tamiz ASTM	Abertura /N°	Masa Retenida		%Pasante Acumulado
		Parcial	Acumulada	
600,mm	24 "			
300,mm	12 "			
150,mm	3 ½ "			
75,mm	3 "			
63,mm	2 ½ "			
60,mm	2 "			
38,1mm	1 ½ "			
25,mm	1 "			
19,mm	3/4 "			
12,5mm	1/2 "			100,00
9,5mm	3/8 "	13,12	13,12	94,48
4,75mm	No. 4	8,38	21,5	90,96
Pasa No.4		216,28	237,78	



CLASIFICACION AASHTO		INDICE DE GRUPO (IG)	
A-4		0,00	0,00

SERIE FINA					
Tamiz ASTM	Abertura /N°	Masa Retenida		%Pasante Acumulado	%Pasante Corregido
		Parcial	Acumulada		
2,36mm	No.8				
2,mm	No.10	42,83	42,83	81,99	74,57
1,18mm	No.16				
0,85mm	No.20				
0,60mm	No.30				
0,425mm	No.40	46,17	89,00	62,57	56,91
0,3mm	No.50				
0,15mm	No.100				
0,075mm	No.200	50,14	139,14	41,48	37,73
Pasa No.200					
Masa inicial del material para lavado(gr)					243,95
Masa final corregida por humedad de los finos(gr)					237,78
Masa Seca Total del Material utilizados para el Ensayo(gr)					237,78

ABERTURA DE TAMIZ	PASANTE
12,5	100,00
9,5	94,48
4,75	90,96
2	74,57
0,425	56,91
0,075	37,73

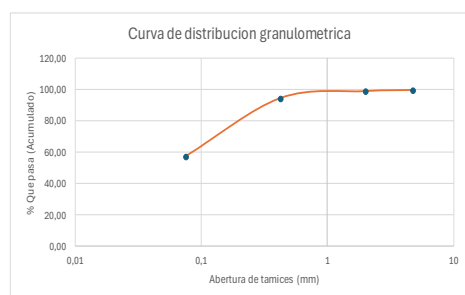
Distribución del Tamaño de las Partículas(%)			
Pedron Rodado(>12")			0
Canto Rodado(12"-3")			0
Grava (3"-N°4)	Gruesa (3"-3/4")	0	9,04
	Fina (3/4"-N°4)	9,04	
	Gruesa (N°4-N°10)	16,38	53,23
Arena (N°4-N°200)	Media (N°10-N°40)	17,66	
	Fina (N°40-N°200)	19,18	
Finos(>N°200)			37,73
			100,00

El índice de grupo se calcula con la fórmula:
 $IG = (F-35) [0.2 + 0.005 (LL-40)] + 0.01 (F-15) (IP-10)$
 Donde:
 IG = Índice de grupo
 F = Porcentaje del suelo que pasa por el tamiz No. 200, expresado como número entero.
 LI = Límite líquido
 IP = Índice de plasticidad.

CALICATA 2 - ESTRATO 2
ABSISA: 0+550

N° de recipiente	1
Peso del recipiente (Wr)	V19
Peso del rec. + Peso de Suelo hum (W1)	48,91
Peso del rec. + Peso de Suelo Seco (W2)	272,2
Peso del agua (Ww=W1-W2)	253,77
Peso del Suelo Seco (Ws=W2-Wr)	18,43
Peso del Suelo Seco (Ws=W2-Wr)	204,86
Contenido de humedad (w=(Ww/Ws)x100)	9,00

SERIE GRUESA				
Tamiz ASTM	Abertura /N°	Masa Retenida		%Pasante Acumulado
		Parcial	Acumulada	
600,mm	24 "			
300,mm	12 "			
150,mm	3 ½ "			
75,mm	3 "			
63,mm	2 ½ "			
60,mm	2 "			
38,1mm	1 ½ "			
25,mm	1 "			
19,mm	3/4 "			
12,5mm	1/2 "			
9,5mm	3/8 "			
4,75mm	No. 4	0,71	0,71	99,65
Pasa No.4		204,15	204,86	



CLASIFICACION AASHTO		INDICE DE GRUPO (IG)	
A-4	Suelo limoso	0,12	0,00

SERIE FINA					
Tamiz ASTM	Abertura /N°	Masa Retenida		%Pasante Acumulado	%Pasante Corregido
		Parcial	Acumulada		
2,36mm	No.8				
2,mm	No.10	1,55	1,55	99,24	98,90
1,18mm	No.16				
0,85mm	No.20				
0,60mm	No.30				
0,425mm	No.40	9,03	10,58	94,84	94,51
0,3mm	No.50				
0,15mm	No.100				
0,075mm	No.200	76,55	87,13	57,47	57,27
Pasa No.200					
Masa inicial del material para lavado(gr)					223,29
Masa final corregida por humedad de los finos(gr)					204,86
Masa Seca Total del Material utilizados para el Ensayo(gr)					205,57

ABERTURA DE TAMIZ	PASANTE
4,75	99,65
2	98,90
0,425	94,51
0,075	57,27

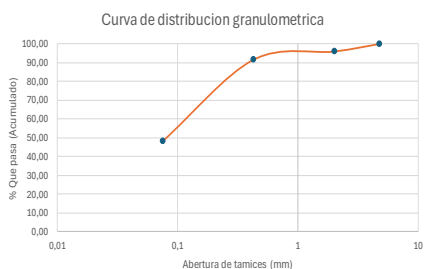
Distribución del Tamaño de las Partículas(%)			
Pedron Rodado(>12")			0
Canto Rodado(12"-3")			0
Grava (3"-N°4)	Gruesa (3"-3/4")	0	0,35
	Fina (3/4"-N°4)	0,35	
	Gruesa (N°4-N°10)	0,75	42,38
Arena (N°4-N°200)	Media (N°10-N°40)	4,39	
	Fina (N°40-N°200)	37,24	
Finos(>N°200)			57,27
			100,00

El índice de grupo se calcula con la fórmula:
 $IG = (F-35) [0.2 + 0.005 (LL-40)] + 0.01 (F-15) (IP-10)$
 Donde:
 IG = Índice de grupo
 F = Porcentaje del suelo que pasa por el tamiz No. 200, expresado como número entero.
 LI = Límite líquido
 IP = Índice de plasticidad.

CALICATA 3
ABSCISA: 1+200

N° de recipiente	1
Peso del recipiente (W _r)	C69
Peso del rec. + Peso de Suelo hum (W ₁)	48,9
Peso del rec. + Peso de Suelo Seco (W ₂)	235,12
Peso del agua (W _w =W ₁ -W ₂)	228,01
Peso del Suelo Seco (W _s =W ₂ -W _r)	7,11
Contenido de humedad w=(W _w /W _s)x100	179,11
	3,97

SERIE GRUESA				
Tamiz ASTM	Abertura /N°	Masa Retenida		%Pasante Acumulado
		Parcial	Acumulada	
600,mm	24 "			
300,mm	12 "			
150,mm	3 ½ "			
75,mm	3 "			
63,mm	2 ½ "			
60,mm	2 "			
38,1mm	1 ½ "			
25,mm	1 "			
19,mm	3/4 "			
12,5mm	1/2 "			
9,5mm	3/8 "			
4,75mm	No. 4	0,22	0,22	99,88
Pasa No.4		178,89	179,11	



CLASIFICACION AASHTO		INDICE DE GRUPO (IG)	
A-6	Suelo arcilloso	7,64	8,00
		3,71	

SERIE FINA					
Tamiz ASTM /N°	Abertura	Masa Retenida		%Pasante Acumulado	%Pasante Corregido
		Parcial	Acumulada		
2,36mm	No.8				
2,mm	No.10	0,77	0,77	99,57	99,45
1,18mm	No.16				
0,85mm	No.20				
0,60mm	No.30				
0,425mm	No.40	3,61	4,38	97,55	97,43
0,3mm	No.50				
0,15mm	No.100				
0,075mm	No.200	62,3	66,68	62,77	62,69
Pasa No.200					
Masa inicial del material para lavado(gr)					186,22
Masa final corregida por humedad de los finos(gr)					179,11
Masa Seca Total del Material utilizados para el Ensayo(gr)					179,11

ABERTURA DE TAMIZ	PASANTE
4,75	99,88
2	99,45
0,425	97,43
0,075	62,69

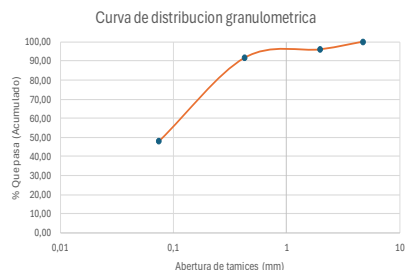
Distribución del Tamaño de las Partículas(%)			
Pedron Rodado(>12")			0
Canto Rodado(12"-3")			0
Grava (3"-N°4)	Gruesa (3"-3/4")	0	0,12
	Fina (3/4"-N°4)	0,12	
Arena (N°4-N°200)	Gruesa (N°4-N°10)	0,43	37,18
	Media (N°10-N°40)	2,01	
	Fina (N°40-N°200)	34,74	
Finos(>N°200)		62,69	100,00

El índice de grupo se calcula con la fórmula:
 $IG = [F-35] [0.2 + 0.005 (LL-40)] + 0.01 (F-15) (IP-10)$
 Donde:
 IG = Índice de grupo
 F = Porcentaje del suelo que pasa por el tamiz No. 200, expresado como número entero.
 LL = Límite líquido
 IP = Índice de plasticidad.

CALICATA 4
ABSCISA: 1+760

N° de recipiente	1
Peso del recipiente (W _r)	D51
Peso del rec. + Peso de Suelo hum (W ₁)	49,65
Peso del rec. + Peso de Suelo Seco (W ₂)	232,59
Peso del agua (W _w =W ₁ -W ₂)	225,3
Peso del Suelo Seco (W _s =W ₂ -W _r)	7,29
Contenido de humedad w=(W _w /W _s)x100	175,65
	4,15

SERIE GRUESA				
Tamiz ASTM	Abertura /N°	Masa Retenida		%Pasante Acumulado
		Parcial	Acumulada	
600,mm	24 "			
300,mm	12 "			
150,mm	3 ½ "			
75,mm	3 "			
63,mm	2 ½ "			
60,mm	2 "			
38,1mm	1 ½ "			
25,mm	1 "			
19,mm	3/4 "			
12,5mm	1/2 "			
9,5mm	3/8 "			
4,75mm	No. 4	0,53	0,53	100,00
Pasa No.4		175,12	175,65	



CLASIFICACION AASHTO		INDICE DE GRUPO (IG)	
A-6	Suelo arcilloso	6,77	7,00
		7,42	

SERIE FINA					
Tamiz ASTM /N°	Abertura /N°	Masa Retenida		%Pasante Acumulado	%Pasante Corregido
		Parcial	Acumulada		
2,36mm	No.8				
2,mm	No.10	1,37	1,37	99,22	99,22
1,18mm	No.16				
0,85mm	No.20				
0,60mm	No.30				
0,425mm	No.40	3,76	5,13	97,08	97,08
0,3mm	No.50				
0,15mm	No.100				
0,075mm	No.200	69,08	74,21	57,75	57,75
Pasa No.200					
Masa inicial del material para lavado(gr)					182,94
Masa final corregida por humedad de los finos(gr)					175,65
Masa Seca Total del Material utilizados para el Ensayo(gr)					175,65

ABERTURA DE TAMIZ	PASANTE
4,75	100,00
2	99,22
0,425	97,08
0,075	57,75

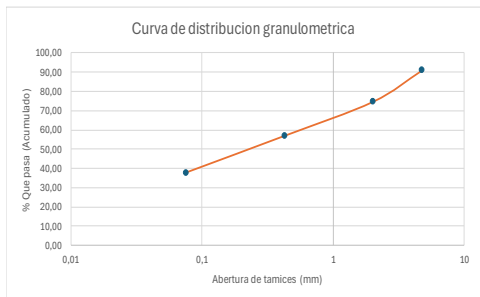
Distribución del Tamaño de las Partículas(%)			
Pedron Rodado(>12")			0
Canto Rodado(12"-3")			0
Grava (3"-N°4)	Gruesa (3"-3/4")	0	0,00
	Fina (3/4"-N°4)	0,00	
Arena (N°4-N°200)	Gruesa (N°4-N°10)	0,78	42,25
	Media (N°10-N°40)	2,14	
	Fina (N°40-N°200)	39,33	
Finos(>N°200)		57,75	100,00

El índice de grupo se calcula con la fórmula:
 $IG = [F-35] [0.2 + 0.005 (LL-40)] + 0.01 (F-15) (IP-10)$
 Donde:
 IG = Índice de grupo
 F = Porcentaje del suelo que pasa por el tamiz No. 200, expresado como número entero.
 LL = Límite líquido
 IP = Índice de plasticidad.

CALICATA 5
ABSI: 2+350

N° de recipiente	U21
Peso del recipiente (W _r)	48,9
Peso del rec. + Peso de Suelo hum (W ₁)	280,47
Peso del rec. + Peso de Suelo Seco (W ₂)	270,44
Peso del agua (W _w -W ₁ -W ₂)	10,03
Peso del Suelo Seco (W _s =W ₂ -W _r)	221,54
Contenido de humedad (w=(W _w /W _s)x100)	4,53

SERIE GRUESA				
Tamiz ASTM	Abertura /N°	Masa Retenida		%Pasante Acumulado
		Parcial	Acumulada	
600,mm	24 "			
300,mm	12 "			
150,mm	3 ½ "			
75,mm	3 "			
63,mm	2 ½ "			
60,mm	2 "			
38,1mm	1 ½ "			
25,mm	1 "			
19,mm	¾ "			
12,5mm	1/2 "			
9,5mm	3/8 "			
4,75mm	No. 4	0	0	100,00
Pasa No.4		221,54	221,54	



CLASIFICACION AASHTO		INDICE DE GRUPO (IG)	
A-4	Suelo limoso	0,22	0,00

SERIE FINA					
Tamiz ASTM /N°	Abertura	Masa Retenida		%Pasante Acumulado	%Pasante Corregido
		Parcial	Acumulada		
2,36mm	No.8				
2,mm	No.10	0,30	0,30	99,66	99,66
1,18mm	No.16				
0,85mm	No.20				
0,60mm	No.30				
0,425mm	No.40	13,15	13,45	93,93	93,93
0,3mm	No.50				
0,15mm	No.100				
0,075mm	No.200	102,44	115,89	47,69	47,69
Pasa No.200					
Masa inicial del material para lavado(gr)					231,57
Masa final corregida por humedad de los finos(gr)					221,54
Masa Seca Total del Material utilizados para el Ensayo(gr)					221,54

ABERTURA DE TAMIZ	PASANTE
4,75	100,00
2	99,86
0,425	93,93
0,075	47,69

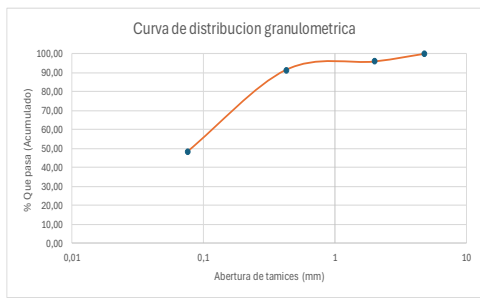
Distribución del Tamaño de las Partículas(%)			
Pedron Rodado(>12")			0
Canto Rodado(12"-3")			0
Grava (3"-N°4)	Gruesa (3"-3/4")	0	0,00
	Fina (3/4"-N°4)	0,00	
Arena (N°4-N°200)	Gruesa (N°4-N°10)	0,14	52,31
	Media (N°10-N°40)	5,94	
	Fina (N°40-N°200)	46,24	
Finos(>N°200)			47,69
			100,00

El índice de grupo se calcula con la fórmula:
 $IG = (F-35) [0.2 + 0.005 (LL-40)] + 0.01 (F-15) (IP-10)$
 Donde:
 IG = Índice de grupo
 F = Porcentaje del suelo que pasa por el tamiz No. 200, expresado como número entero.
 L = Límite líquido
 IP = Índice de plasticidad.

CALICATA 6
ABSCISA: 3+000

N° de recipiente	M10
Peso del recipiente (W _r)	51,48
Peso del rec. + Peso de Suelo hum (W ₁)	252,95
Peso del rec. + Peso de Suelo Seco (W ₂)	238,12
Peso del agua (W _w -W ₁ -W ₂)	14,83
Peso del Suelo Seco (W _s =W ₂ -W _r)	186,64
Contenido de humedad (w=(W _w /W _s)x100)	7,95

SERIE GRUESA				
Tamiz ASTM	Abertura /N°	Masa Retenida		%Pasante Acumulado
		Parcial	Acumulada	
600,mm	24 "			
300,mm	12 "			
150,mm	3 ½ "			
75,mm	3 "			
63,mm	2 ½ "			
60,mm	2 "			
38,1mm	1 ½ "			
25,mm	1 "			
19,mm	¾ "			
12,5mm	1/2 "			
9,5mm	3/8 "			
4,75mm	No. 4	0	0	100,00
Pasa No.4		186,64	186,64	



CLASIFICACION AASHTO		INDICE DE GRUPO (IG)	
A-6	Suelo arcilloso	9,74	10,00
		8,91	

SERIE FINA					
Tamiz ASTM /N°	Abertura	Masa Retenida		%Pasante Acumulado	%Pasante Corregido
		Parcial	Acumulada		
2,36mm	No.8				
2,mm	No.10	0,43	0,43	99,77	99,77
1,18mm	No.16				
0,85mm	No.20				
0,60mm	No.30				
0,425mm	No.40	6,04	6,47	96,53	96,53
0,3mm	No.50				
0,15mm	No.100				
0,075mm	No.200	65,15	71,62	61,63	61,63
Pasa No.200					
Masa inicial del material para lavado(gr)					201,47
Masa final corregida por humedad de los finos(gr)					186,64
Masa Seca Total del Material utilizados para el Ensayo(gr)					186,64

ABERTURA DE TAMIZ	PASANTE
4,75	100,00
2	99,77
0,425	96,53
0,075	61,63

Distribución del Tamaño de las Partículas(%)			
Pedron Rodado(>12")			0
Canto Rodado(12"-3")			0
Grava (3"-N°4)	Gruesa (3"-3/4")	0	0,00
	Fina (3/4"-N°4)	0,00	
Arena (N°4-N°200)	Gruesa (N°4-N°10)	0,23	38,37
	Media (N°10-N°40)	3,24	
	Fina (N°40-N°200)	34,91	
Finos(>N°200)			61,63
			100,00

El índice de grupo se calcula con la fórmula:
 $IG = (F-35) [0.2 + 0.005 (LL-40)] + 0.01 (F-15) (IP-10)$
 Donde:
 IG = Índice de grupo
 F = Porcentaje del suelo que pasa por el tamiz No. 200, expresado como número entero.
 L = Límite líquido
 IP = Índice de plasticidad.

GRANULOMETRIA MATERIAL JUAN MONTALVO

	SERIE GRUESA	SERIE FINA
Recipiente N°	R	T
Masa de Recipiente + Muestra Húmeda (P1)	92,00	96,23
Masa de Recipiente + Muestra Seca (P2)	90,67	91,28
Masa de Agua (P3 = P1 - P2)	1,33	4,95
Masa del Recipiente (P4)	16,95	16,78
Masa de Muestra Seca (P5 = P2 - P4)	73,72	74,50
% de Humedad (W = P3 × 100 ÷ P5)	1,80	6,64

El índice de grupo se calcula con la fórmula:

$$IG = (F_{35}) [0,2 + 0,005 (LL-40)] + 0,01 (F_{15}) (IP-10)$$

Donde:

IG = Índice de grupo

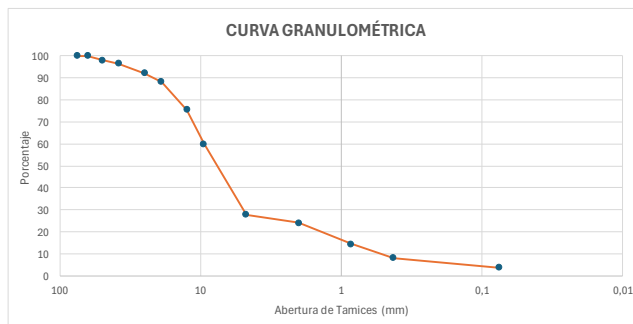
F = Porcentaje del suelo que pasa por el tamiz No. 200, expresado como número entero.

LI = Límite líquido

IP = Índice de plasticidad.

SERIE GRUESA				
Tamiz ASTM Abertura / N°.		MASA RETENIDA		% PASANTE ACUMULADO
		PARCIAL	ACUMULADA	
600	24"		0	100,00
300	12"		0	100,00
150	3.5"		0	100,00
75	3"	0	0	100,00
63	2.5"	0	0	100,00
50	2"	242,42	240,90	98,13
38,1	1.5"	197,95	437,60	96,61
25	1"	561,11	995,18	92,29
19	3/4"	532,24	1524,07	88,19
12,5	1/2"	1650	3163,70	75,48
9,5	3/8"	2017,02	5168,03	59,94
4,75	No. 4	4171,12	9312,92	27,82
PASA No. 4		12901,86	12098,03	

SERIE FINA				
Tamiz ASTM Abertura / N°.		MASA RETENIDA		% PASANTE ACUMULADO
		PARCIAL	ACUMULADA	
2,36	No. 8	170	170	
2	No. 10	640,00	810,00	86,71
1,18	No. 16			
0,85	No. 20	2137	2947	51,65
0,6	No. 30			
0,425	No. 40	1348,4	4295,40	29,53
0,3	No. 50			
0,15	No. 100			
0,075	No. 200	987,2	5282,60	13,33
PASA EL No. 200		1291,2		
MASA INICIAL DEL MATERIAL PARA LAVADO				6500
MASA FINAL CORREGIDA POR HUMEDAD DE LOS FINOS				6095,03
MASA SECA TOTAL DEL MATERIAL USADO				21410,95



Distribución del Tamaño de las Partículas(%)			
Pedron Rodado(>12")			0
Canto Rodado(12"-3")			0
Grava (3"-N°4)	Gruesa (3"- 3/4")	11,81	72,18
	Fina (3/4"-N°4)	60,37	
Arena (N°4- N°200)	Gruesa (N°4-N°10)	3,70	24,11
	Media (N°10- N°40)	15,91	
	Fina (N°40- N°200)	4,51	
Finos(>N°200)		3,71	100,00

CLASIFICACION AASHTO		INDICE DE GRUPO (IG)	
A-1 a	Fragmentos de roca, grava y arena	-3,02	0,00
		-6,88	



Anexo 3 Ensayo de límites de Atterberg

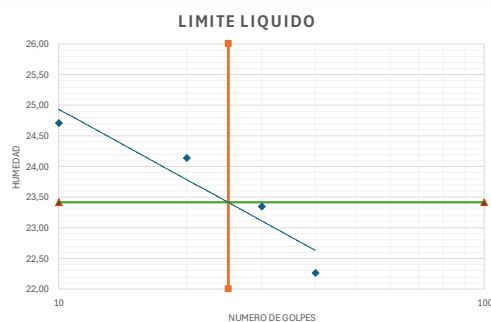
CALICATA 1				
ABSCISA: 0+100				

LIMITE LIQUIDO				
N° ENSAYOS	1	2	3	4
N° de recipiente	KM	X1	T3	P3
Peso del recipiente (Wr)	10,2	9,24	9,95	9,31
Peso del rec. + Peso de Suelo hum (W1)	48,05	38,24	42,01	44,56
Peso del rec. + Peso de Suelo Seco (W2)	40,55	32,6	35,94	38,14
Peso del agua (Ww=W1-W2)	7,5	5,64	6,07	6,42
Peso del Suelo Seco (Ws=W2-Wr)	30,35	23,36	25,99	28,83
Contenido de humedad (w=(Ww/Ws)x100)	24,71	24,14	23,36	22,27
Numero de golpes	10	20	30	40

LIMITE PLASTICO				
N° ENSAYOS	1	2	3	4
N° de recipiente	L2	P5	DK	
Peso del recipiente (Wr)	9,42	8,98	9,29	
Peso del rec. + Peso de Suelo hum (W1)	15,3	15,11	15,77	
Peso del rec. + Peso de Suelo Seco (W2)	14,46	14,27	14,96	
Peso del agua (Ww=W1-W2)	0,84	0,84	0,81	
Peso del Suelo Seco (Ws=W2-Wr)	5,04	5,29	5,67	
Contenido de humedad (w=(Ww/Ws)x100)	16,667	15,879	14,286	

RESULTADOS	
L.Líquido	23,42
L.Plástico	15,61
I.Plasticidad	7,81

Linea de 25 golpes		Horizontal	
25	22	10	23,42
25	26	100	23,42



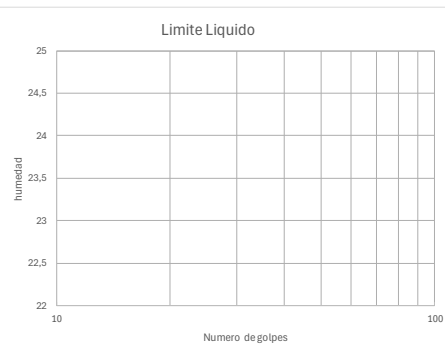
CALICATA 2 - ESTRATO 1				
ABSISA: 0+550				

LIMITE LIQUIDO				
N° ENSAYOS	1	2	3	4
N° de recipiente				
Peso del recipiente (Wr)				
Peso del rec. + Peso de Suelo hum (W1)				
Peso del rec. + Peso de Suelo Seco (W2)				
Peso del agua (Ww=W1-W2)				
Peso del Suelo Seco (Ws=W2-Wr)				
Contenido de humedad (w=(Ww/Ws)x100)				
Numero de golpes				

LIMITE PLASTICO				
N° ENSAYOS	1	2	3	4
N° de recipiente				
Peso del recipiente (Wr)				
Peso del rec. + Peso de Suelo hum (W1)				
Peso del rec. + Peso de Suelo Seco (W2)				
Peso del agua (Ww=W1-W2)				
Peso del Suelo Seco (Ws=W2-Wr)				
Contenido de humedad (w=(Ww/Ws)x100)				

RESULTADOS	
L.Líquido	NP
L.Plástico	NP
I.Plasticidad	NP

Linea de 25 golpes		Horizontal	
25	22	10	0
25	26	100	0



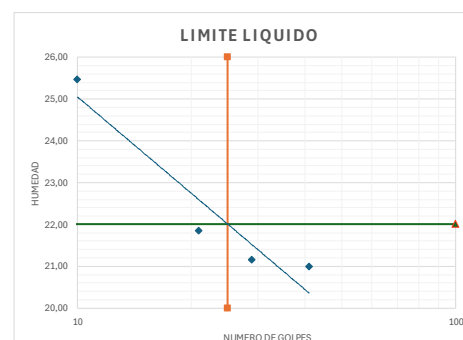
CALICATA 2 - ESTRATO 2				
ABSISA: 0+550				

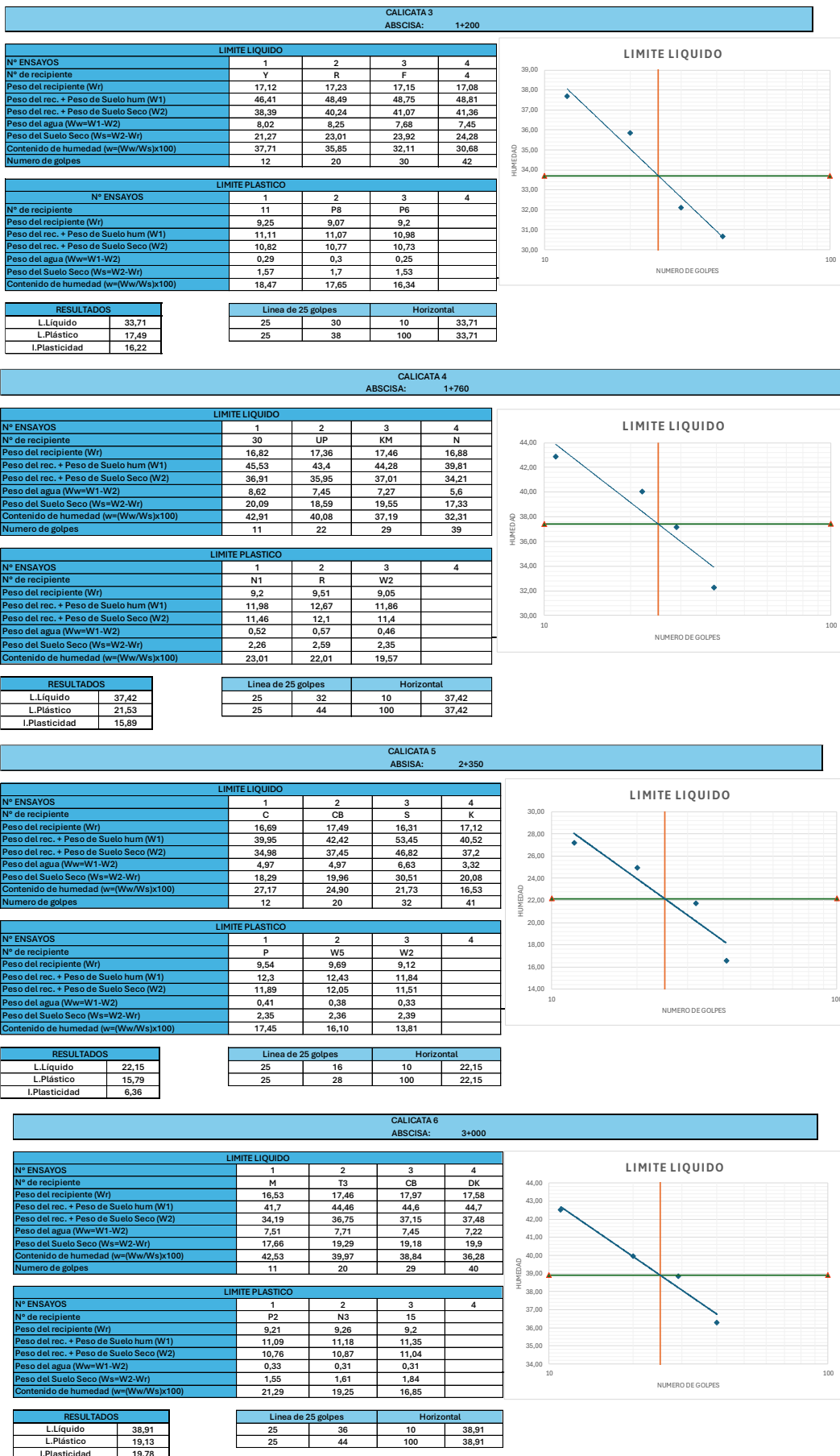
LIMITE LIQUIDO				
N° ENSAYOS	1	2	3	4
N° de recipiente	Y	HD	M2	R
Peso del recipiente (Wr)	17,12	16,53	17,32	16,95
Peso del rec. + Peso de Suelo hum (W1)	41,79	40,83	40,17	41,32
Peso del rec. + Peso de Suelo Seco (W2)	36,78	36,47	36,18	37,09
Peso del agua (Ww=W1-W2)	5,01	4,36	3,99	4,23
Peso del Suelo Seco (Ws=W2-Wr)	19,66	19,94	18,86	20,14
Contenido de humedad (w=(Ww/Ws)x100)	25,48	21,87	21,16	21,00
Numero de golpes	10	21	29	41

LIMITE PLASTICO				
N° ENSAYOS	1	2	3	4
N° de recipiente	P6	P3	P8	
Peso del recipiente (Wr)	9,2	9,31	9,07	
Peso del rec. + Peso de Suelo hum (W1)	12,48	12,88	13,07	
Peso del rec. + Peso de Suelo Seco (W2)	11,95	12,36	12,51	
Peso del agua (Ww=W1-W2)	0,53	0,52	0,56	
Peso del Suelo Seco (Ws=W2-Wr)	2,75	3,05	3,44	
Contenido de humedad (w=(Ww/Ws)x100)	19,27	17,05	16,28	

RESULTADOS	
L.Líquido	22,01
L.Plástico	17,53
I.Plasticidad	4,48

Linea de 25 golpes		Horizontal	
25	20	6	22,01
25	26	100	22,01





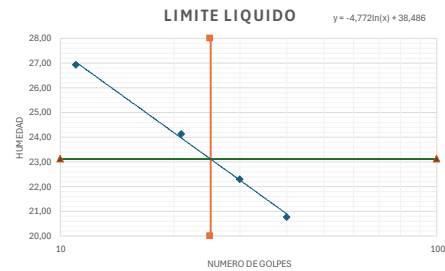
GRANULOMETRIA MATERIAL JUAN MONTALVO

LIMITE LIQUIDO				
N° ENSAYOS	1	2	3	4
N° de recipiente	M	K1	P	S
Peso del recipiente (W _r)	5,07	9,87	9,84	9,81
Peso del rec. + Peso de Suelo hum (W ₁)	29,43	31,52	31,94	31,92
Peso del rec. + Peso de Suelo Seco (W ₂)	24,26	27,31	27,91	28,12
Peso del agua (W _w =W ₁ -W ₂)	5,17	4,21	4,03	3,8
Peso del Suelo Seco (W _s =W ₂ -W _r)	19,19	17,44	18,07	18,31
Contenido de humedad (w=(W _w /W _s)x100)	26,94	24,14	22,30	20,75
Numero de golpes	11	21	30	40

LIMITE PLASTICO				
N° ENSAYOS	1	2	3	4
N° de recipiente	P2	CB	4	
Peso del recipiente (W _r)	6,38	5,52	6,08	
Peso del rec. + Peso de Suelo hum (W ₁)	14,06	13,47	13,52	
Peso del rec. + Peso de Suelo Seco (W ₂)	12,86	12,25	12,36	
Peso del agua (W _w =W ₁ -W ₂)	1,2	1,22	1,16	
Peso del Suelo Seco (W _s =W ₂ -W _r)	6,48	6,73	6,28	
Contenido de humedad (w=(W _w /W _s)x100)	18,52	18,13	18,47	

RESULTADOS	
L.Líquido	23,12
L.Plástico	18,37
I.Plasticidad	4,75

Línea de 25 golpes		Horizontal	
25	20	10	23,12
25	28	100	23,12



CALICATA 1		CALICATA 2		CALICATA 2		CALICATA 3	
Primer estrato		Primer estrato		Segundo estrato		Primer estrato	
DATOS DEL ENSAYO		DATOS DEL ENSAYO		DATOS DEL ENSAYO		DATOS DEL ENSAYO	
Recipiente N°	1	Recipiente N°	2	Recipiente N°	3	Recipiente N°	4
Temperatura °C	26,2	Temperatura °C	26,3	Temperatura °C	27,3	Temperatura °C	27,5
Peso Recipiente	155,5	Peso Recipiente	155,5	Peso Recipiente	158,5	Peso Recipiente	158,5
Recipiente + Ws	355,5	Recipiente + Ws	355,5	Recipiente + Ws	358,5	Recipiente + Ws	358,5
Frasco + agua Wbw	655,3	Frasco + agua Wbw	650,4	Frasco + agua Wbw	655,3	Frasco + agua Wbw	655,4
Frasco + agua + suelo Wbws	780,2	Frasco + agua + suelo Wbws	779,3	Frasco + agua + suelo Wbws	776,2	Frasco + agua + suelo Wbws	778,5
CÁLCULOS		CÁLCULOS		CÁLCULOS		CÁLCULOS	
Ws	200	Ws	200	Ws	200	Ws	200
Ws + Wbw	855,3	Ws + Wbw	850,4	Ws + Wbw	855,3	Ws + Wbw	855,4
Ws + Wbw - Wbws	75,1	Ws + Wbw - Wbws	71,1	Ws + Wbw - Wbws	79,1	Ws + Wbw - Wbws	76,9
Factor de corrección k	0,9964	Factor de corrección k	0,9964	Factor de corrección k	0,9961	Factor de corrección k	0,9961
Gs= Ws*k / (Ws + Wbw - Wbws)	2,65	Gs= Ws*k / (Ws + Wbw - Wbws)	2,80	Gs= Ws*k / (Ws + Wbw - Wbws)	2,52	Gs= Ws*k / (Ws + Wbw - Wbws)	2,59
CALICATA 4		CALICATA 5		CALICATA 6		MATERIAL DE LA CANTERA	
Primer estrato		Primer estrato		Primer estrato		JUAN MONTALVO	
DATOS DEL ENSAYO		DATOS DEL ENSAYO		DATOS DEL ENSAYO		DATOS DEL ENSAYO	
Recipiente N°	5	Recipiente N°	6	Recipiente N°	7	Recipiente N°	1
Temperatura °C	27,2	Temperatura °C	26,8	Temperatura °C	26,9	Temperatura °C	26,1
Peso Recipiente	158,2	Peso Recipiente	155,5	Peso Recipiente	158,5	Peso Recipiente	158,0
Recipiente + Ws	358,2	Recipiente + Ws	355,5	Recipiente + Ws	358,5	Recipiente + Ws	358
Frasco + agua Wbw	655,4	Frasco + agua Wbw	655,3	Frasco + agua Wbw	655,2	Frasco + agua Wbw	655,2
Frasco + agua + suelo Wbws	778,7	Frasco + agua + suelo Wbws	780,5	Frasco + agua + suelo Wbws	778,8	frasco + agua + suelo Wbws	777,9
CÁLCULOS		CÁLCULOS		CÁLCULOS		CÁLCULOS	
Ws	200	Ws	200	Ws	200	Ws	200
Ws + Wbw	855,4	Ws + Wbw	855,3	Ws + Wbw	855,2	Ws + Wbw	855,2
Ws + Wbw - Wbws	76,7	Ws + Wbw - Wbws	74,8	Ws + Wbw - Wbws	76,4	Ws + Wbw - Wbws	77,3
Factor de corrección k	0,9961	Factor de corrección k	0,9962	Factor de corrección k	0,9962	Factor de corrección k	0,9964
Gs= Ws*k / (Ws + Wbw - Wbws)	2,60	Gs= Ws*k / (Ws + Wbw - Wbws)	2,66	Gs= Ws*k / (Ws + Wbw - Wbws)	2,61	gs= Ws*k / (Ws + Wbw - Wbws)	2,58

Anexo 4 Ensayo de gravedad específica



Anexo 5 Ensayo de Abrasión

%		TIPO DE GRADACION
PASA TAMIZ	RETIENE TAMIZ	PESO DEL MATERIAL A EMPLEAR
2"	1 ½"	
1 ½"	1"	5018
1"	¾"	5021
ESFERAS		12
REVOLUCIONES		1000
TOTAL		10039

Peso total de la muestra gr. (W1)	10039
Peso retenido en el tamiz N° 12 gr. (W2)	5980
Porcentaje de desgaste %	40,43

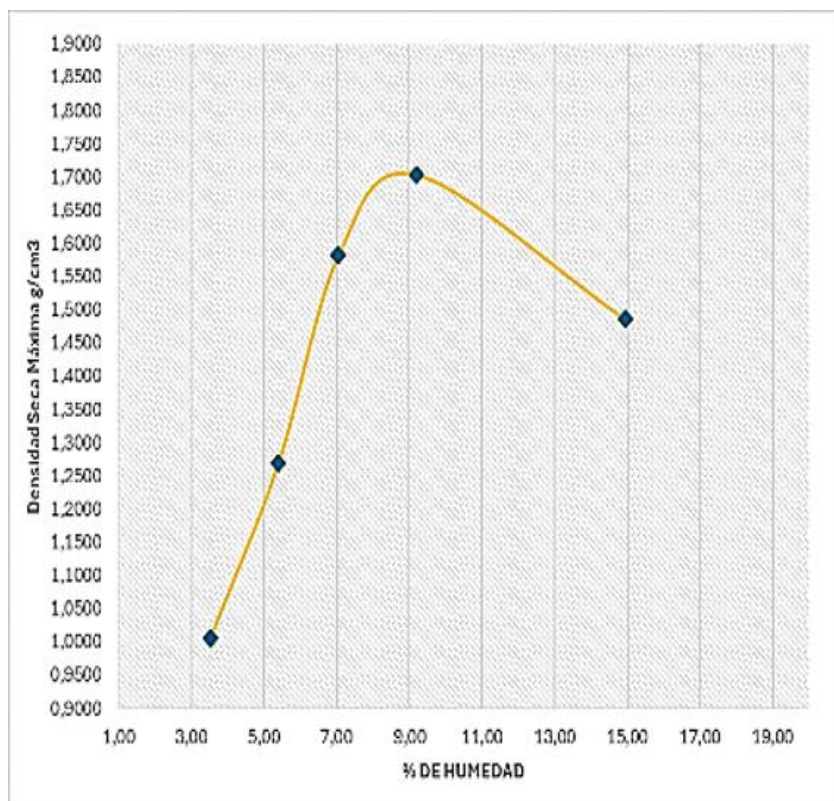
Pocentaje de abrasión	40,43%	50%	CUMPLE
-----------------------	--------	-----	--------



Anexo 6 Ensayo de Proctor

Ensayo de Proctor Estándar calicata 1

DATOS DE SUELO NATURAL		Modificado Metodo A: Material que pasa tamiz N.º 4 Utilizado cuando el 20 % o menos del material queda retenido en tamiz N.º 4								
MASA DEL CILINDRO(P7)	3791 g									
VOLUMEN DEL CILINDRO (V)	1103,16 cm3									
MASA DEL MARTILLO (Kg)	4,69 Kg									
ALTURA DE CAIDA DEL MARTILLO (cm)	45,72 cm									
TIPO DE ENSAYO	ESTANDAR									
# DE CAPAS	3									
# DE GOLPES POR CAPA	25									
DATOS DEL ENSAYO										
PUNTO #	1		2		3		4		5	
MATERIAL PARA ENSAYO	GRUESO	FINO	GRUESO	FINO	GRUESO	FINO	GRUESO	FINO	GRUESO	FINO
RECIPIENTE #	LM		UP		CB		K2		M2	
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA HUMEDA (P1)	108,80		71,55		90,40		80,78		83,88	
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA SECA (P2)	105,69		68,78		85,63		75,39		75,23	
MASA DE AGUA (P3=P1-P2)	3,11		2,77		4,77		5,390		8,650	
MASA DE RECIPIENTE (P4)	17,46		17,40		17,97		16,70		17,32	
MASA DE MUESTRA SECA (P5=P2-P4)	88,23		51,38		67,66		58,690		57,910	
% DE HUMEDAD (W=P3X100/P5)	3,52		5,39		7,05		9,184		14,937	
% DE HUMEDAD PROMEDIO	3,52		5,39		7,05		9,184		14,937	
% DE HUMEDAD AÑADIDA AL SUELO	NATURAL		100		200		300		400	
MASA DE CILINDRO +SUELO HUMEDO (P6)	4940		5266		5660		5843		5675	
MASA DE SUELO HUMEDO (P8=P6-P7)	1149		1475		1869		2052		1884	
DENSIDAD HUMEDA DEL SUELO (Dh=P8/V)	1,0416		1,3371		1,6942		1,8601		1,7078	
DENSIDAD SECA DEL SUELO (Ds=Dh/(1+W/100))	1,0061		1,2687		1,5826		1,7037		1,4859	



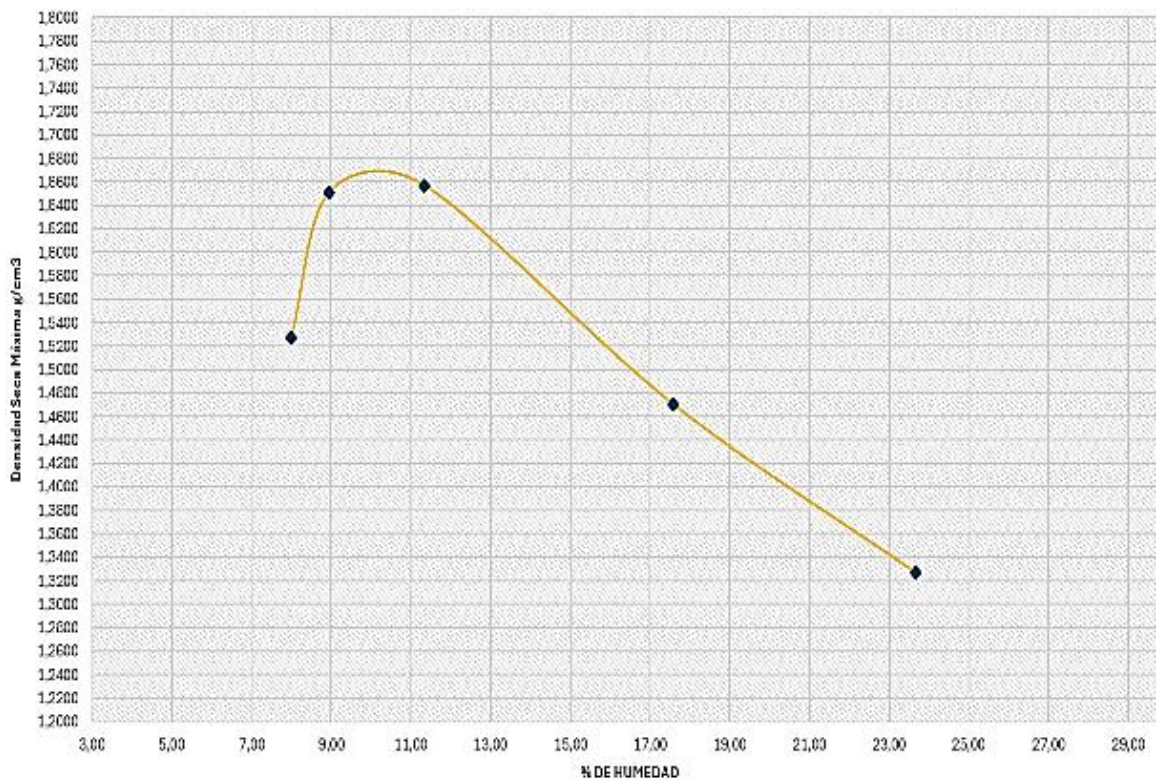
3,52	1,0061
5,39	1,2687
7,05	1,5826
9,18	1,7037
14,94	1,4859

Humedad optima	9,00	%
Densidad Seca max	1,715	gr/cm ³
	1715	kg/m ³

Ensayo de Proctor Estándar calicata 2 – Estrato 2

DATOS DE SUELO NATURAL		Modificado Metodo A: Material que pasa tamiz N.º 4 Utilizado cuando el 20 % o menos del material queda retenido en tamiz N.º 4
MASA DEL CILINDRO(P7)	3791 g	
VOLUMEN DEL CILINDRO (V)	1103,16 cm ³	
MASA DEL MARTILLO (Kg)	4,69 Kg	
ALTURA DE CAIDA DEL MARTILLO (cm)	45,72 cm	
TIPO DE ENSAYO	3	
# DE CAPAS	5	
# DE GOLPES POR CAPA	25	

DATOS DEL ENSAYO										
PUNTO #	1		2		3		4		5	
MATERIAL PARA ENSAYO	GRUESO	FINO	GRUESO	FINO	GRUESO	FINO	GRUESO	FINO	GRUESO	FINO
RECIPIENTE #		P1		DK		K1		CB		4
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA HUMEDA (P1)		90,15		87,40		110,68		117,1		140,69
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA SECA (P2)		84,75		81,67		101,16		102,2		117,04
MASA DE AGUA (P3=P1-P2)		5,40		5,73		9,52		14,9		23,65
MASA DE RECIPIENTE (P4)		17,19		17,58		17,13		17,5		17,08
MASA DE MUESTRA SECA (P5=P2-P4)		67,56		64,09		84,03		84,7		99,96
% DE HUMEDAD (W=P3X100/P5)		7,99		8,94		11,33		17,6		23,66
% DE HUMEDAD PROMEDIO		7,99		8,94		11,33		17,59		23,66
% DE HUMEDAD AÑADIDA AL SUELO		NATURAL		75		150		250		350
MASA DE CILINDRO +SUELO HUMEDO (P6)		5610		5775		5826		5698		5601
MASA DE SUELO HUMEDO (P8=P6-P7)		1819		1984		2035		1907		1810
DENSIDAD HUMEDA DEL SUELO (Dh=P8/V)		1,6489		1,7985		1,8447		1,7287		1,6407
DENSIDAD SECA DEL SUELO (Ds=Dh*(1+W/100))		1,5269		1,6509		1,6570		1,4701		1,3268

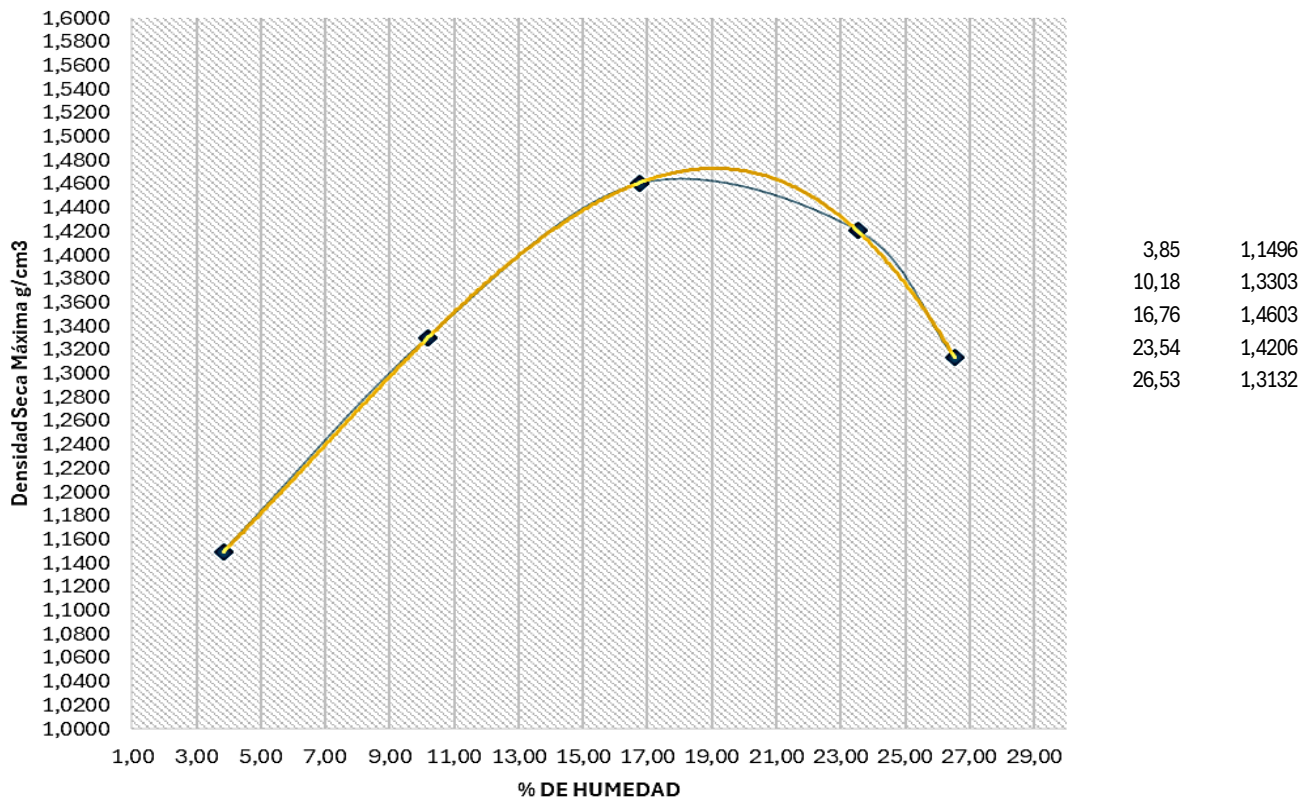


7,99	1,5269
8,94	1,6509
11,33	1,6570
17,59	1,4701
23,66	1,3268

Humedad optima	10	%
Densidad Seca max	1,665	gr/cm ³
	1665	kg/m ³

Ensayo de Proctor Estándar calicata 3

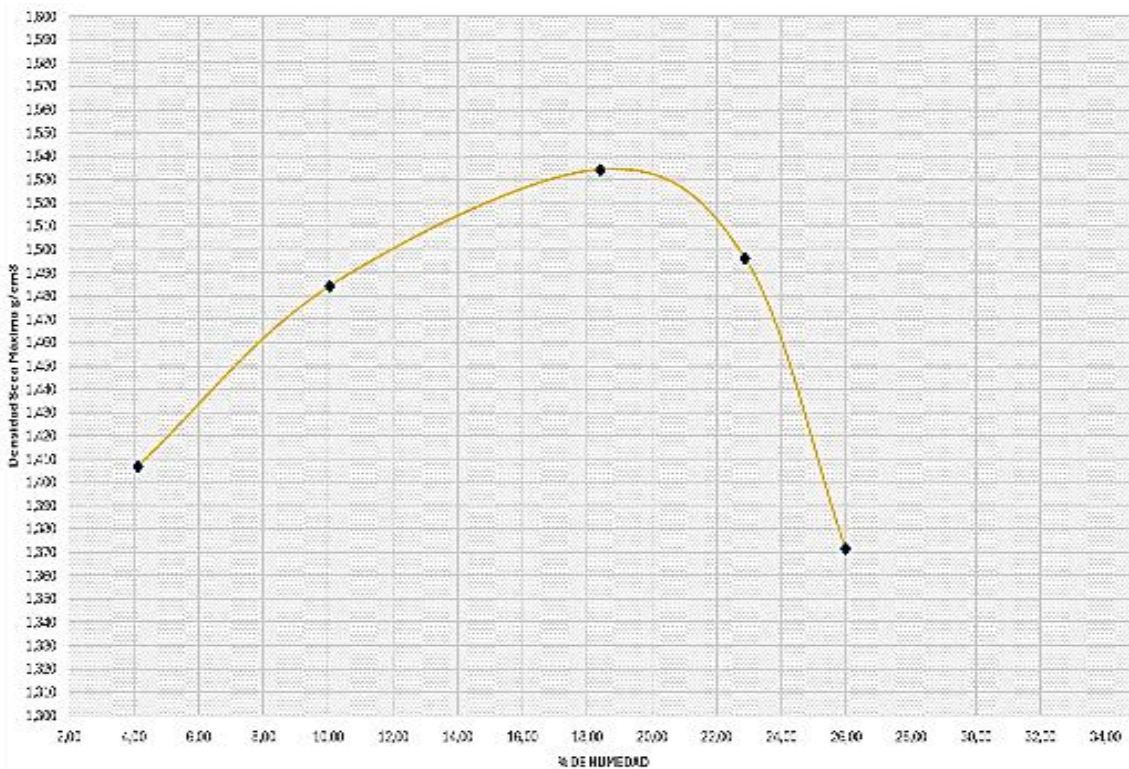
DATOS DE SUELO NATURAL		Modificado Metodo A: Material que pasa tamiz N.º 4 Utilizado cuando el 20 % o menos del material queda retenido en tamiz N.º 4								
MASA DEL CILINDRO(P7)	3791 g									
VOLUMEN DEL CILINDRO (V)	1103,16 cm3									
MASA DEL MARTILLO (Kg)	4,69 Kg									
ALTURA DE CAIDA DEL MARTILLO (cm)	45,72 cm									
TIPO DE ENSAYO	3									
# DE CAPAS	5									
# DE GOLPES POR CAPA	25									
DATOS DEL ENSAYO										
PUNTO #	1		2		3		4		5	
MATERIAL PARA ENSAYO	GRUESO	FINO	GRUESO	FINO	GRUESO	FINO	GRUESO	FINO	GRUESO	FINO
RECIPIENTE #		K		K2		DW		T		K
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA HUMEDA (P1)		75,68		75,68		70,58		77,82		89,85
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA SECA (P2)		73,52		70,23		64,44		66,19		74,61
MASA DE AGUA (P3=P1-P2)		2,16		5,45		6,14		11,63		15,24
MASA DE RECIPIENTE (P4)		17,39		16,70		27,81		16,78		17,17
MASA DE MUESTRA SECA (P5=P2-P4)		56,13		53,53		36,63		49,41		57,44
% DE HUMEDAD (W=P3X100/P5)		3,85		10,18		16,76		23,54		26,53
% DE HUMEDAD PROMEDIO		3,85		10,18		16,76		23,54		26,53
% DE HUMEDAD AÑADIDA AL SUELO		NATURAL		75		100		250		300
MASA DE CILINDRO +SUELO HUMEDO (P6)		5108		5408		5672		5727		5624
MASA DE SUELO HUMEDO (P8=P6-P7)		1317		1617		1881		1936		1833
DENSIDAD HUMEDA DEL SUELO (Dh=P8/V)		1,1938		1,4658		1,7051		1,7550		1,6616
DENSIDAD SECA DEL SUELO (Ds=Dh/(1+W/100))		1,1496		1,3303		1,4603		1,4206		1,3132



Humedad óptima	19	%
Densidad Seca max	1,4688	gr/cm ³
	1468,80	kg/m ³

Ensayo de Proctor Estándar calicata 4

DATOS DE SUELO NATURAL		Modificado Metodo A: Material que pasa tamiz N.º 4 Utilizado cuando el 20 % o menos del material queda retenido en tamiz N.º 4								
MASA DEL CILINDRO(P7)	3791 g									
VOLUMEN DEL CILINDRO (V)	1103,16 cm3									
MASA DEL MARTILLO (Kg)	4,69 Kg									
ALTURA DE CAIDA DEL MARTILLO (cm)	45,72 cm									
TIPO DE ENSAYO	3									
# DE CAPAS	5									
# DE GOLPES POR CAPA	25									
DATOS DEL ENSAYO										
PUNTO #	1		2		3		4		5	
MATERIAL PARA ENSAYO	GRUESO	FINO	GRUESO	FINO	GRUESO	FINO	GRUESO	FINO	GRUESO	FINO
RECIPIENTE #		A		D		R1		2		DK
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA HUMEDA (P1)		102,00		89,63		81,58		87,28		96,51
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA SECA (P2)		98,63		82,98		71,49		74,18		80,23
MASA DE AGUA (P3=P1-P2)		3,37		6,65		10,09		13,10		16,28
MASA DE RECIPIENTE (P4)		16,78		16,83		16,67		16,92		17,58
MASA DE MUESTRA SECA (P5=P2-P4)		81,85		66,15		54,82		57,26		62,65
% DE HUMEDAD (W=P3X100/P5)		4,12		10,05		18,41		22,88		25,99
% DE HUMEDAD PROMEDIO		4,12		10,05		18,41		22,88		25,99
% DE HUMEDAD AÑADIDA AL SUELO		NATURAL		75		150		250		300
MASA DE CILINDRO +SUELO HUMEDO (P6)		5410		5596		5798		5822		5700
MASA DE SUELO HUMEDO (P8=P6-P7)		1616		1802		2004		2028		1906
DENSIDAD HUMEDA DEL SUELO (Dh=P8/V)		1,4649		1,6335		1,8166		1,8384		1,7278
DENSIDAD SECA DEL SUELO (Ds=Dh/(1+W/100))		1,4070		1,4843		1,5342		1,4961		1,3714



4,12	1,4070
10,05	1,4843
18,41	1,5342
22,88	1,4961
25,99	1,3714

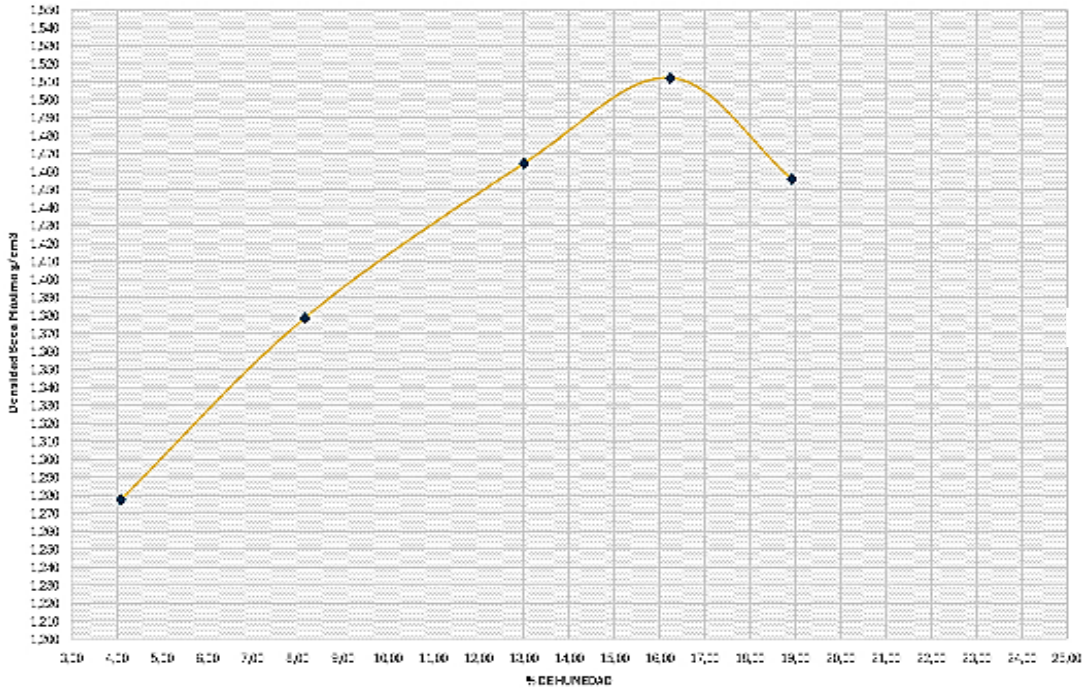
Humedad optima	19	%
Densidad Seca max	1,532	gr/cm ³
	1532	kg/m ³

Ensayo de Proctor Estándar calicata 5

DATOS DEL ENSAYO										
PUNTO #	1		2		3		4		5	
MATERIAL PARA ENSAYO	GRUESO	FINO	GRUESO	FINO	GRUESO	FINO	GRUESO	FINO	GRUESO	FINO
RECIPIENTE #	A	D	R1	2	DK					
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA HUMEDA (P1)	102,00	89,63	81,58	87,28	96,51					
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA SECA (P2)	98,63	82,98	71,49	74,18	80,23					
MASA DE AGUA (P3-P1-P2)	3,37	6,65	10,09	13,10	16,28					
MASA DE RECIPIENTE (P4)	16,78	16,83	16,67	16,92	17,98					
MASA DE MUESTRA SECA (P5-P2-P4)	81,85	66,15	54,82	57,26	62,65					
% DE HUMEDAD (W=P3X100/P5)	4,12	10,05	18,41	22,88	25,99					
% DE HUMEDAD PROMEDIO	4,12	10,05	18,41	22,88	25,99					
% DE HUMEDAD AÑADIDA AL SUELO	NATURAL	75	150	250	300					
MASA DE CILINDRO +SUELO HUMEDO (P6)	5430	5596	5798	5822	5700					
MASA DE SUELO HUMEDO (P8-P6-P7)	1636	1802	2004	2028	1906					
DENSIDAD HUMEDA DEL SUELO (Dh=P8/V)	1,4549	1,6335	1,6995	1,8384	1,7278					
DENSIDAD SECA DEL SUELO (Ds=Dh/(1+W/100))	1,4070	1,4843	1,5342	1,4961	1,3714					

Modificado Metodo A: Material que pasa tamiz N.º 4 Utilizado cuando el 20 % o menos del material queda retenido en tamiz N.º 4

DATOS DEL ENSAYO										
PUNTO #	1		2		3		4		5	
MATERIAL PARA ENSAYO	GRUESO	FINO	GRUESO	FINO	GRUESO	FINO	GRUESO	FINO	GRUESO	FINO
RECIPIENTE #		W		KI		K		KI		K
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA HUMEDA (P1)		101,34		84,93		79,590		64,65		115,17
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA SECA (P2)		98,02		79,83		72,360		58,06		99,61
MASA DE AGUA (P3-P1-P2)		3,32		5,10		7,230		6,590		15,56
MASA DE RECIPIENTE (P4)		16,91		17,32		16,780		17,46		17,39
MASA DE MUESTRA SECA (P5-P2-P4)		81,11		62,51		55,58		40,60		82,22
% DE HUMEDAD (W=P3X100/P5)		4,09		8,16		13,01		16,23		18,92
% DE HUMEDAD PROMEDIO		4,09		8,16		13,01		16,232		18,925
% DE HUMEDAD AÑADIDA AL SUELO		NATURAL		75		150		225		300
MASA DE CILINDRO +SUELO HUMEDO (P6)		5258		5436		5617		5730		5701
MASA DE SUELO HUMEDO (P8-P6-P7)		1467		1645		1826		1939		1910
DENSIDAD HUMEDA DEL SUELO (Dh=P8/V)		1,3298		1,4912		1,6552		1,7577		1,7314
DENSIDAD SECA DEL SUELO (Ds=Dh/(1+W/100))		1,2775		1,3787		1,4647		1,5122		1,4559



4,09	1,2775
8,16	1,3787
13,01	1,4647
16,23	1,5122
18,92	1,4559

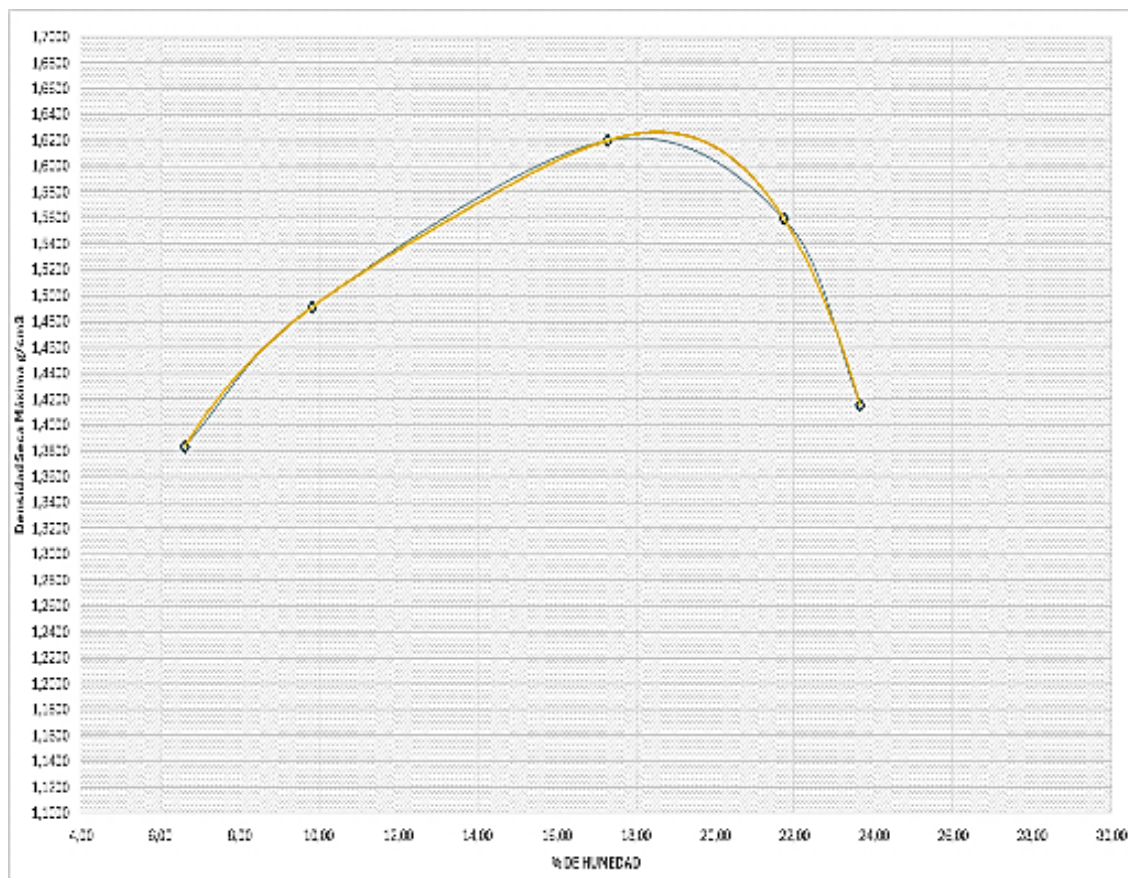
Humedad optima	16,5	%
Densidad Seca max	1,513	gr/cm³
	1513	kg/m³

Ensayo de Proctor Estándar calicata 6

DATOS DEL ENSAYO										
PUNTO #	1		2		3		4		5	
MATERIAL PARA ENSAYO	GRUESO	FINO	GRUESO	FINO	GRUESO	FINO	GRUESO	FINO	GRUESO	FINO
RECIPIENTE #	A	D			R1		2		DK	
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA HUMEDA (P1)	102,00	89,63			81,58		67,28		96,51	
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA SECA (P2)	98,63	82,98			71,49		74,18		80,23	
MASA DE AGUA (P3=P1-P2)	3,37	6,65			10,09		13,10		16,28	
MASA DE RECIPIENTE (P4)	16,78	16,83			16,67		16,92		17,58	
MASA DE MUESTRA SECA (P5=P2-P4)	81,85	66,15			54,82		57,26		62,65	
% DE HUMEDAD (W=P3X100/P5)	4,12	10,05			18,41		22,88		25,99	
% DE HUMEDAD PROMEDIO	4,12	10,05			18,41		22,88		25,99	
% DE HUMEDAD AÑADIDA AL SUELO	NATURAL	75			150		250		300	
MASA DE CILINDRO +SUELO HUMEDO (P6)	5410	5596			5798		5822		5700	
MASA DE SUELO HUMEDO (P8=P6-P7)	1616	1802			2004		2028		1906	
DENSIDAD HUMEDA DEL SUELO (Dh=P8/V)	1,4949	1,8335			1,8956		1,8384		1,7278	
DENSIDAD SECA DEL SUELO (Ds=Dh/(1+W/100))	1,4070	1,4843			1,5342		1,4961		1,3714	

Modificado Metodo A: Material que pasa tamiz N.º 4 Utilizado cuando el 20 % o menos del material queda retenido en tamiz N.º 4

DATOS DEL ENSAYO										
PUNTO #	1		2		3		4		5	
MATERIAL PARA ENSAYO	GRUESO	FINO	GRUESO	FINO	GRUESO	FINO	GRUESO	FINO	GRUESO	FINO
RECIPiente #		F		KI		A4		LM		UP
MASA DE RECIPiente + MUESTRA HUMEDA (P1)		86,62		74,82		71,66		74,93		88,18
MASA DE RECIPiente + MUESTRA SECA (P2)		82,31		69,65		63,54		64,67		74,63
MASA DE AGUA (P3=P1-P2)		4,31		5,17		8,12		10,26		13,55
MASA DE RECIPiente (P4)		17,18		17,12		16,57		17,46		17,36
MASA DE MUESTRA SECA (P5=P2-P4)		65,13		52,53		46,97		47,21		57,27
% DE HUMEDAD (W=P3X100/P5)		6,62		9,84		17,29		21,73		23,66
% DE HUMEDAD PROMEDIO		6,62		9,84		17,29		21,73		23,66
% DE HUMEDAD AÑADIDA AL SUELO		NATURAL		120		240		300		350
MASA DE CILINDRO +SUELO HUMEDO (P6)		5418		5598		5887		5885		5722
MASA DE SUELO HUMEDO (P8=P6-P7)		1627		1807		2096		2094		1931
DENSIDAD HUMEDA DEL SUELO (Dh=P8/V)		1,4749		1,6380		1,9000		1,8982		1,7504
DENSIDAD SECA DEL SUELO (Ds=Dh/(1+W/100))		1,3833		1,4913		1,6199		1,5593		1,4155



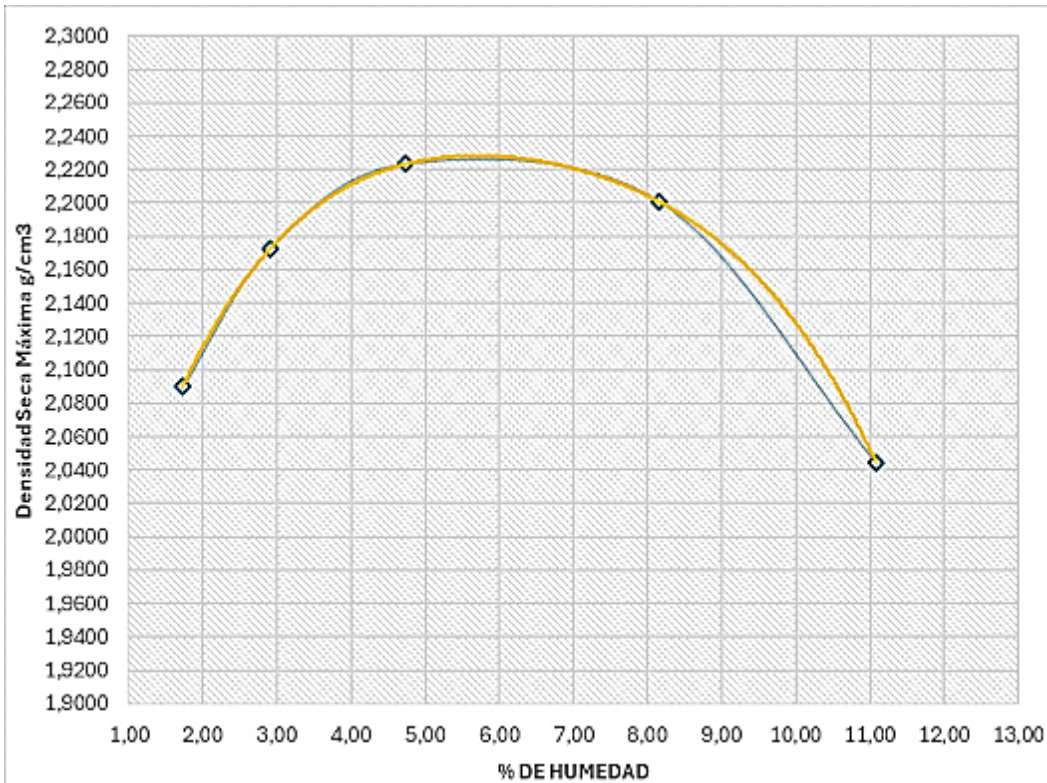
1,73	2,0901
2,91	2,1728
4,73	2,2232
8,15	2,2009
11,08	2,0444

Humedad optima	19	%
Densidad Seca max	1,627	gr/cm³
	1627	kg/m³

Ensayo de Proctor Modificado Cantera Juan Montalvo

DATOS DE SUELO NATURAL		Modificado Metodo C: Material utilizado cuando más del 20 % del material queda retenido en tamiz de 9.5 mm y menos del 30 % queda retenido en tamiz de 19 mm
MASA DEL CILINDRO(P7)	6245 g	
VOLUMEN DEL CILINDRO (V)	2046,8 cm ³	
MASA DEL MARTILLO (Kg)	4,69 Kg	
ALTURA DE CAIDA DEL MARTILLO (cm)	45,72 cm	
TIPO DE ENSAYO	Modificado	
# DE CAPAS	5	
# DE GOLPES POR CAPA	56	

DATOS DEL ENSAYO										
PUNTO #	1		2		3		4		5	
MATERIAL PARA ENSAYO	GRUESO	FINO	GRUESO	FINO	GRUESO	FINO	GRUESO	FINO	GRUESO	FINO
RECIPIENTE #	R		CZ		K1		R1		T	
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA HUMEDA (P1)	124,63		110,93		96,32		113,94		115,13	
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA SECA (P2)	122,80		108,27		92,74		106,61		105,32	
MASA DE AGUA (P3-P1-P2)	1,83		2,66		3,58		7,33		9,81	
MASA DE RECIPIENTE (P4)	16,95		17,01		17,13		16,67		16,78	
MASA DE MUESTRA SECA (P5=P2-P4)	105,85		91,26		75,61		89,94		88,54	
% DE HUMEDAD (W=P3X100/P5)	1,73		2,91		4,73		8,15		11,08	
% DE HUMEDAD PROMEDIO	1,73		2,91		4,73		8,15		11,08	
% DE HUMEDAD AÑADIDA AL SUELO	NATURAL		100		200		350		500	
MASA DE CILINDRO +SUELO HUMEDO (P6)	10597		10822		11011		11117		10893	
MASA DE SUELO HUMEDO (P8=P6-P7)	4352		4577		4766		4872		4648	
DENSIDAD HUMEDA DEL SUELO (Dh=P8/V)	2,1262		2,2362		2,3285		2,3803		2,2709	
DENSIDAD SECA DEL SUELO (Ds=Dh*(1+W/100))	2,0901		2,1728		2,2232		2,2009		2,0444	



1,73	2,0901
2,91	2,1728
4,73	2,2232
8,15	2,2009
11,08	2,0444

Humedad optima	6	%
Densidad Seca max	2,227	gr/cm ³
	2227	kg/m ³

Anexo 7 Ensayo de ensayo de CBR

CBR Calicata 1

MOLDE N°	1	2	3	PESO DEL MARTILLO	10 lb.
PESO MOLDE	5,586	5,518	5,291	ALTURA DEL MOLDE	18"
VOLUMEN MOLDE	0,00324683	0,00387655	0,00342452		
N° DE GOLPES CAPA	12	25	56		

N° de ensayo		1	2	3			
ANTES DE LA INMERSION							
N° DE GOLPES CAPA:		12 Golpes x capa	25 Golpes x capa	56 Golpes x capa			
HUMEDAD	N° recipiente	K	R1	K1			
	Wh+r (g)	92,04	91,96	93,01			
	Ws+r (g)	85,88	85,69	86,92			
	Ww (g)	6,16	6,27	6,09			
	r (g)	17,23	16,67	17,83			
	Ws (g)	68,65	69,02	69,09			
	w(%)	8,97	9,08	8,81			
MOLDE NUMERO		1	2	3			
Molde+suelo humedo(kg)		10,418	11,897	12,017			
molde(kg)		5,586	5,518	5,291			
Suelo humedo(Wh) (kg)		4,832	6,379	6,726			
volumen del suelo (m^3)		0,00324683	0,00387655	0,00342452			
Contenido de agua (w)		8,97	9,08	8,81			
Densidad humeda (H) (Kg/m^3)		1488,22	1645,54	1964,07			
Densidad seca (S)		1365,68	1508,50	1804,97			
DESPUES DE LA INMERSION							
		ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO
HUMEDAD	N° recipiente	L	KM	K	XL	41	R1
	Wh+r (g)	91,48	88,79	95,15	96,44	98,09	94,99
	Ws+r (g)	82,15	79,41	85,26	86,21	87,26	85,01
	Ww (g)	9,33	9,38	9,89	10,23	10,83	9,98
	r (g)	17,25	17,55	17,17	18,48	17,01	16,67
	Ws (g)	64,9	61,86	68,09	67,73	70,25	68,34
	w(%)	14,38	15,16	14,52	15,10	15,42	14,60
Promedio w (%)		14,77		14,81		15,01	
MOLDE NUMERO		1		2		3	
Molde+suelo humedo(kg)		10,625		11,925		12,365	
molde (kg)		5,586		5,518		5,291	
Suelo humedo(Wh) (kg)		5,039		6,407		7,074	
volumen del suelo (m^3)		0,00324683		0,00387655		0,00342452	
Contenido de agua (w)		14,77		14,81		15,01	
Densidad humeda (H) (Kg/m^3)		1551,98		1652,76		2065,69	
Densidad seca (S)		1352,25		1439,50		1796,10	

lon inicial	4
-------------	---

HINCHAMIENTO			
Lectura inicial	0,020	0,011	0,010
24 horas	0,030	0,040	0,059
48 horas	0,058	0,050	0,061
72 horas	0,073	0,063	0,064
HINCHAMIENTO %	1,3	1,3	1,4

NUMERO DE ENSAYO	1	2	3	1	2	3
Tamiz ASTM Abertura /Nº	CARGA DE PENETRACION EN Lb			CARGA DE PENETRACION EN Kg		
1.27 mm (0.05")	67,10	69,30	179,30	30,5	31,5	81,5
2.54 mm (0.10")	124,30	165,00	335,50	56,5	75	152,5
3.81 mm (0.15")	181,50	262,90	442,20	82,5	119,5	201
5.06 mm (0.20")	243,10	346,50	530,20	110,5	157,5	241
7.62 mm (0.30")	367,40	491,70	671,00	167	223,5	305
10.16 mm (0.40")	478,50	603,90	766,70	217,5	274,5	348,5
12.87 mm (0.50")	568,70	716,10	842,60	258,5	325,5	383

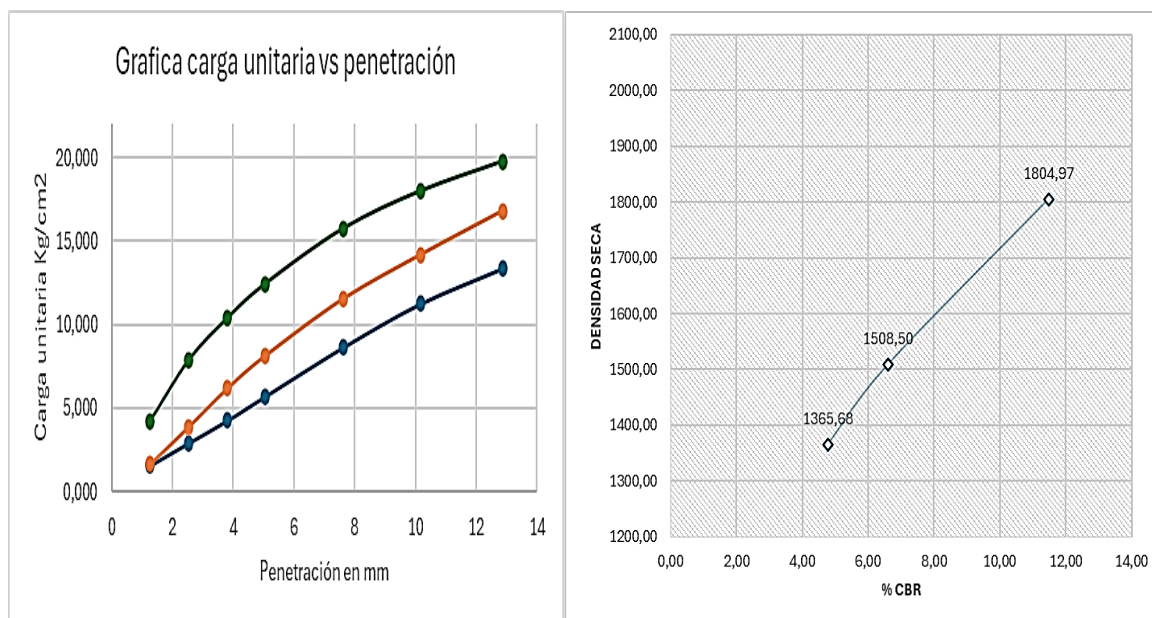
NUMERO DE ENSAYO	1	2	3	1	2	3
Tamiz ASTM Abertura /Nº	CARGA UNITARIA EN Lb/pulg ²			CARGA UNITARIA EN Kg/cm ²		
1.27 mm (0.05")	22,37	23,10	59,77	1,576	1,628	4,211
2.54 mm (0.10")	41,43	55,00	111,83	2,919	3,875	7,879
3.81 mm (0.15")	60,50	87,63	147,40	4,263	6,174	10,385
5.06 mm (0.20")	81,03	115,50	176,73	5,709	8,138	12,452
7.62 mm (0.30")	122,47	163,90	223,67	8,628	11,548	15,758
10.16 mm (0.40")	159,50	201,30	255,57	11,238	14,183	18,006
12.87 mm (0.50")	189,57	238,70	280,87	13,356	16,818	19,788

	1	2
C.B.R	%	
12	4,14	5,40
25	5,50	7,70
56	11,18	11,78

4,77 1365,68
6,60 1508,50
11,48 1804,97

C.B.R	%	4,77	6,60	11,48
Densidad seca	γ_s	1365,68	1508,50	1804,97

Gráficas CBR Calicata 1- Estrato 1



CBR Calicata 2 – Estrato 2

MOLDE N°	1	2	3	PESO DEL MARTILLO	10 lb.
PESO MOLDE	7,019	5,543	5,384	ALTURA DEL MOLDE	18"
VOLUMEN MOLDE	0,0032124	0,003259	0,003215		
N° DE GOLPES CAPA					

N° de ensayo		1	2	3			
ANTES DE LA INMERSION							
N° DE GOLPES CAPA:		12 Golpes x capa	25 Golpes x capa	56 Golpes x capa			
HUMEDAD	N° recipiente	R	K	C			
	Wh+r (g)	102,55	104,99	101,03			
	Ws+r (g)	94,64	96,78	92,98			
	Ww (g)	7,91	8,21	8,05			
	r (g)	17,23	17,12	16,69			
	Ws (g)	77,41	79,66	76,29			
	w(%)	10,22	10,31	10,55			
MOLDE NUMERO		1	2	3			
Molde+suelo humedo(kg)		10,271	10,585	11,665			
molde(kg)		7,019	5,543	5,384			
Suelo humedo(Wh) (kg)		3,252	5,042	6,281			
volumen del suelo (m^3)		0,0032124	0,003259	0,003215			
Contenido de agua (w)		10,22	10,31	10,55			
Densidad humeda (H) (Kg/m^3)		1012,33	1547,10	1953,65			
Densidad seca (S)		918,47	1402,55	1767,18			
DESPUES DE LA INMERSION							
		ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO
HUMEDAD	N° recipiente	R	A4	B	P	JL	S
	Wh+r (g)	95,00	86,98	102,60	83,74	99,02	95,53
	Ws+r (g)	85,32	77,60	90,85	74,63	87,71	83,93
	Ww (g)	9,68	9,38	11,75	9,11	11,31	11,6
	r (g)	16,49	16,57	17,15	16,75	16,57	16,71
	Ws (g)	68,83	61,03	73,7	57,88	71,14	67,22
	w(%)	14,06	15,37	15,94	15,74	15,90	17,26
Promedio w (%)		14,72		15,84		16,58	
MOLDE NUMERO		1		2		3	
Molde+suelo humedo(kg)		10,470		10,639		11,788	
molde (kg)		7,019		5,543		5,384	
Suelo humedo(Wh) (kg)		3,451		5,096		6,404	
volumen del suelo (m^3)		0,0032124		0,003259		0,003215	
Contenido de agua (w)		14,72		15,84		16,58	
Densidad humeda (H) (Kg/m^3)		1074,27		1563,67		1991,91	
Densidad seca (S)		936,46		1349,84		1708,66	

ton inicial	4
-------------	---

HINCHAMIENTO			
Lectura inicial	0,020	0,020	0,013
24 horas	0,021	0,021	0,013
48 horas	0,022	0,022	0,015
72 horas	0,023	0,022	0,015
HINCHAMIENTO %	0,1	0,1	0,1

NUMERO DE ENSAYO	1	2	3	1	2	3
Tamiz ASTM Abertura /Nº	CARGA DE PENETRACION EN Lb			CARGA DE PENETRACION EN Kg		
1.27 mm (0.05")	50,60	59,40	63,80	23	27	29
2.54 mm (0.10")	234,30	355,30	601,70	106,5	161,5	273,5
3.81 mm (0.15")	471,90	782,10	1177,00	214,5	355,5	535
5.06 mm (0.20")	733,70	1156,10	1591,70	333,5	525,5	723,5
7.62 mm (0.30")	1131,90	1747,90	2585,00	514,5	794,5	1175
10.16 mm (0.40")	1475,10	2158,20	3511,20	670,5	981	1596
12.87 mm (0.50")	1655,50	2334,20	4422,00	752,5	1061	2010

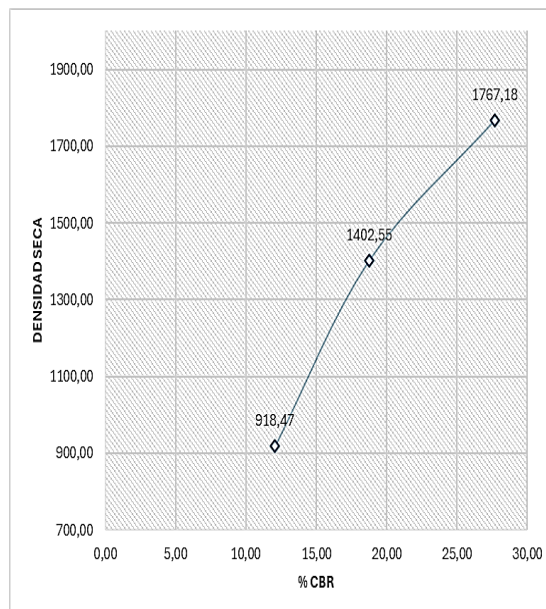
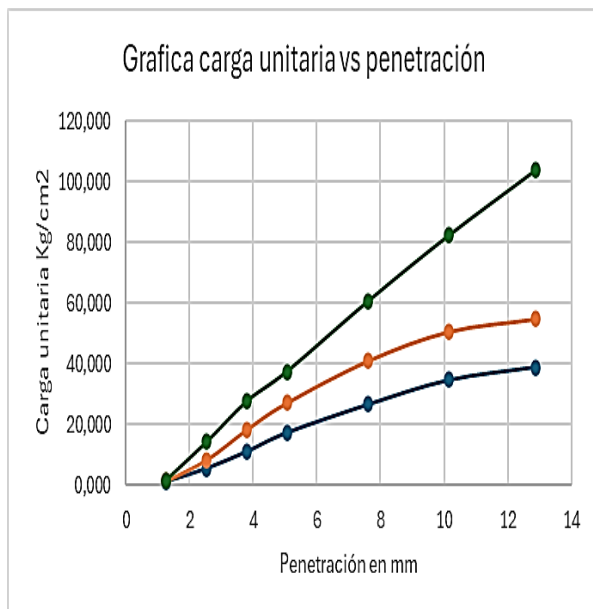
NUMERO DE ENSAYO	1	2	3	1	2	3
Tamiz ASTM Abertura /Nº	CARGA UNITARIA EN Lb/pulg ²			CARGA UNITARIA EN Kg/cm ²		
1.27 mm (0.05")	16,87	19,80	21,27	1,188	1,395	1,498
2.54 mm (0.10")	78,10	118,43	200,57	5,503	8,344	14,131
3.81 mm (0.15")	157,30	260,70	392,33	11,083	18,368	27,642
5.06 mm (0.20")	244,57	385,37	530,57	17,231	27,151	37,381
7.62 mm (0.30")	377,30	582,63	861,67	26,583	41,049	60,708
10.16 mm (0.40")	491,70	719,40	1170,40	34,643	50,685	82,460
12.87 mm (0.50")	551,83	778,07	1474,00	38,879	54,818	103,850

	1	2
C.B.R	%	
12	7,81	16,30
25	11,84	25,69
56	20,06	35,37

12,06 918,47
18,77 1402,55
27,71 1767,18

C.B.R	%	12,06	18,77	27,71
γ Densidad seca	γ _s	918,47	1402,55	1767,18

Gráficas CBR Calicata 2- Estrato 2



CBR Calicata 3

MOLDE N°	1	2	3	PESO DEL MARTILLO	10 lb.
PESO MOLDE	7,014	5,543	5,518	ALTURA DEL MOLDE	18"
VOLUMEN MOLDE	0,00321242	0,00325916	0,00387655		
N° DE GOLPES CAPA	12	25	56		

N° de ensayo		1	2	3			
ANTES DE LA INMERSION							
N° DE GOLPES CAPA:		12 Golpes x capa	25 Golpes x capa	56 Golpes x capa			
HUMEDAD	N° recipiente	C	T	DW			
	Wh+r (g)	86,24	88,77	88,62			
	Ws+r (g)	75,09	76,95	76,86			
	Ww (g)	11,15	11,82	11,76			
	r (g)	16,67	16,78	17,81			
	Ws (g)	58,42	60,17	59,05			
	w(%)	19,09	19,64	19,92			
MOLDE NUMERO		1	2	3			
Molde+suelo humedo(kg)		11,053	11,085	12,493			
molde(kg)		7,014	5,543	5,518			
Suelo humedo(Wh) (kg)		4,039	5,542	6,975			
volumen del suelo (m^3)		0,00321242	0,00325916	0,00387655			
Contenido de agua (w)		19,09	19,64	19,92			
Densidad humeda (H) (Kg/m^3)		1257,31	1700,44	1799,28			
Densidad seca (S)		1055,80	1421,24	1500,46			
DESPUES DE LA INMERSION							
		ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO
HUMEDAD	N° recipiente	P	DK	C	RG	F	K1
	Wh+r (g)	85,80	67,86	114,58	78,14	95,50	74,06
	Ws+r (g)	76,39	58,10	98,91	66,57	82,71	63,98
	Ww (g)	9,41	9,76	15,67	11,57	12,79	10,08
	r (g)	16,34	17,58	16,69	16,75	17,15	19,94
	Ws (g)	60,05	40,52	82,22	49,82	65,56	44,04
	w(%)	15,67	24,09	19,06	23,22	19,51	22,89
Promedio w (%)		19,88		21,14		21,20	
MOLDE NUMERO		1		2		3	
Molde+suelo humedo(kg)		11,611		11,579		12,602	
molde (kg)		7,014		5,543		5,518	
Suelo humedo(Wh) (kg)		4,597		6,036		7,084	
volumen del suelo (m^3)		0,00321242		0,00325916		0,00387655	
Contenido de agua (w)		19,88		21,14		21,20	
Densidad humeda (H) (Kg/m^3)		1431,01		1852,01		1827,40	
Densidad seca (S)		1193,71		1528,80		1507,77	

ton inicial	4
-------------	---

HINCHAMIENTO			
Lectura inicial	0,026	0,023	0,027
24 horas	0,032	0,031	0,036
48 horas	0,048	0,056	0,059
72 horas	0,064	0,073	0,084
HINCHAMIENTO %	1,0	1,3	1,4

NUMERO DE ENSAYO	1	2	3	1	2	3
Tamiz ASTM Abertura /Nº	CARGA DE PENETRACION EN Lb			CARGA DE PENETRACION EN Kg		
1.27 mm (0.05")	44,00	47,30	48,40	20,0	21,5	22,0
2.54 mm (0.10")	166,10	210,10	265,10	75,5	95,5	120,5
3.81 mm (0.15")	270,60	399,30	553,30	123,0	181,5	251,5
5.06 mm (0.20")	434,50	654,50	828,30	197,5	297,5	376,5
7.62 mm (0.30")	773,30	1021,90	1215,50	351,5	464,5	552,5
10.16 mm (0.40")	1059,30	1322,20	1570,80	481,5	601,0	714,0
12.87 mm (0.50")	1217,70	1415,70	1701,70	553,5	643,5	773,5

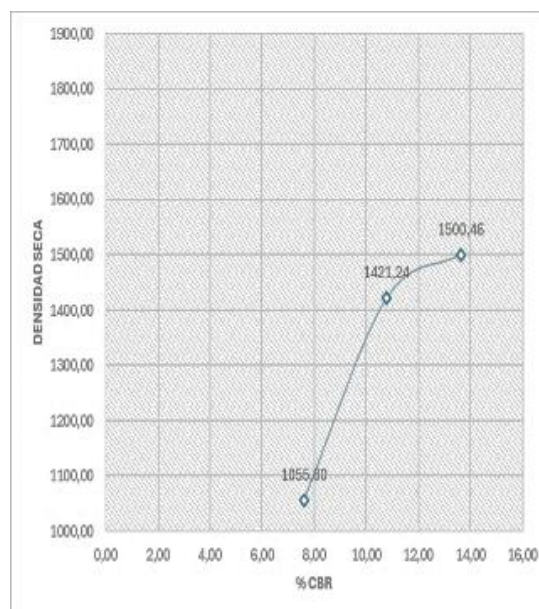
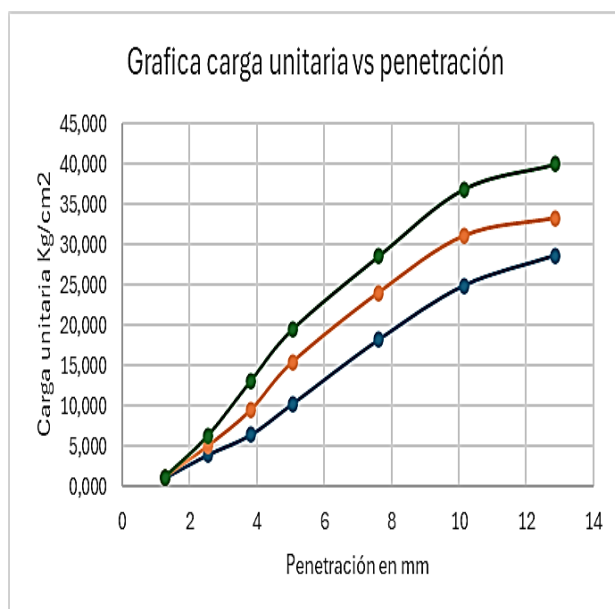
NUMERO DE ENSAYO	1	2	3	1	2	3
Tamiz ASTM Abertura /Nº	CARGA UNITARIA EN Lb/pulg2			CARGA UNITARIA EN Kg/cm2		
1.27 mm (0.05")	14,67	15,77	16,13	1,033	1,111	1,137
2.54 mm (0.10")	55,37	70,03	88,37	3,901	4,934	6,226
3.81 mm (0.15")	90,20	133,10	184,43	6,355	9,378	12,994
5.06 mm (0.20")	144,83	218,17	276,10	10,204	15,371	19,453
7.62 mm (0.30")	257,77	340,63	405,17	18,161	23,999	28,546
10.16 mm (0.40")	353,10	440,73	523,60	24,878	31,052	36,890
12.87 mm (0.50")	405,90	471,90	567,23	28,598	33,248	39,964

	1	2
C.B.R	%	
12	5,54	9,66
25	7,00	14,54
56	8,84	18,41

7,60 1055,80
10,77 1421,24
13,62 1500,46

C.B.R	%	7,60	10,77	13,62
Densidad seca	γ_s	1055,80	1421,24	1500,46

Gráficas CBR Calicata 3



CBR Calicata 4

MOLDE N°	1	2	3	PESO DEL MARTILLO	10 lb.
PESO MOLDE	7,299	5,586	5,518	ALTURA DEL MOLDE	18"
VOLUMEN MOLDE	0,00321893	0,00324683	0,00387655		
N° DE GOLPES CAPA	12	25	56		

N° de ensayo		1	2	3			
ANTES DE LA INMERSION							
N° DE GOLPES CAPA:		12 Golpes x capa	25 Golpes x capa	56 Golpes x capa			
HUMEDAD	N° recipiente	2	K2	D			
	Wh+r (g)	92,34	83,52	96,18			
	Ws+r (g)	80,23	72,78	83,31			
	Ww (g)	12,11	10,74	12,87			
	r (g)	16,92	16,70	16,83			
	Ws (g)	63,31	56,08	66,48			
	w(%)	19,13	19,15	19,36			
MOLDE NUMERO		1	2	3			
Molde+suelo humedo(kg)		11,549	11,017	12,807			
molde(kg)		7,299	5,586	5,518			
Suelo humedo(Wh) (kg)		4,250	5,431	7,289			
volumen del suelo (m^3)		0,00321893	0,00324683	0,00387655			
Contenido de agua (w)		19,13	19,15	19,36			
Densidad humeda (H) (Kg/m^3)		1320,31	1672,71	1880,28			
Densidad seca (S)		1108,31	1403,85	1575,31			
DESPUES DE LA INMERSION							
		ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO
HUMEDAD	N° recipiente	41	A	K1	M	T	CZ
	Wh+r (g)	78,77	69,42	79,25	73,86	86,79	79,75
	Ws+r (g)	66,74	60,94	68,12	63,63	72,37	70,19
	Ww (g)	12,03	8,48	11,13	10,23	14,42	9,56
	r (g)	17,01	16,36	16,94	16,53	16,78	17,01
	Ws (g)	49,73	44,58	51,18	47,1	55,59	53,18
	w(%)	24,19	19,02	21,75	21,72	25,94	17,98
	Promedio w (%)	21,61		21,73		21,96	
MOLDE NUMERO		1	2	3			
Molde+suelo humedo(kg)		11,676	11,778	13,065			
molde (kg)		7,299	5,586	5,518			
Suelo humedo(Wh) (kg)		4,377	6,192	7,547			
volumen del suelo (m^3)		0,00321893	0,00324683	0,00387655			
Contenido de agua (w)		21,61	21,73	21,96			
Densidad humeda (H) (Kg/m^3)		1359,77	1907,09	1946,83			
Densidad seca (S)		1118,17	1566,61	1596,31			

ton inicial	4
-------------	---

HINCHAMIENTO			
Lectura inicial	0,034	0,020	0,009
24 horas	0,062	0,035	0,019
48 horas	0,067	0,044	0,021
72 horas	0,073	0,047	0,041
HINCHAMIENTO %	1,0	0,7	0,8

NUMERO DE ENSAYO	1	2	3	1	2	3
Tamiz ASTM Abertura /Nº	CARGA DE PENETRACION EN Lb			CARGA DE PENETRACION EN Kg		
1.27 mm (0.05")	50,60	63,80	70,40	23	29	32
2.54 mm (0.10")	161,70	339,90	584,10	73,5	154,5	265,5
3.81 mm (0.15")	364,10	709,50	1178,10	165,5	322,5	535,5
5.06 mm (0.20")	537,90	1030,70	1593,90	244,5	468,5	724,5
7.62 mm (0.30")	896,50	1499,30	2099,90	407,5	681,5	954,5
10.16 mm (0.40")	1059,30	1794,10	2622,40	481,5	815,5	1192
12.87 mm (0.50")	1175,90	2117,50	2982,10	534,5	962,5	1355,5

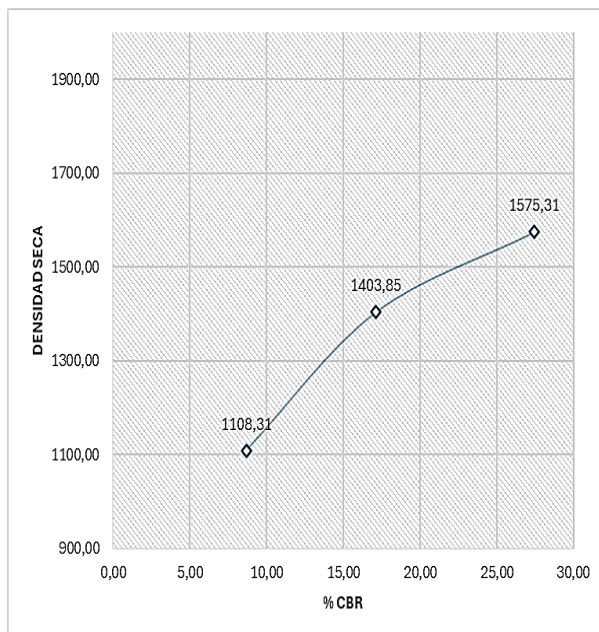
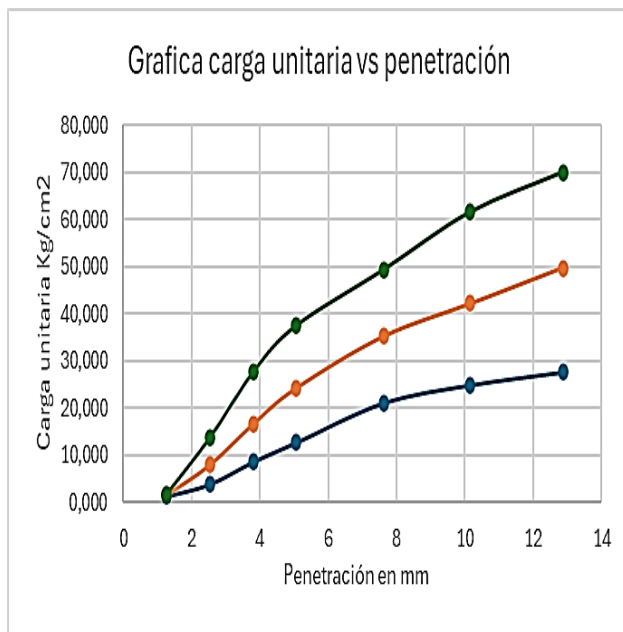
NUMERO DE ENSAYO	1	2	3	1	2	3
Tamiz ASTM Abertura /Nº	CARGA UNITARIA EN Lb/pulg2			CARGA UNITARIA EN Kg/cm2		
1.27 mm (0.05")	16,87	21,27	23,47	1,188	1,498	1,653
2.54 mm (0.10")	53,90	113,30	194,70	3,798	7,983	13,718
3.81 mm (0.15")	121,37	236,50	392,70	8,551	16,663	27,668
5.06 mm (0.20")	179,30	343,57	531,30	12,633	24,206	37,433
7.62 mm (0.30")	298,83	499,77	699,97	21,054	35,211	49,316
10.16 mm (0.40")	353,10	598,03	874,13	24,878	42,134	61,587
12.87 mm (0.50")	391,97	705,83	994,03	27,616	49,729	70,034

	1	2
C.B.R	%	
12	5,39	11,95
25	11,33	22,90
56	19,47	35,42

8,67 1108,31
17,12 1403,85
27,45 1575,31

C.B.R	%	8,67	17,12	27,45
Densidad seca	γ_s	1108,31	1403,85	1575,31

Gráficas CBR Calicata 4



CBR Calicata 5

MOLDE N°	1	2	3	PESO DEL MARTILLO	10 lb.
PESO MOLDE	4,290	5,584	4,291	ALTURA DEL MOLDE	18"
VOLUMEN MOLDE	0,00342372	0,00321516	0,00342452		
N° DE GOLPES CAPA	12	25	56		

N° de ensayo		1	2	3			
ANTES DE LA INMERSION							
N° DE GOLPES CAPA:		12 Golpes x capa	25 Golpes x capa	56 Golpes x capa			
HUMEDAD	N° recipiente	DK	R	K1			
	Wh+r (g)	93,77	101,17	105,85			
	Ws+r (g)	83,17	88,93	93,45			
	Ww (g)	10,60	12,24	12,40			
	r (g)	17,58	16,95	16,94			
	Ws (g)	65,59	71,98	76,51			
	w(%)	16,16	17,00	16,21			
MOLDE NUMERO		1	2	3			
Molde+suelo humedo(kg)		9,085	10,396	10,472			
molde(kg)		4,29	5,584	4,291			
Suelo humedo(Wh) (kg)		4,795	4,812	6,181			
volumen del suelo (m^3)		0,00342372	0,00321516	0,00342452			
Contenido de agua (w)		16,16	17,00	16,21			
Densidad humeda (H) (Kg/m^3)		1400,52	1496,66	1804,92			
Densidad seca (S)		1205,67	1279,14	1553,20			
DESPUES DE LA INMERSION							
		ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO
HUMEDAD	N° recipiente	A	DW	R1	R	J	B
	Wh+r (g)	104,13	91,26	89,7	86,07	109,64	92,02
	Ws+r (g)	89,43	80,86	78,53	74,88	92,65	82,15
	Ww (g)	14,7	10,4	11,17	11,19	16,99	9,87
	r (g)	16,36	17,81	16,67	16,95	17,13	16,76
	Ws (g)	73,07	63,05	61,86	57,93	75,52	65,39
	w(%)	20,12	16,49	18,06	19,32	22,50	15,09
Promedio w (%)		18,31		18,69		18,80	
MOLDE NUMERO		1	2	3			
Molde+suelo humedo(kg)		9,406	10,848	10,756			
molde (kg)		4,29	5,584	4,291			
Suelo humedo(Wh) (kg)		5,116	5,264	6,465			
volumen del suelo (m^3)		0,00342372	0,00321516	0,00342452			
Contenido de agua (w)		18,31	18,69	18,80			
Densidad humeda (H) (Kg/m^3)		1494,28	1637,24	1887,86			
Densidad seca (S)		1263,06	1379,47	1589,16			

ton inicial	4
-------------	---

HINCHAMIENTO			
Lectura inicial	0,02	0,020	0,021
24 horas	0,042	0,052	0,037
48 horas	0,044	0,058	0,042
72 horas	0,046	0,06	0,052
HINCHAMIENTO %	0,7	1,0	0,8

NUMERO DE ENSAYO	1	2	3	1	2	3
Tamiz ASTM Abertura /Nº	CARGA DE PENETRACION EN Lb			CARGA DE PENETRACION EN Kg		
1.27 mm (0.05")	15,40	27,50	56,10	7	12,5	25,5
2.54 mm (0.10")	18,70	38,50	91,30	8,5	17,5	41,5
3.81 mm (0.15")	22,00	46,20	116,60	10	21	53
5.06 mm (0.20")	25,30	53,90	140,80	11,5	24,5	64
7.62 mm (0.30")	30,80	63,80	178,20	14	29	81
10.16 mm (0.40")	35,20	71,50	210,10	16	32,5	95,5
12.87 mm (0.50")	39,60	78,10	240,90	18	35,5	109,5

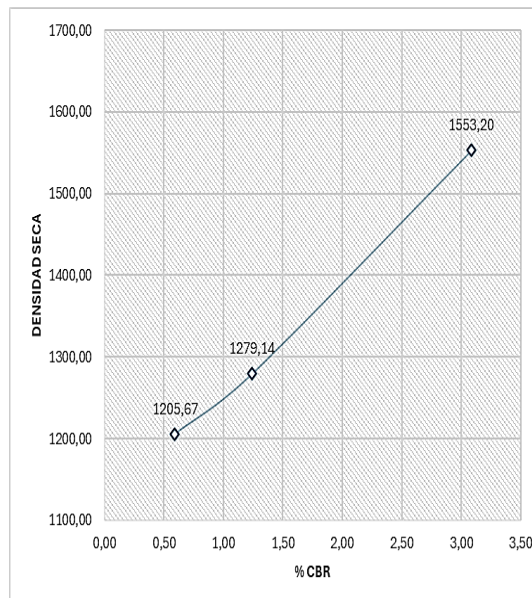
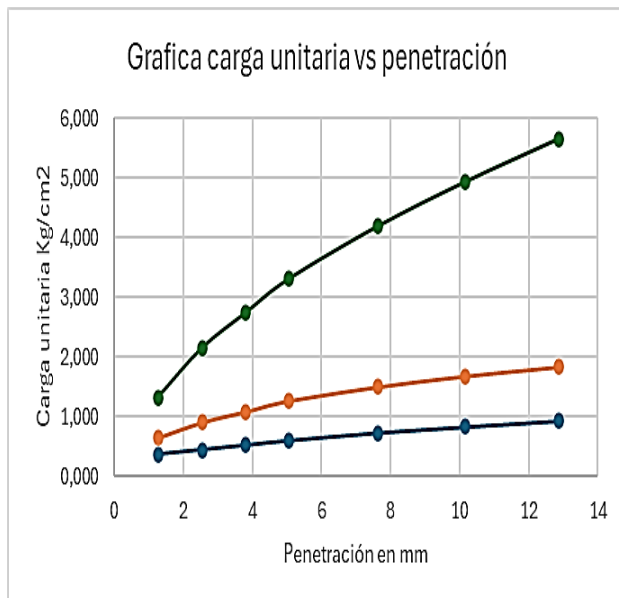
NUMERO DE ENSAYO	1	2	3	1	2	3
Tamiz ASTM Abertura /Nº	CARGA UNITARIA EN Lb/pulg2			CARGA UNITARIA EN Kg/cm2		
1.27 mm (0.05")	5,13	9,17	18,70	0,362	0,646	1,318
2.54 mm (0.10")	6,23	12,83	30,43	0,439	0,904	2,144
3.81 mm (0.15")	7,33	15,40	38,87	0,517	1,085	2,738
5.06 mm (0.20")	8,43	17,97	46,93	0,594	1,266	3,307
7.62 mm (0.30")	10,27	21,27	59,40	0,723	1,498	4,185
10.16 mm (0.40")	11,73	23,83	70,03	0,827	1,679	4,934
12.87 mm (0.50")	13,20	26,03	80,30	0,930	1,834	5,658

	1	2
C.B.R	%	
12	0,62	0,56
25	1,28	1,20
56	3,04	3,13

0,59 1205,67
1,24 1279,14
3,09 1553,20

C.B.R	%	0,59	1,24	3,09
Densidad seca	γ_s	1205,67	1279,14	1553,20

Gráficas CBR Calicata 5



CBR Calicata 6

MOLDE N°	1	2	3	PESO DEL MARTILLO	10 lb.
PESO MOLDE	7,088	5,518	4,290	ALTURA DEL MOLDE	18"
VOLUMEN MOLDE	0,0032371	0,00387655	0,00342372		
N° DE GOLPES CAPA	12	25	56		

N° de ensayo		1	2	3			
ANTES DE LA INMERSION							
N° DE GOLPES CAPA:		12 Golpes x capa	25 Golpes x capa	56 Golpes x capa			
HUMEDAD	N° recipiente	O	DK	UP			
	Wh+r (g)	88,98	95,45	101,04			
	Ws+r (g)	77,61	82,86	87,08			
	Ww (g)	11,37	12,59	13,96			
	r (g)	17,73	17,58	17,36			
	Ws (g)	59,88	65,28	69,72			
	w(%)	18,99	19,29	20,02			
MOLDE NUMERO		1	2	3			
Molde+suelo humedo(kg)		10,953	11,123	11,146			
molde(kg)		7,088	5,518	4,29			
Suelo humedo(Wh) (kg)		3,865	5,605	6,856			
volumen del suelo (m^3)		0,0032371	0,00387655	0,00342372			
Contenido de agua (w)		18,99	19,29	20,02			
Densidad humeda (H) (Kg/m^3)		1193,97	1445,87	2002,50			
Densidad seca (S)		1003,44	1212,10	1668,43			
DESPUES DE LA INMERSION							
		ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO
HUMEDAD	N° recipiente	DK	R1	A	K	C	DW
	Wh+r (g)	97,10	83,24	83,17	87,13	74,63	77,91
	Ws+r (g)	77,90	76,83	72,20	73,71	62,77	68,04
	Ww (g)	19,20	6,41	10,97	13,42	11,86	9,87
	r (g)	17,58	16,67	16,78	17,17	16,69	17,81
	Ws (g)	60,32	60,16	55,42	56,54	46,08	50,23
	w(%)	31,83	10,65	19,79	23,74	25,74	19,65
Promedio w (%)		21,24		21,76		22,69	
MOLDE NUMERO		1		2		3	
Molde+suelo humedo(kg)		11,412		11,524		11,913	
molde (kg)		7,088		5,518		4,29	
Suelo humedo(Wh) (kg)		4,324		6,006		7,623	
volumen del suelo (m^3)		0,0032371		0,00387655		0,00342372	
Contenido de agua (w)		21,24		21,76		22,69	
Densidad humeda (H) (Kg/m^3)		1335,76		1549,32		2226,53	
Densidad seca (S)		1101,73		1272,38		1814,70	

ton inicial	4
-------------	---

HINCHAMIENTO			
Lectura inicial	0,03	0,014	0,003
24 horas	0,06	0,056	0,004
48 horas	0,075	0,072	0,029
72 horas	0,077	0,079	0,044
HINCHAMIENTO %	1,2	1,6	1,0

1	1	2	3	1	2	3
Tamiz ASTM Abertura /Nº	CARGA DE PENETRACION EN Lb			CARGA DE PENETRACION EN Kg		
1.27 mm (0.05")	86,90	100,10	136,40	39,5	45,5	62,0
2.54 mm (0.10")	104,50	128,70	159,50	47,5	58,5	72,5
3.81 mm (0.15")	119,90	159,50	189,20	54,5	72,5	86,0
5.06 mm (0.20")	128,70	183,70	221,10	58,5	83,5	100,5
7.62 mm (0.30")	141,90	207,90	297,00	64,5	94,5	135,0
10.16 mm (0.40")	150,70	225,50	364,10	68,5	102,5	165,5
12.87 mm (0.50")	160,60	239,80	411,40	73,0	109,0	187,0

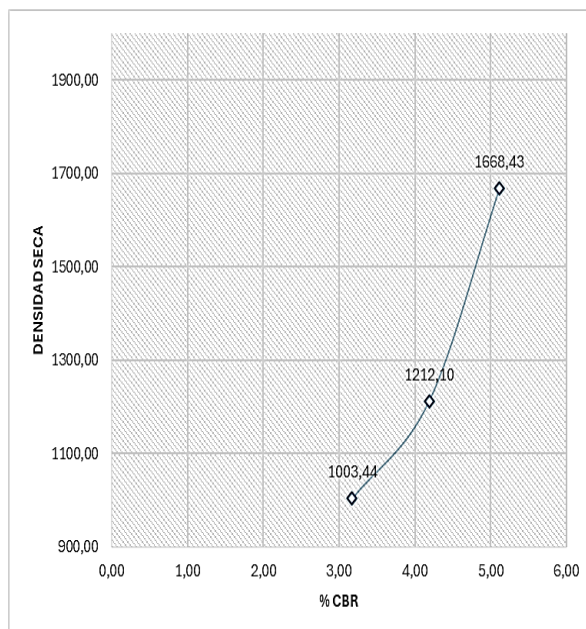
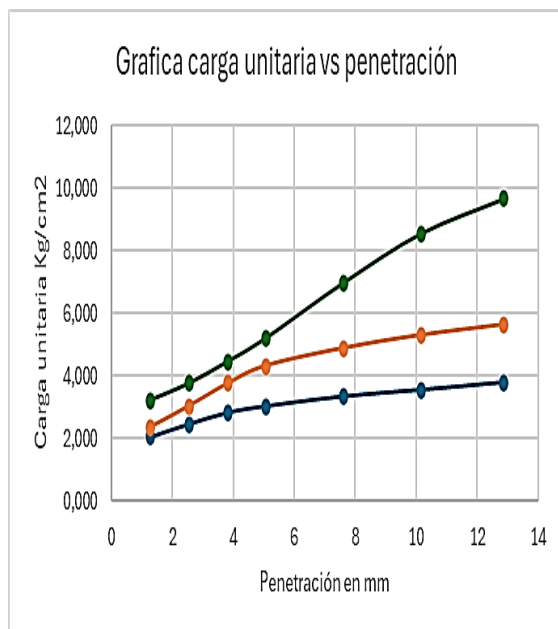
NUMERO DE ENSAYO	1	2	3	1	2	3
Tamiz ASTM Abertura /Nº	CARGA UNITARIA EN Lb/pulg2			CARGA UNITARIA EN Kg/cm2		
1.27 mm (0.05")	28,97	33,37	45,47	2,041	2,351	3,203
2.54 mm (0.10")	34,83	42,90	53,17	2,454	3,023	3,746
3.81 mm (0.15")	39,97	53,17	63,07	2,816	3,746	4,443
5.06 mm (0.20")	42,90	61,23	73,70	3,023	4,314	5,193
7.62 mm (0.30")	47,30	69,30	99,00	3,333	4,883	6,975
10.16 mm (0.40")	50,23	75,17	121,37	3,539	5,296	8,551
12.87 mm (0.50")	53,53	79,93	137,13	3,772	5,632	9,662

	1	2
C.B.R	%	
12	3,48	2,86
25	4,29	4,08
56	5,32	4,91

3,17 1003,44
4,19 1212,10
5,12 1668,43

C.B.R	%	3,17	4,19	5,12
Densidad seca	γ_s	1003,44	1212,10	1668,43

Gráficas CBR Calicata 6



MOLDE N°	1	2	3	PESO DEL MARTILLO	10 lb.
PESO MOLDE	5,384	5,291	5,586	ALTURA DEL MOLDE	18"
VOLUMEN MOLDE	0,003215	0,00342452	0,00324683		
N° DE GOLPES CAPA	12	25	56		

N° de ensayo		1	2	3			
ANTES DE LA INMERSION							
N° DE GOLPES CAPA:		12 Golpes x capa	25 Golpes x capa	56 Golpes x capa			
HUMEDAD	N° recipiente	K	B	JL			
	Wh+r (g)	107,18	102,89	114,45			
	Ws+r (g)	102,05	97,81	108,63			
	Ww (g)	5,13	5,08	5,82			
	r (g)	17,17	16,76	16,57			
	Ws (g)	84,88	81,05	92,06			
	w(%)	6,04	6,27	6,32			
MOLDE NUMERO		1	2	3			
Molde+suelo humedo(kg)		12,248	12,894	13,291			
molde(kg)		5,384	5,291	5,586			
Suelo humedo(Wh) (kg)		6,864	7,603	7,705			
volumen del suelo (m^3)		0,003215	0,00342452	0,00324683			
Contenido de agua (w)		6,04	6,27	6,32			
Densidad humeda (H) (Kg/m^3)		2134,99	2220,17	2373,08			
Densidad seca (S)		2013,31	2089,22	2231,98			
DESPUES DE LA INMERSION							
		ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO
HUMEDAD	N° recipiente	JL	A4	K	S	T	K1
	Wh+r (g)	91,92	97,75	83,03	91,65	70,70	80,75
	Ws+r (g)	90,96	84,72	77,65	83,79	66,02	74,32
	Ww (g)	0,96	13,03	5,38	7,86	4,68	6,43
	r (g)	16,57	16,67	17,17	16,71	16,78	17,13
	Ws (g)	74,39	68,05	60,48	67,08	49,24	57,19
	w(%)	1,29	19,15	8,90	11,72	9,50	11,24
Promedio w (%)		10,22		10,31		10,37	
MOLDE NUMERO		1		2		3	
Molde+suelo humedo(kg)		12,514		12,923		13,023	
molde (kg)		5,384		5,291		5,586	
Suelo humedo(Wh) (kg)		7,13		7,632		7,437	
volumen del suelo (m^3)		0,003215		0,00342452		0,00324683	
Contenido de agua (w)		10,22		10,31		10,37	
Densidad humeda (H) (Kg/m^3)		2217,73		2228,63		2290,54	
Densidad seca (S)		2012,11		2020,40		2075,26	

ton inicial	4
-------------	---

HINCHAMIENTO			
Lectura inicial	0,010	0,024	0,007
24 horas	0,011	0,025	0,013
48 horas	0,012	0,025	0,015
72 horas	0,012	0,025	0,015
HINCHAMIENTO %	0,05	0,03	0,2

NUMERO DE ENSAYO	1	2	3	1	2	3
Tamiz ASTM	CARGA DE PENETRACION EN Lb			CARGA DE PENETRACION EN Kg		
Abertura /N°						
1.27 mm (0.05")	319,00	632,50	985,60	145,0	287,5	448,0
2.54 mm (0.10")	693,00	1185,80	1901,90	315,0	539,0	864,5
3.81 mm (0.15")	930,60	1491,60	2440,90	423,0	678,0	1109,5
5.06 mm (0.20")	1159,40	1820,50	2858,90	527,0	827,5	1299,5
7.62 mm (0.30")	1464,10	2465,10	3743,30	665,5	1120,5	1701,5
10.16 mm (0.40")	1746,80	2973,30	4293,30	794,0	1351,5	1951,5
12.87 mm (0.50")	2010,80	3523,30	4748,70	914,0	1601,5	2158,5

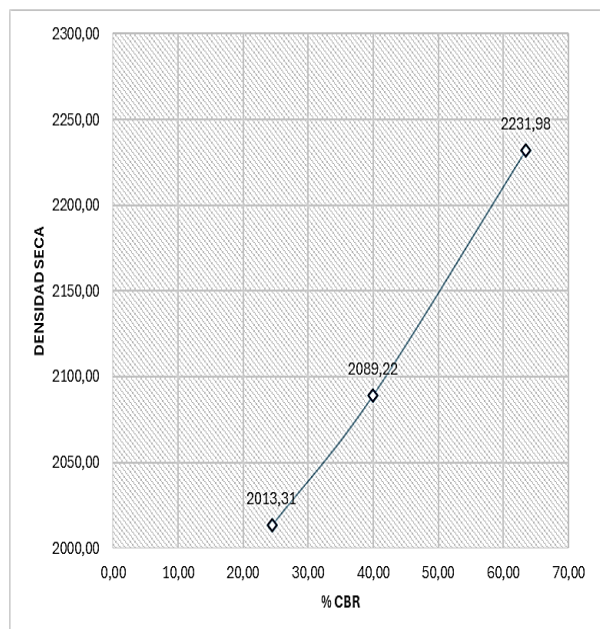
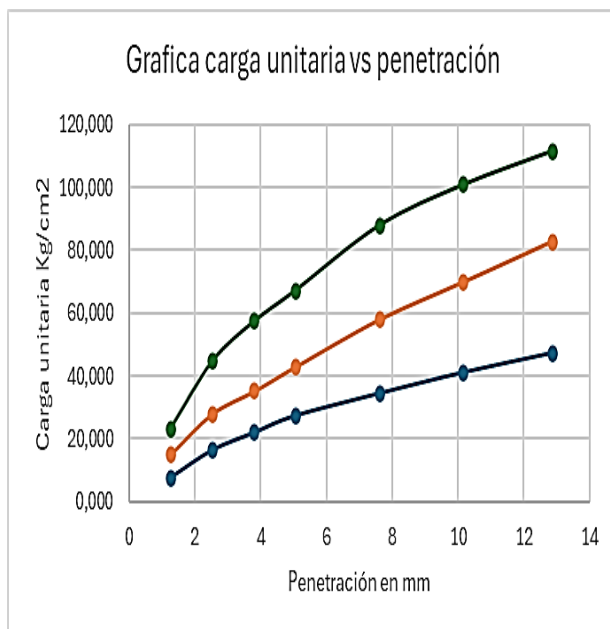
NUMERO DE ENSAYO	1	2	3	1	2	3
Tamiz ASTM	CARGA UNITARIA EN Lb/pulg ²			CARGA UNITARIA EN Kg/cm ²		
Abertura /N°						
1.27 mm (0.05")	106,33	210,83	328,53	7,492	14,854	23,147
2.54 mm (0.10")	231,00	395,27	633,97	16,275	27,848	44,666
3.81 mm (0.15")	310,20	497,20	813,63	21,855	35,030	57,324
5.06 mm (0.20")	386,47	606,83	952,97	27,228	42,754	67,141
7.62 mm (0.30")	488,03	821,70	1247,77	34,384	57,893	87,911
10.16 mm (0.40")	582,27	991,10	1431,10	41,023	69,828	100,828
12.87 mm (0.50")	670,27	1174,43	1582,90	47,223	82,744	111,523

	1	2
C.B.R	%	
12	23,10	25,76
25	39,53	40,46
56	63,40	63,53

24,43 2013,31
39,99 2089,22
63,46 2231,98

C.B.R	%	24,43	39,99	63,46
Densidad seca	γ_s	2013,31	2089,22	2231,98

Gráficas CBR Cantera Juan Montalvo





Criterio de colapsabilidad

MUESTRA 1	CALICATA 1 M1	
	LL	23,42%
	Relacion w/LL	0,14



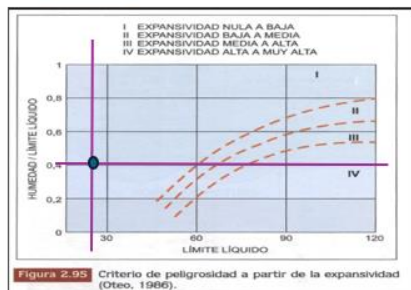
IV	Expansividad nula a alta
----	--------------------------

MUESTRA 1	CALICATA 2 M1	
	LL	NP
	Relacion w/LL	NP



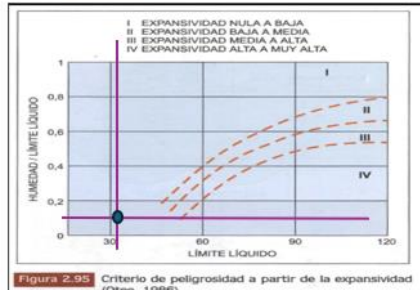
I	Expansividad nula a baja
---	--------------------------

MUESTRA 2	CALICATA 2 M2	
	LL	22,01%
	Relacion w/LL	0,41



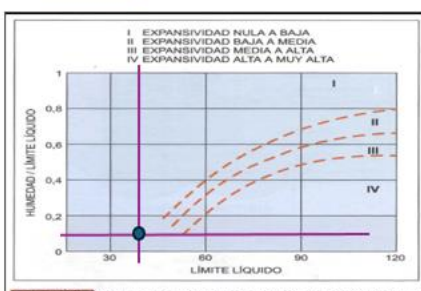
I	Expansividad nula a baja
---	--------------------------

MUESTRA 1	CALICATA 3 M1	
	LL	33,71%
	Relacion w/LL	0,12



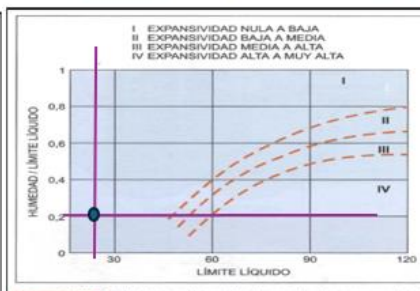
I	Expansividad nula a baja
---	--------------------------

MUESTRA 1	CALICATA 4 M1	
	LL	37,42%
	Relacion w/LL	0,11



I	Expansividad nula a baja
---	--------------------------

MUESTRA 1	CALICATA 5 M1	
	LL	22,15%
	Relacion w/LL	0,21



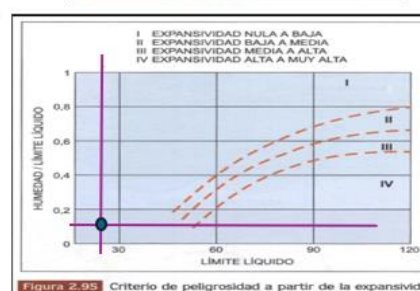
I	Expansividad nula a baja
---	--------------------------

MUESTRA 1	CALICATA 6 M1	
	LL	38,91%
	Relacion w/LL	0,19



I	Expansividad nula a baja
---	--------------------------

MUESTRA 1	CANTERA	
	LL	23,12%
	Relacion w/LL	0,14

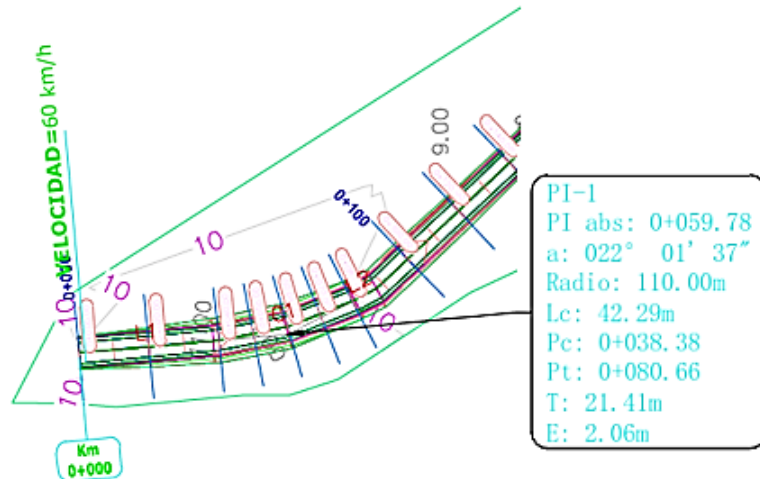


I	Expansividad nula a baja
---	--------------------------

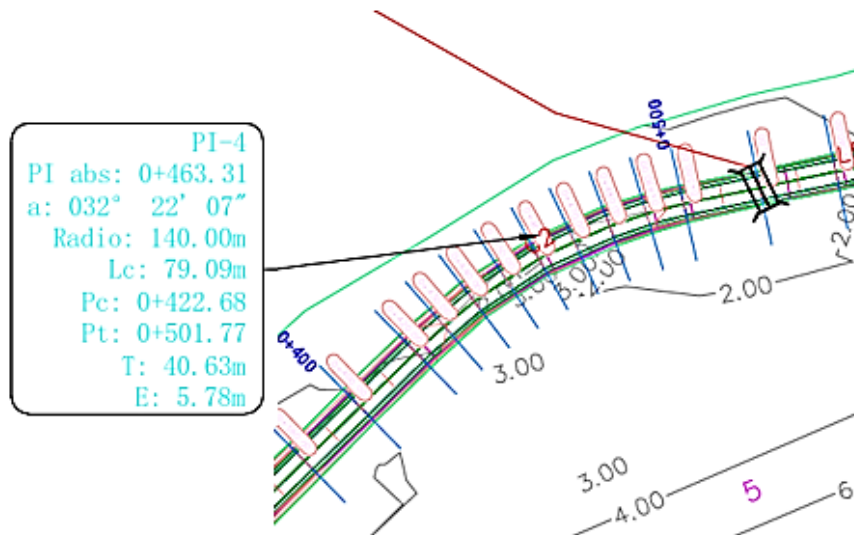
Anexo VIII

Curvas Horizontales.

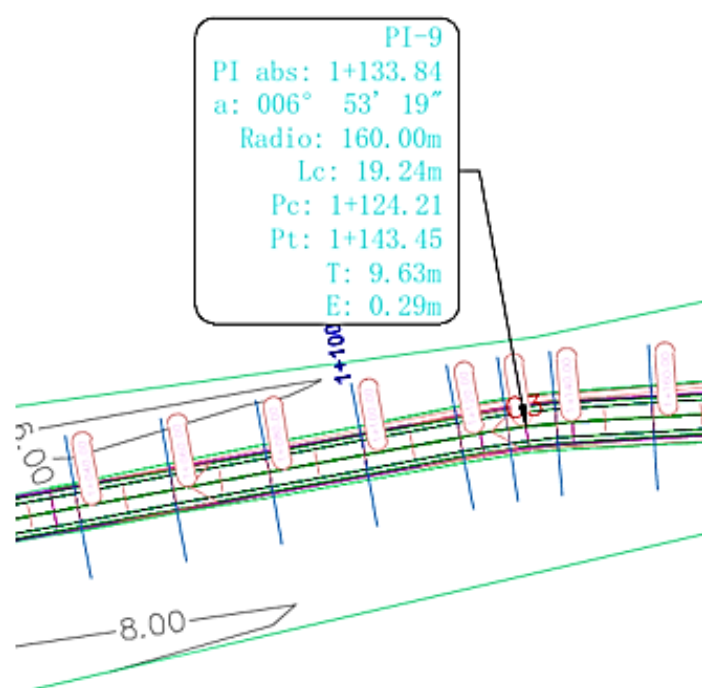
Nº Curva	1
Norte	9735547,22
Este	538995,629
Deflexión	22°01'37"
Peralte (%)	10%
Radio (m)	110
Longitud de la curva (m)	42,29
Tangente (m)	21,41
Cuerda larga (m)	42,03
Externa (m)	2,06
Sobreeancho (m)	0,90
PC	0+038,37
PI	0+059,78
PT	0+080,66



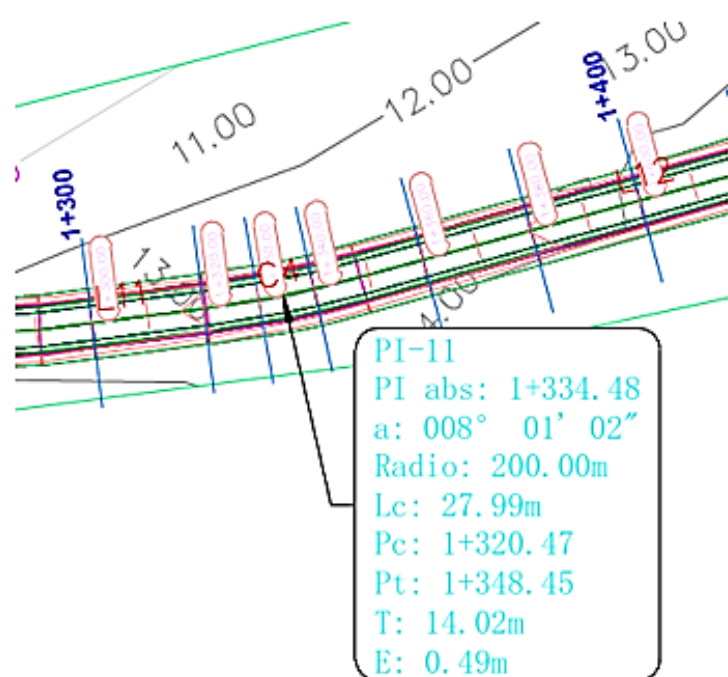
Nº Curva	2
Norte	9734530,32
Este	536494,227
Deflexión	32°22'07"
Peralte (%)	4%
Radio (m)	140
Longitud de la curva (m)	79,09
Tangente (m)	40,63
Cuerda larga (m)	78,04
Externa (m)	5,78
Sobreeancho (m)	0,8
PC	0+422,58
PI	0+463,21
PT	0+501,67



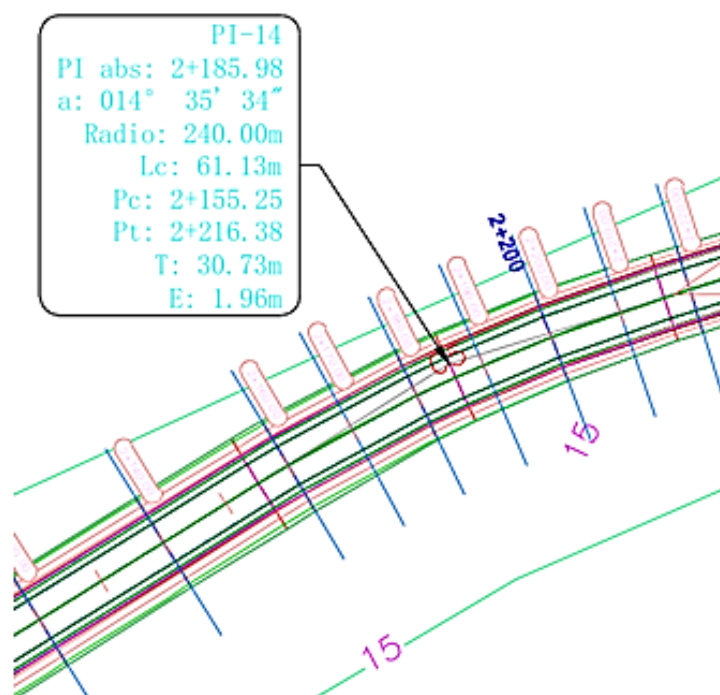
Nº Curva	3
Norte	9734523,24
Este	536490,596
Deflexión	6°53'19"
Peralte (%)	4%
Radio (m)	160
Longitud de la curva (m)	19,24
Tangente (m)	9,63
Cuerda larga (m)	19,23
Externa (m)	0,29
Sobrecancho (m)	0,70
PC	1+124,21
PI	1+133,84
PT	1+143,45



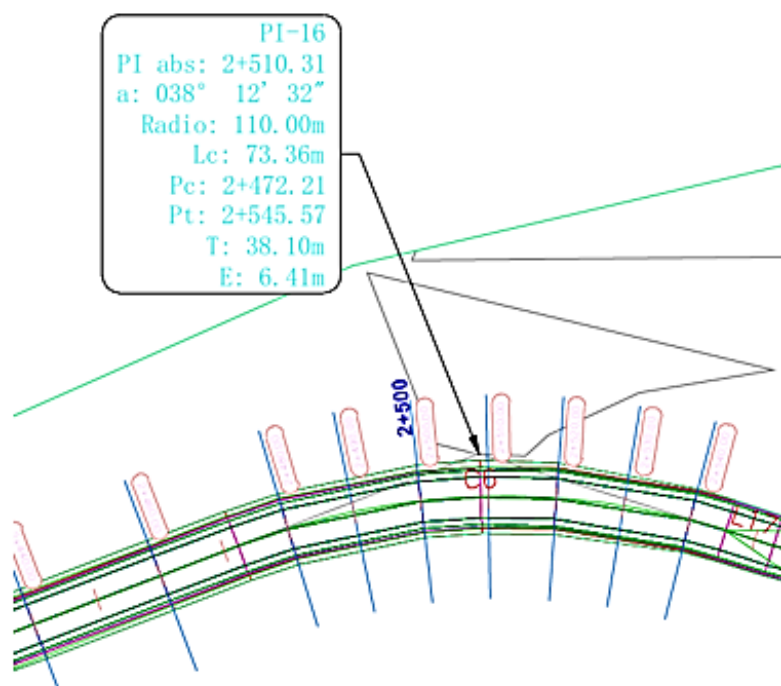
Nº Curva	4
Norte	9734548,04
Este	536503,482
Deflexión	8°01'02"
Peralte (%)	4%
Radio (m)	200
Longitud de la curva (m)	27,99
Tangente (m)	14,02
Cuerda larga (m)	27,96
Externa (m)	0,60
Sobrecancho (m)	0,60
PC	1+320,46
PI	1+334,48
PT	1+348,45



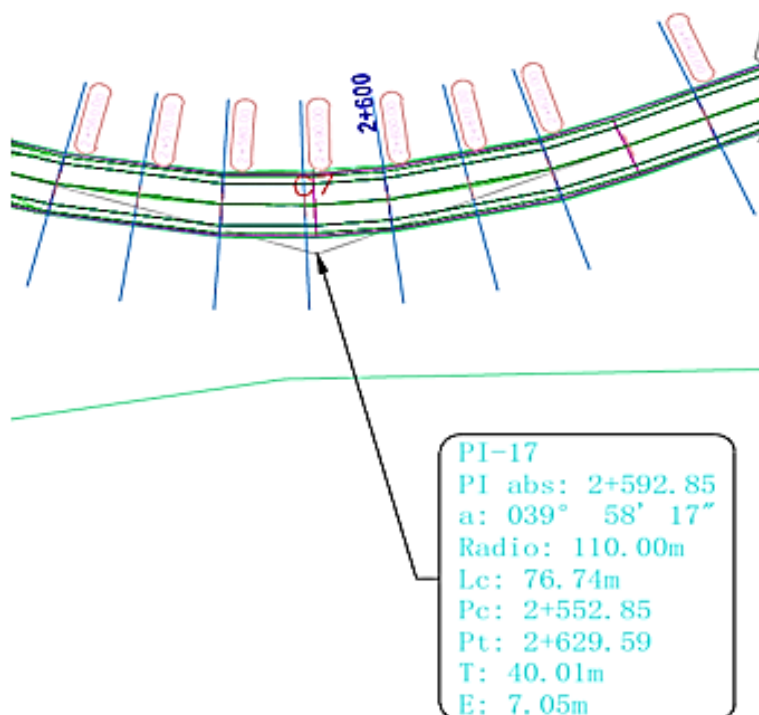
Nº Curva	5
Norte	9734554,06
Este	536506,849
Deflexión	14°35'34"
Peralte (%)	4%
Radio (m)	240
Longitud de la curva (m)	61,13
Tangente (m)	30,73
Cuerda larga (m)	60,96
Externa (m)	1,96
Sobrecancho (m)	0,54
PC	2+155,25
PI	2+185,98
PT	2+216,38



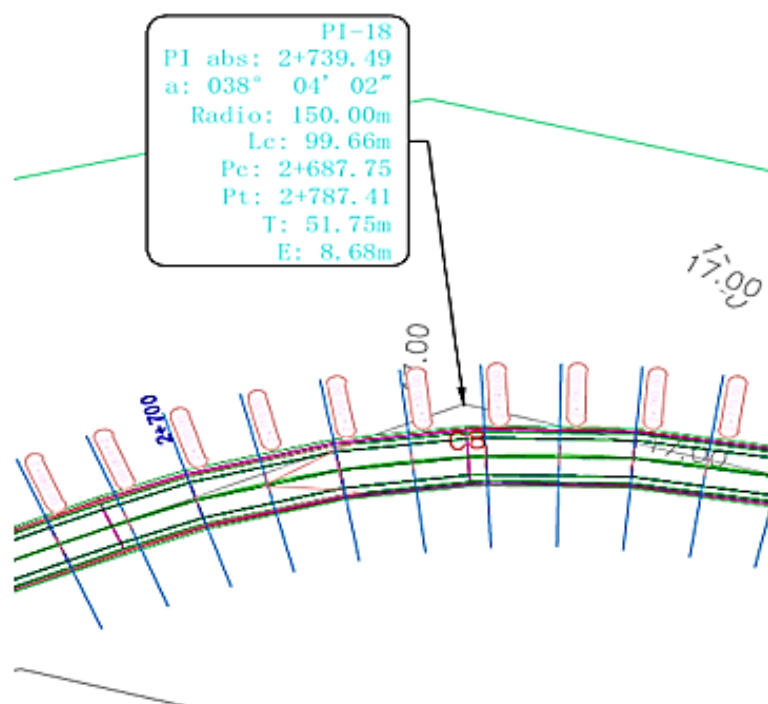
Nº Curva	6
Norte	9734544,18
Este	536511,209
Deflexión	38°12'32"
Peralte (%)	10%
Radio (m)	110
Longitud de la curva (m)	73,36
Tangente (m)	38,10
Cuerda larga (m)	72,00
Externa (m)	6,41
Sobrecancho (m)	0,90
PC	2+472,21
PI	2+510,31
PT	2+545,57



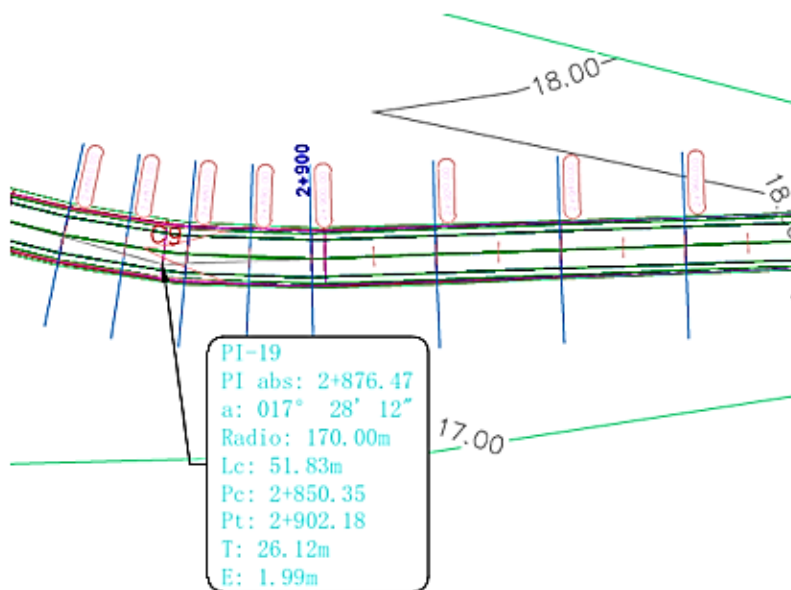
Nº Curva	7
Norte	9734557,93
Este	536516,954
Deflexión	39°58' 17"
Peralte (%)	10%
Radio (m)	110
Longitud de la curva (m)	76,74
Tangente (m)	40,01
Cuerda larga (m)	75,19
Externa (m)	7,05
Sobreeancho (m)	0,90
PC	2+552,84
PI	2+592,85
PT	2+629,58



Nº Curva	8
Norte	9734535,58
Este	536509,274
Deflexión	38°04' 02"
Peralte (%)	4%
Radio (m)	150
Longitud de la curva (m)	99,66
Tangente (m)	51,75
Cuerda larga (m)	97,84
Externa (m)	8,68
Sobreeancho (m)	0,7
PC	2+687,74
PI	2+739,49
PT	2+787,40



Nº Curva	9
Norte	9734523,14
Este	536508,091
Deflexión	17°28' 12"
Peralte (%)	4%
Radio (m)	170
Longitud de la curva (m)	51,83
Tangente (m)	26,12
Cuerda larga (m)	51,63
Externa (m)	1,99
Sobrecancho (m)	0,7
PC	2+850,35
PI	2+876,47
PT	2+902,18



Diseño Geométrico Horizontal													
Nº Curva	Norte	Este	Deflexión	Peralte (%)	Radio (m)	Longitud de la curva (m)	Tangente (m)	Cuerda larga (m)	Externa (m)	Sobrecancho (m)	PC	PI	PT
1	9735547,22	538995,629	22°01' 37"	10%	110	42,29	21,41	42,03	2,06	0,90	0+038,37	0+059,78	0+080,66
2	9734530,32	536494,227	32°22' 07"	4%	140	79,09	40,63	78,04	5,78	0,8	0+422,58	0+463,21	0+501,67
3	9734523,24	536490,596	6°53' 19"	4%	160	19,24	9,63	19,23	0,29	0,70	1+124,21	1+133,84	1+143,45
4	9734548,04	536503,482	8°01' 02"	4%	200	27,99	14,02	27,96	0,49	0,60	1+320,46	1+334,48	1+348,45
5	9734554,06	536506,849	14°35' 34"	4%	240	61,13	30,73	60,96	1,96	0,54	2+155,25	2+185,98	2+216,38
6	9734544,18	536511,209	38°12' 32"	10%	110	73,36	38,10	72,00	6,41	0,90	2+472,21	2+510,31	2+545,57
7	9734557,93	536516,954	39°58' 17"	10%	110	76,74	40,01	75,19	7,05	0,90	2+552,84	2+592,85	2+629,58
8	9734535,58	536509,274	38°04' 02"	4%	150	99,66	51,75	97,84	8,68	0,7	2+687,74	2+739,49	2+787,40
9	9734523,14	536508,091	17°28' 12"	4%	170	51,83	26,12	51,63	1,99	0,7	2+850,35	2+876,47	2+902,18

Anexo IX

Curvas Verticales.

CURVA 1

Tipo de Curva	CONCAVA
PIV	K 0+520
COTA	1,95
Velocidad	60
Clase de Vía	III
	ONDULADO
Factor K (TPDA)	13
Gradiente 1	-1,55
Gradiente 2	0,94
A	2,49
LV min	32,4
L1	28
L2	22
Replanteo	10

COMPARACION	
$\frac{L_{mayor}}{L_{menor}} \leq 1.5$	
50	
Lmayor	28
Lmenor	22
SI CUMPLE	1,27

Longitud de Curva	
-------------------	--

PIV	K 0+520
-----	---------

PCV	K 0+492
-----	---------

PTV	K 0+542
-----	---------

EXTERNAL	0,15
----------	------

LV 50m

Punto	Abscisa	Distancia	COTA TANGENTE	P (%)	Correccion Y $Y = E \left(\frac{x}{lv1} \right)^2$ $Y = E \left(\frac{x}{lv2} \right)^2$	COTA PROYECTO
PCV	K 0+492	0	2,38	-1,55%	0,000	2,38
	K 0+500	8	2,26		0,012	2,27
	K 0+510	18	2,11		0,062	2,17
	K 0+520	28	1,95		0,150	2,10
	K 0+530	38	1,80		0,276	2,07
	K 0+540	48	1,64		0,441	2,08
	K 0+550	58	1,49		0,644	2,13
	K 0+560	68	1,33		0,885	2,21
	K 0+570	78	1,18		1,164	2,34
	K 0+580	88	1,02		1,482	2,50
	K 0+590	98	0,87		1,838	2,70
	K 0+600	108	0,71		2,232	2,94
PIV	K 0+520	28	2		0,15	2,10
	K 0+530	12	2,04		0,045	2,09
	K 0+540	2	2,14		0,001	2,14
	K 0+550	8	2,23		0,020	2,25
	K 0+560	18	2,33		0,100	2,43
	K 0+570	28	2,42		0,243	2,66
	K 0+580	38	2,51		0,448	2,96
	K 0+590	48	2,61		0,714	3,32
	K 0+600	58	2,70		1,043	3,74
PTV	K 0+542	0	2,16	0,94%	0,00	2,16

CURVA 2

Tipo de Curva	CONCAVA
PIV	K 1+020
COTA	6,644
Velocidad	60
Clase de Vía	III
	ONDULADO
Factor K (TPDA)	13
Gradiente 1	0,94
Gradiente 2	1,58
A	0,64
LV min	8,32
L1	15
L2	15
Replanteo	10

Longitud de Curva	
-------------------	--

PIV	K 1+020
-----	---------

PCV	K 1+005
-----	---------

PTV	K 1+035
-----	---------

EXTERNAL	0,02
----------	------

LV 30m

Punto	Abscisa	Distancia	COTA TANGENTE	P (%)	Correccion Y $Y = E \left(\frac{x}{Lc/2} \right)^2$	COTA PROYECTO
PCV	K 1+005	0	6,50	0,94%	0,000	6,50
	K 1+020	15	6,64	0,94%	0,024	6,67
PIV	K 1+020	15	7		0,02	6,67
	K 1+030	5	6,80	1,58%	0,003	6,80
PTV	K 1+035	0	6,88	1,58%	0,00	6,88

CURVA 3

Tipo de Curva	CONVEXA
PIV	K 1+560
COTA	15,191
Velocidad	60
Clase de Via	III
	ONDULADO
Factor K (TPDA)	12
Gradiente 1	1,58
Gradiente 2	-0,73
A	2,31
LV min	27,72
L1	30
L2	30
Replanteo	10

LV 60 m

Longitud de Curva

PIV	K 1+560
------------	---------

PCV	K 1+530
------------	---------

PTV	K 1+590
------------	---------

EXTERNAL	0,17
-----------------	------

Punto	Abscisa	Distancia	COTA TANGENTE	P (%)	Correccion Y $Y = E \left(\frac{x}{Lc/2} \right)^2$	COTA PROYECTO
PCV	K 1+530	0	14,72	1,58%	0,000	14,72
	K 1+530	0	14,72	1,58%	0,000	14,72
	K 1+540	10	14,88	1,58%	0,019	14,86
PIV	K 1+560	30	15		0,17	15,02
	K 1+570	20	15,12	-0,73%	0,077	15,04
	K 1+580	10	15,05	-0,73%	0,019	15,03
PTV	K 1+590	0	14,97	-0,73%	0,00	14,97

CURVA 4

Tipo de Curva	CONCAVA
PIV	K 2+000
COTA	12
Velocidad	60
Clase de Via	III
	ONDULADO
Factor K (TPDA)	13
Gradiente 1	-0,73
Gradiente 2	0,61
A	1,34
LV min	17
L1	35
L2	25
Replanteo	10

LV 40 m

COMPARACION	
$\frac{L_{mayor}}{L_{menor}} \leq 1.5$	
40	
Lmayor	35
Lmenor	25
SI CUMPLE	1,40

Longitud de Curva

PIV	K 2+000
------------	---------

PCV	K 1+965
------------	---------

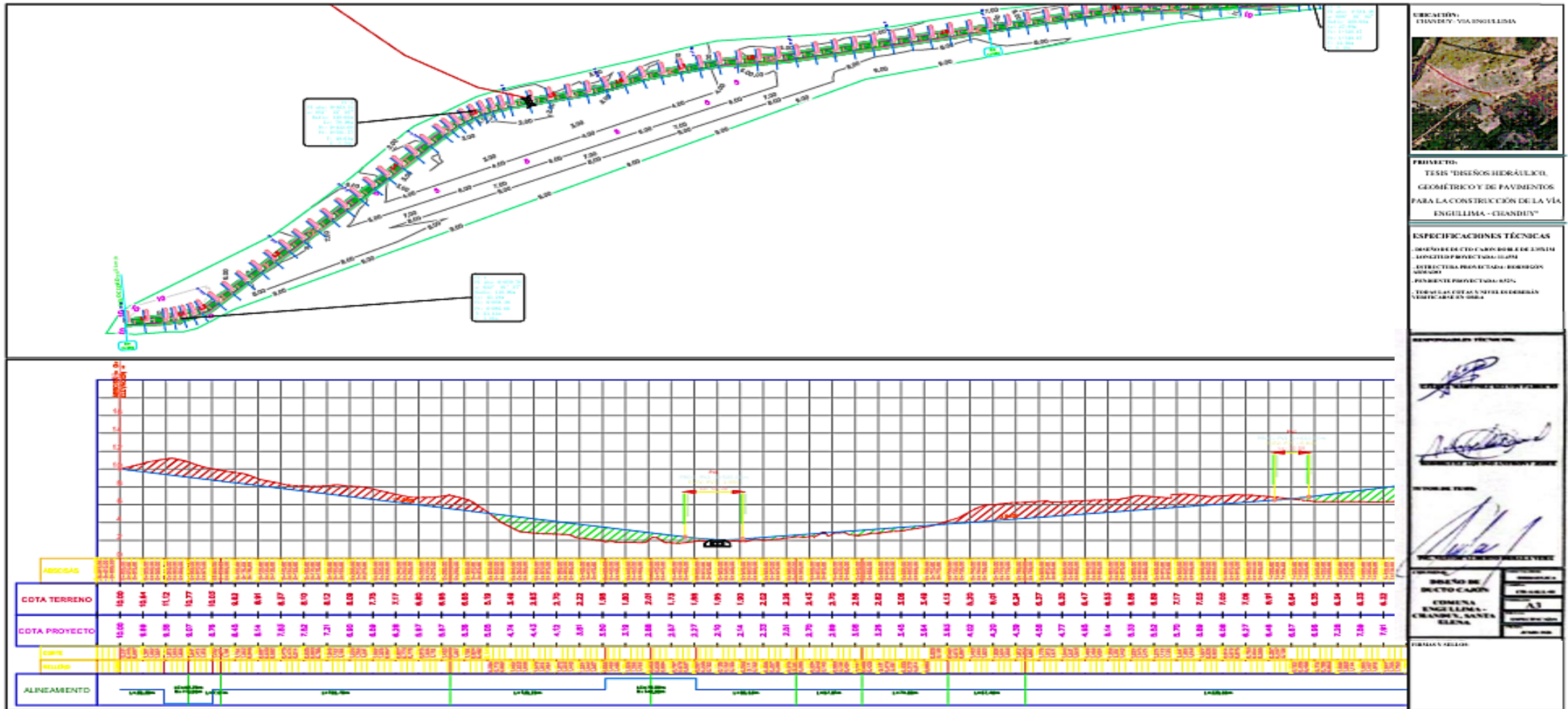
PTV	K 2+005
------------	---------

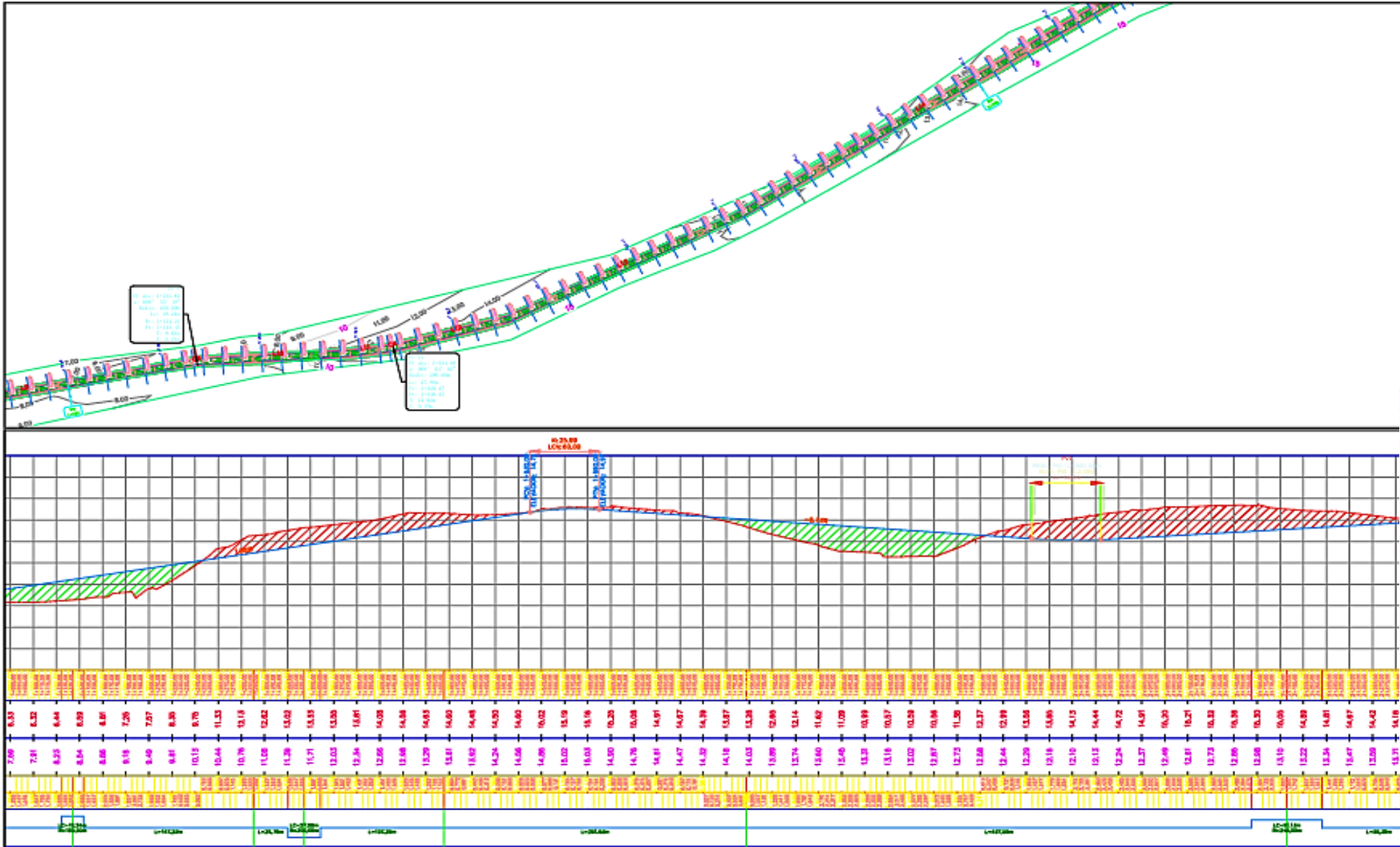
EXTERNAL	0,15
-----------------	------

Punto	Abscisa	Distancia	COTA TANGENTE	P (%)	Correccion Y $Y = E \left(\frac{x}{lv1} \right)^2$ $Y = E \left(\frac{x}{lv2} \right)^2$	COTA PROYECTO
PCV	K 1+965	0	12,26	-0,73%	0,000	12,26
	K 1+980	15	12,15	-0,73%	0,028	12,17
	K 1+990	25	12,07	-0,73%	0,077	12,15
PIV	K 2+000	35	12		0,15	12,15
	K 2+010	5	12,06	0,61%	0,006	12,07
PTV	K 2+005	0	12,03	0,61%	0,00	12,03

Anexo X

Planos del Diseño Geométrico.





DETALLE DUCTO CAJÓN COLOCADO EN SITIO **ESCALA 1:50**

UBICACIÓN:
CHANDUY - VIA ENGLILMA



PROYECTO:
TESIS "DISEÑOS HIDRÁULICO,
GEOMÉTRICO Y DE PAVIMENTOS
PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA VIA
ENGLILMA - CHANDUY"

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

LONGITUD DE DUCTO CAJÓN: 10.00 M
ANCHO DE DUCTO CAJÓN: 1.00 M
PASE DE DUCTO CAJÓN: 1.00 M
PASE DE DUCTO CAJÓN: 1.00 M
PASE DE DUCTO CAJÓN: 1.00 M
PASE DE DUCTO CAJÓN: 1.00 M
PASE DE DUCTO CAJÓN: 1.00 M
PASE DE DUCTO CAJÓN: 1.00 M

REVISADO POR: [Firma]

REVISADO POR: [Firma]

REVISADO POR: [Firma]

REVISADO POR: [Firma]

REVISADO POR: [Firma]

REVISADO POR: [Firma]

REVISADO POR: [Firma]

REVISADO POR: [Firma]

Tabla Total De Volumen						
Progresivo	Área De Relleno	Área De Corte	Volumen De Relleno	Volumen De Corte	Acumulado Vol. Relleno	Acumulado Vol. Corte
0+000.00	0.00	3.49	0.00	0.00	0.00	0.00
0+020.00	0.00	13.40	0.00	168.90	0.00	168.90
0+040.00	0.00	22.93	0.00	363.33	0.00	532.23
0+060.00	0.00	24.82	0.00	238.14	0.00	770.37
0+060.00	0.00	22.59	0.00	236.25	0.00	1006.62
0+070.00	0.01	19.13	0.06	207.80	0.06	1214.41
0+080.00	0.00	16.88	0.06	179.40	0.12	1393.81
0+100.00	0.00	15.43	0.00	323.12	0.12	1716.93
0+120.00	0.00	11.18	0.00	266.06	0.12	1982.99
0+140.00	0.00	8.20	0.00	193.74	0.12	2176.73
0+160.00	0.00	8.70	0.00	169.01	0.12	2345.74
0+180.00	0.00	12.61	0.00	213.12	0.12	2558.86
0+200.00	0.00	16.11	0.00	287.19	0.12	2846.05
0+220.00	0.00	15.88	0.00	319.93	0.12	3165.99
0+240.00	0.00	12.29	0.00	281.74	0.12	3447.73
0+260.00	0.00	11.40	0.00	236.96	0.12	3684.69
0+280.00	0.00	16.94	0.00	283.48	0.12	3968.17
0+300.00	0.00	16.85	0.00	337.94	0.12	4306.12
0+320.00	0.00	3.98	0.00	208.32	0.12	4514.44
0+340.00	9.20	0.00	91.98	39.82	92.10	4554.26
0+360.00	13.74	0.00	229.33	0.00	321.44	4554.26
0+380.00	11.47	0.00	252.01	0.00	573.45	4554.26
0+400.00	12.64	0.00	241.03	0.00	814.48	4554.26
0+420.00	13.02	0.00	256.60	0.00	1071.07	4554.26
0+430.00	11.01	0.01	120.46	0.07	1191.53	4554.33
0+440.00	10.20	0.00	106.66	0.07	1298.09	4554.41
0+450.00	7.73	0.00	90.36	0.00	1388.46	4554.41
0+460.00	3.61	0.50	57.24	2.45	1445.70	4556.86
0+470.00	2.33	0.29	30.04	3.87	1475.73	4560.73
0+480.00	5.19	0.00	37.69	1.41	1513.42	4562.14

Tabla Total De Volumen						
Progresivo	Area De Refeno	Area De Corte	Volumen De Refeno	Volumen De Corte	Acumulado Vol. Refeno	Acumulado Vol. Corte
0+490.00	3.26	0.00	42.24	0.00	1555.66	4562.14
0+500.00	0.49	0.04	18.73	0.20	1574.39	4562.34
0+520.00	0.02	1.80	5.13	18.41	1579.52	4580.75
0+540.00	0.08	1.03	1.06	28.31	1580.58	4609.06
0+560.00	0.07	1.16	1.51	21.88	1582.10	4630.95
0+580.00	0.13	0.92	2.03	20.77	1584.13	4661.71
0+600.00	1.05	1.16	11.52	21.00	1596.65	4672.71
0+620.00	0.36	1.80	14.12	29.57	1609.77	4702.29
0+640.00	2.23	0.38	25.87	21.82	1635.64	4724.10
0+660.00	1.47	0.14	37.61	5.13	1673.25	4729.23
0+680.00	0.43	0.07	19.07	2.07	1692.32	4731.30
0+700.00	0.02	1.83	4.52	18.95	1696.84	4750.25
0+720.00	0.00	6.23	0.18	80.63	1697.02	4830.88
0+740.00	0.00	15.86	0.00	221.13	1697.02	5062.01
0+760.00	0.00	24.21	0.00	400.71	1697.02	5452.72
0+780.00	0.00	24.14	0.00	483.55	1697.02	5936.27
0+800.00	0.00	22.88	0.00	470.64	1697.02	6406.91
0+820.00	0.00	20.79	0.00	436.66	1697.02	6843.57
0+840.00	0.00	20.65	0.00	413.40	1697.02	7256.97
0+860.00	0.00	19.16	0.00	397.16	1697.02	7654.13
0+880.00	0.00	20.14	0.00	392.99	1697.02	8047.12
0+900.00	0.00	18.71	0.00	388.46	1697.02	8435.58
0+920.00	0.00	18.69	0.00	373.99	1697.02	8809.56
0+940.00	0.00	15.84	0.00	345.32	1697.02	9154.88
0+960.00	0.00	13.61	0.00	294.57	1697.02	9449.45
0+980.00	0.00	13.02	0.00	266.31	1697.02	9715.76
1+000.00	0.00	8.40	0.00	214.14	1697.02	9929.90
1+020.00	0.00	3.08	0.00	114.82	1697.02	10044.73
1+040.00	2.46	0.00	24.64	30.85	1721.66	10075.57
1+060.00	5.29	0.00	77.56	0.00	1799.23	10075.57



PROYECTO:
TESIS "DISEÑOS HIDRÁULICO,
GEOMÉTRICO Y DE PAVIMENTOS
PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA VÍA
ENGLULIMA - CHANDUY"

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS

[Signature]

[Signature]

RECEIVED BY THE LIBRARY OF THE
 NATIONAL ARCHIVES
 1964

42

DISEÑO DE DUCTO CAJON COMUNA ENGULLIMA - CRANDIN, SANTA ELENA	FECHA: 12/02/2020
	PROYECTO: A3
	ESCALA: 1:50
	HOJA: 1
	A3

FORM 990 (2010)

Tabla Total De Volumen						
Progresiva	Área De Relleno	Área De Corte	Volumen De Relleno	Volumen De Corte	Acumulado Vol. Relleno	Acumulado Vol. Corte
1+080.00	8.72	0.00	140.12	0.00	1939.35	10075.57
1+100.00	11.85	0.00	205.68	0.00	2145.03	10075.57
1+120.00	14.29	0.00	261.37	0.00	2406.40	10075.57
1+130.00	15.40	0.00	148.80	0.00	2555.20	10075.57
1+140.00	16.44	0.00	159.82	0.00	2715.02	10075.57
1+160.00	16.60	0.00	330.68	0.00	3045.70	10075.57
1+180.00	18.33	0.00	349.28	0.00	3394.98	10075.57
1+200.00	19.65	0.00	379.81	0.00	3774.78	10075.57
1+220.00	10.49	0.00	301.44	0.00	4076.23	10075.57
1+240.00	0.63	0.28	111.16	2.83	4187.39	10078.40
1+260.00	0.00	12.80	6.25	130.86	4193.64	10209.26
1+280.00	0.00	18.24	0.00	310.40	4193.64	10519.65
1+300.00	0.00	20.63	0.00	388.96	4193.64	10908.61
1+320.00	0.00	21.73	0.00	423.51	4193.64	11332.12
1+330.00	0.00	21.60	0.00	216.74	4193.64	11548.86
1+340.00	0.00	21.38	0.00	215.13	4193.64	11763.99
1+360.00	0.00	20.05	0.00	414.51	4193.64	12178.50
1+380.00	0.00	18.99	0.00	390.42	4193.64	12568.92
1+400.00	0.00	18.56	0.00	375.57	4193.64	12944.50
1+420.00	0.00	20.60	0.00	391.66	4193.64	13336.16
1+440.00	0.00	17.57	0.00	382.77	4193.64	13718.92
1+460.00	0.00	13.35	0.00	310.84	4193.64	14029.76
1+480.00	0.00	8.11	0.00	214.66	4193.64	14244.42
1+500.00	0.00	6.04	0.00	141.51	4193.64	14385.93
1+520.00	0.00	3.73	0.00	97.65	4193.64	14483.58
1+540.00	0.00	3.88	0.00	76.10	4193.64	14559.69
1+560.00	0.00	4.81	0.00	86.95	4193.64	14646.64
1+580.00	0.00	4.54	0.00	93.55	4193.64	14740.19
1+600.00	0.00	6.56	0.00	111.02	4193.64	14851.21
1+620.00	0.00	6.39	0.00	129.51	4193.64	14980.72

Tabla Total De Volumen						
Progresiva	Área De Relleno	Área De Corte	Volumen De Relleno	Volumen De Corte	Acumulado Vol. Relleno	Acumulado Vol. Corte
1+640.00	0.00	6.22	0.00	126.09	4193.64	15106.81
1+660.00	0.00	6.04	0.00	122.61	4193.64	15229.42
1+680.00	0.00	4.00	0.00	100.40	4193.64	15329.82
1+700.00	0.12	0.51	1.16	45.09	4194.80	15374.91
1+720.00	3.86	0.00	39.75	5.15	4234.55	15380.06
1+740.00	9.13	0.00	129.94	0.00	4364.49	15380.06
1+760.00	12.74	0.00	218.68	0.00	4583.17	15380.06
1+780.00	17.09	0.00	298.24	0.00	4881.41	15380.06
1+800.00	22.80	0.00	398.82	0.00	5280.23	15380.06
1+820.00	22.72	0.00	455.14	0.00	5735.36	15380.06
1+840.00	25.12	0.00	478.36	0.00	6213.72	15380.06
1+860.00	24.41	0.00	495.32	0.00	6709.04	15380.06
1+880.00	22.62	0.00	470.30	0.00	7179.34	15380.06
1+900.00	10.11	0.00	327.22	0.00	7506.56	15380.06
1+920.00	0.06	1.33	101.67	13.32	7608.24	15393.38
1+940.00	0.00	9.29	0.62	106.24	7608.86	15499.62
1+960.00	0.00	16.68	0.00	259.74	7608.86	15759.36
1+980.00	0.00	21.77	0.00	384.55	7608.86	16143.91
2+000.00	0.00	26.45	0.00	482.21	7608.86	16626.12
2+020.00	0.00	30.53	0.00	569.77	7608.86	17195.90
2+040.00	0.00	33.00	0.00	636.30	7608.86	17831.20
2+060.00	0.00	33.70	0.00	666.99	7608.86	18498.19
2+080.00	0.00	36.64	0.00	703.34	7608.86	19201.54
2+100.00	0.00	35.05	0.00	716.90	7608.86	19918.44
2+120.00	0.00	33.95	0.00	690.04	7608.86	20608.48
2+140.00	0.00	32.72	0.00	666.70	7608.86	21275.17
2+160.00	0.00	32.38	0.00	650.93	7608.86	21926.10
2+170.00	0.02	27.95	0.10	301.36	7608.96	22227.46
2+180.00	0.00	26.40	0.10	266.57	7609.06	22494.03
2+190.00	0.00	23.62	0.00	245.10	7609.06	22739.13

UBICACIÓN:
CHANDUY-VIA ENGLILIMA



PROYECTO:
TESIS "DISEÑOS HIDRÁULICO,
GEOMÉTRICO Y DE PAVIMENTOS
PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA VÍA
ENGLILIMA - CHANDUY"

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

APROBADO POR: 

ELABORADO POR: 

FECHA DE ELABORACIÓN: 

FECHA DE APROBACIÓN: 

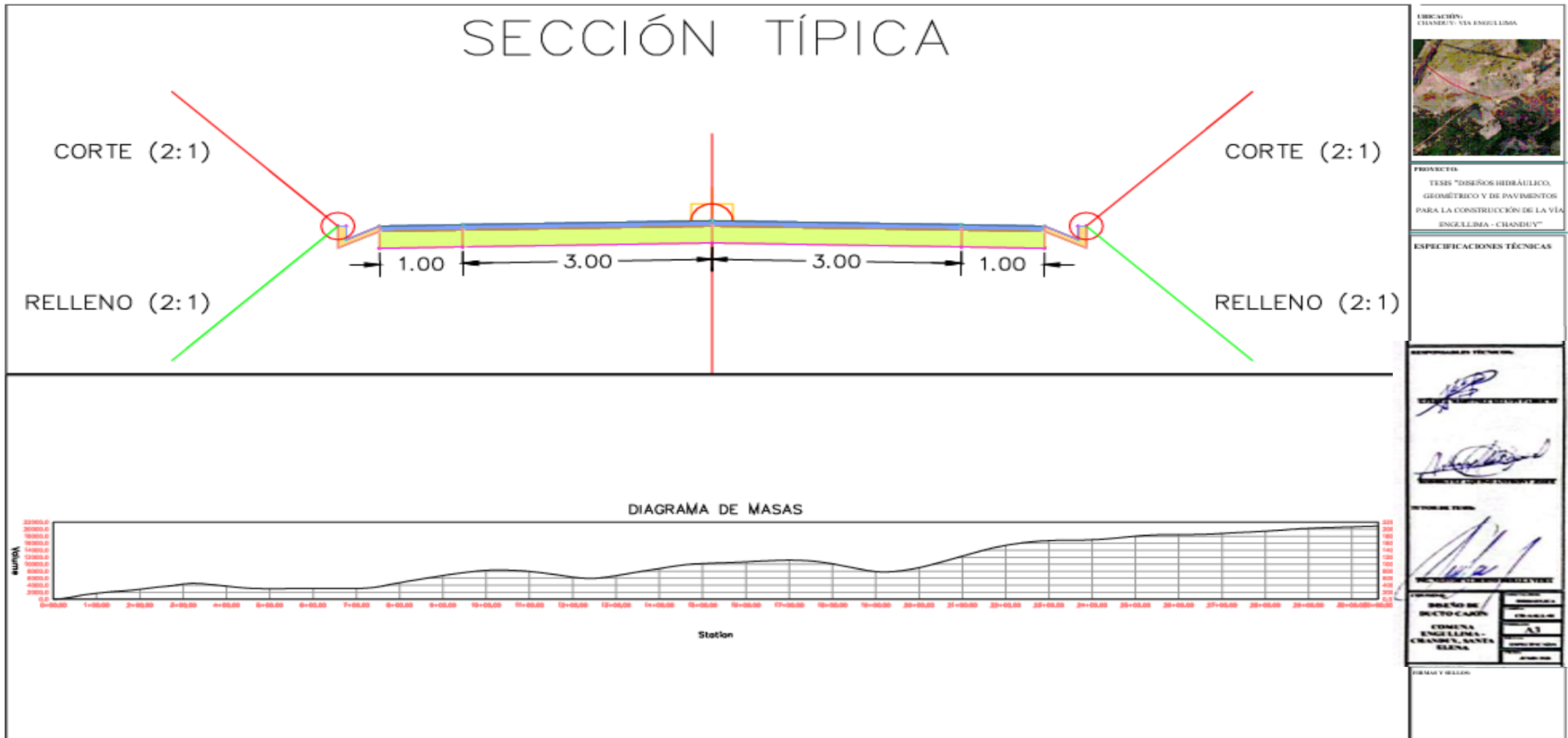
BOLETO DE
DISEÑO DE
DICTO CARRIL

COMUNA
ENGLILIMA -
CHANDUY, SANTA
ELENA

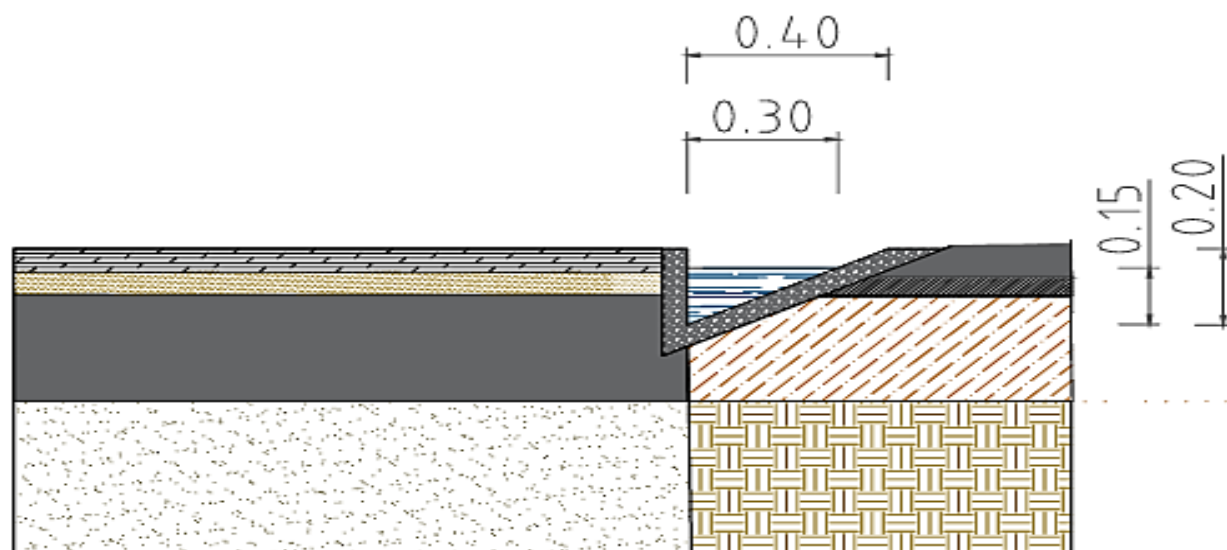
FECHA DE ELABORACIÓN: 

Anexo XI

Sección típica y Diagrama de masas.



**DETALLE CUNETA COLOCADO EN SITIO
ESCALA 1:50**



UBICACIÓN:
CHANDUY, VALENCIA, BOLIVIA



PROYECTO:
TRAZADO HIDRAULICO,
GEOMETRICO Y DE PAVIMENTOS
PARA LA CONSTRUCCION DE LA VIA
ENGULLIMA - CHANDUY

ESPECIFICACIONES TECNICAS:
- DISEÑO DE OBRAS DE OBRAS DE OBRAS
- DISEÑO DE OBRAS DE OBRAS DE OBRAS
- DISEÑO DE OBRAS DE OBRAS DE OBRAS
- DISEÑO DE OBRAS DE OBRAS DE OBRAS
- DISEÑO DE OBRAS DE OBRAS DE OBRAS
- DISEÑO DE OBRAS DE OBRAS DE OBRAS

REVISADO POR: [Firma]

REVISADO POR: [Firma]

REVISADO POR: [Firma]

REVISADO POR: [Firma]

REVISADO POR: [Firma]

REVISADO POR: [Firma]

REVISADO POR: [Firma]

REVISADO POR: [Firma]

REVISADO POR: [Firma]

REVISADO POR: [Firma]

REVISADO POR: [Firma]

REVISADO POR: [Firma]

REVISADO POR: [Firma]

REVISADO POR: [Firma]

REVISADO POR: [Firma]

REVISADO POR: [Firma]

REVISADO POR: [Firma]

REVISADO POR: [Firma]

REVISADO POR: [Firma]

REVISADO POR: [Firma]

REVISADO POR: [Firma]

REVISADO POR: [Firma]

REVISADO POR: [Firma]

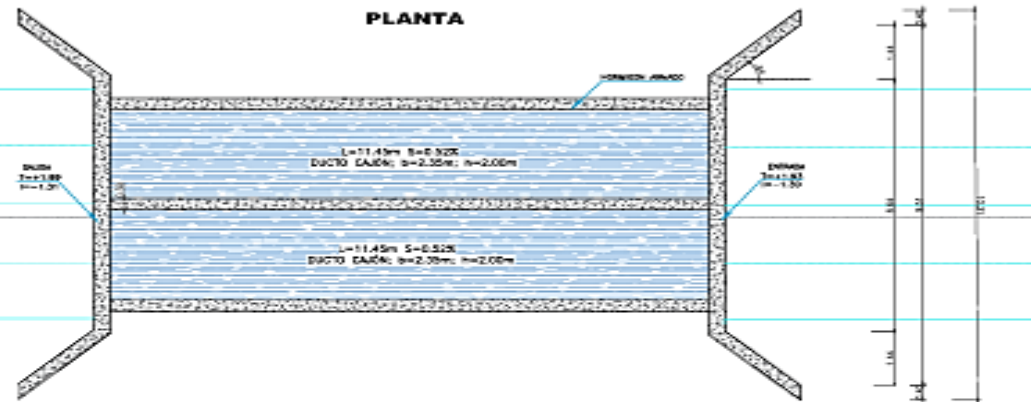
REVISADO POR: [Firma]

REVISADO POR: [Firma]

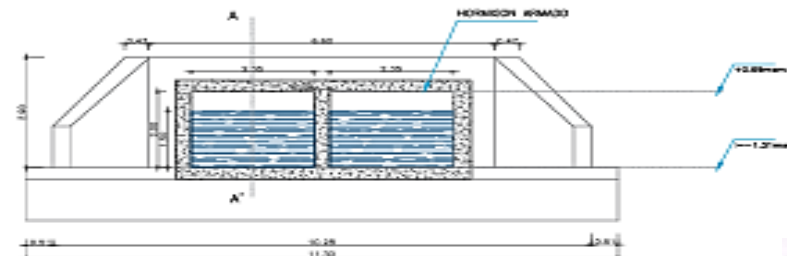
DETALLE DE DUCTO CAJÓN

ESCALA 1:100

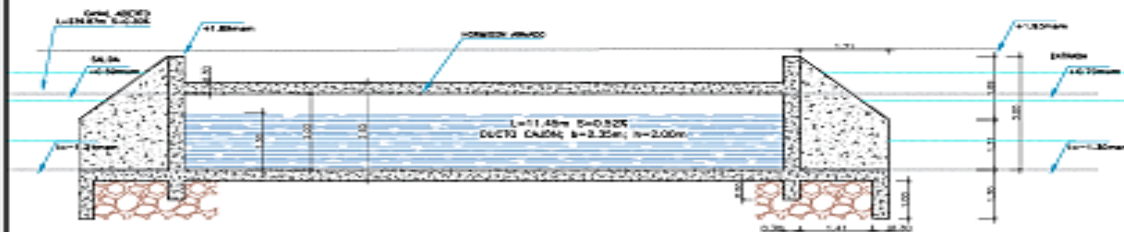
PLANTA



FRONTAL



CORTE A-A'



UBICACIÓN:
INGULIMA - CHAMPEY, SANTA ELENA



PROYECTO:
TESIS "DISEÑO HIDRÁULICO,
GEOMÉTRICO Y DE PAVIMENTOS
PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA VÍA
INGULIMA - CHAMPEY"

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

- DISEÑO DE DUCTO CAJÓN DOBLE DE 11.45M
- LONGITUD PROYECTADA: 11.45M
- ANCHURA PROYECTADA: 4.64M
- PENDIENTE PROYECTADA: 0.45%
- TODAS LAS OBRAS SE REALIZARÁN
VERTICALES EN SIERRA

APROBACIONES TÉCNICAS

[Signature]
DIRECTOR GENERAL DE OBRAS PÚBLICAS

[Signature]
DIRECTOR GENERAL DE OBRAS PÚBLICAS

OTRAS DE FIRMAS

[Signature]
DIRECTOR GENERAL DE OBRAS PÚBLICAS

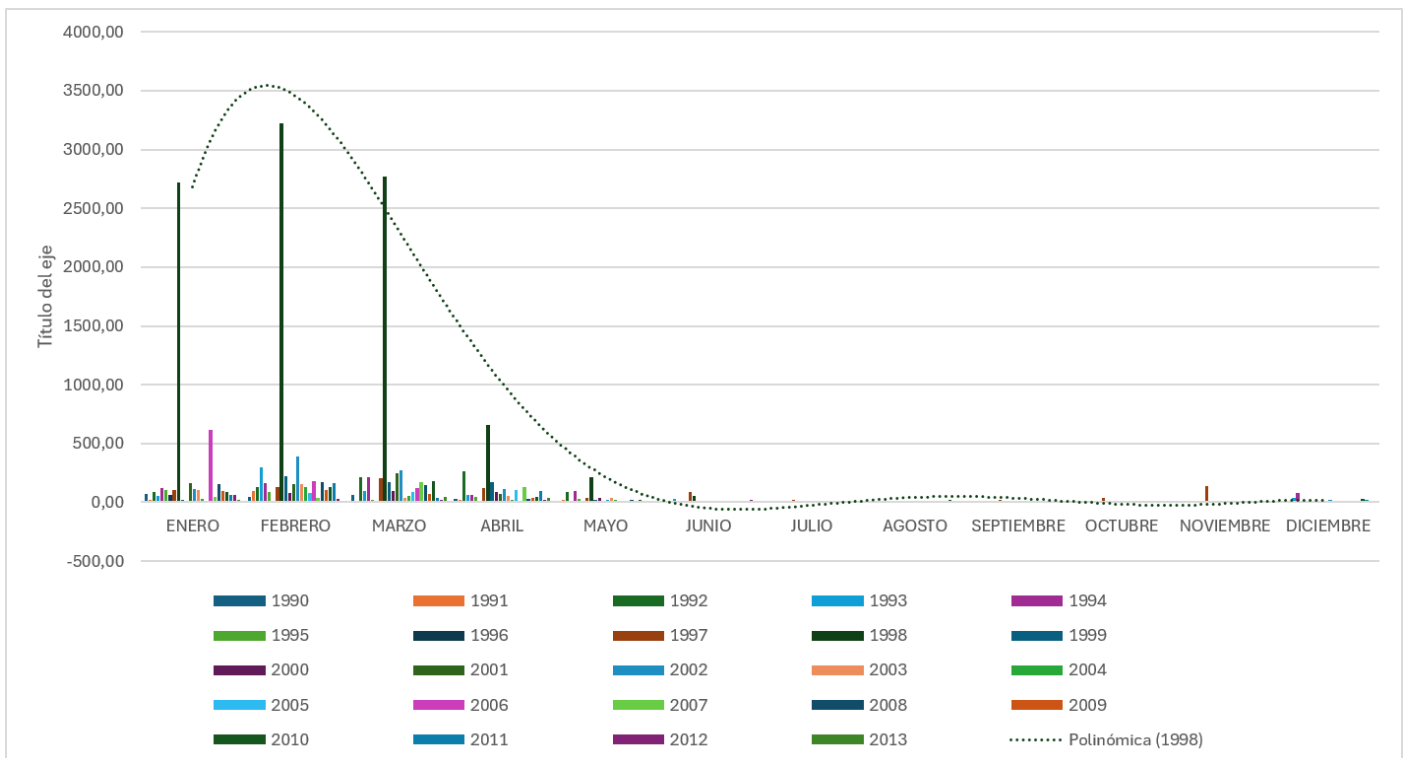
DISEÑO DE
DUCTO CAJÓN
COMUNA
INGULIMA -
CHAMPEY, SANTA
ELENA

FECHA Y LUGAR

Anexo XII:

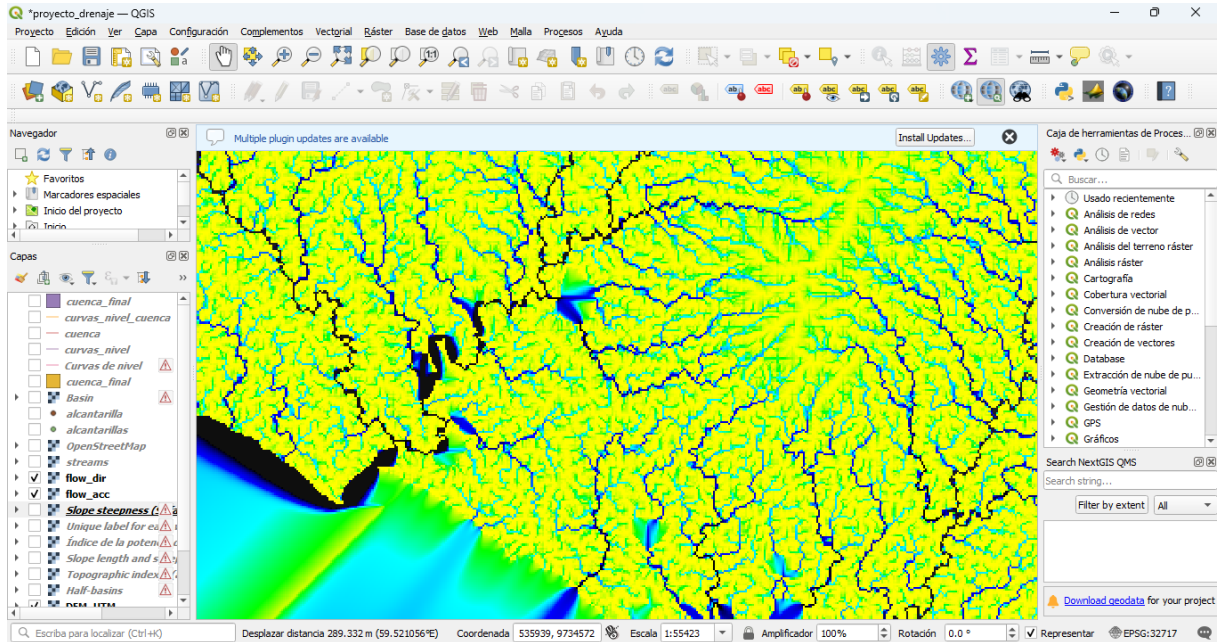
Datos de precipitaciones.

	PLUVIOMETRIA JULCUIY - SANTA ELENA ECUADOR											
MES/AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1990	72,30	47,90	64,30	31,90	1,00	2,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1991	21,30	95,50	15,80	17,70	19,90	5,80	0,00	0,00	0,00	0,00	2,40	7,80
1992	86,00	131,60	216,70	260,50	88,00	3,00	0,00	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00
1993	51,70	299,70	94,20	63,80	6,00	29,40	0,00	0,50	0,60	0,00	0,00	41,30
1994	122,80	159,50	215,50	63,50	97,50	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	79,40
1995	101,90	86,60	19,80	42,40	26,50	0,00	7,30	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00
1996	65,00	0,00	0,00	6,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1997	101,00	128,50	204,00	122,50	37,80	84,60	19,20	14,50	17,00	34,60	141,30	0,00
1998	2722,80	3220,00	2771,20	659,40	211,60	52,80	10,00	3,50	1,20	0,00	0,00	3,20
1999	19,10	220,80	167,80	174,20	19,00	2,20	3,20	3,50	1,80	0,00	5,30	7,60
2000	4,20	79,80	99,40	86,20	35,90	3,30	0,00	1,00	0,00	0,00	0,20	9,00
2001	166,90	152,20	244,70	67,60	12,50	0,00	0,80	0,00	0,00	0,00	1,40	6,70
2002	110,80	391,20	272,60	112,30	21,70	0,00	4,50	0,00	0,00	0,00	10,10	24,40
2003	100,70	157,90	40,30	54,50	37,60	1,20	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11,80
2004	25,80	127,90	51,20	23,30	22,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2005	8,30	83,40	86,00	101,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,70
2006	613,90	178,10	121,60	4,20	5,00	0,00	0,00	1,80	6,90	0,00	0,00	7,50
2007	47,50	34,00	170,30	130,20	12,90	3,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,90
2008	155,00	169,30	147,70	26,80	24,50	6,30	0,00	0,00	0,00	3,10	0,00	0,00
2009	93,00	100,70	70,60	37,50	5,10	0,60	1,20	0,00	0,00	0,00	0,00	3,00
2010	85,50	126,00	177,60	43,70	22,90	0,00	1,90	20,00	1,60	0,00	2,00	32,40
2011	60,40	164,30	33,70	95,40	0,00	8,50	0,00	0,00	4,80	0,00	0,00	21,50
2012	60,40	33,20	20,60	22,10	5,90	17,40	0,00	0,30	0,00	0,00	0,00	12,20
2013	22,60	15,90	45,50	37,70	3,00	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,30
PROMEDIO	213,87	269,74	232,66	99,37	31,17	9,63	2,18	2,00	1,56	1,77	7,25	12,77

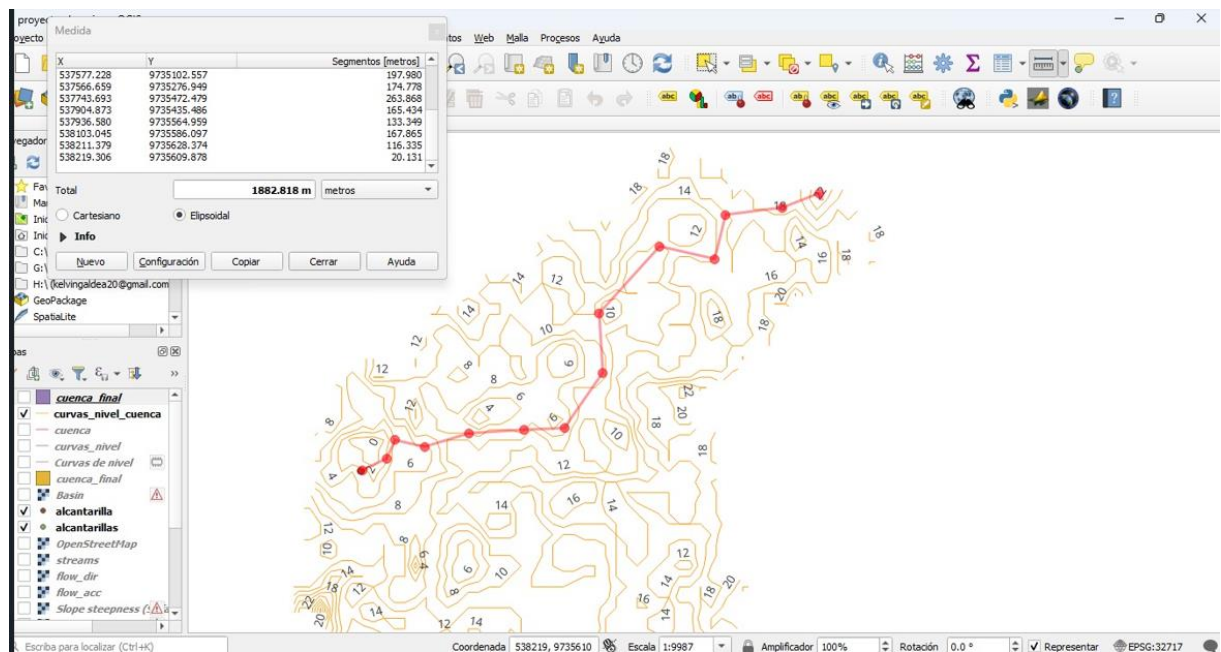


Anexo XIII:

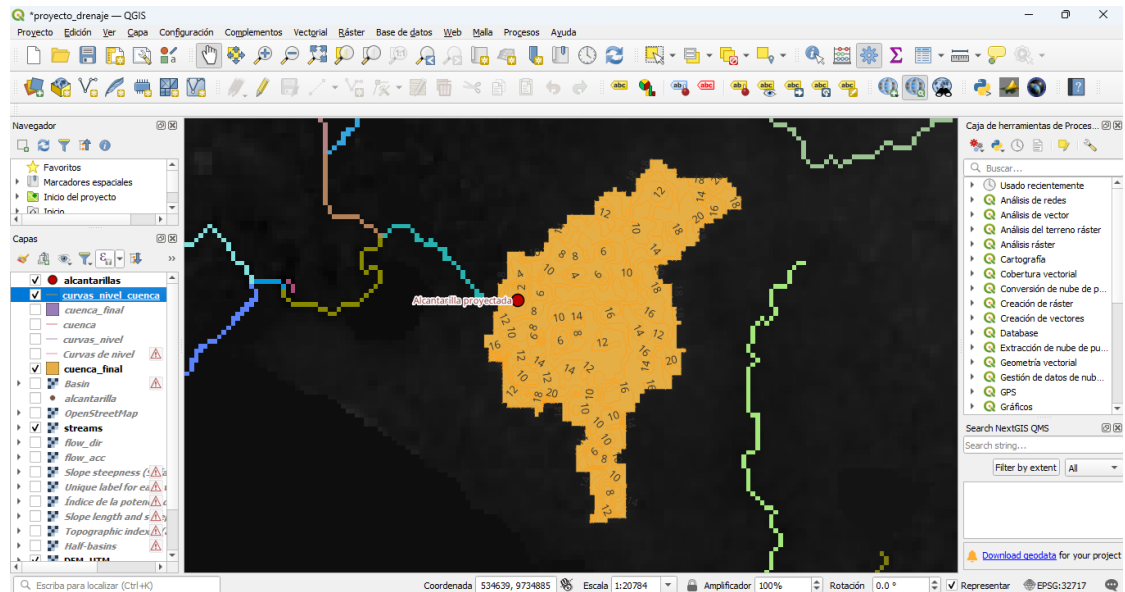
Acumulación de flujo e identificación del cauce principal.



Longitud hidráulica



Delimitación de la microcuenca aportante y punto de salida



Puntos más bajos de la vía afectadas por inundación

Punto más bajo de la vía: mayo 2026, abscisa 0+480,00 m.



Punto más bajo de la vía: mayo 2026, abscisa 0+520,00 m.

