



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**DISEÑO GEOMÉTRICO Y ESTRUCTURAL DE LA VÍA COCHAPATA –
MORASLOMA DESDE LA ABCISA 2+750 HASTA 5+500 KM, PERTENECIENTE
AL CANTÓN NABÓN, PROVINCIA DEL AZUAY**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
título de Ingeniero Civil

AUTOR: ERICK SEBASTIÁN CAMPOVERDE MOROCHO

TUTOR: ING. DANIEL LEÓNIDAS CÁRDENAS JARAMILLO, MSc.

Cuenca - Ecuador

2025

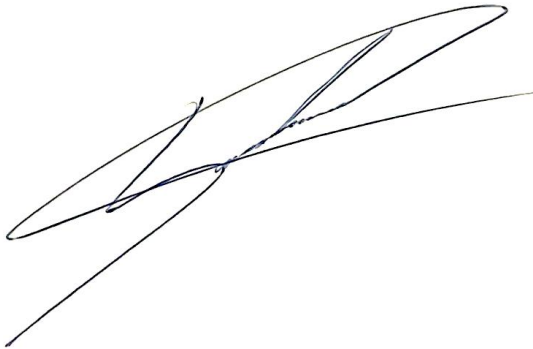
**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Yo, Erick Sebastián Campoverde Morocho con documento de identificación N° 0106812696; manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 13 de julio del 2025

Atentamente,



Erick Sebastián Campoverde Morocho

0106812696

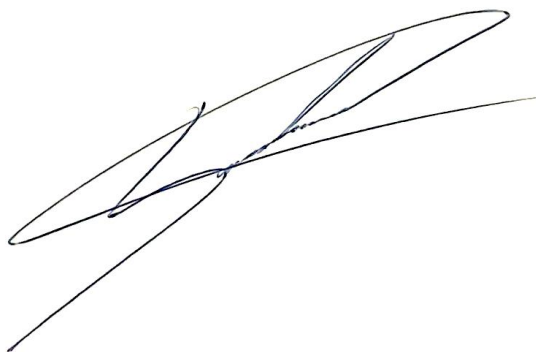
**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, Erick Sebastián Campoverde Morocho con documento de identificación N° 0106812696, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Proyecto técnico: “Diseño geométrico y estructural de la vía Cochapata – Morasloma desde la abscisa 2+750 hasta 5+500 km, perteneciente al cantón Nabón, Provincia del Azuay”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Civil, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que realizo la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 13 de julio del 2025

Atentamente,



Erick Sebastián Campoverde Morocho

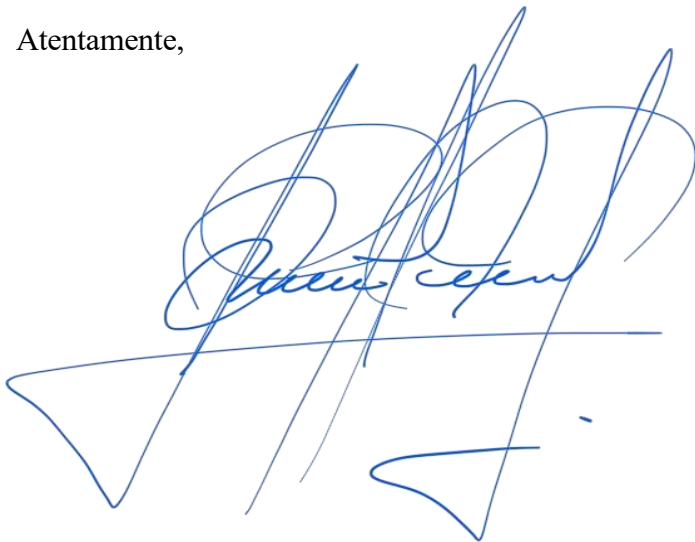
0106812696

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Daniel Leónidas Cárdenas Jaramillo con documento de identificación N° 0104031232, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO GEOMÉTRICO Y ESTRUCTURAL DE LA VÍA COCHAPATA – MORASLOMA DESDE LA ABSCISA 2+750 HASTA 5+500 KM, PERTENECIENTE AL CANTÓN NABÓN, PROVINCIA DEL AZUAY, realizado por Erick Sebastián Campoverde Morocho con documento de identificación N° 0106812696, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 13 de julio del 2025

Atentamente,

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Daniel Cárdenas', is written over a horizontal line. The signature is stylized and somewhat abstract.

Ing. Daniel Leónidas Cárdenas Jaramillo, MSc.

0104031232

DEDICATORIA

Agradezco primeramente a Dios, por darme la fortaleza, sabiduría y perseverancia para culminar este importante proyecto en mi vida. A mi querido abuelo Roberto y a mi abuela Gloria, por ser un ejemplo de amor, dedicación y apoyo incondicional que siempre me ha inspirado a seguir adelante. A mi madre Verónica, por su paciencia, sacrificio y constante motivación, que han sido el pilar fundamental en mi formación. A mis dos hermanos, por su compañía y ánimo constante en cada paso de este camino. Y, finalmente, a un gran amigo Erick, cuyo apoyo incondicional y aliento durante todo el trayecto universitario fueron esenciales para alcanzar esta meta. A todos ustedes, mi más profundo agradecimiento y cariño.

Índice

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	2
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA	3
CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	4
1 Introducción	1
2 Problema de estudio	2
2.1 Antecedentes.....	2
2.2 Importancia y Alcances	3
2.3 Delimitación.....	4
2.4 Justificación	5
3 Objetivos	6
3.1 Objetivo General.....	6
3.2 Objetivos Específicos	6
4 Marco Teórico	7
4.1 Suelo	7
4.2 Normativa Técnica.....	7
4.2.1 AASHTO 93	8
4.2.2 INEN.....	8
4.2.3 MTOP	8
4.3 Topografía.....	8
4.4 Geotecnia	9
4.5 Estudios Geotécnicos	9
4.5.1 Análisis Granulométrico.....	9
4.5.2 Ensayo de CBR.....	9
4.5.3 Ensayos Proctor Estándar y Modificado	10
4.6 Diseño Geométrico	11
4.6.1 Trazado en Planta	11
4.6.2 Perfil Longitudinal.....	11
4.6.3 Sección Transversal.....	11
4.6.4 Velocidad de diseño.....	11
4.6.5 Velocidad de circulación	12
4.6.6 Alineamiento Vertical.....	13

4.6.7	Alineamiento Horizontal	16
4.6.8	Peralte	16
4.6.9	Radio Mínimo de Curvatura	18
4.6.10	Coeficiente de fricción lateral.....	19
4.6.11	Distancia de frenado	19
4.6.12	Distancia de visibilidad en curvas horizontales.....	20
4.6.13	Distancia de visibilidad lateral	20
4.6.14	Distancia de rebasamiento	21
4.6.15	Sobrecanchos de curva	22
4.7	Transito	22
4.7.1	TPDA.....	22
4.7.2	Trafico Futuro.....	23
4.7.3	Factor Horario	23
4.7.4	Factor Diario.....	23
4.7.5	Factor Semanal	23
4.7.6	Factor Mensual	24
4.7.7	ESALs.....	24
4.7.8	Factor de Carga Equivalente (LEF).....	24
4.7.9	Factor Camión	24
4.7.10	Clasificación de carreteras por Volumen de Transito	25
4.7.11	Clasificación de Vías por su Función	26
4.7.12	Tipos de Terrenos	26
4.8	Pavimentos.....	27
4.8.1	Pavimento Flexible.....	28
4.8.2	Pavimento Rígido	29
4.9	Diseño de Pavimentos Flexibles	29
4.9.1	Confiabledad R	30
4.9.2	Módulo Resiliente	30
4.9.3	Módulo Resiliente de la Carpeta Asfáltica	31
4.9.4	Número Estructural.....	31
4.9.5	Determinación de Números Estructural	32
4.9.6	Pérdida de Serviciabilidad	34
4.9.7	Características del Drenaje	35
4.9.8	Diseño Estructural	35
4.9.9	Análisis Espesores	36

4.10	Señalización Vertical	37
4.10.1	Distancia de Legibilidad.....	38
4.10.2	Colores.....	38
4.10.3	Señales de Información	38
4.10.4	Señales Regulatorias.....	42
4.10.5	Señales Preventivas	47
4.11	Señalización Horizontal.....	53
4.11.1	Ubicación.....	53
4.11.2	Colores.....	54
4.11.3	Retroreflexión.....	54
4.11.4	Líneas Longitudinales	55
4.11.5	Líneas de Separación de Flujos Opuestos	55
4.11.6	Líneas de Separación de Carriles	58
4.11.7	Líneas de Borde de Calzada	59
4.12	Obras de Drenaje	60
4.12.1	Cunetas	60
4.12.2	Alcantarillas.....	67
5	Metodología	67
5.1	Recorrido de Campo	67
5.2	Levantamiento Topográfico.....	67
5.3	Estudios Geotécnicos	68
5.3.1	Proctor Modificado.....	68
5.3.2	CBR	69
5.4	TPDA.....	69
5.4.1	Conteo Vehicular.....	69
5.4.2	Factor Horario	70
5.4.3	Factor Diario.....	70
5.4.4	Factor Semanal	70
5.4.5	Factor Mensual	71
5.4.6	Calculo TPDA	72
5.4.7	Proyección del Trafico.....	73
5.4.8	ESALs.....	74
5.5	Diseño de Pavimento Flexible	76
5.5.1	Daño Relativo (Uf).....	76
5.5.2	Clasificación de la Carretera.....	78

5.5.3	Velocidad de Diseño.....	78
5.5.4	Velocidad de Circulación	79
5.5.5	Parámetros de Confiabilidad	80
5.5.6	Servicialidad	81
5.5.7	Error Normal (So).....	82
5.5.8	Coefficiente Estructural	83
5.5.9	Diseño Geométrico	94
6	Conclusiones	101
6.1	Recomendaciones	102
7	Bibliografía.....	103
7.1	Anexos	104

Índice Tablas

Tabla 1: Velocidades de Diseño -----	12
Tabla 2: Velocidades de Circulación-----	13
Tabla 3: Valores de gradientes longitudinales máximos -----	14
Tabla 4: Curvas verticales convexas mínimas -----	15
Tabla 5: Curvas verticales cóncavas mínimas -----	15
Tabla 6: Gradiente Longitudinal (i) -----	18
Tabla 7: Coeficiente de fricción lateral en base a velocidad de diseño -----	19
Tabla 8: Distancia mínima de visibilidad para rebasamiento-----	21
Tabla 9: Clasificación de Carreteras por TPDA -----	25
Tabla 10: Valores de R recomendados-----	30
Tabla 11: Calidad del Drenaje Según Exposición a la Humedad -----	35
Tabla 12: Espesores mínimos de las capas en pulgadas -----	37
Tabla 13: Dimensiones Mínimas para las Placas Complementarias-----	53
Tabla 14: Niveles Mínimos de Retroreflexión en Pinturas sobre Pavimento -----	54
Tabla 15: Relación Señalización Línea de Separación de Circulación Opuesta Segmentada-----	56
Tabla 16: Distancia de Visibilidad -----	58
Tabla 17: Dimensionamiento de Cunetas-----	63
Tabla 18: Velocidades del Agua con que se Erosionan Diferentes Materiales -----	64
Tabla 19: Coeficiente de Escorrentía (C)-----	66
Tabla 20: Resultados de Proctor Modificado-----	68
Tabla 21: Resultados de CBR -----	69
Tabla 22: Resumen de Conteo Vehicular-----	70
Tabla 23: Factor Semanal-----	70
Tabla 24: Factor Mensual-----	71
Tabla 25: TPDA Observado Corregido -----	73
Tabla 26: Tasa Crecimiento Vehicular-----	73
Tabla 27: Calculo de TPDA Proyectado-----	74
Tabla 28: Calculo de factor camión por tipo de vehículo -----	75
Tabla 29: Calculo de ESALs-----	76
Tabla 30: Calculo de Daño relativo-----	77

Tabla 31: Clasificación de Carreteras por TPDA -----	78
Tabla 32: Jerarquía de la Vía -----	78
Tabla 33: Velocidades de Diseño -----	79
Tabla 34: Velocidades de Circulación -----	80
Tabla 35: Confiabilidad Recomendada-----	81
Tabla 36: Desviación Normal Estándar -----	81
Tabla 37: Serviciabilidad Inicia Po -----	82
Tabla 38: Serviciabilidad Final Pf -----	82
Tabla 39: Error Normal Combinado-----	82
Tabla 40: Valores máximos de modulo resiliente (E) para capas de rodadura, base asfáltica y mezclas de alto modulo-----	83
Tabla 41: Selección de la Calidad de drenaje -----	85
Tabla 42: Resultado del número estructural base-----	86
Tabla 43: Resultado del número estructural subbase -----	86
Tabla 44: Resultado del número estructural de la mezcla asfáltica -----	87
Tabla 45: Resultado de Espesor de Capa -----	87
Tabla 46: Curvas IDF de la Cuenca -----	89
Tabla 47: Calculo del Tiempo de Concentración-----	89
Tabla 48: Coeficiente de Escorrentía-----	90
Tabla 49: Curvas Horizontales -----	98

Índice Figuras

Figura 1: Ubicación y Geomorfología del Cantón	3
Figura 2: Ubicación de la zona de estudio.....	4
Figura 3: CBR (Californian Bearing Ratio)	10
Figura 4: Proctor Modificado	10
Figura 5: Relaciones entre las velocidades de diseño y de circulación.....	12
Figura 6: Determinación del Módulo Resiliente	31
Figura 7: Módulo Resiliente del Asfalto	31
Figura 8: Ábaco Para el Cálculo del Coeficiente a1 para subbase	33
Figura 9: Ábaco Para el Cálculo del Coeficiente a2 para subbase	33
Figura 10: Ábaco Para el Cálculo del Coeficiente a3 para subbase	34
Figura 11: Capas del Pavimento Flexible.....	36
Figura 12: Flechas para uso	39
Figura 13: Soporte en Voladizo.....	40
Figura 14: Señal de advertencia de destino	41
Figura 15: Señal de Decisión de Destino (1-1b).....	41
Figura 16: Serie de Prioridad de paso R1	42
Figura 17: Serie de Movimiento y Dirección R2	43
Figura 18: Serie de Circulación R3	44
Figura 19: Serie de Límites Máximos R4.....	44
Figura 20 Serie De Estacionamiento R5	45
Figura 21: Serie de Placas Complementarias R6.....	46
Figura 22: Serie Miscelánea R7.....	47
Figura 23: Serie de Alineamiento P1	48
Figura 24: Serie de Intersecciones y Empalmes P2.....	48
Figura 25: Serie de Aproximación a Dispositivos de Control de Tránsito P3	49
Figura 26: Serie de Anchos, Alturas Largos y Pesos P4	50
Figura 27: Serie de Asignación de Carriles	50
Figura 28: Serie de Obstáculos y Situaciones Especiales de la Vía P6.....	51
Figura 29: Serie Peatonal P7	52
Figura 30: Serie Complementaria P8.....	52
Figura 31: Líneas Segmentadas de Separación de Circulación Opuesta.....	56

Figura 32: Doble Línea Continua	57
Figura 33: Doble Línea Mixta: Continua y Segmentada.....	57
Figura 34: Líneas de Separación de Carriles Segmentados.....	59
Figura 35: Líneas Continuas de Borde, con Espaldón o Berma.....	59
Figura 36: Líneas Continuas de Borde, sin Espaldón o Berma.....	60
Figura 37: Curvas IDF	62
Figura 38: Sección Típica de una cuneta	65
Figura 39: Sección Componentes de una Alcantarilla.....	67
Figura 40: Ábaco para la determinación del Daño Relativo	77
Figura 41: Abaco de velocidad de circulación	80
Figura 42: Determinación de coeficiente estructural a2	84
Figura 43: Determinación de coeficiente estructural a3	85
Figura 44: Relación de altura y Espaciamiento de Cuneta.....	92
Figura 45: Comprobación del tirante crítico de la cuneta	92
Figura 46 Excavación Calicata.....	104
Figura 47 Obtención Calicatas	104
Figura 48 Cámara Para Conteo Vehicular.....	105
Figura 49 Estado Actual de la Vía.....	105
Figura 50 Estado Actual 2	106
Figura 51 Cajón de Alivio existente en la vía	106
Figura 52 Vista Previa Del Proyecto	107
Figura 53 Curva crítica del proyecto	107

RESUMEN

La vialidad juega un papel esencial en el desarrollo social, ya que mejora de manera significativa la calidad de vida de las comunidades facilitando así el acceso a servicios fundamentales como la educación y la salud. Contar con una red de carreteras eficientes permiten que las personas puedan desplazarse rápida y cómodamente hacia los lugares que necesitan o desean visitar, por lo que su funcionalidad como su seguridad depende tanto del diseño correcto de las vías como el mantenimiento adecuado fomentando así el crecimiento tanto en áreas urbanas como en áreas rurales. Actualmente esta vía es de lastre por lo que genera baches, derrumbes y polvo lo que provoca la dificultad del tránsito a los peatones, conductores y todos los usuarios de la circulan por esta vía. Este proyecto abarca la problemática de la vía Cochapata–Morasloma, ubicada en el cantón Nabón, el proyecto tiene como finalidad solucionar las deficiencias actuales de esta vía.

Para alcanzar los objetivos establecidos, se realizaron visitas de campo en las comunidades con el propósito de evaluar las condiciones actuales de la vía. De igual manera, se efectuaron estudios preliminares indispensables, tales como el levantamiento topográfico del área, el conteo de vehículos para determinar el Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA), y la toma de muestras directamente in situ, las cuales fueron posteriormente analizadas en laboratorio de la universidad para obtener la información necesaria. Estas iniciativas pretenden optimizar la movilidad, acortar los tiempos de enlace entre cantones y asegurar una infraestructura más robusta y duradera, respetando las normativas técnicas vigentes, como MTOP 2003 y AASHTO 93.

Palabras clave: TPDA, In situ, Vía, MTOP 2003, AASHTO 93.

ABSTRACT

Road infrastructure plays a crucial role in social development, as it significantly improves the quality of life of communities by facilitating access to essential services such as education and healthcare. Having an efficient road network allows people to travel quickly and comfortably to the places they need or wish to visit. Therefore, both the functionality and safety of the roads depend on proper design and adequate maintenance, promoting growth in both urban and rural areas. Currently, this road is unpaved, which causes potholes, landslides, and dust, making transit difficult for pedestrians, drivers, and all users who travel this route. This project addresses the issues of the Cochapata–Morasloma road, located in the Nabón canton, aiming to resolve the current deficiencies of this road.

To achieve the established objectives, field visits were conducted in the communities to assess the current conditions of the road. Likewise, essential preliminary studies were carried out, such as topographic surveying of the area, vehicle counting to determine the Annual Daily Average Traffic (ADAT), and the collection of in situ samples, which were later analyzed in the university laboratory to obtain the necessary data. These initiatives aim to optimize mobility, reduce travel times between cantons, and ensure a more robust and durable infrastructure, complying with current technical standards such as MTOP 2003 and AASHTO 93.

Keywords: ADAT, In situ, Road, MTOP 2003, AASHTO 93.

1 Introducción

El proyecto de titulación se enfoca en el diseño geométrico y estructural de la carretera Cochapata-Morasloma. Esta vía tiene una extensión total de 2.75 kilómetros, comprendida entre las abscisas 2+750 hasta la abscisa 5+500 km. El propósito principal del estudio es optimizar la funcionalidad de la carretera para que los usuarios puedan desplazarse con seguridad y comodidad, asegurando así una circulación eficiente y un tránsito fluido.

Al diseñar una carretera, es fundamental prestar atención a detalles geométricos, ya que estos determinan no solo cómo se mueve el tráfico, sino también la seguridad de quienes la usan y el impacto que tiene en el entorno natural y urbano, se deben considerar aspectos como la forma del terreno, la visibilidad en la vía, la velocidad a la que se espera que circulen los vehículos y la capacidad de la carretera para soportar el tráfico. Además, es importante balancear factores funcionales, económicos y ambientales para crear una infraestructura que no solo sea eficiente y segura, sino también amigable al medio ambiente.

El propósito de este estudio es optimizar el funcionamiento de la carretera, lo que se traduce en una movilidad eficiente y un flujo vehicular adecuado. Para lograrlo, se realizó un diagnóstico detallado de las condiciones actuales de la vía, así como un análisis del crecimiento demográfico en la zona. También se llevaron a cabo estudios topográficos, de volumen de tráfico y de las propiedades geotécnicas del terreno.

Teniendo en cuenta que el crecimiento poblacional se encuentra estrechamente vinculado al desarrollo económico, por lo que la infraestructura vial juega un papel estratégico en la facilitación de la comunicación y el intercambio entre comunidades. En el contexto ecuatoriano, donde las carreteras constituyen el principal medio de transporte terrestre, su diseño y construcción deben alinearse con los principios de la Norma Ecuatoriana Vial, que establece criterios técnicos para garantizar la durabilidad, seguridad y sostenibilidad ambiental de las vías. De esta manera, la infraestructura vial contribuye al desarrollo territorial y al impulso de sectores clave como la educación, el empleo, la salud y la alimentación, promoviendo una movilidad humana eficiente y segura. (MTO, 2013)

2 Problema de estudio

Este estudio aborda las principales deficiencias de la vía objeto de análisis, la cual presenta una superficie deteriorada y llena de baches debido a su estado actual de lastre. Esta condición provoca daños prematuros en los vehículos, afectando su mantenimiento y rendimiento. Además, el trazado geométrico vigente incluye curvas pronunciadas y tramos angostos sin sobreanchos, incrementando el riesgo de accidentes. La presencia recurrente de deslizamientos de tierra en ciertos sectores no solo obstaculiza el tránsito, sino que también genera condiciones peligrosas e impredecibles para los usuarios.

Estos factores combinados afectan la seguridad vial y repercuten negativamente en la calidad de vida de las comunidades locales, que dependen de esta vía para acceder a servicios básicos, empleo y actividades cotidianas. Asimismo, el tránsito sobre una vía de lastre genera una considerable cantidad de polvo, lo que perjudica la salud de los habitantes de las parroquias conectadas, aumentando la probabilidad de enfermedades respiratorias. En conjunto, estas problemáticas dificultan la accesibilidad, la circulación y afectan la salud pública, evidenciando la necesidad urgente de una intervención integral en la infraestructura vial para mejorar las condiciones de movilidad y bienestar de la población.

2.1 Antecedentes

Nabón está situado a 69 km al sureste de Cuenca, rodeado por cumbres que superan los 3,000 m.s.n.m. Su extensión es de 668.2 km, el primer documento histórico sobre Nabón data de 1685, cuando era un pueblo y asentamiento de doctrina católica. Fue elevado a la categoría de cantón en 1987, el nombre "Nabón" proviene del kichwa y significa "nabo grande". Es un sitio con influencias indígenas, especialmente cañaris y quechuas.

El Cantón Nabón tiene una población total de 15.892 habitantes, lo que equivale a una densidad poblacional de 22.11 habitantes por kilómetro cuadrado. La distribución de la población entre sus parroquias es la siguiente: la cabecera cantonal, Nabón centro, concentra 9.525 habitantes; Cochapata cuenta con 3.072 personas; El Progreso alberga 2.012 habitantes; y Las Nieves registra un total de 1.282 residentes. Estos datos

corresponden al Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial para el Buen Vivir 2015-2019 de Cochapata.

Figura 1: Ubicación y Geomorfología del Cantón

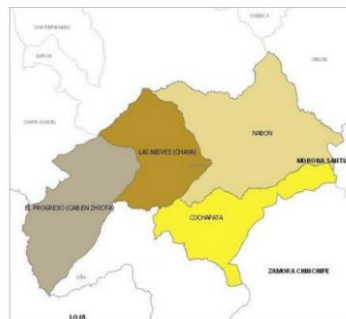


Ilustración: Límites de las Parroquias del Cantón Nabón

Fuente: *Nabón 2021*

2.2 Importancia y Alcances

Morasloma es una de las comunas jurídicas del cantón Nabón, ubicada en el área rural, actualmente es relevante por el proyecto de vía que atraviesa esta zona, lo que sugiere un potencial desarrollo infraestructural

Cochapata es una parroquia rural del Cantón Nabón, con una extensión de 121.83 km² y una población significativa dentro del cantón, desde 1987, Cochapata forma parte del Cantón Nabón. Es conocida por su riqueza arqueológica y su importancia cultural. La población de Cochapata ha aumentado con el tiempo, pasando de 2,686 habitantes en el censo de 2001 a 3,072 en el de 2010, lo que indica un crecimiento demográfico.

En el cantón Nabón, se han llevado a cabo importantes proyectos viales que buscan mejorar la conectividad y las condiciones de vida de los habitantes. A continuación, se resumen algunos de los aspectos más destacados:

Mejoramiento de la vía Nabón-Cochapata-Morasloma-Oña, este proyecto, financiado por el Banco de Desarrollo del Ecuador, contempla la construcción de una carpeta asfáltica con dos carriles, cunetas y bordillos de hormigón para mejorar el drenaje. La obra está valorada en \$3.773.408,54 y tiene un plazo de ejecución de nueve meses. Se espera que beneficie significativamente a las comunidades rurales al facilitar el transporte y reducir tiempos de viaje. (Prefectura del Azuay,2023).

En la comuna Rañas, se ejecutó un proyecto de asfaltado de un kilómetro con una inversión superior a \$104.000. Adicionalmente, se destinaron \$500.946 para obras en Cochapata (2,6 km), Zhiña (1 km) y Rañas (1 km), en colaboración con el municipio de

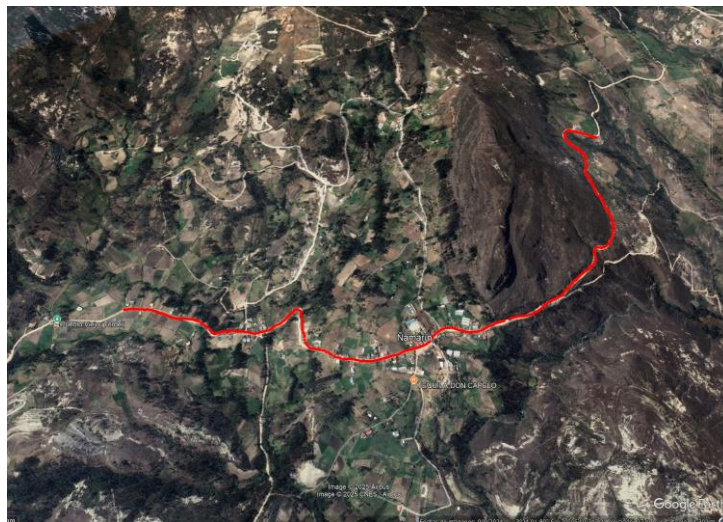
Nabón. Estas intervenciones han mejorado notablemente la calidad de vida al reducir el polvo y facilitar el tránsito vehicular. (Prefectura del Azuay,2023).

En colaboración con CONGOPE y PUCE, se realizó un inventario vial que incluyó a Nabón dentro del sector 3 del Azuay. Este estudio identificó las características físicas y el estado de las vías rurales, proponiendo programas de mantenimiento para atender problemas detectados como falta de recursos para cubrir el mantenimiento del 54,7% de las vías provinciales. Según informes del GAD Municipal de Nabón, se han implementado programas para conformar una red vial articulada que mejore las condiciones de accesibilidad y conectividad a nivel cantonal, provincial y regional. Esto incluye alcanzar un mantenimiento acumulado anual de 810 km hasta 2023. (Alcaldía de Nabon,2023).

2.3 Delimitación

El presente estudio se enfocará en el diseño geométrico y estructural de la vía que conecta a las comunidades de Cochapata perteneciente al cantón Nabón, y Morasloma, perteneciente al cantón San Felipe de Oña desde la abscisa 2+750 hasta 5+500 km

Figura 2: Ubicación de la zona de estudio



Fuente: *Elaboración propia, Google Earth Pro*

UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL PROYECTO			
	NORTE	ESTE	ALEVACIÓN
INICIO	9622679 m	710700 m	2468msnm
FINAL	9623965 m	711179 m	2472 msnm

2.4 Justificación

La conexión vial entre la parroquia de Cochapata, perteneciente al cantón Nabón, y la parroquia de Morasloma, del cantón Oña, es de vital importancia para el desarrollo social y económico de ambas comunidades. Esta vía no solo facilita la movilidad entre las dos parroquias, sino que también conecta a sus habitantes con los centros urbanos de los cantones Nabón y Oña, promoviendo así una integración territorial más eficiente. La mejora de esta infraestructura vial es esencial para potenciar las actividades productivas, económicas y sociales de estas localidades.

Actualmente, la vía existente presenta un nivel de lastre que genera problemas significativos para los moradores. El tránsito constante produce grandes cantidades de polvo, lo que incrementa el riesgo de problemas respiratorios en la población. Además, la presencia de agua en las cunetas a lo largo del tramo dificulta las condiciones para su construcción y mantenimiento. Estas limitaciones no solo afectan la calidad de vida de los habitantes, sino que también limitan el acceso a servicios básicos como educación y salud, así como el transporte eficiente de productos agrícolas y ganaderos hacia mercados más amplios.

La población de Nabón, se dedica principalmente a actividades agrícolas, que representan el sustento económico más importante del cantón. Según datos, alrededor del 60% de la población activa trabaja en la agricultura, produciendo cultivos como cebada, maíz y otros granos. Este sector es fundamental para la economía local y ha llevado a que Nabón sea conocido históricamente como el "Granero del Azuay". (Alcaldía de Nabón).

Además de la agricultura, otras actividades económicas incluyen la ganadería, las artesanías el comercio y los servicios. La construcción y la minería también tienen cierta relevancia económica en la región, aunque en menor proporción. El gobierno local ha impulsado iniciativas para repotenciar la producción agrícola, como acuerdos con empresas nacionales para proveer cultivos de calidad. Estas estrategias buscan dinamizar la economía local y mejorar las condiciones de vida de los habitantes.

Por estas razones, el diseño y construcción de una red vial adecuada en el tramo comprendido entre el kilómetro 2+750 y el kilómetro 5+550 es una prioridad estratégica. Este proyecto permitirá no solo solucionar los problemas actuales relacionados con la movilidad y la salud, sino también fomentar un desarrollo económico sostenible al facilitar el transporte de bienes y servicios. Asimismo, se busca garantizar una mejor calidad de vida para los habitantes mediante un acceso más rápido y seguro a los recursos necesarios.

Con toda esta problemática antes mencionada, se realizarán los análisis correspondientes para desarrollar el diseño geométrico vertical, horizontal y estructural del pavimento. La implementación de esta obra no solo mejorará las condiciones actuales del sector, sino que también contribuirá al progreso social y económico tanto de Cochapata como de Morasloma, fortaleciendo su integración con el resto del cantón Nabón y la provincia del Azuay.

3 Objetivos

3.1 Objetivo General

Desarrollar el diseño geométrico y estructura de 2.75 km de la vía que conecta Cochapata con Morasloma en el Cantón Nabón, provincia del Azuay, y garantizando la durabilidad y eficiencia estructural del proyecto.

3.2 Objetivos Específicos

- Ejecutar un levantamiento topográfico para precisión en los datos.
- Calcular el Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) como base para el dimensionamiento vial.
- Desarrollar el diseño geométrico en sus ejes vertical y horizontal, garantizando estándares técnicos y de seguridad.
- Analizar la estructura de la carpeta asfáltica para asegurar su resistencia y durabilidad.
- Diseñar la señalización horizontal y vertical con el fin de fortalecer la seguridad vial, garantizando la protección tanto de los conductores como de los peatones que transitan por la vía.

- Diseñar un sistema de drenaje pluvial (cunetas) que prevengan inundaciones y erosiones.

4 Marco Teórico

El diseño geométrico y estructural de una vía es un proceso técnico que integra principios de ingeniería civil, normativas locales e internacionales, y estudios especializados para garantizar seguridad, funcionalidad y sostenibilidad. A continuación, se detallan los fundamentos teóricos clave aplicables al proyecto de la vía Cochapata-Morasloma en el Cantón Nabón.

4.1 Suelo

El suelo se define como los sedimentos no consolidados de partículas sólidas, resultado de la alteración de rocas o transportados por agentes naturales. Está compuesto por partículas de arena, limo, arcilla y materia orgánica, cuyas proporciones determinan su granulometría y plasticidad. (Fisiografía y geodinámica de los Andes de Colombia, Escobar,2016).

4.2 Normativa Técnica

Las normas técnicas son esenciales en la ingeniería civil, ya que definen los requisitos mínimos que deben cumplir los materiales, procesos y servicios para garantizar su calidad y seguridad. Organizaciones reconocidas como el Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTOP), establece políticas, criterios, procedimientos y metodologías para la planificación, diseño, construcción y mantenimiento de la infraestructura vial, ASTM, Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) y la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) elaboran y promueven estas regulaciones, las cuales abarcan aspectos constructivos, administrativos y de control de calidad. La aplicación de estas normas es fundamental para asegurar la uniformidad, compatibilidad y confiabilidad en las etapas de planificación, diseño, construcción y mantenimiento de proyectos de infraestructura civil. Estas normativas buscan garantizar la calidad, durabilidad y seguridad de las vías, así como minimizar el impacto ambiental y optimizar la operación del tráfico (MTOP, 2013).

4.2.1 AASHTO 93

El término "AASHTO 93" hace referencia al método de diseño de pavimentos desarrollado por la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) en su guía de diseño publicada en 1993. Este método se basa en los resultados del *AASHTO Road Test* realizado entre 1956 y 1961, y utiliza ecuaciones empíricas para determinar el espesor de pavimentos flexibles y rígidos, considerando factores como el tráfico, las condiciones climáticas y las características del suelo. (ASTM INTERNATIONAL, 2022).

4.2.2 INEN

El Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) es la entidad nacional encargada de desarrollar, formular y promover las normas técnicas en Ecuador, con el objetivo de garantizar la calidad, seguridad y confiabilidad de productos, procesos y servicios en diversos sectores. Creado en 1970, el INEN actúa como organismo técnico nacional competente en normalización, reglamentación y metrología, alineándose con estándares internacionales para facilitar el comercio y el desarrollo sostenible del país. Además, coordina la elaboración de normas técnicas que regulan aspectos constructivos, administrativos y de calidad, contribuyendo a la uniformidad y eficiencia en la industria y la ingeniería civil (Instituto Ecuatoriano de Normalización [INEN], s.f.).

4.2.3 MTOP

El Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTOP) es la entidad responsable de planificar, ejecutar y supervisar la infraestructura vial y los sistemas de transporte en Ecuador. Su función principal es garantizar una red de transporte segura, eficiente y sostenible que contribuya al desarrollo económico y social del país (MTOP, 2023). Además, el MTOP establece normativas técnicas para el diseño, construcción y mantenimiento de vías, asegurando la calidad y durabilidad de las obras públicas.

4.3 Topografía

La topografía es la ciencia que se encarga de medir y representar gráficamente las características de un terreno, incluyendo elevaciones, pendientes y configuración general. Su principal función en ingeniería civil es proporcionar datos precisos para

garantizar una planificación y construcción adecuadas de proyectos. (Universidad Autónoma del Perú, Robles, 2016).

4.4 Geotecnia

La geotecnia es una rama de la geología que estudia las propiedades mecánicas de los materiales del medio geológico empleados en la construcción, especialmente en ingeniería civil, para diseñar y edificar obras como puentes, carreteras y represas, con el fin de prevenir accidentes y desastres naturales. Según esta definición, la geotecnia combina conocimientos de mecánica de suelos, mecánica de rocas e ingeniería para garantizar la estabilidad y seguridad de las estructuras (Rábago Martín, 2024).

4.5 Estudios Geotécnicos

Los estudios geotécnicos son fundamentales en la ingeniería civil para caracterizar las propiedades físicas y mecánicas del subsuelo, con el fin de diseñar cimentaciones y estructuras que garanticen estabilidad y seguridad (Ministerio de Transporte y Obras Públicas [MTO], 2013). Estos estudios comprenden la exploración del terreno mediante técnicas de reconocimiento de campo, análisis de laboratorio y evaluación de riesgos asociados al suelo.

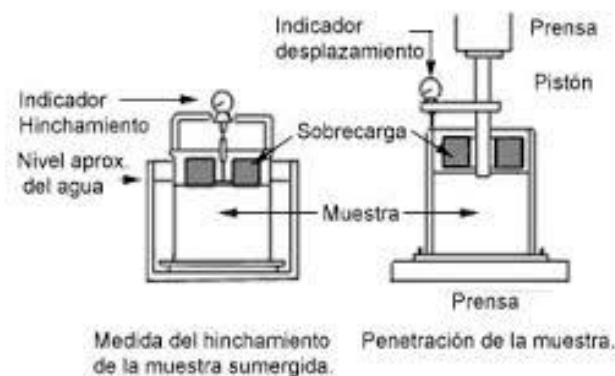
4.5.1 Análisis Granulométrico

Consiste en la separación y clasificación de las partículas del suelo según su tamaño mediante tamizado y sedimentación. Este análisis permite determinar la distribución granulométrica, coeficiente de uniformidad y curvatura, parámetros esenciales para clasificar el suelo y prever su comportamiento mecánico y de drenaje (ASTM D422, 2007).

4.5.2 Ensayo de CBR

El ensayo California Bearing Ratio (CBR) mide la resistencia del suelo o material granular a la penetración bajo cargas estándar, siendo fundamental para el diseño de pavimentos flexibles. Consiste en compactar una muestra del suelo a su humedad óptima y aplicar una carga con un pistón para determinar la capacidad portante del terreno (ASTM D1883). El resultado, expresado en porcentaje, indica la calidad del suelo para soportar cargas vehiculares y sirve para dimensionar el espesor de las capas estructurales del pavimento. En Ecuador, este ensayo es obligatorio en proyectos viales y está regulado por el MTO.

Figura 3: CBR (Californian Bearing Ratio)

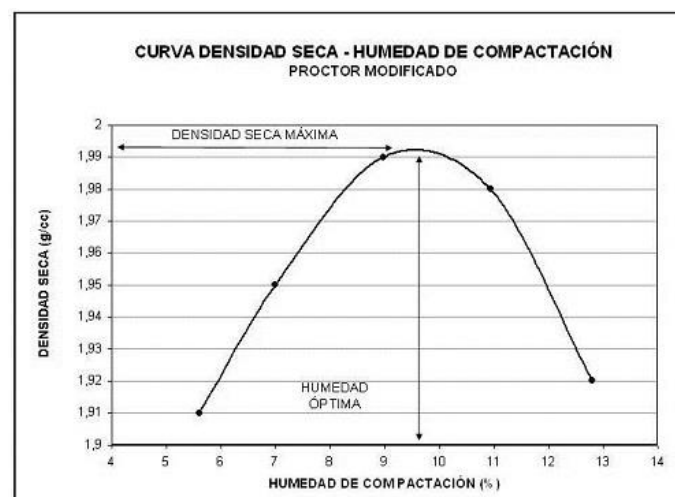


Fuente: WordPress, 2015

4.5.3 Ensayos Proctor Estándar y Modificado

Estos ensayos determinan la relación óptima entre contenido de humedad y densidad máxima que puede alcanzar un suelo al ser compactado. El Proctor Estándar se utiliza para suelos con compactación convencional, mientras que el Proctor Modificado aplica mayor energía para simular condiciones de compactación más exigentes, fundamentales para el diseño de subrasantes y bases de pavimentos (NEC-6, 2018).

Figura 4: Proctor Modificado



Fuente: LCweb

4.6 Diseño Geométrico

El diseño geométrico de una vía consiste en definir su configuración tridimensional mediante el trazado en planta, perfil longitudinal y sección transversal. Este proceso debe optimizar la movilidad y accesibilidad, además de garantizar la seguridad vial y la integración con el entorno.

4.6.1 Trazado en Planta

Representa el eje de la vía proyectado sobre un plano horizontal, incluye curvas horizontales (circulares y espirales de transición), peraltes y entretangencias para garantizar estabilidad vehicular en giros. (Navarro Hudiel, 2011).

4.6.2 Perfil Longitudinal

Define el desarrollo vertical del eje de la vía, compuesto por tangentes y curvas parabólicas, las curvas verticales suavizan los cambios de pendiente, mejorando la comodidad y visibilidad del conductor. (Manual de Diseño Geométrico de Carretera-Unicauca, 2022).

4.6.3 Sección Transversal

Comprende los elementos físicos como calzada, hombros, cunetas y taludes, la sección transversal influye en la capacidad de la vía, costos de construcción y mantenimiento. (La carretera como forma de vida, Lopis, 2020).

4.6.4 Velocidad de diseño

La velocidad de diseño es un parámetro esencial en el diseño geométrico de vías, que determina las características mínimas del trazado para garantizar seguridad y comodidad en la circulación, la normativa establece que esta velocidad debe seleccionarse considerando factores como la topografía, el tipo de vía y el volumen de tráfico proyectado, asegurando que los vehículos puedan transitar de manera segura y eficiente, este criterio permite definir elementos geométricos como radios de curva, pendientes y anchos de calzada, adaptados a las condiciones locales y al crecimiento esperado del tránsito. La velocidad de diseño busca equilibrar la operación del vehículo con la seguridad del usuario, contribuyendo al desarrollo sostenible de la infraestructura vial (MTOP, 2013).

Tabla 1: Velocidades de Diseño

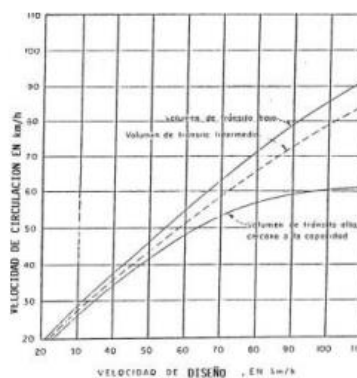
CATEGORIA DE LA VIA	TPDA ESPERADO	VELOCIDAD DE DISEÑO KM/H											
		BÁSICA				PERMISIBLE EN TRAMOS DIFÍCILES							
		RELIEVE LLANO				RELIEVE ONDULADO				RELIEVE MONTANOSO			
		Para el cálculo de los elementos del trazado del perfil longitudinal		Utilizado para el cálculo de los elementos de la sección transversal y otros dependientes de la velocidad		Para el cálculo de los elementos del trazado del perfil longitudinal		Utilizado para el cálculo de los elementos de la sección transversal y otros dependientes de la velocidad		Para el cálculo de los elementos del trazado del perfil longitudinal		Utilizado para el cálculo de los elementos de la sección transversal y otros dependientes de la velocidad	
		Recomendada		Absoluta		Recomendada		Absoluta		Recomendada		Absoluta	
R-I o R-II(TIPO)	>8000	120	110	100	96	110	90	95	85	90	80	90	90
I	TODOS	3000-8000	110	100	100	90	100	80	90	80	80	80	80
II	TODOS	1000-8000	100	90	90	86	90	80	85	80	70	50	70
III	TODOS	300-1000	90	80	85	80	80	60	80	60	60	40	60
IV	5.5E, 6 y 7	100-300	80	60	80	60	60	35	60	35	50	25	50
V	4 y 4E	<100	60	50	80	50	50	35	50	35	40	25	40

Fuente: Norma de Diseño Geométrico de Carreteras ,2003

4.6.5 Velocidad de circulación

La velocidad de circulación, también conocida como velocidad de operación, se refiere a la velocidad a la que los vehículos transitan realmente en una vía bajo condiciones de tráfico y ambientales específicas (AASHTO, 2011). A diferencia de la velocidad de diseño, que es un parámetro de ingeniería para el dimensionamiento de la vía, la velocidad de circulación es un indicador del comportamiento real de los conductores y puede variar a lo largo de un tramo carretero, este parámetro es crucial para evaluar la seguridad vial, ya que las discrepancias significativas entre la velocidad de diseño y la velocidad de circulación pueden generar situaciones de riesgo. (Lamm et al., 2007).

Figura 5: Relaciones entre las velocidades de diseño y de circulación



Fuente: MTOP (2003)

Tabla 2: Velocidades de Circulación

VELOCIDAD DE DISEÑO EN km/h	VELOCIDAD DE CIRCULACIÓN EN KM/h		
	VOLUMEN DE TRÁNSITO BAJO	VOLUMEN DE TRÁNSITO INTERMEDIO	VOLUMEN DE TRÁNSITO ALTO
25	24	23	22
30	28	27	26
40	37	35	34
50	46	44	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: Tomado de MTOP (2003).

4.6.6 Alineamiento Vertical

El alineamiento vertical de una vía es la proyección del eje de la carretera sobre un plano vertical, representando las pendientes, subidas y bajadas del terreno a lo largo del perfil longitudinal (SCT, 2016). Está compuesto por tangentes y curvas verticales que conectan estas pendientes, permitiendo un tránsito seguro y cómodo para los vehículos.

Las pendientes se expresan en porcentaje y deben diseñarse considerando criterios de seguridad, comodidad, visibilidad y drenaje. Se establecen pendientes mínimas para asegurar el escurrimiento del agua y máximas para evitar dificultades en la circulación de vehículos. Las curvas verticales, ya sean en cresta o en valle, suavizan los cambios de pendiente para mejorar la visibilidad y reducir riesgos de accidentes.

El diseño adecuado del alineamiento vertical busca equilibrar la topografía natural con las exigencias operativas y de seguridad, combinándose armónicamente con el alineamiento horizontal para optimizar la capacidad, seguridad y confort de la vía (Reyes, 2018)

4.6.6.1 Gradientes

El gradiente o línea de gradiente en el diseño vial representa la pendiente longitudinal de la carretera, es decir, la inclinación del terreno a lo largo del eje de la vía. Este elemento es fundamental porque afecta directamente la seguridad, la comodidad y la eficiencia del tránsito, además del consumo de combustible y el desgaste vehicular. Un gradiente adecuado debe respetar límites máximos y mínimos establecidos por normativas técnicas

para evitar problemas como pérdida de tracción, deslizamientos y dificultades en la aceleración o frenado de los vehículos. Asimismo, influye en el drenaje superficial, previniendo acumulaciones de agua que puedan causar hidropneumático o daños en la infraestructura (Universidad Continental, 2025).

Tabla 3: Valores de gradientes longitudinales máximos

CLASE DE CARRETERA					VALOR			VALOR		
					Recomendable			Absoluto		
					L	O	M	L	O	M
R - I	o R - II	>	8000	TPDA	2	3	4	3	4	6
I	3000	a	8000	TPDA	3	4	6	3	5	7
II	1000	a	3000	TPDA	3	4	7	4	6	8
III	300	a	1000	TPDA	4	6	7	6	7	9
IV	100	a	300	TPDA	5	6	8	6	8	12
V	Menos	de	100	TPDA	5	6	8	6	8	14

Fuente: Tomado de MTOP (2003).

4.6.6.2 Curvas Verticales

Las curvas verticales son elementos geométricos utilizados en el diseño vial para suavizar la transición entre dos pendientes consecutivas en el perfil longitudinal de una vía, permitiendo un cambio gradual en la inclinación y mejorando la comodidad y seguridad del tránsito (Scribd, 2025).

4.6.6.2.1 Curvas Verticales Convexas

Las curvas verticales convexas o en cresta son aquellas que forman un punto alto en el perfil de la vía, conectando una pendiente ascendente con una descendente. Su diseño busca asegurar una distancia de visibilidad adecuada para que los conductores puedan anticipar obstáculos y mantener la seguridad. Además, suavizan el cambio de pendiente para mejorar la comodidad y estabilidad del tránsito (Navarro, 2011).

Tabla 4: Curvas verticales convexas mínimas

Velocidad de diseño	Distancia de visibilidad para parada "s"		Coeficiente $K=S^2/426$	
	Kph	Metros	Calculado	Redondeado
20	20	0.94	1	
25	25	1.47	2	
30	30	2.11	2	
35	35	2.88	3	
40	40	3.76	4	
45	50	5.87	6	
50	55	7.1	7	
60	70	11.5	12	
70	90	19.01	19	
80	110	28.4	28	
90	135	42.78	43	
100	160	60.09	60	
110	180	76.06	80	
120	220	113.62	115	

Fuente: Tomado de MTOP (2003).

4.6.6.2.2 Curvas Verticales Cóncavas

Las curvas verticales cóncavas o en valle son aquellas cuya abertura está dirigida hacia arriba, formando una depresión o “valle” en el perfil longitudinal de la vía (Scribd, 2025). Estas curvas se ubican en la unión de una pendiente descendente seguida de una ascendente y permiten una transición suave entre ambas, mejorando la comodidad y seguridad del tránsito. Su diseño considera la iluminación que alcanzan los faros de los vehículos para asegurar visibilidad adecuada durante la noche, además de facilitar el drenaje y evitar acumulación de agua en la vía. La longitud de la curva se determina con base en criterios de seguridad y comodidad, tomando en cuenta la suma de pendientes, que en este caso debe ser menor que cero (Universidad José Cecilio del Valle, 2022).

Tabla 5: Curvas verticales cóncavas mínimas

Velocidad de diseño	Distancia de visibilidad para parada "s"		Coeficiente $K=S^2/122+3.5S$	
	Kph	metros	Calculado	Redondeado
20	20	2.08	2	
25	25	2.98	3	
30	30	3.96	4	
35	35	5.01	5	
40	40	6.11	6	
45	50	8.42	8	
50	55	9.62	10	
60	70	13.35	13	
70	90	18.54	19	
80	110	23.87	24	
90	135	30.66	31	
100	160	37.54	38	
110	180	43.09	43	
120	220	54.26	54	

Fuente: Tomado de MTOP (2003).

4.6.6.3 Sección Transversal

La sección transversal de una carretera es un corte vertical perpendicular al eje vial que permite definir la disposición, dimensiones y relación de los diferentes elementos que conforman la vía con el terreno natural. Esta sección incluye la calzada o superficie de rodadura, carriles, bermas o arcenes, cunetas para drenaje, taludes de corte y relleno, y otros elementos complementarios que garantizan la funcionalidad, seguridad y durabilidad de la vía. El diseño de la sección transversal depende principalmente del volumen de tráfico, tipo de terreno y condiciones ambientales, buscando optimizar la capacidad vial y minimizar costos de construcción y mantenimiento. Se establecen pendientes transversales o peraltes para facilitar el drenaje superficial y evitar acumulación de agua que pueda dañar la estructura del pavimento (MTOP, 2003).

4.6.7 Alineamiento Horizontal

El alineamiento horizontal es la proyección en planta del eje de una carretera, formado por una sucesión de líneas rectas llamadas tangentes y curvas que las conectan, generalmente curvas circulares o espirales. Las tangentes son segmentos rectos que unen las curvas y su punto de intersección se denomina Punto de Intersección (PI), donde se define el ángulo de deflexión entre las tangentes. El diseño del alineamiento horizontal busca garantizar la seguridad, comodidad y eficiencia del tránsito, adaptándose a las condiciones topográficas, hidrológicas y geotécnicas del terreno (Universidad Técnica de Ambato, 2020). Se consideran aspectos como la longitud mínima de las tangentes para evitar fatiga del conductor, el radio mínimo de las curvas para mantener velocidades adecuadas, y el peralte para compensar las fuerzas laterales en las curvas. Además, el alineamiento horizontal debe integrar elementos geométricos como curvas circulares simples, curvas de transición y líneas rectas, que permiten una transición suave entre tramos rectos y curvos, mejorando la visibilidad y seguridad vial (Scribd, 2025)

4.6.8 Peralte

El peralte es la inclinación transversal que se da a la calzada en las curvas horizontales de una vía para compensar la fuerza centrífuga que actúa sobre los vehículos, mejorando la adherencia y la estabilidad durante el paso por la curva. Su objetivo principal es reducir el riesgo de deslizamiento lateral y aumentar la seguridad vial (MTOP, 2003).

El peralte se expresa generalmente como un porcentaje o como una pendiente (relación vertical-horizontal) y su valor depende de la velocidad de diseño, el radio de la curva y las características del vehículo y la superficie de rodadura (UTM, 2022).

$$e = \frac{V^2}{127 R} - f$$

Donde:

e = peralte de la curva, m/m.

V = velocidad de diseño, km/h.

R = radio de curvatura, m.

f = máximo coeficiente de fricción lateral.

4.6.8.1 Magnitud del Peralte

La magnitud del peralte es la inclinación transversal que se aplica en las curvas de una carretera para compensar la fuerza centrífuga y mejorar la estabilidad del vehículo. Se expresa en porcentaje y depende de la velocidad de diseño, el radio de la curva y la topografía. El peralte máximo recomendado suele ser alrededor del 8%, buscando garantizar seguridad, comodidad y buen drenaje (MTOP, 2003).

4.6.8.2 Desarrollo del Peralte

El desarrollo del peralte en el diseño geométrico de carreteras consiste en aplicar una inclinación transversal progresiva en las curvas horizontales para contrarrestar la fuerza centrífuga que actúa sobre los vehículos, mejorando la estabilidad y seguridad durante el paso. Esta transición del peralte se realiza desde la sección recta con pendiente transversal nula hasta alcanzar el valor máximo de peralte en la curva, evitando cambios bruscos que puedan afectar la comodidad y control del vehículo (Torres Huarcaya, 2022).

Tabla 6: Gradiente Longitudinal (i)

GRADIENTE LONGITUDINAL (i) PARA EL DESARROLLO DEL PERALTE		
Vd., Km/h	VALOR DE (i), %	MÁXIMA PENDIENTE EQUIVALENTE
20	0.8	1:125
25	0.775	1:129
30	0.75	1:133
35	0.725	1:138
40	0.7	1:143
50	0.65	1:154
60	0.6	1:167
70	0.55	1:182
80	0.5	1:200
90	0.47	1:213
100	0.43	1:233
110	0.4	1:250
120	0.37	1:270

Fuente: Tomado de MTOP (2003).

4.6.9 Radio Mínimo de Curvatura

El radio mínimo de curvatura es un parámetro fundamental en el diseño geométrico de carreteras que determina el menor radio de una curva horizontal que puede ser recorrida de forma segura y cómoda a una velocidad de diseño específica, considerando además el peralte máximo y la fricción lateral disponible entre las ruedas del vehículo y la superficie de rodadura.

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

Donde:

R = radio mínimo de curvatura horizontal, m.

V = velocidad de diseño, km/h.

f = coeficiente de fricción lateral.

e = peralte de la curva, m/m.

4.6.10 Coeficiente de fricción lateral

El coeficiente de fricción lateral es un parámetro clave en el diseño geométrico vial que representa la resistencia al deslizamiento entre los neumáticos del vehículo y la superficie de la carretera durante el paso por curvas horizontales. Este coeficiente determina la fuerza máxima que puede oponerse al deslizamiento lateral, influyendo directamente en la seguridad y estabilidad del vehículo. Para el diseño, no se utiliza el valor máximo teórico de fricción, sino un valor representativo que la mayoría de los conductores puede manejar con comodidad y seguridad bajo condiciones normales de pavimento, generalmente con superficies limpias y secas. El coeficiente varía según la textura y condición del pavimento, el tipo y estado de los neumáticos, la presión de inflado, la velocidad del vehículo y las condiciones climáticas, especialmente cuando la superficie está mojada. La selección adecuada del coeficiente de fricción lateral es fundamental para calcular el radio mínimo de curvatura y el peralte, asegurando que las curvas sean seguras y confortables. Valores incorrectos pueden provocar deslizamientos, pérdida de control y accidentes. Además, este coeficiente se mide mediante métodos experimentales y equipos especializados que evalúan la resistencia al deslizamiento (MTOP, 2003).

Tabla 7: Coeficiente de fricción lateral en base a velocidad de diseño

Velocidad de Diseño km/h	μ maximo	RADIO MINIMO CALCULADO				RADIO MINIMO RECOMENDADO			
		e=0.10	e=0.08	e=0.06	e=0.04	e=0.10	e=0.08	e=0.06	e=0.04
20	0.350		7.32	7.58	8.08		18	20	20
25	0.315		12.48	13.12	13.66		20	25	25
30	0.284		19.47	20.50	21.67		25	30	30
35	0.255		26.79	30.02	32.7		30	35	35
40	0.221		41.86	44.83	48.27		42	40	50
45	0.200		55.75	59.94	64.82		58	60	65
50	0.165		72.91	78.74	86.69		75	80	90
60	0.185	105.97	115.70	125.98	138.28	110	120	130	140
70	0.150	154.35	187.75	189.73	203.07	160	170	185	205
80	0.140	209.97	229.95	251.97	279.97	210	230	255	280
90	0.134	272.55	298.94	328.70	366.55	275	300	330	320
100	0.130	342.35	374.95	414.42	465.16	350	375	415	465
110	0.124	425.34	467.94	517.80	550.95	430	470	520	585
120	0.120	515.39	588.93	629.92	708.85	520	570	630	710

Fuente: Tomado de MTOP (2003).

4.6.11 Distancia de frenado

La distancia de frenado es un indicador esencial que mide el espacio necesario para que un vehículo se detenga de forma segura y eficaz. Esta distancia está influenciada por diversos factores, tales como la velocidad inicial del vehículo, las condiciones y

características del pavimento, y la eficacia del sistema de frenos. Debido a que la distancia de frenado es un elemento clave para la seguridad vial, es fundamental establecer y respetar normas mínimas que protejan a los usuarios de la vía. Asimismo, los conductores deben estar informados sobre estas regulaciones y ajustar su forma de conducir para reducir el riesgo de accidentes y mantener una circulación segura (MTOP, 2003).

4.6.12 Distancia de visibilidad en curvas horizontales

La distancia de visibilidad en curvas horizontales es un parámetro fundamental en el diseño geométrico vial que se define como la longitud mínima de vía visible para el conductor a lo largo de una curva, suficiente para que pueda percibir y reaccionar ante obstáculos o situaciones imprevistas, garantizando así la seguridad y el control vehicular (Scribd, 2025).

$$m = Rc * \left(1 - \cos \left(\frac{28,65 * Dp}{Rc} \right) \right)$$

Donde:

Rc = Radio de curva crítico

Dp = Distancia de frenado

4.6.13 Distancia de visibilidad lateral

En el diseño de carreteras, especialmente en zonas como intersecciones y cruces ferroviarios, es crucial asegurar que exista una distancia de visibilidad lateral adecuada para proteger a los usuarios. Esta visibilidad permite a los conductores prever y responder oportunamente ante posibles peligros, tales como peatones que atraviesan la vía o la proximidad de vehículos y trenes. La definición de la distancia mínima necesaria para esta visibilidad lateral se realiza mediante cálculos que toman en cuenta variables como la velocidad de los vehículos y las características del terreno (MTOP, 2003).

$$dL = \frac{V_T}{V_V} * d$$

Donde:

$VT =$ Velocidad de transeunte promedio (se asume como $10 \frac{km}{h}$)

$VV =$ Velocidad de diseño del vehciulo, $\frac{km}{h}$

$d =$ Distancia de visibilidad para la parada de un vehiculo, m

4.6.14 Distancia de rebasamiento

La distancia de rebasamiento es el espacio mínimo necesario para que un vehículo pueda adelantar a otro de forma segura, sin interferir el tráfico contrario ni afectar la velocidad del vehículo adelantado. Se calcula considerando las velocidades de ambos vehículos y la velocidad de diseño de la vía. Esta distancia es clave para definir zonas permitidas o prohibidas de adelantamiento y garantizar la seguridad vial (MTO, 2003).

Tabla 8: Distancia mínima de visibilidad para rebasamiento

$V_0, Km/h$	VELOCIDADES DE LOS VEHICULOS, Km/h .		DISTANCIA MINIMA DE REDASAMIBNTO, METROS	
	REBASADO	REBASANTB	CALCULADA	RECOMENDADA
25	24	40	----	(80)
30	28	44	----	(110)
35	33	49	----	(130)
40	35	51	268	270 (150)
45	39	55	307	310 (180)
50	43	59	345	345 (210)
60	so	66	412	415 (290)
70	58	74	488	490 (380)
80	66	82	563	565 (480)
90	73	89	631	640
100	79	95	688	690
110	87	103	764	830
120	94	110	831	830

Fuente: Tomado de MTO (2003).

4.6.15 Sobreanchos de curva

El sobreancho de la curva es el ensanchamiento adicional de la calzada en las curvas horizontales. Se implementa para compensar el mayor espacio que ocupan los vehículos al girar, ya que las ruedas traseras siguen una trayectoria diferente a las delanteras. Este ensanchamiento busca mantener condiciones de circulación similares a las de una vía recta, facilitando el tránsito seguro y cómodo. También ayuda a los conductores a mantener el vehículo centrado en el carril y evita colisiones con el tráfico contrario. Su magnitud se calcula en función del radio de la curva, la velocidad de diseño y el tipo de vehículo, y debe aplicarse de forma gradual (MTOPI, 2003).

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

Donde:

n = número de carriles

R = Radio de la curva, m

L = Distancia entre parte frontal de vehículo de diseño y su eje trasero

V = Velocidad de diseño

4.7 Tránsito

El tránsito es el movimiento y circulación de vehículos, peatones y otros medios de transporte por las vías públicas. Su estudio permite analizar el comportamiento, flujo y seguridad en las carreteras, facilitando el diseño y gestión eficiente de la infraestructura vial para garantizar una circulación ordenada y segura (Scribd, 2025; UTA, 2023).

4.7.1 TPDA

El TPDA se define como el volumen total de vehículos que pasan por un punto o sección de una carretera en un período de tiempo determinado, mayor a un día y menor o igual a un año, dividido por el número de días comprendidos en ese período. Este valor es esencial para determinar la capacidad máxima de una vía y planificar futuras mejoras. (Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2011).

$$TPDA = T_0 * FH * FD * FS * FM$$

Donde:

$T_0 = \text{trafico observado}$

4.7.2 Trafico Futuro

Para estimar este parámetro, el proyecto se fundamenta en las tasas históricas de crecimiento vehicular registradas en años anteriores, además de realizar proyecciones a largo plazo, generalmente entre 15 y 20 años. Estas previsiones consideran factores como el desarrollo urbano, rural y otras variables que influyen en el aumento del tráfico. Estos cálculos son esenciales para clasificar las vías y definir parámetros geométricos clave, como la velocidad de diseño, que garantizan la seguridad y eficiencia del tránsito en la infraestructura vial (MTOPI, 2003).

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

Donde:

$T_a = TPDA$

$i = \text{Tasa de crecimiento poblacional}$

$n = \text{Años a proyectar}$

4.7.3 Factor Horario

“Nos permite transformar el volumen de tráfico que se haya registrado en un determinado número de horas a VOLUMEN DIARIO PROMEDIO.” (MTOPI, 2003)

4.7.4 Factor Diario

“Permite transformar el volumen de tráfico diario promedio en VOLUMEN SEMANAL PROMEDIO.” (MTOPI, 2003)

4.7.5 Factor Semanal

“Transforma el volumen semanal promedio de tráfico en VOLUMEN MENSUAL PROMEDIO.” (MTOPI, 2003)

4.7.6 Factor Mensual

“Transforma el volumen mensual promedio de tráfico en TRAFICO PROMEDIO DIARIO ANUAL (TPDA).” (MTOPI, 2003)

4.7.7 ESALs

El término ESALs (Equivalent Single Axle Loads) se refiere a una unidad de medida utilizada en el diseño y análisis de pavimentos para cuantificar el impacto que diferentes tipos de vehículos y cargas ejercen sobre la estructura vial. Este concepto es fundamental porque diferentes vehículos tienen configuraciones de ejes y pesos variados, y no todos afectan la vía de igual manera. Por ello, se convierten las cargas reales de los vehículos en un número equivalente de ESALs para estimar el daño acumulado que causan al pavimento durante su vida útil. Esta medición permite planificar y diseñar pavimentos con la resistencia adecuada para soportar el tráfico esperado (Instituto Nacional de Vías, 2015; AASHTO, 1993).

4.7.8 Factor de Carga Equivalente (LEF)

El Factor de Carga Equivalente (LEF) es un valor numérico que representa la relación entre el daño o pérdida de servicio que causa una carga específica sobre un eje y el daño equivalente producido por una carga estándar de referencia normalmente un eje simple con 80 kN o 18,000 libras. El LEF permite cuantificar el impacto relativo de distintas cargas en la vida útil del pavimento, ya que cargas mayores o configuraciones de ejes más pesadas generan un deterioro más acelerado. Así, el diseño estructural de carreteras se basa en la suma ponderada de estas cargas equivalentes para garantizar la resistencia adecuada frente al tránsito esperado. Este factor se utiliza para convertir diferentes configuraciones y pesos de ejes en una carga única equivalente, facilitando el análisis y diseño de pavimentos (AASHTO, 1993; Congreso de Vialidad Argentina, 2016).

$$LEF = \frac{\text{No. de ESALs de 80 KN que producen una pérdida de serviciabilidad}}{\text{No. de ejes de x KN que producen la misma pérdida de serviciabilidad}}$$

4.7.9 Factor Camión

El factor de carga se define como la cantidad de ESALs que representa cada vehículo. Este factor puede calcularse para cada tipo general de camión o como un promedio para

todos los vehículos comerciales, dependiendo de la configuración del tráfico. Sin embargo, es más preciso utilizar factores de carga específicos para cada categoría de camiones (AASHTO, 1993).

4.7.10 Clasificación de carreteras por Volumen de Tránsito

La clasificación de carreteras por volumen de tránsito según el Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO) de Ecuador se basa en el Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) proyectado para un periodo de 15 a 20 años, con el fin de planificar y diseñar vías que respondan a las necesidades de movilidad y seguridad vial.

Tabla 9: Clasificación de Carreteras por TPDA

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

Fuente: Tomado de MTO (2003).

Esta jerarquización permite definir las características geométricas y estructurales de cada vía, así como planificar su construcción y mantenimiento en función del incremento esperado del tráfico. Las carreteras de mayor clase (R-I, R-II, I) están diseñadas para soportar mayores volúmenes y velocidades, mientras que las de clase inferior atienden tráfico más bajo y funciones locales. Además, el MTO recomienda que el diseño vial considere el crecimiento del tráfico proyectado para asegurar la durabilidad, seguridad y eficiencia del sistema vial a largo plazo, ajustando parámetros como la velocidad de diseño, número de carriles y señalización según la clasificación asignada (NEVI-12, MTO).

4.7.11 Clasificación de Vías por su Función

La clasificación de vías por su función, según el Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO) de Ecuador, divide la red vial en tres categorías principales basadas en su papel dentro del sistema de transporte y el tipo de tráfico que manejan:

4.7.11.1 Corredores Arteriales

Son las vías principales de integración nacional que conectan capitales de provincia, puertos, aeropuertos, pasos fronterizos y centros estratégicos para el desarrollo económico y social. Estas vías están diseñadas para facilitar la movilidad rápida y eficiente de grandes volúmenes de tráfico, priorizando la circulación sobre la accesibilidad. Incluyen autopistas y carreteras de alta capacidad (MTO, 2003; Reglamento LOTAIP, 2022).

4.7.11.2 Vías Colectoras

Su función es recolectar el tráfico proveniente de zonas locales y canalizarlo hacia los corredores arteriales. En estas vías predomina la accesibilidad, permitiendo conexiones con áreas urbanas y rurales, y gestionan volúmenes de tránsito moderados (Reglamento LOTAIP, 2022).

4.7.11.3 Vías Locales

Son las vías que brindan acceso directo a propiedades, barrios y zonas rurales, con predominancia en la accesibilidad sobre la movilidad. Atienden tráfico de bajo volumen y velocidades reducidas, y su diseño responde a las necesidades locales (Acuerdo Ministerial MTO, 2015).

4.7.12 Tipos de Terrenos

En el diseño y construcción de carreteras, la topografía y características del terreno son factores determinantes que influyen en la geometría, costos y métodos constructivos de la vía. El MTO clasifica los terrenos en función de la pendiente y la morfología del relieve, lo que permite adaptar el diseño vial a las condiciones naturales del entorno (MTO, 2003; NEVI-12, 2013).

4.7.12.1 Terreno Escarpado

Se refiere a zonas con pendientes muy pronunciadas, generalmente superiores al 50% en la pendiente transversal. Este tipo de terreno presenta dificultades significativas para la construcción, requiere movimientos de tierra extensos y diseños especiales para garantizar la estabilidad de taludes y la seguridad vial. (MTOP, 2003).

4.7.12.2 Terreno Montañoso

Son áreas con pendientes moderadas a fuertes, donde la topografía influye notablemente en el trazado de la vía. Se subdivide en montañoso suave (pendientes transversales menores o iguales al 50%) y montañoso escarpado (pendientes mayores al 50%). El diseño en estos terrenos debe considerar curvas más cerradas, menor velocidad de diseño y estructuras de contención (NEVI-12, 2013).

4.7.12.3 Terreno Ondulado

Terreno con pendientes suaves a moderadas, generalmente entre 5% y 15%. Presenta un relieve irregular, pero sin pendientes extremas, lo que permite un diseño vial con velocidades medias y menor costo en movimientos de tierra. (MTOP, 2003).

4.7.12.4 Terreno Plano

Áreas con pendientes menores al 5%, donde el relieve no limita el trazado de la vía. Este tipo de terreno facilita la construcción, permite mayores velocidades de diseño y reduce costos asociados a movimientos de tierra y estructuras especiales. (NEVI-12, 2013).

4.8 Pavimentos

El pavimento es una estructura conformada por varias capas superpuestas, diseñadas para soportar las cargas del tránsito y proteger el suelo subyacente, garantizando una superficie segura y durable para la circulación vehicular. Estas capas incluyen la subrasante, que es el terreno natural o mejorado que soporta las demás capas; la sub-base y la base, que distribuyen las cargas; y la carpeta asfáltica o de concreto, que proporciona la superficie de rodamiento. La función principal del pavimento es resistir las cargas repetidas del tráfico, ofrecer comodidad y seguridad, y ser durable frente a agentes climáticos y desgaste mecánico (Universidad Técnica de Ambato, 2025).

4.8.1 Pavimento Flexible

El **pavimento flexible** es una estructura conformada por varias capas: subrasante, sub-base, base y carpeta asfáltica, que trabajan en conjunto para soportar las cargas del tránsito y distribuir las al suelo subyacente. La subrasante actúa como soporte natural o mejorado; la sub-base y la base son capas granulares que facilitan la distribución de esfuerzos y el drenaje; y la carpeta asfáltica proporciona una superficie resistente y durable para la circulación vehicular. Este tipo de pavimento se caracteriza por su capacidad de flexionarse y adaptarse a las cargas, siendo común en vías con tráfico constante. Además, debe cumplir con requisitos de resistencia estructural, durabilidad y comodidad (Sánchez, 2025)

4.8.1.1 Base

La base en la estructura de un pavimento es una capa fundamental que se ubica debajo de la carpeta de rodadura y sobre la subbase. Su función principal es proveer resistencia estructural, transmitiendo las tensiones generadas por el tráfico hacia la subbase y la subrasante, además de reducir el espesor de la capa superficial más costosa. Para cumplir esta función, la base debe estar compuesta por materiales granulares con buena fricción y cavidades que aseguren resistencia y durabilidad, incluso ante variaciones de humedad. También puede actuar como una capa de drenaje para evitar daños por acumulación de agua. La calidad del material y su correcta compactación son esenciales para evitar fallas prematuras en el pavimento (Canaza, 2020; Olivera, 1994).

4.8.1.2 Subbase

La subbase es una capa intermedia en la estructura del pavimento, ubicada entre la base y la subrasante (terreno natural). Su función principal es servir como material de transición y soporte, absorbiendo deformaciones y distribuyendo las cargas de tránsito hacia la subrasante de forma uniforme. Además, actúa como filtro para evitar la contaminación de la base con materiales finos de la subrasante y contribuye al drenaje, protegiendo las capas superiores de la humedad. La subbase suele estar compuesta por materiales granulares de menor costo y calidad que la base, lo que la hace una solución económica para mejorar la estabilidad del pavimento. En pavimentos flexibles, la subbase ayuda a reducir el espesor necesario de la base y facilita la construcción, mientras que en pavimentos rígidos también previene fenómenos como el bombeo, que es el movimiento

de agua y finos hacia la superficie debido a la presión del tráfico (YouTube, 2020; Studocu, 2024).

4.8.1.3 Carpeta Asfáltica

La carpeta asfáltica es la capa superior del pavimento flexible, compuesta por mezclas de materiales pétreos y asfalto que forman una superficie resistente al tránsito vehicular y a las condiciones ambientales como la lluvia y la radiación solar. Su función principal es recibir directamente las cargas del tráfico, proteger las capas inferiores impermeabilizando el pavimento y proporcionar una superficie cómoda y segura para la circulación, combinando suavidad y rugosidad para evitar deslizamientos. Además, debe ser resistente a la abrasión y al desgaste provocado por la intemperie. El asfalto, o cemento asfáltico, actúa como aglutinante que une las partículas pétreas, formando una membrana que protege contra la oxidación y mantiene la estabilidad de la mezcla. La granulometría, dureza y forma de las partículas son factores clave para la durabilidad y desempeño de la carpeta (Olivera, 1994).

4.8.2 Pavimento Rígido

El pavimento rígido está compuesto principalmente por una losa de concreto que soporta y distribuye las cargas del tránsito sobre la subbase y la subrasante. Esta losa es una estructura rígida que ofrece alta resistencia y durabilidad, ideal para vías con tráfico pesado. Las capas inferiores (base y subbase) proporcionan soporte y drenaje, mientras que la subrasante es el terreno natural preparado para recibir las cargas. A diferencia del pavimento flexible, la capacidad estructural del pavimento rígido depende principalmente de la losa de concreto (Olivera, 1994).

4.9 Diseño de Pavimentos Flexibles

El diseño de pavimentos flexibles consiste en determinar el espesor y la composición de sus capas para soportar las cargas del tránsito y las condiciones ambientales. Se basa en el análisis del comportamiento de los materiales y el tráfico, utilizando métodos como el AASHTO, que calcula un número estructural para garantizar la resistencia y durabilidad del pavimento (IMT, 2025).

4.9.1 Confiabilidad R

La confiabilidad (R) en el diseño de pavimentos es un parámetro estadístico que representa el grado de certeza o probabilidad de que una estructura de pavimento cumplirá su vida útil sin fallas bajo las condiciones de carga, materiales y ambiente previstas. Introducida en 1973 en el diseño de pavimentos flexibles, la confiabilidad se utiliza para ajustar los factores de seguridad y compensar la incertidumbre inherente a las propiedades del suelo, variabilidad del tránsito y calidad constructiva (VMOP, 2010).

Tabla 10: Valores de R recomendados

Tipo de Carretera	Nivel de confiabilidad R (%)	
	Urbana	Rural
Autopistas y carreteras importantes	85 - 99.9	80 - 99
Arterias principales	80 - 99	75 - 95
Colectoras	80 - 95	75 - 95
Locales	50 - 80	50 - 80

Fuente: AASHTO 1993

4.9.2 Módulo Resiliente

El módulo resiliente (MR) es un parámetro fundamental en el análisis y diseño de pavimentos flexibles que mide la capacidad de un material para absorber y recuperar energía elástica bajo cargas repetidas sin deformación permanente. Se determina mediante ensayos triaxiales cíclicos, donde se aplica un esfuerzo desviador repetido y se mide la deformación recuperable del material. Este módulo representa la rigidez elástica del suelo o material granular y es esencial para predecir la respuesta mecánica del pavimento, como esfuerzos, deformaciones y deflexiones, dentro del análisis elástico multicapa. Su valor influye directamente en el espesor y la durabilidad del pavimento, por lo que es un parámetro clave en métodos de diseño como el AASHTO (Jiménez, 2009; IMT, 2025).

Figura 6: Determinación del Módulo Resiliente

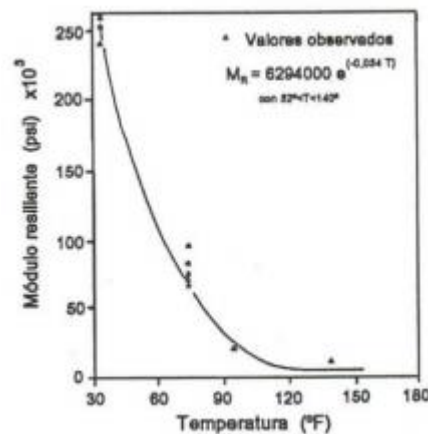
$$\begin{array}{ll} \text{MR} = 1500(\text{CBR}) & \text{CBR} < 10\% \\ \text{MR} = 3000(\text{CBR})^{0.65} & 10\% < \text{CBR} < 20\% \\ \text{MR} = 4326 \times \text{Ln}(\text{CBR}) + 241 & \text{Suelos granulares} \end{array}$$

Fuente: AASHTO, American Association of State Highway and Transportation Officials, 1993)

4.9.3 Módulo Resiliente de la Carpeta Asfáltica

El módulo resiliente de la carpeta asfáltica mide la rigidez elástica de la mezcla bajo cargas repetidas, indicando su capacidad para recuperar deformaciones sin daño. Este parámetro es fundamental para el diseño y durabilidad del pavimento flexible, y depende de factores como temperatura, tipo de asfalto y compactación. Se puede obtener mediante ensayos de laboratorio o modelos predictivos como el de Witczak (Lanamme, s.f.; UPCommons, s.f.).

Figura 7: Módulo Resiliente del Asfalto



Fuente: AASHTO, American Association of State Highway and Transportation Officials, 1993)

4.9.4 Número Estructural

El método de diseño de pavimentos flexibles emplea coeficientes estructurales, denominados a₁, a₂ y a₃, para representar la contribución relativa de cada capa—carpeta asfáltica, base y subbase—al comportamiento global del pavimento. Estos coeficientes se

asignan según las propiedades y características de cada material, permitiendo transformar los espesores reales de las capas en un valor llamado número estructural (SN). Este número proporciona una medida comparativa de la capacidad de cada capa para soportar las cargas del tráfico, facilitando así la evaluación y optimización de la estructura del pavimento para garantizar su durabilidad y desempeño adecuado (AASHTO, 1993; IMT, 2025)

$$SN = a_1D_1 + a_2D_2 + a_3D_3$$

Donde:

a_1 = Coeficiente estructural del asfalto

a_2 = Coeficiente estructural de la Base granular

a_3 = Coeficiente estructural de la Subbase

D_n = Espesores de las respectivas capas

4.9.5 Determinación de Números Estructural

El número estructural (SN) es un valor que indica la capacidad total de un pavimento flexible para soportar cargas. Se calcula multiplicando el espesor de cada capa (carpeta, base y subbase) por su coeficiente estructural correspondiente y sumando los resultados. Este valor ayuda a diseñar pavimentos duraderos y resistentes según el tránsito y las condiciones del suelo (Cueva del Ingeniero Civil, 2010).

$$a_1 = 0.184 * \ln(Mr) - 1.9547$$

Donde:

a_1 = Coeficiente estructural del asfalto

Mr = Módulo de resiliencia del asfalto

Figura 8: Ábaco Para el Cálculo del Coeficiente a_1 para subbase

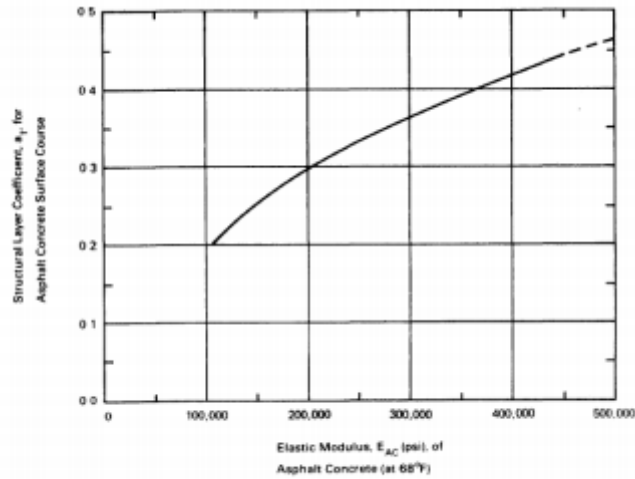


Figure 2.5. Chart for Estimating Structural Layer Coefficient of Dense-Graded Asphalt Concrete Based on the Elastic (Resilient) Modulus (J)

Fuente: AASHTO, American Association of State Highway and Transportation Officials, 1993)

Figura 9: Ábaco Para el Cálculo del Coeficiente a_2 para subbase

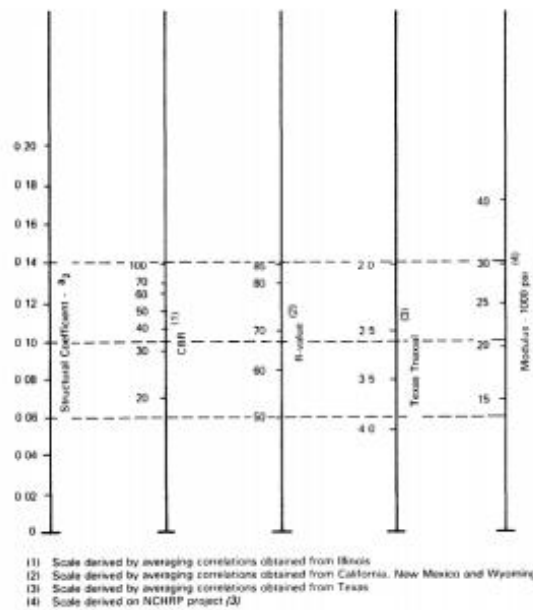
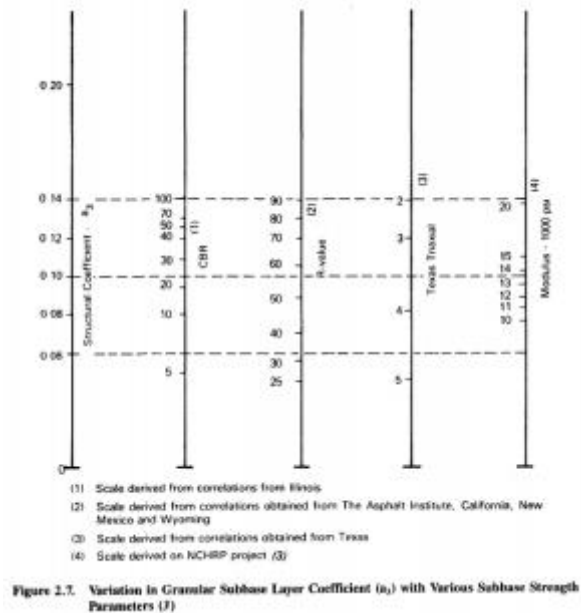


Figure 2.6. Variation in Granular Base Layer Coefficient (a_2) with Various Base Strength Parameters (J)

Fuente: AASHTO, American Association of State Highway and Transportation Officials, 1993)

Figura 10: Ábaco Para el Cálculo del Coeficiente a_3 para subbase



Fuente: AASHTO, American Association of State Highway and Transportation Officials, 1993)

4.9.6 Pérdida de Serviciabilidad

La serviciabilidad de un pavimento es un indicador clave que refleja su capacidad para atender adecuadamente el flujo vehicular que circula sobre él. Para medir esta característica, se utiliza el Índice de Servicio Actual (PSI), una herramienta que permite evaluar el estado y desempeño del pavimento en su condición presente. Durante el proceso de diseño, se incorporan criterios que consideran tanto aspectos operativos como de mantenimiento, con el objetivo de crear estructuras que satisfagan las demandas de tráfico y mantengan niveles mínimos de servicio a lo largo de su vida útil (Montejo, 2002).

$$\Delta PSI = P_0 - P_t$$

Donde:

ΔPSI = Índice de serviciabilidad

P_0 = Serviciabilidad Inicial

P_t = Serviciabilidad Final

4.9.7 Características del Drenaje

Aunque el drenaje es un elemento esencial en el diseño vial, actualmente se emplean subrasantes con baja permeabilidad que permiten ajustar la capacidad de drenaje según las condiciones específicas del proyecto. Para facilitar esta adaptación, la AASHTO ofrece directrices que ayudan a seleccionar la capacidad de drenaje adecuada en función de la calidad del drenaje existente, asegurando un diseño eficiente y acorde a las necesidades del pavimento.

Tabla 11: Calidad del Drenaje Según Exposición a la Humedad

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

Fuente: AASHTO, American Association of State Highway and Transportation Officials, 1993)

4.9.8 Diseño Estructural

La guía AASHTO (1993) presenta un método específico para el diseño de pavimentos flexibles en carreteras con tráfico intenso, superior a 50,000 vehículos equivalentes de carga de 8,2 toneladas. Este método utiliza una fórmula que permite calcular el espesor óptimo del pavimento, considerando las características del tráfico, las propiedades de los materiales y las condiciones de la subrasante, con el fin de obtener una estructura adecuada y duradera (Obras Públicas, 2013; Core, 2017).

$$\text{Log } W_{18} = ZR * S_D + 9.36 \text{Log}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.4 + \left(\frac{1.094}{(SN + 1)^{5.19}}\right)} + 2.32 \text{Log}(Mr) - 8.07$$

Donde:

W18 = Número estimado de ejes simples equivalentes de 8.2 toneladas

ZR = Desviación estándar normal

So = Error estándar combinado de la predicción del tránsito y de la predicción del comportamiento

Δ PSI = Diferencias entre los índices de serviciabilidad.

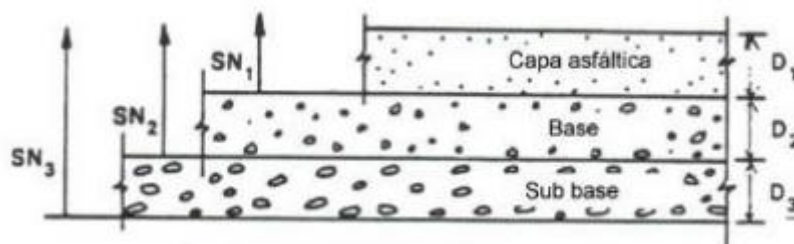
Mr = Módulo resiliente

SN = Número estructural

4.9.9 Análisis Espesores

El diseño de pavimentos consiste en realizar cálculos sistemáticos para definir los espesores óptimos de cada capa. Primero, se determina el número estructural (SN) requerido para la subrasante, tomando en cuenta su resistencia y capacidad de soporte. Luego, se calculan los SN necesarios para la subbase y la base, según sus propiedades mecánicas específicas. Con estos valores, se establecen los espesores máximos permitidos para cada capa, garantizando que la estructura cumpla con los requisitos de capacidad y durabilidad necesarios para el pavimento (Montejo, 2002).

Figura 11: Capas del Pavimento Flexible



Fuente: AASHTO, American Association of State Highway and Transportation Officials, 1993)

$$h_1 = \frac{SN_1}{a_1}$$

$$h_2 = \frac{SN_2 - SN_1 *}{a_1 \times m_2}$$

$$h_3 = \frac{SN_3 - SN_2 *}{a_3 \times m_3}$$

Donde:

i = 1 corresponde a la capa de concreto asfáltico.

i = 2, a la capa granular no tratada de base si es estructura flexible o para una base estabilizada con cementante hidráulico si es una estructura semirrígida.

i = 3, a la capa granular no tratada de subbase.

Los SN_i son números estructurales de capa. Para obtener los SN_1 , SN_2 y SN_3 se introducen en la ecuación, el M_r de la base, subbase y subrasante respectivamente.

Tabla 12: Espesores mínimos de las capas en pulgadas

W_{18} (10^6)	Espesores mínimos en pulgadas	
	Capa asfáltica	Base granular
< 0.05	TSD	4.0
0.05 - 0.15	2.0	4.0
0.15 - 0.50	2.5	4.0
0.50 - 2.00	3.0	6.0
2.00 - 7.00	3.5	6.0
> 7.00	4.0	6.0

Fuente: (AASHTO, American Association of State Highway and Transportation Officials, 1993)

4.10 Señalización Vertical

Las señales verticales son elementos instalados sobre postes o estructuras a lo largo de la vía que, mediante símbolos o textos, cumplen funciones de reglamentar, advertir e informar a los usuarios sobre condiciones, peligros, prohibiciones o rutas. Son esenciales para una circulación segura y ordenada, evitando la contaminación visual por exceso de señales (Gallegos Henao, 2004; Abello Vives, 2015).

4.10.1 Distancia de Legibilidad

La distancia de legibilidad es la mínima distancia desde la cual un conductor que se aproxima a una señal puede leer, comprender y reaccionar adecuadamente a la información que ésta presenta, considerando la velocidad máxima permitida en la vía. Esta distancia es fundamental para garantizar que el usuario tenga tiempo suficiente para procesar el mensaje y tomar decisiones seguras durante la conducción. Su cálculo depende del tamaño y diseño de la señal, la velocidad del vehículo y las condiciones de visibilidad, siendo un criterio esencial en el diseño y ubicación de la señalización vial para maximizar su efectividad y seguridad (CONASET, s.f.; Obras Públicas Ecuador, 2015).

4.10.2 Colores

Los colores en la señalización vertical tienen un significado específico para facilitar la interpretación rápida y correcta. Por ejemplo, el rojo indica prohibición o detención, el amarillo advierte sobre peligros, el verde señala información o ruta, y el azul se usa para servicios o información general. La correcta selección y aplicación de colores es vital para la uniformidad y comprensión (Gallegos Henao, 2004).

4.10.3 Señales de Información

Las señales de información son dispositivos instalados en las vías cuyo propósito es orientar y guiar a los usuarios, proporcionando datos sobre destinos, rutas, servicios y lugares de interés. Generalmente tienen forma rectangular y colores como azul o verde para facilitar su rápida identificación y comprensión. Estas señales permiten que los conductores, incluso aquellos que transitan por primera vez en una vía, puedan seguir indicaciones claras y tomar decisiones oportunas para llegar a su destino de manera segura y eficiente. Su correcta ubicación y diseño son fundamentales para evitar confusiones y mejorar la fluidez del tránsito (Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador, 2019; UNFV, 2022).

4.10.3.1 Ubicación

La ubicación de las señales de tránsito es fundamental para garantizar que los usuarios puedan ver, interpretar y reaccionar a tiempo ante la información que estas proporcionan. Las señales deben instalarse en lugares estratégicos, como el inicio o fin de una restricción, antes de intersecciones o en puntos donde se requiera advertir o informar

sobre condiciones de la vía. Además, la ubicación debe considerar la velocidad máxima permitida para que el conductor tenga tiempo suficiente para comprender el mensaje y actuar de forma segura. Cada tipo de señal puede requerir distancias específicas de colocación según su función y utilidad (Señales de Tránsito Grupo 6, 2014).

4.10.3.2 Diseño de Flechas

El diseño de las flechas en la señalización vial es fundamental para transmitir de manera clara y rápida las indicaciones de dirección a los conductores. Estas flechas deben ser simples, fácilmente reconocibles y proporcionales al tamaño de la señal para garantizar su legibilidad a distancia. Además, el ángulo y la forma de las flechas deben seguir normas técnicas específicas para evitar confusiones; por ejemplo, en carreteras, el ángulo entre los chevrones y la línea de aproximación no debe exceder los 45° para facilitar la interpretación visual. El uso de flechas ayuda a clarificar maniobras permitidas, direcciones obligatorias o rutas recomendadas, contribuyendo a la seguridad y fluidez del tránsito (Guayaquil, 2022; Ministerio de Transporte y Obras Públicas, Ecuador, 2015).

Figura 12: Flechas para uso



Fuente: (INEN,2011)

4.10.3.3 Soportes para Señales de Información

Los soportes para señales de información son estructuras diseñadas para sostener de manera segura y visible las señales verticales en calles, carreteras y autopistas. Pueden ser postes metálicos, de concreto, de madera o estructuras tipo pórtico, y deben cumplir con especificaciones técnicas que garantizan su resistencia, estabilidad y correcta ubicación. Estos soportes se anclan firmemente al suelo para resistir impactos y condiciones climáticas, asegurando que las señales sean visibles y legibles para los usuarios de la vía. Además, su diseño y dimensiones varían según el tamaño y tipo de

señal que sostienen, buscando siempre facilitar la seguridad vial y la correcta transmisión de información (TellSenales, 2014; Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2011).

Figura 13: Soporte en Voladizo



Fuente: (INEN,2011)

4.10.3.4 Diseño

El diseño es el proceso creativo y técnico mediante el cual se planifica y estructura un objeto, sistema o proyecto para cumplir funciones específicas de manera eficiente y estética. En ingeniería y arquitectura, el diseño implica la elaboración de planos, especificaciones y modelos que guían la construcción o fabricación, considerando aspectos funcionales, técnicos y normativos. Un buen diseño busca optimizar recursos, garantizar seguridad y satisfacer las necesidades del usuario (Cross, 2000; Pahl & Beitz, 2013).

Figura 14: Señal de advertencia de destino



Fuente: (INEN,2011)

4.10.3.5 Señal de Decisión de Destino

La señal de decisión de destino es un tipo de señal informativa que tiene como función principal orientar a los conductores sobre las opciones de ruta o destinos próximos, facilitando la toma de decisiones en la vía. Generalmente, estas señales son rectangulares y contienen nombres de lugares o destinos acompañados de flechas que indican la dirección a seguir. Su diseño busca ser claro y legible para que incluso usuarios que transitan por primera vez puedan entenderlas fácilmente y elegir la ruta correcta con anticipación, contribuyendo así a la seguridad y fluidez del tránsito (Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador, 2019; UNESUM, 2020).

Figura 15: Señal de Decisión de Destino (1-1b)



Fuente: (INEN,2011)

4.10.4 Señales Regulatorias

Las señales regulatorias son aquellas que indican a los usuarios de la vía las normas, prohibiciones, restricciones y obligaciones que deben cumplir obligatoriamente para mantener el orden y la seguridad vial. Su función principal es controlar el comportamiento de conductores y peatones, estableciendo límites de velocidad, prioridades de paso, prohibiciones de giro, paradas obligatorias, entre otras indicaciones. Generalmente, estas señales tienen forma circular con bordes rojos, aunque algunas como la señal de "PARE" son octogonales. El respeto a estas señales es fundamental para evitar accidentes y sanciones legales (Gallegos Henao, 2004; Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador, 2019; Senales de Tránsito Grupo 6, 2014).

4.10.4.1 Clasificación de Señales Regulatorias

Las señales regulatorias, también conocidas como señales restrictivas o reglamentarias, son cruciales para informar a los usuarios de la vía sobre prioridades, prohibiciones, restricciones, obligaciones y autorizaciones, cuyo incumplimiento puede constituir una infracción de tránsito.

Se clasifican en varios grupos principales para organizar y clarificar la información que transmiten:

4.10.4.1.1 Serie de prioridad de paso (R1)

Indican quién tiene la preferencia en una intersección o punto específico. Ejemplos incluyen "PARE" (R1-1), "CEDA EL PASO" (R1-2) y "ROTONDA" (R1-5), las cuales obligan a detenerse o ceder el paso antes de continuar.

Figura 16: Serie de Prioridad de paso R1



R1 - 1

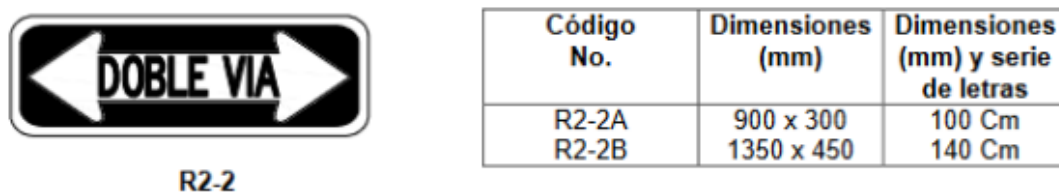
Código No.	Dimensiones (mm)	Dimensiones (mm) y serie de letras
R1 - 1A	600 x 600	200 Ca
R1 - 1B	750 x 750	240 Ca
R1 - 1 C	900 x 900	280 Ca

Fuente: (INEN,2011)

4.10.4.1.2 Serie de movimiento y dirección (R2)

Esta corresponde a un grupo de señales regulatorias que indican a los conductores la obligación de circular únicamente en la dirección señalada por las flechas presentes en las señales. Estas señales regulan movimientos específicos como giros obligatorios, prohibiciones de virajes, circulación en una o dos vías, y control de carriles, asegurando un flujo vehicular ordenado y seguro. Por ejemplo, incluyen señales que indican vías de un solo sentido, doble vía, prohibiciones de virar a la izquierda o derecha, y movimientos permitidos en intersecciones controladas. Su diseño es claro y utiliza flechas para facilitar la comprensión rápida y precisa por parte de los usuarios (RTE INEN, 2011; Vivecuador, 2020).

Figura 17: Serie de Movimiento y Dirección R2



Fuente: (INEN,2011)

4.10.4.1.3 Serie de restricción de circulación (R3)

La Serie de restricción de circulación (R3) agrupa señales regulatorias que prohíben el ingreso o la circulación de ciertos tipos de vehículos en vías específicas. Estas señales indican claramente qué clase de vehículo no está permitido más allá del punto donde se encuentran instaladas, con el fin de controlar el flujo vehicular y garantizar la seguridad vial. Ejemplos comunes incluyen prohibiciones para vehículos pesados, motocicletas, bicicletas, maquinaria agrícola o peatones. Su ubicación debe ser estratégica para que los conductores puedan identificar fácilmente la restricción y evitar infracciones o riesgos. El incumplimiento de estas señales constituye una infracción de tránsito y puede acarrear sanciones legales (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2011; Vivecuador, 2020).

Figura 18: Serie de Circulación R3



Código No.	Dimensiones (mm)
R3-1A	600 x 600
R3-1B	750 x 750
R3-1C	900 x 900

Fuente: (INEN,2011)

4.10.4.1.4 Serie de límites máximos (R4)

La Serie de límites máximos (R4) comprende un conjunto de señales regulatorias que establecen restricciones cuantitativas en la vía, tales como límites máximos de velocidad, altura, ancho, peso total y peso máximo por eje, así como el largo máximo permitido para los vehículos. Estas señales tienen como objetivo principal regular las condiciones físicas y operativas del tránsito para garantizar la seguridad vial, proteger la infraestructura y evitar daños causados por vehículos que excedan las capacidades permitidas. Por ejemplo, la señal de límite máximo de velocidad indica la velocidad máxima permitida en un tramo específico, mientras que las señales de peso y dimensiones máximas controlan el paso de vehículos que podrían afectar la integridad de puentes o carreteras. Su diseño es generalmente rectangular con símbolos y números negros sobre fondo blanco, con bordes rojos para resaltar la restricción, y su incumplimiento constituye una infracción de tránsito (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2011; Municipio de Quito, s.f.).

Figura 19: Serie de Límites Máximos R4



Código No.	Dimensiones (mm)
R4-6 A	600 x 600
R4-6 B	750 x 750
R4-6 C	900 x 900

Fuente: (INEN,2011)

4.10.4.1.5 Series de estacionamientos(R5)

La Serie de estacionamientos (R5) agrupa señales verticales que informan a los conductores sobre las restricciones, permisos y facilidades relacionadas con el estacionamiento en las vías. Estas señales indican zonas donde está permitido o prohibido estacionar, áreas tarifadas, espacios reservados para personas con discapacidad, y paradas de transporte público, entre otras. Su correcta instalación y diseño facilitan la organización del espacio vial, mejoran la fluidez del tránsito y contribuyen a la seguridad vial al evitar estacionamientos indebidos que puedan obstruir la circulación. Generalmente, estas señales se colocan con una inclinación de 30° respecto al bordillo para optimizar su visibilidad y suelen incluir flechas que delimitan el inicio y fin de las zonas reguladas (Wikipedia, 2004; Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2011; Manual Señales Tránsito Ecuador, 2017).

Figura 20 Serie De Estacionamiento R5



Código No.	Dimensiones (mm)
<i>R5-1a A</i>	600 x 600
<i>R5-1b B</i>	750 x 750
<i>R5-1c C</i>	900 x 900

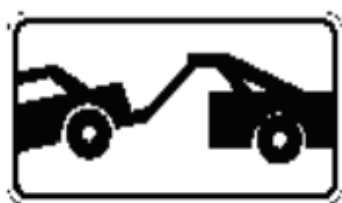
Fuente: (INEN,2011)

4.10.4.1.6 Serie de Placas Complementarias (R6)

Las placas complementarias son elementos adicionales que se colocan debajo de ciertas señales de tránsito para ampliar, precisar o limitar la información que estas transmiten. Su función es clarificar condiciones específicas, como horarios de vigencia, distancias, excepciones o motivos particulares que afectan la aplicación de la señal principal. Estas placas deben ser claras, simples y contener mensajes concisos para evitar confusiones en los usuarios. Por ejemplo, pueden indicar que una restricción aplica solo en ciertos días o

durante horas específicas, o señalar la distancia a un peligro o zona regulada. Su uso contribuye a una señalización más precisa y adaptada a las condiciones reales del tránsito, mejorando la seguridad vial y el cumplimiento normativo (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2011; Obras Públicas Ecuador, 2015).

Figura 21: Serie de Placas Complementarias R6



R6-3

Código No.	Dimensiones (mm)
R6-3	600 x 300

Fuente: (INEN,2011)

4.10.4.1.7 Serie Miscelánea (R7)

La Serie Miscelánea en señalización vial agrupa señales que no encajan estrictamente en las categorías tradicionales regulatorias, preventivas o informativas, pero que cumplen funciones complementarias importantes para la seguridad y orden del tránsito. Estas señales pueden incluir indicaciones especiales sobre condiciones temporales, advertencias sobre situaciones particulares o información adicional que ayuda a los usuarios a tomar decisiones adecuadas en la vía. Su diseño y contenido varían según la función específica que desempeñan, y suelen utilizarse para complementar o aclarar otras señales, adaptándose a circunstancias específicas del entorno vial. La correcta aplicación de esta serie contribuye a una señalización más completa y efectiva (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2011; Obras Públicas Ecuador, 2015)

Figura 22: Serie Miscelánea R7



R7-1

Código No.	Dimensiones (mm)
R7-1 A	600 x 600
R7-1 B	750 x 750
R7-1 C	900 x 900

Fuente: (INEN,2011)

4.10.5 Señales Preventivas

Las señales preventivas son aquellas que advierten a los usuarios de la vía sobre posibles peligros o condiciones inusuales, con el fin de que tomen precauciones para evitar accidentes. Generalmente tienen forma de rombo, fondo amarillo y símbolos negros, facilitando su rápida identificación (ANT, 2016).

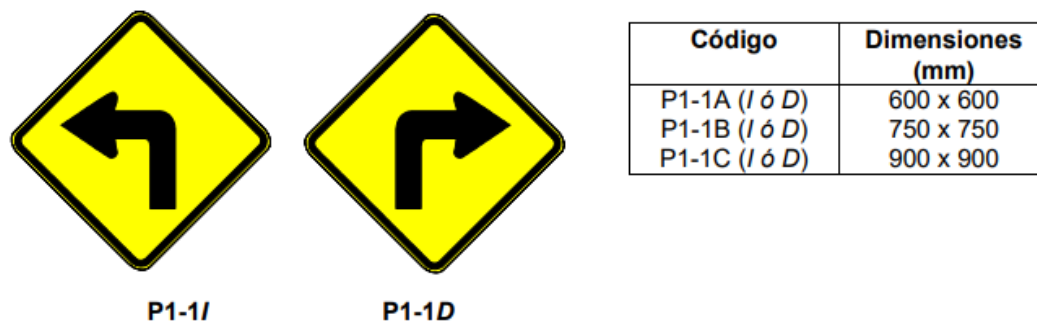
Según Villavicencio Denuncia, "las señales de prevención tienen como función principal advertir a los usuarios de la existencia de un peligro en la vía o situación poco común. Por ello, ante su presencia es necesario adoptar una conducta apropiada y extremar las precauciones". La Universidad de Córdoba señala que "las señales de tránsito son imágenes puestas en carteles en la vía pública, cuyos símbolos tienen un significado especial... son las que alertan al peatón o conductor a tomar precauciones o informan sobre las situaciones que se dan en la vía pública".

4.10.5.1 Serie de Alineamiento (P1)

La Serie de Alineamiento (P1) corresponde a señales preventivas que advierten sobre la proximidad de curvas horizontales en la vía, para que los conductores reduzcan la velocidad y tomen precauciones. Estas señales tienen forma de rombo con fondo amarillo y símbolos negros, y se colocan antes de la curva para facilitar una reacción segura.

Su función principal es alertar sobre cambios en la trayectoria del camino, ayudando a prevenir accidentes por pérdida de control en curvas (UNESUM). La correcta ubicación y diseño de estas señales es fundamental para la seguridad vial. (RTE INEN 004-1:2011).

Figura 23: Serie de Alineamiento P1

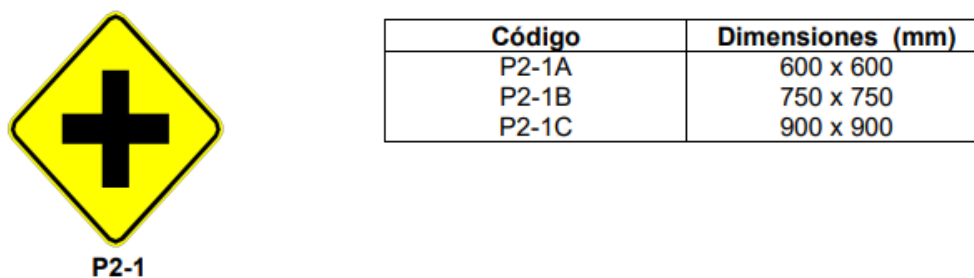


Fuente: (INEN,2011)

4.10.5.2 Serie de Intersecciones y Empalmes (P2)

La Serie de Intersecciones y Empalmes (P2) corresponde a señales preventivas que alertan a los conductores sobre la proximidad de cruces, intersecciones o empalmes donde la visibilidad puede ser limitada o la configuración vial representa un riesgo. Estas señales se colocan antes del punto crítico para que el conductor reduzca la velocidad y tome precauciones adecuadas, contribuyendo así a la seguridad vial. Visualmente, las señales P2 mantienen la forma de rombo con fondo amarillo y símbolos negros, características estándar para señales preventivas, facilitando su rápida identificación y comprensión (ESPOCH; INSTITUTO TÉCNICO SUPERIOR REY DAVID).

Figura 24: Serie de Intersecciones y Empalmes P2



Fuente: (INEN,2011)

4.10.5.3 Serie de Aproximación a Dispositivos de Control de Tránsito (P3)

La Serie de Aproximación a Dispositivos de Control de Tránsito (P3) está compuesta por señales preventivas que alertan a los conductores sobre la proximidad de dispositivos como señales de pare, ceda el paso o semáforos, para que reduzcan la velocidad y estén preparados para detenerse o ceder el paso. Su función principal es prevenir accidentes en puntos donde se regula el flujo vehicular mediante dispositivos de control, facilitando una conducción más segura y ordenada (UNESUM)

Figura 25: Serie de Aproximación a Dispositivos de Control de Tránsito P3



Código No.	Dimensiones (mm)
P3-4A	600 x 600
P3-4B	750 x 750
P3-4C	900 x 900

Fuente: (INEN,2011)

4.10.5.4 Serie de Anchos, Alturas Largos y Pesos (P4)

La Serie de Anchos, Alturas, Largos y Pesos (P4) está compuesta por señales preventivas que advierten a los conductores sobre limitaciones físicas en la vía, como restricciones en el ancho, altura, longitud o peso permitido para circular. Estas señales alertan sobre puentes angostos, túneles, ensanchamientos o angostamientos, y límites máximos para vehículos, permitiendo que los conductores tomen precauciones adecuadas para evitar accidentes o daños. Visualmente, estas señales tienen forma de rombo con fondo amarillo y símbolos en negro, siguiendo el estándar para señales preventivas. Se instalan con suficiente anticipación para que los conductores puedan ajustar su velocidad o ruta según las restricciones (RTE INEN 004-1:2011).

Figura 26: Serie de Anchos, Alturas Largos y Pesos P4



P4-8

Código No.	Dimensiones (mm)
P4-8A	600 x 600
P4-8B	750 x 750
P4-8C	900 x 900

Fuente: (INEN,2011)

4.10.5.5 Serie de Asignación de Carriles (P5)

La Serie de Asignación de Carriles (P5) está compuesta por señales preventivas que alertan a los conductores sobre la aproximación a cambios en la configuración de los carriles de circulación, como uniones, terminaciones o vías con sentidos múltiples. Estas señales permiten anticipar maniobras y ajustar la conducción para evitar accidentes. Visualmente, tienen forma de rombo, fondo amarillo y símbolos negros, siguiendo el estándar para señales preventivas. Se colocan con suficiente anticipación para que el conductor pueda reaccionar de forma segura (UPS; UNESUM).

Figura 27: Serie de Asignación de Carriles



P5-1

Código No.	Dimensiones (mm)
P5-1A	600 x 600
P5-1B	750 x 750
P5-1C	900 x 900

Fuente: (INEN,2011)

4.10.5.6 Serie de Obstáculos y Situaciones Especiales de la Vía (P6)

La Serie de Obstáculos y Situaciones Especiales de la Vía (P6) está compuesta por señales preventivas que alertan a los conductores sobre la presencia próxima de obstáculos o condiciones especiales en la carretera, como bifurcaciones, reductores de velocidad, zonas de derrumbe, vías resbalosas, cruces de ciclistas o animales, entre otros. Estas señales tienen forma de rombo con fondo amarillo y símbolos negros, y se colocan con suficiente anticipación para que el conductor pueda reducir la velocidad y tomar las precauciones necesarias, contribuyendo a la seguridad vial (RTE INEN 004-1:2011).

Figura 28: Serie de Obstáculos y Situaciones Especiales de la Vía P6



Código No.	Dimensiones (mm)
P6-2A	600 x 600
P6-2B	750 x 750
P6-2C	900 x 900

Fuente: (INEN,2011)

4.10.5.7 Serie Peatonal (P7)

La Serie Peatonal (P7) está compuesta por señales preventivas que alertan a los conductores sobre la presencia o proximidad de peatones en la vía, incluyendo zonas específicas como cruces peatonales, áreas con niños, zonas de juegos y hospitales. Su función es advertir para que se reduzca la velocidad y se extremen las precauciones, protegiendo así a los usuarios vulnerables. Estas señales tienen forma de rombo, fondo amarillo y símbolos negros, siguiendo el estándar para señales preventivas, y se colocan con suficiente anticipación para garantizar una adecuada reacción del conductor (RTE INEN 004-1:2011).

Figura 29: Serie Peatonal P7



P6-1

Código No.	Dimensiones (mm)
P6-1A	600 x 600
P6-1B	750 x 750
P6-1C	900 x 900

Fuente: (INEN,2011)

4.10.5.8 Serie Complementaria (P8)

La Serie Complementaria (P8) está conformada por señales preventivas que aportan información adicional para complementar otras señales de tránsito, como indicaciones de distancias, velocidades, condiciones climáticas u otras situaciones específicas que requieren atención especial. A diferencia de otras señales preventivas que suelen tener forma de rombo con fondo amarillo, las señales de la serie P8 generalmente son de forma rectangular con fondo blanco y símbolos o leyendas negras, facilitando la lectura y comprensión del mensaje complementario. Su función principal es brindar datos precisos y específicos que ayudan a los conductores a interpretar correctamente las señales principales y a tomar decisiones informadas, mejorando así la seguridad vial y la fluidez del tránsito (RTE INEN 004-1:2011)

Figura 30: Serie Complementaria P8



P7-9

Código No.	Dimensiones (mm)
P7-9A	970X250
P7-9B	1190X300
P7-9C	1420X350

Fuente: (INEN,2011)

Tabla 13: Dimensiones Mínimas para las Placas Complementarias

Dimensiones de la señal preventiva mm	Dimensiones de la placa complementaria mm			
	Rectangular			Cuadrado
	1 Línea	2 Líneas	Flecha	
600 x 600 750 x 750	600 x 300	600 x 450	600 x 300	450 x 450
900 x 900 1200 x 1200	750 x 750	750 x 600	750 x 450	600 x 600

Fuente: (INEN,2011)

4.11 Señalización Horizontal

La señalización horizontal consiste en las marcas y símbolos pintados o aplicados directamente sobre la superficie de rodadura de las vías, como líneas longitudinales y transversales, flechas, símbolos y letras. Su función principal es regular, advertir y guiar a los usuarios de la vía, complementando la señalización vertical y los dispositivos luminosos para mejorar la seguridad vial y la fluidez del tránsito. Estas demarcaciones incluyen líneas que delimitan carriles, indican zonas de adelantamiento permitido o prohibido, pasos peatonales, zonas de frenado, entre otras. Además, pueden incorporar dispositivos elevados como tachas reflectivas para mejorar la visibilidad, especialmente en condiciones de poca luz o clima adverso (MTC Perú).

La señalización horizontal es fundamental porque transmite mensajes sin distraer la atención del conductor, facilitando la orientación y anticipación de maniobras. Su correcta aplicación y mantenimiento son esenciales para prevenir accidentes y organizar el tránsito de manera eficiente (INEN Ecuador)

4.11.1 Ubicación

Toda señal debe instalarse de manera que capte oportunamente la atención de usuarios con diferentes capacidades visuales, cognitivas y psicomotoras, proporcionando suficiente tiempo y facilidad para que puedan distinguirla del entorno, leerla, comprenderla, elegir la acción adecuada y ejecutarla con seguridad y eficacia. Un conductor que circula a la velocidad máxima permitida debe disponer siempre del tiempo necesario para realizar todas estas acciones correctamente (INEN Ecuador).

4.11.2 Colores

La señalización horizontal utiliza principalmente cuatro colores con funciones específicas para regular y guiar el tránsito de manera segura. El blanco se emplea para delimitar carriles que circulan en el mismo sentido, marcar bordes de la calzada, pasos peatonales, líneas de detención y símbolos en el pavimento, facilitando la orientación constante del conductor. El amarillo indica la separación de corrientes vehiculares en sentidos opuestos, delimita zonas de no adelantamiento, bordes donde está prohibido estacionar y áreas especiales como carriles exclusivos, señalando precaución y restricciones. El azul se usa para señalar servicios específicos, como espacios de estacionamiento para personas con movilidad reducida o zonas de peaje electrónico, aportando información complementaria. Finalmente, el rojo señala zonas de alto riesgo o emergencia, como rampas de frenado, alertando sobre situaciones críticas que requieren atención inmediata.

Estos colores deben ser visibles y duraderos, por lo que se aplican con materiales especiales que aseguran contraste y retroreflexión, garantizando su eficacia en diversas condiciones climáticas y de iluminación. La correcta aplicación de estos colores en la señalización horizontal es vital para la seguridad vial y el orden en la circulación (CCIMAS Señalizaciones).

4.11.3 Retroreflexión

La retroreflexión en la señalización horizontal es la capacidad de las marcas viales para reflejar la luz de los faros hacia el conductor, mejorando su visibilidad nocturna y en condiciones adversas. Esto se logra mediante materiales como microesferas de vidrio incorporadas en la pintura o termoplástico. La eficacia se mide con reflectómetros para asegurar que las señales mantengan su función preventiva (IMT México; INEN Ecuador).

Tabla 14: Niveles Mínimos de Retroreflexión en Pinturas sobre Pavimento

	Ángulos		Colores	
	Iluminación	Observación	Blanco	Amarillo
a 15,00 m	3,5 ⁰	4,5 ⁰	150	95
a 30,00 m	1,24 ⁰	2,29 ⁰	150	70

Fuente: (INEN,2011)

4.11.4 Líneas Longitudinales

Las líneas longitudinales en la señalización horizontal delimitan carriles y regulan el tránsito, indicando zonas donde está permitido o prohibido adelantar o cambiar de carril. El color blanco separa flujos en el mismo sentido y el amarillo en sentidos opuestos. Las líneas pueden ser continuas (prohibición de cruce) o discontinuas (permiso condicionado), facilitando la seguridad y el orden vial (INEN Ecuador; Taller Academia Autostop).

4.11.5 Líneas de Separación de Flujos Opuestos

Las líneas de separación de flujos opuestos son marcas longitudinales de color amarillo que delimitan carriles con circulación en sentidos contrarios en vías bidireccionales. Estas líneas pueden ser continuas, segmentadas o mixtas, y su función principal es indicar zonas donde está prohibido o permitido adelantar y realizar maniobras de giro, contribuyendo a la seguridad vial al evitar cruces peligrosos entre vehículos (INEN Ecuador; Posipedia).

Las líneas continuas prohíben el cruce para adelantar o girar, mientras que las segmentadas permiten estas maniobras cuando las condiciones son seguras. Además, pueden combinarse líneas continuas y segmentadas para indicar restricciones específicas según el sentido de circulación. Su ubicación generalmente es en el centro de la calzada, aunque puede variar si los carriles tienen diferente ancho o número (INEN Ecuador).

4.11.5.1 Líneas Segmentadas de Separación de Circulación Opuesta

Las líneas segmentadas de separación de circulación opuesta son marcas horizontales de color amarillo que indican la división entre carriles con sentido contrario en vías bidireccionales. Estas líneas están formadas por segmentos pintados separados por espacios sin pintar, lo que permite que los conductores las crucen para adelantar o girar siempre que exista seguridad para hacerlo (INEN Ecuador).

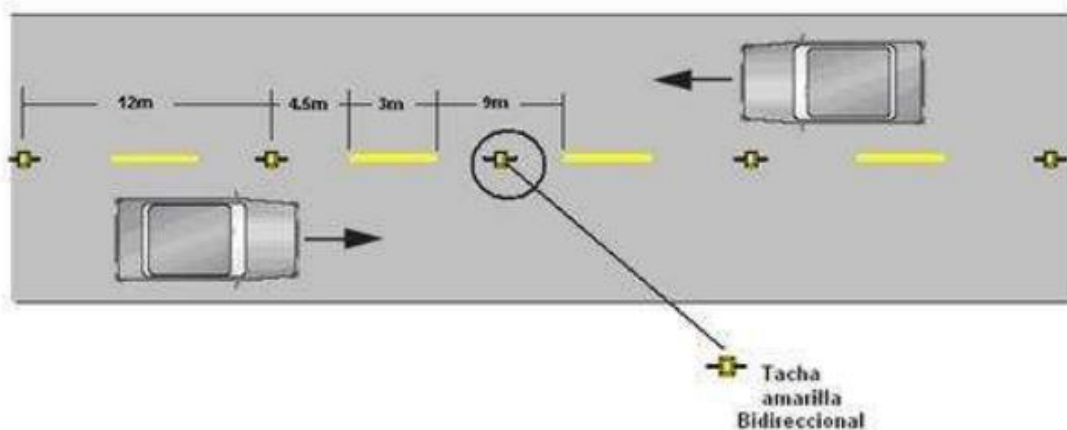
Se utilizan en tramos donde las condiciones geométricas y de visibilidad permiten maniobras seguras de adelantamiento y virajes. Su ancho y patrón varían según la velocidad máxima de la vía, garantizando así una adecuada percepción visual. Además, pueden complementarse con dispositivos reflectantes para aumentar su eficacia en condiciones adversas (INEN Ecuador).

Tabla 15: Relación Señalización Línea de Separación de Circulación Opuesta Segmentada

Visibilidad	Ángulos		Colores	
	Iluminación	Observación	Blanco	Amarillo
a 15,00 m	3,5 ⁰	4,5 ⁰	150	95
a 30,00 m	1,24 ⁰	2,29 ⁰	150	70

Fuente: (INEN,2011)

Figura 31: Líneas Segmentadas de Separación de Circulación Opuesta

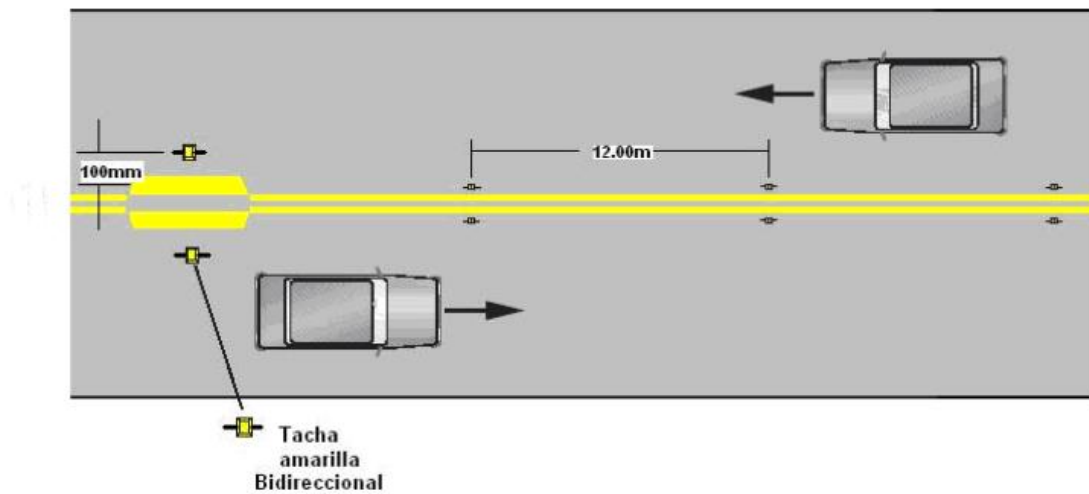


Fuente: (INEN,2011)

4.11.5.2 Doble Línea Continua

La doble línea continua está compuesta por dos líneas amarillas paralelas que indican la prohibición absoluta de cruzarlas para adelantar o cambiar de carril en ambos sentidos. Se utiliza en zonas de alto riesgo, como curvas, cambios de rasante o tramos con poca visibilidad, para garantizar la seguridad vial. Cruzar esta señalización constituye una infracción sancionada con multas y pérdida de puntos en el carnet de conducir (Clicars; 20 minutos; INTT).

Figura 32: Doble Línea Continua

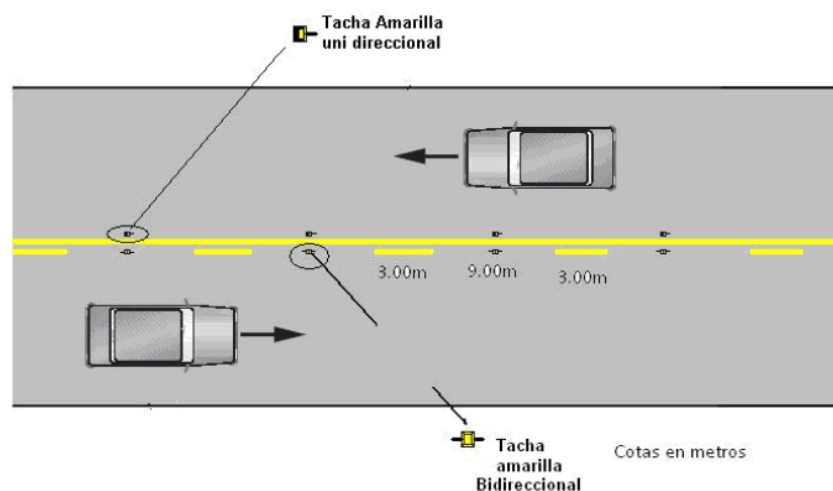


Fuente: (INEN,2011)

4.11.5.3 Doble Línea Mixta

La doble línea mixta está formada por dos líneas amarillas paralelas, una continua y otra segmentada, cada una con un ancho mínimo de 100 mm y separadas por un espacio de 100 mm. Esta señalización indica zonas donde los vehículos pueden adelantar o cambiar de carril únicamente desde el lado de la línea segmentada, mientras que está prohibido cruzar desde el lado de la línea continua. Se utiliza para delimitar carriles, establecer restricciones de adelantamiento y advertir sobre zonas específicas, garantizando seguridad en vías con circulación bidireccional (INEN Ecuador)

Figura 33: Doble Línea Mixta: Continua y Segmentada



Fuente: (INEN,2011)

4.11.5.4 Zonas de NO REBASAR

Las zonas de no rebasar son tramos de la vía donde está prohibido adelantar debido a la falta de visibilidad o condiciones inseguras para realizar la maniobra. Se establecen cuando la distancia de visibilidad es menor que la necesaria para adelantar con seguridad, especialmente en curvas, pendientes o lugares con obstáculos visuales (INEN Ecuador).

Tabla 16: Distancia de Visibilidad

Velocidad de diseño (km/h)	Velocidad del vehículo a ser rebasado (km/h)	Velocidad de rebasamiento (km/h)	Distancia de visibilidad mínima (m)
30	29	44	217
40	36	51	285
50	44	59	345
60	51	66	407
70	59	74	482
80	65	80	541
90	73	88	605
100	79	94	670
110	85	100	728
120	91	106	792

Fuente: (INEN,2011)

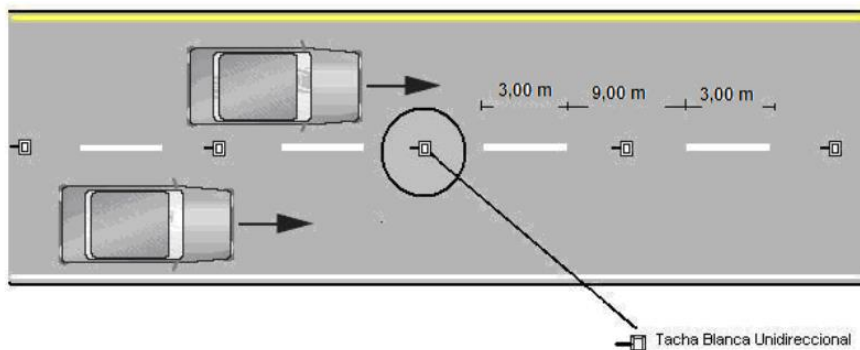
4.11.6 Líneas de Separación de Carriles

Las líneas de separación de carriles son elementos fundamentales de la señalización horizontal vial que delimitan los carriles de circulación dentro de una misma vía, facilitando el orden y la seguridad del tránsito. Estas líneas pueden ser continuas o segmentadas, y su color y tipo varían según la función que cumplen, ya sea separar flujos opuestos o flujos en el mismo sentido. Las líneas continuas indican prohibición de cambio de carril o adelantamiento, mientras que las segmentadas permiten estas maniobras cuando las condiciones son seguras. En vías bidireccionales, la separación de flujos opuestos se realiza con líneas amarillas, y en vías unidireccionales, con líneas blancas. La doble línea continua amarilla, conocida como línea de barrera, se utiliza para prohibir el rebasamiento en zonas con baja visibilidad o condiciones geométricas peligrosas (INEN, 2011).

Para cumplir su función, estas líneas deben ser visibles, legibles y ubicadas estratégicamente, considerando factores como la velocidad máxima, ancho de calzada y condiciones climáticas o geométricas adversas. Su correcta aplicación contribuye a la

seguridad vial al evitar maniobras riesgosas y mejorar la organización del tráfico (Baque, 2020).

Figura 34: Líneas de Separación de Carriles Segmentados

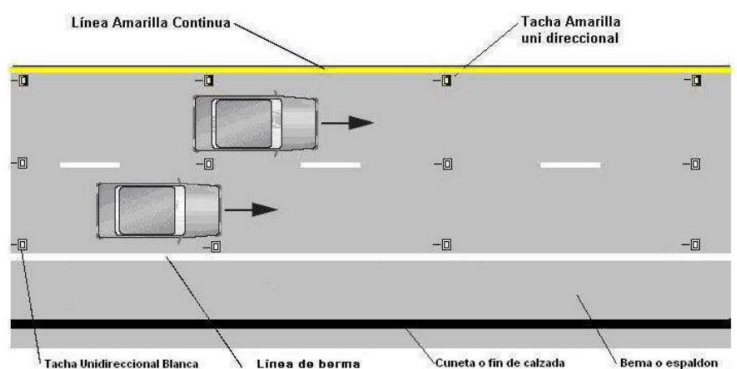


Fuente: (INEN,2011)

4.11.7 Líneas de Borde de Calzada

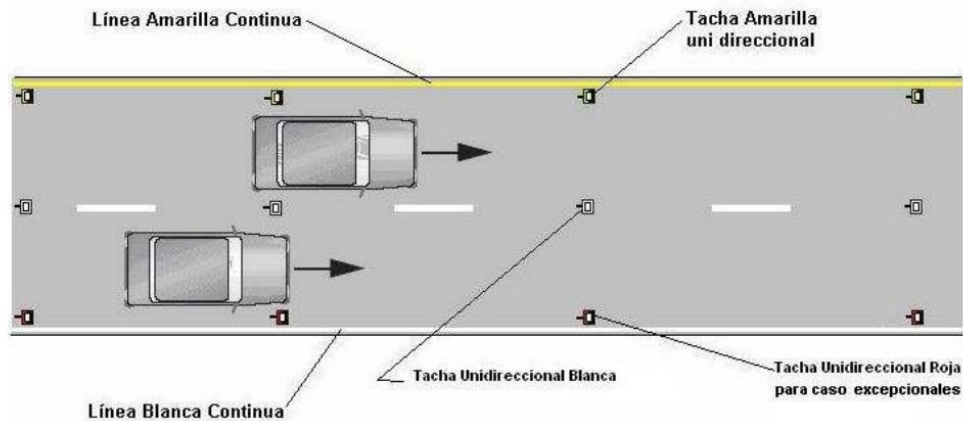
Las líneas de borde de calzada son marcas horizontales de color blanco que se pintan en el límite lateral de la calzada, delimitando el espacio destinado para la circulación vehicular y la berma o zona lateral. Su función principal es guiar visualmente a los conductores, especialmente en condiciones de baja visibilidad, para evitar salidas involuntarias de la vía y mejorar la seguridad vial. Estas líneas se ubican siempre dentro del borde de la calzada, excepto cuando ésta está dividida por parterre o isla, donde pueden marcar bordes interiores. Su ancho mínimo recomendado es de 100 mm para asegurar visibilidad adecuada. Además, contribuyen a la organización del tránsito y a la protección de los usuarios al definir claramente los límites de la vía (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2011)

Figura 35: Líneas Continuas de Borde, con Espaldón o Berma



Fuente: (INEN,2011)

Figura 36: Líneas Continuas de Borde, sin Espaldón o Berma



Fuente: (INEN,2011)

4.12 Obras de Drenaje

Las obras de drenaje son infraestructuras diseñadas para captar, conducir y evacuar el agua superficial y subterránea, con el fin de proteger áreas urbanas, agrícolas y vías de transporte de inundaciones y daños causados por el exceso de agua. Estas obras incluyen canales interceptores, canales recolectores, cunetas, sumideros y alcantarillas, que en conjunto forman sistemas que controlan la escorrentía y evitan la acumulación de agua en zonas vulnerables.

El diseño de estas estructuras considera factores hidrológicos como el caudal de escorrentía, la pendiente del terreno y las características del suelo, aplicando métodos como el racional para calcular el volumen de agua a evacuar. Además, las obras de drenaje deben dimensionarse para garantizar un flujo eficiente y evitar problemas como la erosión o sedimentación que puedan afectar su funcionamiento. (Repositorios académicos, 2017).

4.12.1 Cunetas

Las cunetas son zanjas o canales longitudinales ubicados a los lados de las vías terrestres, como carreteras o caminos, cuya función principal es captar y conducir el agua de lluvia o escorrentía para evitar daños en la infraestructura vial y prevenir inundaciones (Wikipedia, 2010). Estas estructuras pueden ser de diferentes formas y materiales, como cunetas trapezoidales de tierra o de concreto, y su diseño hidráulico considera la capacidad de conducción, pendiente y velocidad del agua para asegurar un drenaje eficiente. Además de su función hidráulica, las cunetas también contribuyen a la estabilidad de las vías al controlar la erosión y proteger los taludes. Sin embargo,

representan un riesgo para vehículos y peatones si no están bien señalizadas o mantenidas, especialmente en zonas rurales o con condiciones climáticas adversas (Dialnet, 2017).

4.12.1.1 Precipitación

La precipitación es cualquier forma de agua, líquida o sólida, que cae desde la atmósfera y llega a la superficie terrestre, incluyendo lluvia, nieve, granizo y aguanieve. Se produce cuando las gotas de agua en las nubes crecen lo suficiente para vencer la resistencia del aire y caer por acción de la gravedad. La precipitación es un componente fundamental del ciclo hidrológico, ya que aporta agua dulce necesaria para la vida y los ecosistemas. La distribución y cantidad de precipitación varían según factores climáticos y geográficos como la ubicación, el relieve y la época del año. Además, existen diferentes tipos de precipitación, como la lluvia (líquida), la nieve (sólida), el granizo y la aguanieve, cada una con características y condiciones específicas de formación (meteoblue, 2010; StudySmarter, 2025).

4.12.1.2 Datos de Lluvia

Los datos de lluvia son registros cuantitativos que reflejan la cantidad de precipitación caída en un lugar y tiempo determinados. Estos datos se obtienen mediante instrumentos como pluviómetros, que miden la profundidad del agua precipitada, y son esenciales para el análisis hidrológico, la gestión de recursos hídricos y la planificación ambiental. La precisión en la recolección y el procesamiento de estos datos es fundamental, ya que permiten estimar la precipitación media en áreas específicas, evaluar patrones climáticos y diseñar obras hidráulicas. Para calcular la precipitación media en una cuenca, se utilizan métodos como el promedio aritmético, que consiste en promediar las mediciones de varias estaciones pluviométricas distribuidas en la zona de estudio, siempre considerando la representatividad y consistencia de los datos (García, 2004; Villamar Robalino, 2020).

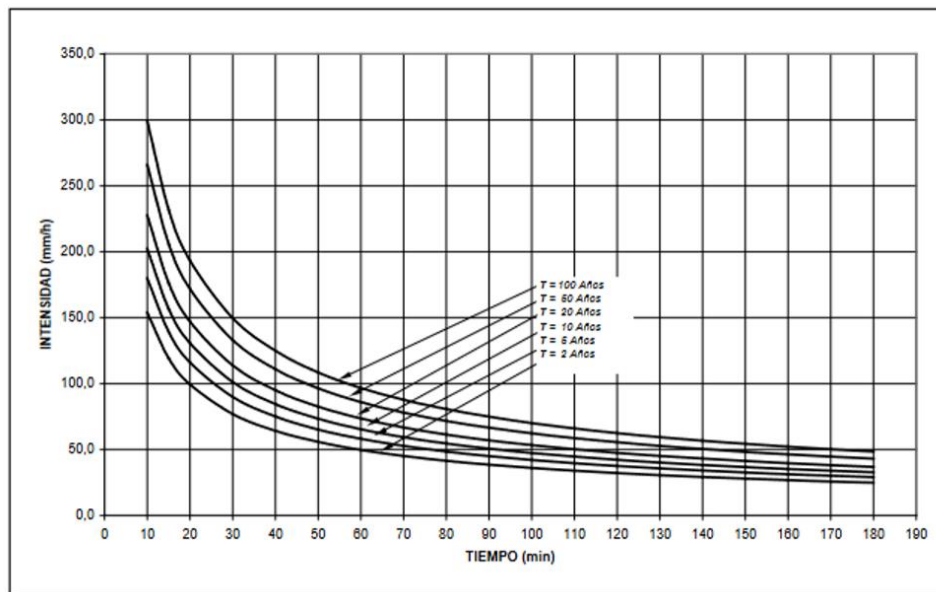
4.12.1.3 Curvas IDF

Las curvas DF (Intensidad-Duración-Frecuencia) son representaciones gráficas que relacionan la intensidad de la lluvia con su duración y la frecuencia con la que ocurren eventos de precipitación de determinada magnitud. Estas curvas se construyen a partir del análisis de datos pluviométricos históricos y permiten estimar la intensidad promedio de

lluvias para diferentes intervalos de tiempo y períodos de retorno específicos (Témez, 1978; Mintegui y López, 1990).

Su principal utilidad radica en el diseño de obras hidráulicas y sistemas de drenaje, ya que ayudan a determinar las características de las tormentas de diseño para prevenir inundaciones y controlar la escorrentía. En general, a mayor duración de la lluvia, menor es su intensidad promedio, y eventos con alta intensidad son menos frecuentes, lo que queda reflejado en las curvas IDF (Espíldora, 1971).

Figura 37: Curvas IDF



Fuente: (INVIAS, Manual de drenaje para carreteras, 2009)

4.12.1.4 Dimensionamiento de Cunetas

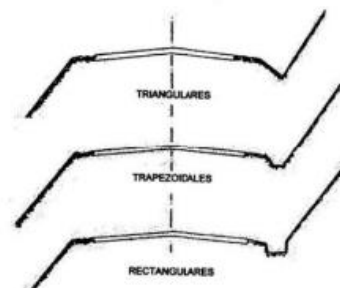
El dimensionamiento de las cunetas puede tener secciones transversales triangulares, trapezoidales o rectangulares, siendo la triangular la más común por su facilidad constructiva y eficiencia hidráulica. Para vías de bajo tráfico, una cuneta triangular típica tiene un ancho aproximado de 1 metro en la parte superior (Argos Colombia, s.f.).

Tabla 17: Dimensionamiento de Cunetas

Región	Profundidad (d) m	Ancho (a) m
Seca	0.2	0.4
Lluviosa	0.3	0.6
Muy Lluviosa	0.3	1.2

Fuente: (MTOPI;2003)

Figura 36: Sección de Cunetas



Fuente: (Normas de Diseño Geométrico; pg.256)

4.12.1.5 Pendiente Velocidad

Las pendientes y velocidades en cunetas son parámetros clave para garantizar un drenaje eficiente y evitar problemas como sedimentación o erosión. La pendiente longitudinal de la cuneta debe ser suficiente para mantener una velocidad mínima del flujo, generalmente alrededor de 0.5 m/s, que es necesaria para evitar la acumulación de sedimentos en el canal (ConstruReyes Ingeniería, 2017).

Por otro lado, la pendiente no debe ser excesiva para evitar velocidades muy altas que puedan causar erosión en la cuneta o daños en la infraestructura. En general, las pendientes longitudinales recomendadas para cunetas varían entre 0.1% y 5%, dependiendo del tipo de suelo y material de revestimiento (Ministerio de Transportes, s.f.; Dialnet, 2010).

La velocidad del flujo en la cuneta se calcula usando la fórmula de Manning, que considera la pendiente, la rugosidad del material y la sección hidráulica. Mantener un equilibrio adecuado entre pendiente y velocidad asegura la durabilidad y funcionalidad del sistema de drenaje (Scribd, 2025).

Tabla 18: Velocidades del Agua con que se Erosionan Diferentes Materiales

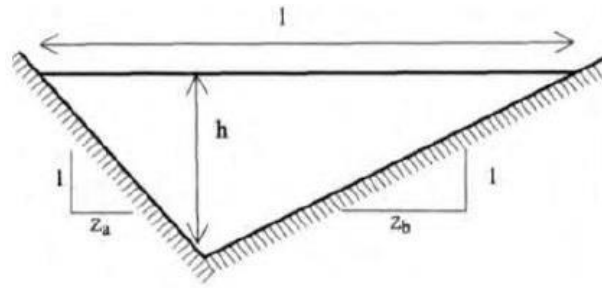
Material	Velocidad m/s	Material	Velocidad m/s
Arena fina	0,45	Pizarra suave	2,0
Arcilla arenosa	0,50	Grava gruesa	3,50
Arcilla ordinaria	0,85	Zampeado	3,4 - 4,5
Arcilla firme	1,25	Roca sana	4,5 - 7,5
Grava fina	2,00	Hormigón	4,5 - 7,5

Fuente: (MTOPI, Norma de Diseño Geométrico de Carreteras, 2003)

4.12.1.6 Sección Triangular

Las secciones triangulares son una forma comúnmente utilizada en el diseño de cunetas y canales debido a su simplicidad constructiva y eficiencia hidráulica. Esta sección tiene forma de triángulo, generalmente isósceles o rectángulo, donde la base y la altura determinan el área y el perímetro mojado, parámetros clave para el cálculo del caudal que puede transportar. El diseño de una cuneta con sección triangular considera la pendiente transversal, que corresponde a la inclinación de los lados del triángulo, y la pendiente longitudinal del canal. La relación geométrica permite calcular el área de flujo y el perímetro mojado, que se usan en fórmulas hidráulicas como la de Manning para determinar la capacidad hidráulica y la velocidad del agua (CORE, 2023).

Figura 38: Sección Típica de una cuneta



Fuente: (NEVI 12, Norma para Estudios y Diseños Viales, 2013)

- Área

$$\frac{(z_a + z_b) h^2}{2}$$

- Perímetro Mojado

$$\left(\sqrt{1 + z_a^2} + \sqrt{1 + z_b^2} \right) h$$

- Caudal

$$\frac{1}{n} \times \left(\frac{A^5}{P^2} \right)^{\frac{1}{3}} \times S^{\frac{1}{2}}$$

- Ancho Superficie

$$(Z_a + Z_b) \times h$$

4.12.1.7 Caudal

Para establecer los caudales máximos esperados en estructuras hidráulicas, se puede aplicar la ecuación racional, la cual permite calcular de manera eficiente y precisa el caudal máximo de escorrentía generado en una cuenca determinada (Fattorelli & Fernandez, 2011).

$$Q = \frac{C * I * A}{360}$$

Donde

- Q= Caudal (m³/s).
- C=Es el coeficiente de escorrentía (tabla 18)
- I= Intensidad de la lluvia (mm/h)
- A=Áreas (Hectáreas)

4.12.1.8 Coeficiente de Escorrentía

El coeficiente de escorrentía es un parámetro hidrológico que representa la proporción de la precipitación que se convierte en escorrentía superficial, es decir, la fracción del agua de lluvia que no se infiltra en el suelo ni se evapora, sino que fluye sobre la superficie hacia canales o cauces. Este coeficiente depende de características específicas de la cuenca, como el tipo de suelo, la pendiente, la cobertura vegetal y el uso del suelo, que determinan la capacidad de infiltración y retención del agua. El valor del coeficiente varía entre 0 y 1, donde valores cercanos a cero indican alta infiltración y poca escorrentía, mientras que valores cercanos a uno reflejan superficies impermeables o saturadas que generan gran cantidad de escorrentía. Para su cálculo se utilizan métodos empíricos y tablas basadas en estudios de campo, y es fundamental para estimar el caudal de escorrentía en el diseño de sistemas de drenaje y manejo de cuencas (Sánchez, 2019).

Tabla 19: Coeficiente de Escorrentía (C)

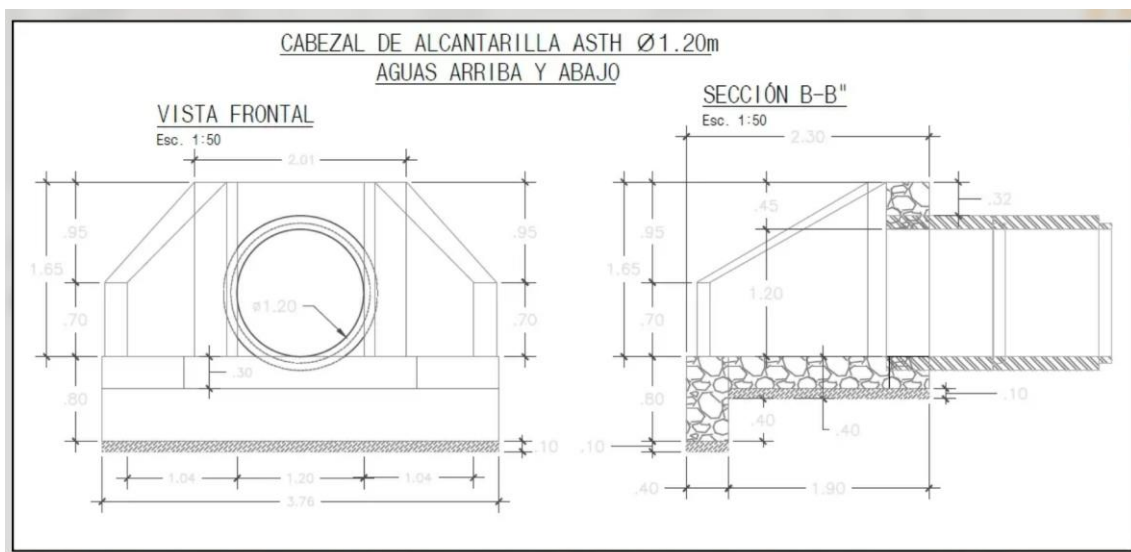
Tipo de área de drenada	Coeficiente de escorrentía C	
Pavimentos de adoquín	0.5	0.7
Pavimentos asfálticos	0.7	0.95
Pavimentos de hormigón	0.8	0.95

Fuente: (NEVI;2013)

4.12.2 Alcantarillas

Las alcantarillas son estructuras que permiten el paso del agua bajo carreteras u otras obras, facilitando el drenaje y evitando inundaciones. Su diseño considera el caudal, pendiente y forma para asegurar un flujo adecuado y proteger la infraestructura (Studocu, 2018)

Figura 39: Sección Componentes de una Alcantarilla



Fuente: (IngeCivil.net, 2018)

5 Metodología

5.1 Recorrido de Campo

Para realizar este proyecto se acudió al sitio de estudio para poder tener una noción tanto de la comunidad, la población y en si de la vía a estudiar, por lo que se desarrolló un recorrido a lo largo de la vía analizando su estado, las condiciones presentes de la vía, las obras existentes, su señalización entre otras obras civiles presentes en la vía es decir se realizó una vista de estudio.

5.2 Levantamiento Topográfico

El levantamiento topográfico de la obra se realizó a partir de MDT de la NASA conjuntamente de la mano del programa global mapper generando un polígono en el área

de estudio para poder sacar las curvas de nivel del proyecto a trabajar en este caso de la vía Cochapata-Morasloma una vez generado nuestras curvas de nivel pasamos a la recolección de datos de la vía incluyendo la medición del ancho de la vía actual, el eje de la carretera, estructuras existentes, entre otros.

5.3 Estudios Geotécnicos

Para llevar a cabo el proyecto se realizó una recolección de muestras que consistió en realizar tres calicatas de 1.5 metros de profundidad a intervalos de un kilómetro a lo largo de la vía con el fin conocer las características del terreno, garantizar la seguridad y sobre todo la durabilidad de la obra.

5.3.1 Proctor Modificado

En el ensayo Proctor modificado se realizó un ensayo granulométrico de las tres muestras tomadas por lo que este ensayo nos permitió obtener las descripciones de las partículas que contiene el suelo conociendo así que nuestro suelo es de tipo limoso además nos permitió determinar el peso específico seco máximo y la humedad óptima teniendo en cuenta que este ensayo es clave en el diseño y control de calidad de la compactación del suelo, asegurando así la resistencia y estabilidad de la vía.

Tabla 20: Resultados de Proctor Modificado

Resultados Proctor			
Calicata 1	Peso Especifico	1773.7	(Kg/m3)
	Humedad Óptima	12.5	%
Calicata 2	Peso Especifico	1440.3	(Kg/m3)
	Humedad Óptima	9.02	%
Calicata 3	Peso Especifico	1629.5	(Kg/m3)
	Humedad Óptima	14.2	%

Fuente: Autor

5.3.2 CBR

Basándome en la norma ASTM D-1883 se realizó el ensayo CBR obteniendo así la capacidad de resistencia del suelo limoso de cada muestra tomada obteniendo como resultados los siguientes datos

Tabla 21: Resultados de CBR

	CBR al 95% para 0.10"
Calicata 1	2.26
Calicata 2	5.13
Calicata 3	1.38

Fuente: Autor

Al haber obtenido estos resultados del ensayo CBR se denota que el suelo no opta con el porcentaje de CBR mínimo que indica la normativa MTOP, por lo que es necesario colocar un material de mejoramiento para su adecuado diseño de subrasante de modo que para los cálculos y el diseño que se van a realizar se optó por utilizar el CBR del 6%.

5.4 TPDA

5.4.1 Conteo Vehicular

Para obtener información precisa sobre el flujo vehicular en la vía Cochapata - Morasloma, se instaló una estación de conteo durante un periodo de 7 días, las 24 horas del día, iniciando desde el día miércoles 30 de Octubre hasta el día martes 5 de Noviembre del 2024. Las grabaciones se realizaron con una cámara Wi-Fi de alta definición en el inicio de la vía, un punto estratégico por su alta actividad vehicular. Esta instalación permite monitorear en tiempo real el tráfico tanto los vehículos que ingresan a Cochapata como los vehículos que salen a Morasloma, facilitando la recopilación de datos detallados sobre el volumen y comportamiento de los vehículos que transitan por la zona de modo que no solo genera estadísticas exactas del flujo vehicular, sino que también ayuda a identificar patrones de tráfico y posibles congestiones o problemas en la red vial.

Tabla 22: Resumen de Conteo Vehicular

DÍA	TIPOS DE VEHICULOS				TOTAL
	LIVIANOS	BUSES	2 EJES	3 EJES	
MIÉRCOLES	134	5	41	0	180
JUEVES	119	5	12	0	136
VIERNES	134	5	11	0	150
SÁBADO	184	4	24	0	212
DOMINGO	207	7	17	0	231
LUNES	146	7	20	1	174
MARTES	123	9	22	0	154
TPDA	207	7	17	0	231

Fuente: Autor

5.4.2 Factor Horario

El factor horario se calcula dividiendo el número de horas de conteo entre las horas de un día, por lo que en nuestro calculo se dio de manera continua las 24 horas del día dándonos como resultado un factor de 1.

$$Fh = \frac{24}{24} = 1$$

5.4.3 Factor Diario

El factor diario se calcula al dividir el número de días contados entre el total de días de la semana, por lo que en nuestro calculo se realizó el conteo vehicular los siete días dándonos como resultado un factor de 1.

$$Fd = \frac{7}{7} = 1$$

5.4.4 Factor Semanal

El factor semanal se calcula mediante la distribución de los días que abarca cada mes del año teniendo en cuenta la particularidad del mes de febrero puede tener 28 a 29 días dependiendo del año bisiesto.

Tabla 23: Factor Semanal

Mes	# De Días	# De Semanas	Fs
Enero	31	4.428571429	1.107142857
Febrero	28	4	1
Marzo	31	4.428571429	1.107142857
Abril	30	4.285714286	1.071428571
Mayo	31	4.428571429	1.107142857
Junio	30	4.285714286	1.071428571
Julio	31	4.428571429	1.107142857
Agosto	31	4.428571429	1.107142857

Septiembre	30	4.285714286	1.071428571
Octubre	31	4.428571429	1.107142857
Noviembre	30	4.285714286	1.071428571
Diciembre	31	4.428571429	1.107142857
TOTAL	365		

Fuente: Autor

Por lo tanto, en este ensayo se optó por utilizar un factor semanal de 1.107142857 correspondiente al mes de octubre considerando también que ese año no fue bisiesto.

$$Fs = 1.107142857$$

5.4.5 Factor Mensual

El factor mensual se calcula a través del consumo de combustible en la provincia del Azuay por lo que se utilizara datos existentes de consumo de combustible los cuales ayudaran al cálculo de proyección anual del uso de combustible.

Tabla 24: Factor Mensual

Mes	Extra	Super	Diesel	Suma	Factor mensual
Enero	\$ 5,041,034.00	\$ 426,907.00	\$ 3,821,603.00	\$ 9,289,544.00	1.059591614
Febrero	\$ 4,880,836.00	\$ 433,298.00	\$ 3,541,383.00	\$ 8,855,517.00	1.111524366
Marzo	\$ 5,355,979.00	\$ 453,869.00	\$ 3,841,103.00	\$ 9,650,951.00	1.019912226
Abril	\$ 5,032,952.00	\$ 413,959.00	\$ 3,736,007.00	\$ 9,182,918.00	1.071894894
Mayo	\$ 5,078,272.00	\$ 399,376.00	\$ 4,163,812.00	\$ 9,641,460.00	1.020916222
Junio	\$ 5,196,709.00	\$ 387,913.00	\$ 4,223,877.00	\$ 9,808,499.00	1.003529991
Julio	\$ 5,547,513.00	\$ 419,991.00	\$ 4,503,173.00	\$ 10,470,677.00	0.940065568
Agosto	\$ 5,452,805.00	\$ 428,022.00	\$ 4,448,420.00	\$ 10,329,247.00	0.952937123
Septiembre	\$ 5,349,559.00	\$ 389,638.00	\$ 4,417,146.00	\$ 10,156,343.00	0.969160151
Octubre	\$ 5,258,978.00	\$ 392,703.00	\$ 4,126,129.00	\$ 9,777,810.00	0.9612045
Noviembre	\$ 5,417,543.00	\$ 396,626.00	\$ 4,330,418.00	\$ 10,144,587.00	0.98288749
Diciembre	\$ 5,907,968.00	\$ 444,561.00	\$ 4,457,393.00	\$ 10,809,922.00	0.910563732

TOTAL ANUAL	\$ 63,520,148.00	\$ 4,986,863.00	\$ 49,610,464.00	
PROMEDIO DE LA SUMA MENSUAL DE LOS 3 TIPOS DE COMBUSTIBLES				\$ 9,843,122.92

Fuente: Autor basada en (PETROECUADOR, 2023)

Por lo tanto, en este ensayo se optó por utilizar un factor mensual de 0.9612045 correspondiente al mes de octubre.

$$Fm = 0.9612045$$

5.4.6 Calculo TPDA

Se calcula el factor corregido para el mes de octubre con ello se tiene el valor del TPDA corregido para el 2025 teniendo en cuenta que ya se calculó tanto el factor semanal, el diario, el horario y el mensual del mismo modo obteniendo el tráfico observado.

$$TPDA = T_o * Fh * Fd * Fs * Fm$$

$$TPDA_{2025} = 207 * 1 * 1 * 1.1071 * 0.96120450$$

$$TPDA_{2025} = 220$$

$$TPDA_{2025} = 17 * 1 * 1 * 1.1071 * 0.96120450$$

$$TPDA_{2025} = 18$$

$$TPDA_{2025} = 7 * 1 * 1 * 1.1071 * 0.96120450$$

$$TPDA_{2025} = 7$$

Tabla 25: TPDA Observado Corregido

	VOLUMEN VEHICULOS	TIPOS DE VEHICULO	VOLUMEN VEHICULOS
LIVIANOS	207	TPDA LIVIANOS	220
BUSES	7	TPDA BUSES	7
2 EJES	17	TPDA 2 EJES	18
3 EJES	0	TPDA 3 EJES	0
TOTAL	231	TOTAL	245

Fuente: Autor

5.4.7 Proyección del Trafico

Una vez realizado el cálculo de volúmenes de tráfico diario se procede a realizar la proyección de crecimiento vehicular para un periodo de 20 años utilizando un método logístico por lo cual se utilizó información de los vehículos matriculados en la provincia del Azuay desde el año de 1969, para la obtención de las tasas de crecimiento vehicular para automóviles livianos, buses y camiones de 2 ejes y 3 ejes registradas cada 5 años es decir tiene una tasa para los años 2025-2045.

Tabla 26: Tasa Crecimiento Vehicular

Periodo	Livianos	Buses	Camiones
2025-2030	0.0283	0.0160	0.0160
2030-2035	0.0237	0.0148	0.0148
2035-2040	0.0201	0.0137	0.0137
2040-2045	0.0173	0.0128	0.0128
Promedio	0.0223	0.0143	0.0143

Fuente: Autor, Maestría de ingeniería en vialidad y transporte universidad de cuenca año 2016

Con los datos de las tasas de crecimiento obtenidas y el tráfico actual procedemos a calcular el tráfico futuro aplicando las fórmulas indicadas en el marco teórico.

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

Donde

Ta=Tráfico Actual

i=Tasa de Crecimiento de Trafico

n= Número de años proyectados

Tabla 27: Calculo de TPDA Proyectado

VEHICULOS	TPDA 2025	TPDA 2030	TPDA 2035	TPDA 2040	TPDA 2045
LIVIANOS	220	246	274	306	342
BUSES	7	8	9	9	9
2 EJES	18	19	21	22	24
3 EJES	0	0	0	0	0
TOTAL	245	273	304	337	375

Fuente: Autor

Como podemos observar en la tabla 26 los resultados de nuestro tráfico proyectado son de 375 para el año 2045, por lo que en el tramo Cochapata - Morasloma se clasifica como una vía colectora de tercer orden debido a que su volumen de tránsito. Este incremento proyectado en el tráfico subraya la importancia de aplicar medidas técnicas adecuadas que garanticen la capacidad, seguridad y eficiencia de la vía ante el crecimiento del flujo vehicular a lo largo del tiempo.

5.4.8 ESALs

ESALs es un factor de carga equivalente que nos permite evaluar los daños causados por los diferentes ejes de vehículos ayudándonos a cuantificar el daño o desgaste total generado por un vehículo, surgiendo así el termino factor camión FC la precisión de este factor depende mucho al determinar el FC para cada tipo específico de camión, tomando en cuenta las particularidades del tránsito y las configuraciones de ejes de cada categoría.

Tabla 28: Cálculo de factor camión por tipo de vehículo

DATOS DE CONTEO DE TRAFICO																						
Nº	TIPO DE VEHICULO	DISTRIBUCION MAXIMA DE CARGA POR EJE	DESCRIPCION	PESO MAX PERM (TON)	LONG. MAX PERM (m)			Frecuencia	1 SIMPLE						2 TANDEM			3 TRIDEM		FACTOR CAMION		
					axax	axaxx	axxxx		Cargas	LEF	Cargas	LEF	Cargas	LEF	Cargas	LEF	Cargas	LEF	Cargas		LEF	
1	AUTOS							352	1	0.0043	1	0.004255									0.001	
2	2D	2D		CAMIÓN DE 2 Ejes MEDIANO	7	5,00	2,60	3,00		3	0.02417	4	0.0728859									0.097
3	2DA	2DA		CAMIÓN DE 2 Ejes MEDIANOS	10	7,50	2,60	3,50		3	0.02417	7	0.5623615									0.587
4	2DB	2DB		CAMIÓN DE 2 Ejes GRANDES	18	12,20	2,60	4,10	24	7	0.56236	11	3.1997644									3.762

Fuente: MTOP

$$LEF = \frac{\text{No. de ESALs de 80 KN que producen una pérdida de serviciabilidad}}{\text{No. de ejes de x KN que producen la misma pérdida de serviciabilidad}}$$

$$FC = \frac{\text{No. de ESALs}}{\text{No. de camiones}}$$

Para el cálculo del número de ejes equivalentes se usó tanto de información de diseño como número de carriles, los niveles de confiabilidad requerida según el tipo de vía, número de años proyectados y sus debidas proyecciones de tráfico conjuntamente del programa de Pavimentos Flexibles AASHTO de la Maestría en Ingeniería en la Vialidad y Transporte de la Universidad de Cuenca dándonos como resultado un ESALs corregido de 585,286.

$$ESALS = TPDA * \%CP * GF * DD * LD * TF * 365$$

$$ESALSCORREGIDOS = 10^{\sigma - Z_r} * ESALSDISEÑO$$

Donde:

$TPDA =$ Tránsito promedio diario anual

$\%CP =$ Porcentaje de camiones pesados

$GF =$ Factor de crecimiento

DD = Factor de distribución direccional

LD = Factor de distribución por carril

TF = Factor de camiones

Tabla 29: Calculo de ESALs

TIPO	FRECUENCIA	FACTOR CAMION	TASA DE CRECIMIENTO	FACTOR DE CRECIMIENTO	N. ESALs p/diseño	N. ESALs CORREGIDO p/diseño
AUTOS	352	0.001	0.0239	25.564	1,398	1,575
2DB	24	3.762	0.0147	23.225	378,869	426,885
3-A	9	3.554	0.0147	23.225	139,186	156,826
TOTAL					519,453	585,286

Fuente: Autor junto programa de Pavimentos Flexibles AASHTO de la Maestría en Ingeniería en la Vialidad y Transporte de la Universidad de Cuenca

5.5 Diseño de Pavimento Flexible

Para este diseño se realizó de primera estancia el remplazo del valor de CBR debido a que con las condiciones actuales del subrasante no cumple con la normativ de la MTOP, por lo que se sugiere el remplazo del material de la subrasante actual para que cumpla con sus respectivas normas, denotando que puede realizarse un remplazo del material o también se puede color una membrana de geotextil para que cumpla con la normativa pero en este proyecto se optó por el remplazo respectivo de material de la subrasante.

5.5.1 Daño Relativo (Uf)

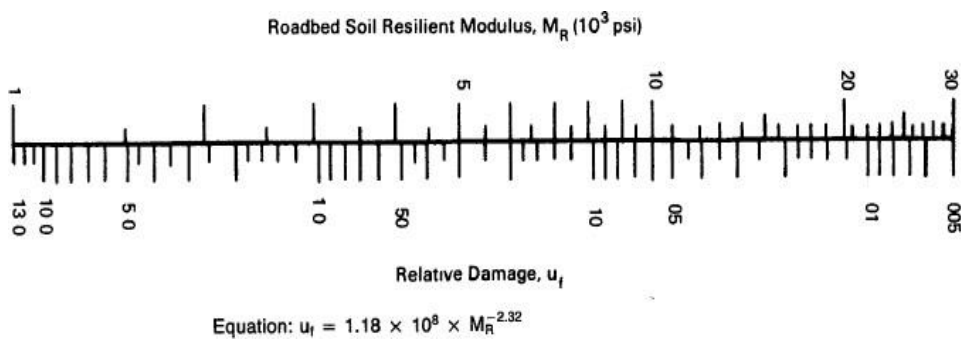
Para obtener el daño relativo tenemos que obtener de primera instancia el módulo de resiliencia por lo cual calculamos este módulo con la ecuación de cálculo del módulo resiliente presente en la normativa AASHTO 93 denotando que para este cálculo es importante los datos de estudio del ensayo CBR ya mencionado teniendo en cuenta que se utilizó un CBR de 6% de modo que se utilizó la primera ecuación de la figura 4 del presente proyecto teniendo como resultado un módulo de resiliencia de 9000 psi.

$$MR = 1500 * CBR$$

$$MR = 1500 * 6\% = 9000 \text{ psi}$$

Una vez determinado el módulo resiliente seguimos con el cálculo del daño relativo donde en el diseño de pavimentos según la AASHTO 93 se incluye una figura que muestra la relación entre el módulo resiliente y el daño relativo, incluyendo una ecuación para el cálculo.

Figura 40: Ábaco para la determinación del Daño Relativo



Fuente: (AASHTO, American Association of State Highway and Transportation Officials, 1993)

$$U_f = 1.18 \times 10^8 * M_r^{-2.32}$$

Tabla 30: Cálculo de Daño relativo

CBR al 95%		
CBR calicata 1	2.26	%
CBR calicata 2	5.13	%
CBR calicata 3	1.38	%
Se necesita cambiar el material de subrasante		
CBR a usar	6	%
MR	9000	psi
Daño Relativo		
U_f	0.0791	

Fuente: Autor

5.5.2 Clasificación de la Carretera

Para la selección del tipo de carretera nos basamos en el tráfico de proyección TPDA es decir que para el año 2045 es de 375 vehículos, comprendiendo así que es una clase III de carretera debido a que se encuentra entre los rangos de 300 – 1000 vehículos dando como una carretera de función colectora

Tabla 31: Clasificación de Carreteras por TPDA

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

Fuente: Tomado de MTOP (2003).

Tabla 32: Jerarquía de la Vía

Función	Tipo de carretera	TPDA Obtenido
Corredor Arterial	RI-RIII	>8000
	I	3000-8000
Colectora	II	1000-3000
	III	300-1000
Vecinal	IV	100-300
	V	<100

Fuente: Tomado de MTOP (2003).

5.5.3 Velocidad de Diseño

La velocidad se establece mediante un análisis integral que considera diversos factores, tales como las características físicas y topográficas del terreno, la función y jerarquía de la vía, el volumen esperado de tráfico, el uso del suelo alrededor y la necesidad de equilibrar seguridad, eficiencia y comodidad para los usuarios, por lo tanto sabiendo que las vía Cochapata-Morasloma es una vía de categoría III y de tipo colectora deducimos

de igual manera que es un terreno que presenta pendientes pronunciadas y cambios de altitud significativo llegando a la conclusión que estas características dificultan su circulación se llegó a la conclusión que la velocidad para este tipo de características de la vía es de 40Km/h es la velocidad optima tanto para su eficacia y adaptabilidad como para su seguridad.

Tabla 33: Velocidades de Diseño

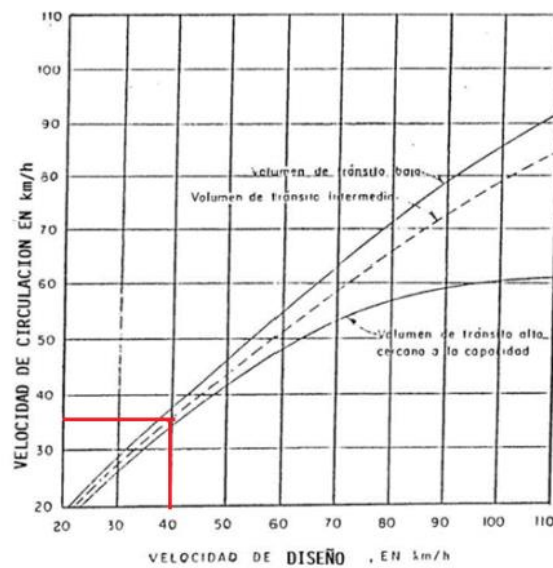
CATEGORÍA DE LA VIA		TPDA ESPERADO	VELOCIDAD DE DISEÑO KM/H											
			BÁSICA				PERMISIBLE EN TRAMOS DIFÍCILES							
			RELIEVE LLANO				RELIEVE ONDULADO				RELIEVE MONTANOSO			
			Para el cálculo de los elementos del trazado del perfil longitudinal		Utilizada para el cálculo de los elementos de la sección transversal y otros dependientes de la velocidad		Para el cálculo de los elementos del trazado del perfil longitudinal		Utilizada para el cálculo de los elementos de la sección transversal y otros dependientes de la velocidad		Para el cálculo de los elementos del trazado del perfil longitudinal		Utilizada para el cálculo de los elementos de la sección transversal y otros dependientes de la velocidad	
			Recomendada	Absoluta	Recomendada	Absoluta	Recomendada	Absoluta	Recomendada	Absoluta	Recomendada	Absoluta	Recomendada	Absoluta
R-I o R-II(TIPO)		>8000	120	110	100	96	110	90	95	85	90	80	90	90
I	TODOS	3000-8000	110	100	100	90	100	80	90	80	80	80	80	80
II	TODOS	1000-8000	100	90	90	86	90	80	85	80	70	50	70	50
III	TODOS	300-1000	90	80	85	80	80	60	80	60	60	40	60	40
IV	5.5E, 6 y 7	100-300	80	60	80	60	60	35	60	35	50	25	50	25
V	4 y 4E	<100	60	50	80	50	50	35	50	35	40	25	40	25

Fuente: (MTO, Norma de Diseño Geométrico de Carreteras, 2003)

5.5.4 Velocidad de Circulación

Para determinar nuestra velocidad de circulación la obtenemos con la velocidad de diseño detonando a través de ella y del volumen de tráfico calculamos la velocidad de circulación dándonos una velocidad de 35km/h como observamos en el ábaco de la norma.

Figura 41: Abaco de velocidad de circulación



Fuente: MTOP 2003

Tabla 34: Velocidades de Circulación

VELOCIDAD DE DISEÑO EN km/h	VELOCIDAD DE CIRCULACIÓN EN KM/h		
	VOLUMEN DE TRÁNSITO BAJO	VOLUMEN DE TRÁNSITO INTERMEDIO	VOLUMEN DE TRÁNSITO ALTO
25	24	23	22
30	28	27	26
40	37	35	34
50	46	44	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: MTOP 2003

5.5.5 Parámetros de Confiabilidad

Para determinar el parámetro de confiabilidad nos vamos de igual manera en la tabla presente en la AASHTO 93 sabiendo que la zona es rural tomamos un promedio entre los 75 – 95 por ciento dándonos una confiabilidad de uso de 85%.

Tabla 35: Confiabilidad Recomendada

Tipo de camino	Confiabilidad recomendada	
	Zona urbana	Zona Rural
Rutas interestatales y autopistas	85-99.9	80-99.9
Arterias principales	80-99	75-99
Colectoras	80-95	75-95
Locales	50-80	50-80

Fuente: (AASHTO, American Association of State Highway and Transportation Officials, 1993)

Una vez seleccionada nuestra confiabilidad partimos a seleccionar nuestra desviación estándar dándonos un Z_R de 1.037

Tabla 36: Desviación Normal Estándar

Confiabilidad R , %	Desviación normal estándar Z_R
50	0.000
60	0.253
70	0.524
75	0.674
80	0.841
85	1.037
90	1.282
91	1.340
92	1.405
93	1.476
94	1.555
95	1.645
96	1.751
97	1.881
98	2.054
99	2.327
99.9	3.090
99.99	3.750

Fuente: (AASHTO, American Association of State Highway and Transportation Officials, 1993)

5.5.6 Servicialidad

Para los valores de serviciabilidad se tomaron de la tabla una serviciabilidad inicial P_o teniendo en cuenta el tipo de pavimento en este caso asfalto dándonos un P_o de 0.42 de igual manera se escogió la serviciabilidad final P_f con el tipo de via en este caso carretera eligiendo valores entre 2.0 -2.5 escogiendo para el cálculo un serviciabilidad de 2.0 obteniendo como resultado un delta PSI de 2.2

Tabla 37: *Serviciabilidad Inicia Po*

Cuadro 90. *Serviciabilidad inicial, P_o*

Tipo pavimento	Serviciabilidad inicial, P _o
Concreto	4.5
Asfalto	4.2

Fuente: (AASHTO, 1993, p. II-10)

Fuente: (AASHTO, American Association of State Highway and Transportation Officials, 1993)

Tabla 38: *Serviciabilidad Final Pf*

Cuadro 91. *Serviciabilidad final, P_f*

Tipo de vía	Serviciabilidad final, P _f
Autopista	2.5 – 3.0
Carreteras	2.0 – 2.5
Zonas industriales	
Pavimento urbano principal	1.5 – 2.0
Pavimento urbano secundario	1.5 – 2.0

Fuente: (AASHTO, 1993, p. II-10)

Fuente: (AASHTO, American Association of State Highway and Transportation Officials, 1993)

$$\Delta PSI = 4.2 - 2.0 = 2.2$$

5.5.7 Error Normal (So)

Para el cálculo de error normal combinado nos basamos en la zona de estudio no cuenta con una infraestructura vial por lo que se considera como una estructura nueva por ende seleccionamos un error normal combinado de 0.45 de acuerdo a la siguiente tabla.

Tabla 39: *Error Normal Combinado*

Cuadro 87. *Error normal combinado, S_o*

Proyecto de pavimento	Desviación estándar, S _o	
	Flexible	Rígido
Construcción nueva	0.40 – 0.50	0.30 – 0.40
Sobrecapas	0.50	0.40

Fuente: (AASHTO, 1993, p. I-62)

Fuente: (AASHTO, American Association of State Highway and Transportation Officials, 1993)

5.5.8 Coeficiente Estructural

5.5.8.1 Módulo Resiliente de la Mezcla Asfáltica

Para el módulo de resiliente de la mezcla asfáltica los factores anteriores ya estudiados como la temperatura en la que se encuentra en nuestro caso es de 15°C y su velocidad de 35 km/h podemos seleccionar nuestro módulo de resiliencia en mega pascales por ende tenemos que transformarlos a psi para su debido cálculo de manera que obtenemos un coeficiente estructural $a_1=0,5611$ utilizando la ecuación ya mencionada en el marco teórico.

Tabla 40: Valores máximos de modulo resiliente (E) para capas de rodadura, base asfáltica y mezclas de alto modulo

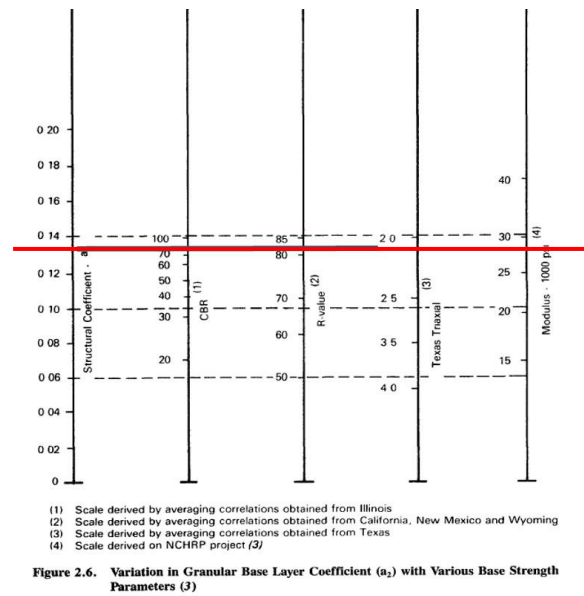
CAPA	T [°C]	f (Hz)	V [km/h]	E [MPa]
Rodadura	10	2.5	15-25	7000
		5	35-45	8500
		10	70-80	9500
	15	2.5	15-25	5000
		5	35-45	6000
		10	70-80	7200
	20	2.5	15-25	3000
		5	35-45	4000
		10	70-80	5000
	25	2.5	15-25	2200
		5	35-45	2700
		10	70-80	3500
	30	2.5	15-25	1200
		5	35-45	1600
		10	70-80	2000

Fuente: (AASHTO, American Association of State Highway and Transportation Officials, 1993)

5.5.8.2 Módulo de Resiliencia de la Base

La determinación del coeficiente a_2 corresponde al coeficiente de la base se utilizó relaciones específicas del diseño de la AASHTO 93 permitiéndonos calcular el coeficiente a_2 , no obstante, se tomó en cuenta la normativa de la MTOP que para la base es CBR debe ser mayor o igual 80% dándonos como resultado un módulo de resiliencia de 28000psi de manera que obtenemos un coeficiente estructural $a_2=0.1303$ utilizando la ecuación ya mencionada.

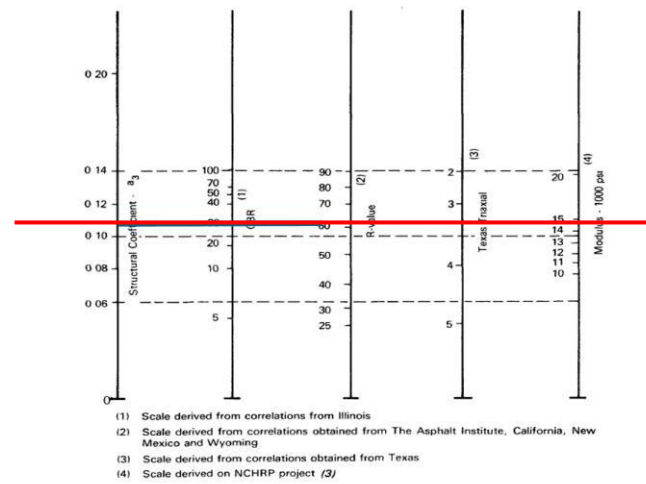
Figura 42: Determinación de coeficiente estructural a_2



Fuente: (AASHTO, American Association of State Highway and Transportation Officials, 1993)

5.5.8.3 Módulo de Resiliencia de la Subbase

La determinación del coeficiente a_3 corresponde al coeficiente de la subbase se utilizó relaciones específicas del diseño de la AASHTO 93 permitiéndonos calcular el coeficiente a_3 , no obstante, se tomó en cuenta la normativa de la MTOP que para la base es CBR debe ser mayor o igual 30% dándonos como resultado un módulo de resiliencia de 14800psi de manera que obtenemos un coeficiente estructural $a_3=0.1076496$ utilizando la ecuación ya mencionada.

Figura 43: Determinación de coeficiente estructural a_3 Figure 2.7. Variation in Granular Subbase Layer Coefficient (a_3) with Various Subbase Strength Parameters (F)

Fuente: (AASHTO, American Association of State Highway and Transportation Officials, 1993)

5.5.8.4 Coeficiente de Drenaje

Considerando las características de los materiales del pavimento en este caso las características del drenaje se calcularon el tiempo que tarda el agua en ser evacuada del mismo modo teniendo en cuenta que es un dren regular sometida a niveles de exposición comprendidos entre el 5% y el 25%.

Tabla 41: Selección de la Calidad de drenaje

Calidad de drenaje	% de tiempo en que el pavimento está expuesto a niveles de humedad próximos a la saturación			
	<1%	1-5%	5-25%	>25%
Excelente	1.40-1.35	1.35-1.30	1.30-1.20	1.2
Bueno	1.35-1.25	1.25-1.15	1.15-1.00	1
Regular	1.25-1.15	1.15-1.05	1.00-0.80	0.8
Pobre	1.15-1.05	1.05-0.80	0.80-0.60	0.6
Muy pobre	1.05-0.95	0.95-0.75	0.75-0.40	0.4

Fuente: (AASHTO, American Association of State Highway and Transportation Officials, 1993)

5.5.8.5 Cálculo del Número Estructural (SN)

Una vez que se disponen de todos los parámetros necesarios para calcular el número estructural requerido, estos se incorporan en la fórmula correspondiente para obtener dicho valor. Con esta información, se puede establecer el espesor definitivo del pavimento flexible.

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R \times S_o + 9.36 \times \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \times \log_{10}(M_R) - 8.07$$

5.5.8.6 Cálculos de los Números Estructurales por Capa

Tabla 42: Resultado del número estructural base

Base	
Mr	2800
Zr	-1.037
So	0.45
ΔPSI	2.2
SN1	1.68
W18	585,286
Log(W18)	5.76736814

Fuente: Autor

Tabla 43: Resultado del número estructural subbase

Subbase	
Mr	14800
Zr	-1.037
So	0.45
ΔPSI	2.2
SN1	2.48
W18	585,286
Log(W18)	5.76736814

Fuente: Autor

Tabla 44: Resultado del número estructural de la mezcla asfáltica

Mezcla Asfáltica	
Mr	870226
Zr	-1.037
So	0.45
Δ PSI	2.2
SN1	2.76
W18	585,286
Log(W18)	5.76736814

Fuente: Autor

5.5.8.7 Espesor de las Capas

Para calcular el espesor de cada capa nos basamos en los datos calculados y obtenidos aplicando cada ecuación perteneciente tanto a la carpeta asfáltica, a la base granular y subbase granular dándonos como resultados para $h_1=7.62$, $h_2= 11.94$, $h_3= 11.38$

$$h_1 = \frac{SN_1}{a_1}$$

$$h_2 = \frac{SN_2 - SN_1 *}{a_1 \times m_2}$$

$$h_3 = \frac{SN_3 - SN_2 *}{a_3 \times m_3}$$

Tabla 45: Resultado de Espesor de Capa

Resumen Estructural Final		
Carpeta Asfáltica	8	cm
Base granular	15	cm
Subbase granular	15	cm
Mejoramiento	38	cm

Fuente: Autor

Para determinar un volumen adecuado del material necesario para la reposición de la subrasante, se consideraron las cantidades y espesores mínimos requeridos. Este cálculo se realizó siguiendo el procedimiento establecido por la norma del Ministerio de Transporte y Comunicaciones del Perú, utilizando la fórmula correspondiente.

$$D_4 = \frac{SN_r - SN_o}{a_4 \times m_4}$$



5.5.8.8 Estructura de Evacuación de Aguas Pluviales

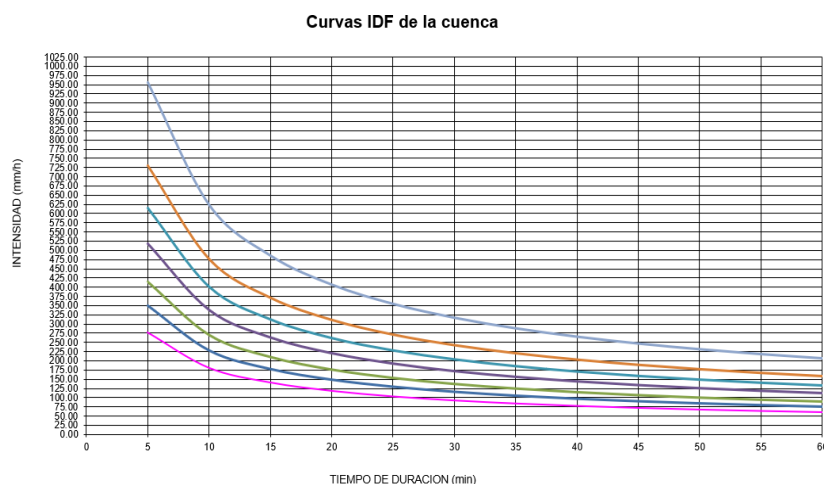
5.5.8.8.1 Curvas IDF

Se llevó a cabo un análisis exhaustivo para calcular las curvas de distribución de frecuencia (IDF) de precipitación en el área del proyecto. Para ello, se recopiló datos históricos de la precipitación máxima en 24 horas de la estación meteorológica "Nabón" (M0420), abarcando un período de 33 años (1980-2013). Con esta información, se aplicó el método estadístico de Gumbel para estimar las precipitaciones máximas y las intensidades de lluvia correspondientes a distintos tiempos de duración. Este estudio permitió obtener valores de intensidad y duración para varias frecuencias, lo que facilitó la elaboración de una ecuación de intensidad que representa las condiciones climáticas locales.

$$I = \frac{172.0188 * T^{0.139571}}{0.63383}$$

Después de establecer la ecuación de intensidad mediante el método de Gumbel, se calcularon las intensidades correspondientes a diferentes períodos de retorno. Estos resultados permitieron construir las curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) específicas para la cuenca estudiada, las cuales relacionan las intensidades de lluvia con sus duraciones y frecuencias de ocurrencia, facilitando así el análisis hidrológico local.

Tabla 46: Curvas IDF de la Cuenca



Fuente: Autor

Se registró una intensidad máxima de precipitación de 85.97 mm/h. Para calcular el tiempo de concentración de la cuenca, se aplicó el método de Kirpich, el cual es especialmente adecuado para terrenos con pendientes pronunciadas entre el 3% y el 10%. Esta metodología utiliza la longitud del cauce y la pendiente promedio para estimar el tiempo que tarda el agua en desplazarse desde el punto más lejano de la cuenca hasta su salida. Determinar el tiempo de concentración es esencial para analizar la respuesta hidrológica ante eventos de lluvia, ya que aporta datos clave para el diseño hidráulico y la gestión de riesgos en zonas con topografía abrupta.

Tabla 47: Calculo del Tiempo de Concentración

Cota mas alta	2471,93	msnm
Cota mas baja	2463,15	msnm
Longitud Cauce	2255	m
So	0,0038936	m/m
Tc	1,05	horas

Fuente: Autor

5.5.8.8.2 Aporte

Para calcular el caudal de aporte, se utilizó el Método Racional, que permitió estimar el volumen máximo de agua generada por la lluvia. Este método considera tres factores principales: la intensidad de la precipitación que ya se calculó, el tamaño de la cuenca y la capacidad del terreno para generar escorrentía, representada por un coeficiente, este

coeficiente se determinó mediante el libro de "Design and Construction of Urban Stormwater Management Systems"(American Society of Civil Engineers. Urban Water Resources Research Council, 1992) donde podemos observar en la tabla que para pavimentos se utiliza un coeficiente de 0.70 a 0.95 utilizando en este proyecto un coeficiente de escurrimiento de 0.7.

Tabla 48: Coeficiente de Escorrentía

Character of Surface (1)	Runoff Coefficients (2)
Pavement	
Asphalt and Concrete	0.70 to 0.95
Brick	0.70 to 0.85
Roofs	0.75 to 0.95
Lawns, Sandy Soil	
Flat (2 percent)	0.05 to 0.10
Average (2 to 7 percent)	0.10 to 0.15
Steep (>7 percent)	0.15 to 0.20
Lawns, Heavy Soil	
Flat (2 percent)	0.13 to 0.17
Average (2 to 7 percent)	0.18 to 0.22
Steep (>7 percent)	0.25 to 0.35

*The range of "C" values presented are typical for return periods of 2-10 years. Higher values are appropriate for larger design storms.

Fuente: (Design and Construction of Urban Stormwater Management Systems, 1992)

5.5.8.8.3 Método Racional

El método racional nos permite calcular el caudal máximo generado por las precipitaciones, es decir a partir del área de la cuenca. Este método utiliza como base el área de captación (expresada en hectáreas), el coeficiente de escorrentía previamente seleccionado y la intensidad de la lluvia correspondiente (en mm/h). La fórmula empleada es la siguiente:

$$Q = \frac{C * I * A}{360}$$

Donde:

Q = Caudal de escorrentía (m³/s)

C= Coeficiente de escorrentía

I = Intensidad de la lluvia (mm/h)

A= Área de captación (ha)

Para diseñar las cunetas del proyecto vial, se dividió el trayecto en nueve segmentos, considerando tanto la descarga de aguas pluviales como las pendientes observadas en el perfil del terreno. El cálculo se realiza tomando como referencia el tramo más crítico en nuestro caso el tramo 5, es decir, aquel que presenta la menor pendiente entre los nueve segmentos evaluados.

Tramo 5

Abscisa: 2+481.77 – 2+471.93

Longitud: 360.96 m

Ancho de carril: 3 m

Área de aportación por el ancho de carril: 1082.79m²

Área total: 0.1082 Ha

Coefficiente de Escorrentía: 0.7

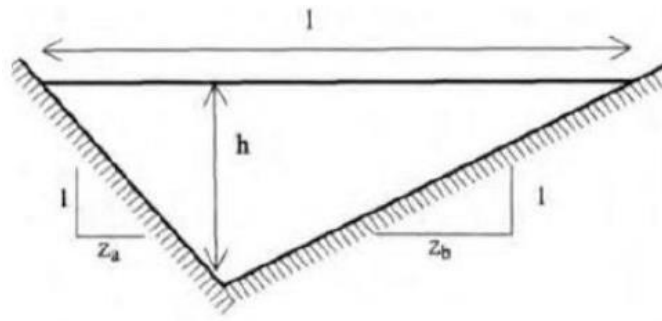
$$Q = \frac{0.7 * 85.97 * 0.1082}{360} = 0.0181m^3/s$$

Este procedimiento garantiza que el diseño de las cunetas sea adecuado para las condiciones más desfavorables del proyecto, asegurando así la eficiencia en la evacuación de aguas pluviales.

5.5.8.8.4 Dimensionamiento de la cuneta

Una vez calculado el caudal mediante el método racional, se procede a definir la altura "h" de la sección transversal del canal y las pendientes de los taludes, siguiendo las indicaciones establecidas en la normativa NEVI 12. Para ello, se emplean las figuras y fórmulas que esta normativa proporciona, asegurando así que el diseño cumpla con los estándares técnicos y de seguridad requeridos para la infraestructura hidráulica.

Figura 44: Relación de altura y Espaciamiento de Cuneta



Fuente: (NEVI 12, Norma para Estudios y Diseños Viales, 2013)


Considerando que la cuneta tiene una sección transversal triangular, se definieron los taludes laterales con pendientes de 1:0.5 (Z_a) y 1:2 (Z_b). Para asegurar un correcto funcionamiento, se estableció una altura de agua de 0.30 metros. Posteriormente, se evaluó si las dimensiones de la cuneta cumplen con los requisitos hidráulicos mediante la aplicación de la fórmula de Manning. Esta ecuación vincula el caudal con las características geométricas de la sección transversal, como el área y el perímetro mojado, además de tener en cuenta la rugosidad del material que recubre la cuneta. Con el fin de obtener una información más precisa, se verificó el tirante de la cuneta más crítica diseñada utilizando el software Hcanales, el cual proporcionó el siguiente resultado:

Figura 45: Comprobación del tirante crítico de la cuneta

Calculo de tirante normal secciones: trapezoidal, rectangular, triangular

Lugar: **Cuenca** Proyecto: **Tesis Campoverde**
 Tramo: **Más crítico** Revestimiento:

Datos:
 Caudal (Q): **0.018** m³/s
 Ancho de solera (b): **0** m
 Talud (Z): **4**
 Rugosidad (n): **0.7**
 Pendiente (S): **0.04** m/m



Resultados:
 Tirante normal (y): **0.2527** m Perímetro (p): **2.0835** m
 Área hidráulica (A): **0.2553** m² Radio hidráulico (R): **0.1226** m
 Espejo de agua (T): **2.0212** m Velocidad (v): **0.0705** m/s
 Número de Froude (F): **0.0633** Energía específica (E): **0.2529** m·Kg/Kg
 Tipo de flujo: **Subcrítico**

Calculador Limpia Pantalla Imprimir Menú Principal Calculadora

Ejecuta las operaciones 9:21 PM 7/13/2025

Fuente: (Autor, Hcanales)

Se llevó a cabo una revisión detallada para corroborar la exactitud de las dimensiones calculadas de la cuneta. Esta revisión implicó comparar el caudal máximo que puede manejar la cuenca hidrográfica con el caudal real que la cuneta diseñada será capaz de conducir. Los resultados mostraron una utilización eficiente de la cuneta, alcanzando un porcentaje de uso del 0.80%. Considerando que este tramo presenta condiciones críticas debido a la combinación de su pendiente y longitud, se confirmó que el diseño preliminar de la cuneta es apropiado y cumple con los requerimientos hidráulicos establecidos.

Finalmente, para completar el proceso de diseño, se determinó el ancho superficial de la cuneta aplicando la fórmula que establece la normativa NEVI 12.

$$I = (Z_a + Z_b) * h = (0.20 + 4) * 0.30 = 1.26m$$

Una vez calculada el ancho de la cuneta le sumamos la medida del bordillo para completar su ancho efectivo dándonos como resultado 1.36m de ancho

5.5.8.8.5 Alcantarillas de Alivio

Para el desarrollo de este estudio, realicé un análisis detallado de la topografía del área y de las condiciones de escurrimiento superficial a lo largo del tramo evaluado. Mi objetivo principal fue determinar los puntos estratégicos donde el caudal recogido por las cunetas debía ser evacuado, evitando así la acumulación de agua en zonas bajas y asegurando la protección de la calzada. En primer lugar, identifiqué las zonas críticas mediante inspecciones de campo y revisión de planos topográficos, estableciendo la necesidad de instalar alcantarillas de alivio aproximadamente cada 500 metros, de acuerdo con las características del terreno. Posteriormente, verifiqué la existencia y el estado de funcionamiento de las estructuras de evacuación de agua ya presentes, lo que me permitió optimizar la cantidad de nuevas alcantarillas requeridas y aprovechar al máximo la infraestructura existente. El diseño de las alcantarillas de alivio lo realicé considerando una estructura de entrada tipo poceta o lavadero, conectada a una tubería transversal y una estructura de salida adecuada. Dimensioné cada componente tomando en cuenta los caudales previstos y las dimensiones de las cunetas adyacentes, asegurando así un funcionamiento eficiente y seguro. Finalmente, documenté las especificaciones técnicas y la ubicación exacta de cada estructura en los anexos del trabajo.

5.5.9 Diseño Geométrico

El diseño de carretera o de una vía implica tanto la precisión de trazado como la disposición espacial de la vía, siempre y cuando tenga en consideración tanto los parámetros o normas a seguir y cumplir para su debido funcionamiento, comodidad y seguridad de la vía, por lo que esta etapa de diseño se comprende de dos etapas, la primera etapa es la que la denominamos trabajo en campo en que consiste pues es aquella donde inicialmente se realiza un levantamiento topográfico donde nos permite la recopilación de datos sobre el terreno a estudiar en nuestro caso la vía Cochapata-Moraslopa donde posteriormente pasamos a la segunda etapa, la etapa de trabajo en oficina donde llega de lleno el diseño geométrico poniendo en práctica tanto la normativa como el diseño propio del ingeniero.

5.5.9.1 Alineamiento Horizontal

5.5.9.1.1 Radio Mínimo de Curva

Se seleccionó el radio mínimo de curva tomando como referencia la tabla proporcionada por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTOPE), la cual relaciona directamente el radio mínimo de curva con la velocidad de diseño y el peralte. Debido a que el peralte aún no había sido determinado, se utilizó el valor máximo de peralte recomendado por el MTOPE en su tabla de "Valores de diseño recomendados para carreteras de dos carriles y caminos vecinales de construcción". Este método asegura una elección conservadora y segura del radio mínimo de curva, en ausencia de datos más específicos sobre el peralte. Considerando que la velocidad de diseño es de 40 km/h se identificó el coeficiente de fricción de 0.221, el MTOPE establece un peralte máximo recomendado del 10%. Sin embargo, dado que en esta vía transitan autobuses con una altura considerable, se ha optado por utilizar un peralte máximo más conservador del 6%. Esta medida busca asegurar la estabilidad y seguridad de estos vehículos durante las curvas, reduciendo el riesgo de vuelcos o pérdida de control. De esta manera, se prioriza la seguridad vial y se minimizan los peligros asociados a peraltes elevados para vehículos de gran altura, dándonos un resultado de un radio mínimo de:

$$R_{min} = \frac{V^2}{127 * (e + f)} = \frac{40^2}{127 * (6\% + 0.221)} = 44.83$$

5.5.9.1.2 Distancia de Frenado

Se realiza el cálculo de la distancia de frenado para una carretera ubicada en zona montañosa, donde la inclinación del terreno, representada por la pendiente "G", es un factor determinante. Para este cálculo, se tomó como referencia la pendiente más severa encontrada en el área, con un valor de 9.56%. Este dato servirá como base para estimar la distancia de frenado necesaria, asegurando así una evaluación precisa y segura de la capacidad de frenado en dicha vía.

$$D. \text{frenado} = \frac{Vc^2}{254 * (f \pm G)}$$

$$D. \text{frenado} = \frac{40^2}{254 * (0.221 \pm 9.56\%)}$$

Distancia de frenado de subida = 19.90m

Distancia de frenado de bajada = 50.23m

5.5.9.1.3 Distancia de Visibilidad de Curvas Horizontales

La determinación de las distancias de visibilidad en curvas horizontales se realiza a partir de una fórmula que considera variables previamente calculadas, como la distancia de frenado y el radio mínimo de curvatura. No obstante, debido a las restricciones que impone la topografía del lugar, se ha decidido adoptar un enfoque más práctico. En vez de emplear el radio mínimo de curvatura inicialmente calculado, se utilizará el radio crítico identificado directamente en el terreno, que corresponde a 15 metros. Esta elección se adapta mejor a las condiciones reales del sitio y permite obtener una evaluación más exacta de las distancias de visibilidad necesarias.

$$m = Rc * \left(1 - \cos \left(\frac{28.65 * Dp}{Rc} \right) \right)$$

$$m = \left(15 - \cos \left(\frac{28.65 * 50.23}{15} \right) \right) = 16.89m$$

5.5.9.1.4 Distancia de Visibilidad Lateral

Este valor se obtiene a partir de una fórmula que utiliza como variable la velocidad promedio de un peatón, la cual, según lo establecido por el MTOP, es de 10 km/h. Con este dato considerado, se procede a realizar el cálculo correspondiente.

$$dL = \frac{Vt}{Vv} * d$$

$$dL = \frac{10}{40} * 50.23 = 12.56m$$

5.5.9.1.5 Curvas Calculadas

Para calcular las curvas horizontales en el diseño vial, primero definí la velocidad de diseño, tomando en cuenta las características del terreno y las recomendaciones establecidas por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTOP). Esta velocidad es fundamental, ya que influye directamente en la seguridad y comodidad de los usuarios al transitar por la vía. A partir de esta velocidad, procedí a calcular el radio mínimo de curvatura utilizando la fórmula que relaciona la velocidad, el peralte máximo permitido y el coeficiente de fricción lateral. Este cálculo me permitió determinar un radio que garantizara la estabilidad del vehículo y evitara riesgos como el deslizamiento o vuelco en las curvas.

Posteriormente, comparé el radio calculado con las condiciones reales del terreno, ajustándolo cuando fue necesario para adaptarme a las limitaciones topográficas y respetar el trazado existente de la vía. Para complementar el diseño, calculé otros elementos geométricos importantes, como la longitud de la curva, los ángulos de deflexión y el peralte transversal, apoyándome en las tablas normativas y en software especializado que me facilitaron obtener resultados precisos y acordes a los estándares técnicos vigentes.

Finalmente, validé el diseño mediante análisis que evaluaron la seguridad y el confort en las curvas, asegurándome de que el trazado propuesto cumpliera con los criterios establecidos para brindar una circulación segura y eficiente. De esta manera, desarrollé un diseño geométrico integral que responde a las condiciones específicas del proyecto y a las necesidades de los usuarios dando como ejemplo el cálculo de una de las 17 curvas realizadas.

Parámetros:

Curva 1				
$\Delta=$	33,55	gados c	0,585558	Rad
PI=	2850,19			
R=	50	m		
V=	40	Km/h		
L Cuerda				

Cuerda larga:

$$CL = 2 * 50 * \text{sen} \frac{0.5855}{2} = 28.86 \text{ m}$$

Tangente:

$$T = 50 * \tan \frac{0.5855}{2} = 15.07 \text{ m}$$

G. Curva:

$$Gc = \frac{360 * 28.86}{2 * \pi * 50} = 33.07 \text{ grados}$$

L.Curva Circular:

$$L = \frac{28.86 * 33.55}{33.07} = 29.278 \text{ m}$$

Ordenada mediana:

$$M = 50 + \left(1 - \cos \frac{0.5855}{2}\right) = 2.13 \text{ m}$$

Externa:

$$E = 50 + \left(\frac{1}{\cos \frac{0.5855}{2}}\right) - 1 = 2.22 \text{ m}$$

Deflexión Por Metro:

$$D. m = \frac{33.07}{2 * 28.86} = 0.57 \text{ l/m}$$

Deflexión por unidad de cuerda:

$$D.c = \frac{33.07}{2} = 16.54 \text{ l/cuerda}$$

Principio de curva:

$$PC = 2850.19 - 15.07 = 2835.12$$

Principio de tangente:

$$PT = 2835.12 + 29.278 = 2864.40$$

Punto medio de curva:

$$PM = \frac{2835.12 + 2864.40}{2} = 4267.32$$

Tabla 49: Curvas Horizontales

CUADRO DE ELEMENTOS DE CURVA HORIZONTAL													
NÚMERO PI	DIRECCIÓN	DELTA (Δ)	RADIO	T	L	LC	E	M	PC	PI	PT	PI NORTE	PI ESTE
C18	S31° 10' 35"W	33.55	50.00	15.07	29.28	28.86	2.22	2.13	2+835.11	2+850.19	2+864.40	711320.80	9624230.60
C19	S24° 35' 44"W	20.39	62.07	11.16	22.09	21.97	1.00	0.98	2+884.67	2+895.83	2+906.76	711275.75	9624219.03
C20	S24° 43' 31"W	20.13	68.77	12.21	24.16	24.04	1.08	1.06	3+003.15	3+015.36	3+027.31	711177.40	9624150.70
C21	S29° 15' 41"W	29.21	66.74	17.39	34.02	33.65	2.23	2.16	3+058.94	3+076.33	3+092.96	711118.17	9624135.21
C22	S65° 27' 51"W	43.20	63.81	25.26	48.11	46.98	4.82	4.48	3+204.20	3+229.46	3+252.31	711007.22	9624028.57
C23	S15° 18' 55"W	143.50	15.00	45.49	37.57	28.49	32.90	10.30	3+357.91	3+403.40	3+395.48	710998.19	9623852.44
C24	S2° 59' 24"E	75.71	15.00	11.66	19.82	18.41	4.00	3.16	3+514.92	3+526.57	3+534.74	710885.61	9623986.42
C25	S49° 09' 27"W	28.59	60.00	15.29	29.94	29.63	1.92	1.86	3+739.79	3+755.08	3+769.73	710695.25	9623853.80
C26	S76° 43' 31"W	26.55	60.00	14.16	27.80	27.55	1.65	1.60	3+902.83	3+916.98	3+930.63	710622.60	9623708.40
C27	S69° 19' 07"W	41.36	60.00	22.65	43.32	42.38	4.13	3.87	3+974.92	3+997.57	4+018.24	710622.60	9623627.30
C28	S65° 37' 16"W	33.97	60.00	18.33	35.57	35.05	2.74	2.62	4+132.96	4+151.29	4+168.53	710519.71	9623510.44
C29	S75° 55' 52"W	13.35	60.00	7.02	13.98	13.95	0.41	0.41	4+239.48	4+246.50	4+253.46	710507.32	9623414.95
C30	S79° 39' 02"W	20.79	65.00	11.92	23.58	23.45	1.08	1.07	4+409.61	4+421.54	4+433.20	710445.30	9623251.20
C31	N68° 11' 39"W	43.52	54.42	21.72	41.34	40.35	4.18	3.88	4+593.82	4+615.54	4+635.16	710445.45	9623056.93
C32	N83° 16' 18"W	73.68	35.00	26.22	45.01	41.97	8.73	6.99	4+641.52	4+667.74	4+686.53	710482.88	9623017.58
C33	S82° 45' 46"W	45.75	32.70	13.79	26.11	25.42	2.79	2.57	4+699.90	4+713.69	4+726.01	710456.10	9622971.40
C34	N49° 03' 57"W	50.60	60.00	28.36	52.98	51.28	6.36	5.75	4+818.37	4+846.73	4+871.36	710492.36	9622841.86

Fuente: Autor

5.5.9.2 Alineamiento Vertical

5.5.9.2.1 Sobreancho

Para el cálculo del sobreancho en las curvas del diseño vial, decidí enfocarme en la curva más crítica debido a su importancia para la seguridad y funcionalidad de la vía. Para este cálculo, seleccioné como vehículo de referencia un autobús con una longitud de 7 metros desde la parte frontal hasta el eje trasero, clasificado dentro de la categoría 2BD según la tabla de vehículos tipo del MTOP. Esta elección se fundamenta en el flujo significativo de este tipo de vehículos que transitan por la vía, lo que hace necesario considerar sus dimensiones para garantizar un diseño adecuado. A partir de estas características, procedí a calcular el sobreancho necesario para que el vehículo pueda transitar con seguridad y comodidad, asegurando así que el diseño responda a las condiciones reales de operación de la carretera.

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

$$S = 2 \left(15 - \sqrt{15^2 - 7^2} \right) + \frac{10}{10 * \sqrt{15}} = 3.7 \text{ m}$$

El valor calculado para el ancho de la vía es de 7.1 metros; sin embargo, cada peralte deberá ajustarse a las limitaciones físicas y geográficas presentes en el terreno. Al tratarse de una readecuación y no de un diseño en un terreno sin intervención previa, existen infraestructuras existentes que restringen el uso completo del espacio requerido. Por esta razón, los sobreanchos se aplicarán hasta el máximo posible dentro de las condiciones del entorno.

5.5.9.2.2 Peralte

Para el desarrollo de esta tesis, comprendí que el peralte en las curvas horizontales es un elemento clave para garantizar la seguridad vial, ya que contribuye a que los vehículos mantengan la estabilidad al tomar las curvas. No obstante, también consideré que un peralte demasiado elevado puede afectar negativamente la tracción y provocar que los vehículos derrapen hacia el interior de la curva, lo que representa un riesgo para los usuarios. Por ello, establecí un límite máximo de peralte del 6% para la vía en estudio,

con el objetivo de lograr un balance adecuado entre la seguridad y el desempeño funcional de la carretera.

Para ilustrar el procedimiento, realicé el cálculo detallado del peralte en una curva representativa, el cual presento como ejemplo en el cuerpo principal del trabajo. Los cálculos correspondientes a las demás curvas se encuentran desarrollados y documentados en los anexos, facilitando así la comprensión y verificación del diseño completo.

$$e = \frac{V^2}{127 * R} - f$$

$$e = \frac{20^2}{127 * 15} - 0.2121 = 0.26\%$$

Tomé en cuenta la alta circulación de camionetas de transporte mixto en la vía objeto de estudio. Debido a esto, decidí ajustar el peralte inicialmente calculado en el diseño geométrico realizado con Civil 3D, con el propósito de reforzar la seguridad vial en las curvas. Reconociendo que la fuerza centrífuga que actúa sobre estos vehículos puede comprometer su estabilidad, opté por incrementar el peralte en dichas zonas. Esta medida mejora el comportamiento de la vía frente a las condiciones de tráfico mixto y contribuye a disminuir el riesgo de accidentes. Esta decisión cobra especial importancia considerando que la vía se encuentra en una región montañosa, caracterizada por laderas pronunciadas y precipicios, donde la seguridad es un factor fundamental.

5.5.9.2.3 Señalización

En cuanto a la señalización horizontal, diseñé marcas sobre el pavimento para delimitar zonas permitidas y prohibidas para adelantamientos, así como un resalto que indica la entrada a zonas pobladas, complementado con la señalización vertical correspondiente. Para la señalización vertical, seleccioné y ubiqué señales preventivas, reglamentarias e informativas en puntos estratégicos, especialmente en curvas peligrosas y áreas urbanas, asegurando que los conductores reciban advertencias claras y oportunas.

Además, consideré la velocidad de diseño establecida para la vía, fijada en 40 km/h, y anticipé que las mejoras en la carretera podrían incrementar la velocidad de los conductores, por lo que incorporé señales que ayuden a mantener esta velocidad segura. Para documentar y facilitar la implementación, elaboré planos detallados que indican las

posiciones exactas (abscisas) donde se colocará cada tipo de señalización, los cuales se incluyen en los anexos de la tesis.

Este enfoque integral en la señalización busca fortalecer la seguridad vial y mejorar la experiencia de los usuarios, adaptándose a las características particulares del entorno y al flujo vehicular de la vía.

6 Conclusiones

En esta investigación, he podido evidenciar la importancia de considerar múltiples factores clave en el diseño de la vía pública entre las parroquias Cochapata-Morasloma, con el fin de garantizar un proyecto eficiente y funcional. A través del análisis detallado, comprendí que aspectos sociales, geográficos y de movilidad son fundamentales para entender las verdaderas necesidades de la comunidad, lo que permitió justificar la viabilidad y relevancia del proyecto vial. Esta visión integral fue esencial para desarrollar un diseño que no solo responde a las demandas de movilidad, sino que también contribuye al bienestar y calidad de vida de las poblaciones involucradas.

Al revisar los datos obtenidos durante el diseño, constaté que la estructura actual de la vía requiere modificaciones para cumplir con las normativas vigentes y asegurar su seguridad y funcionalidad. Particularmente, en el diseño geométrico se identificaron curvas que no cumplen con los estándares, sin embargo, se decidió respetar el trazado existente de la vía de lastre para mantener la conexión territorial. Además, los resultados del análisis del suelo indicaron que sus condiciones no son adecuadas para la construcción, por lo que fue necesario mejorar las propiedades del terreno aumentando el porcentaje de CBR, garantizando así que la vía soporte las cargas previstas a lo largo del tiempo.

El horizonte de diseño a 20 años me permitió incorporar las proyecciones de tráfico y las características de los vehículos futuros, asegurando la capacidad y durabilidad del pavimento. Dado que el tráfico vehicular es bajo, los espesores de las capas estructurales resultaron inferiores a los mínimos normativos, por lo que se optó por aplicar los valores mínimos establecidos y diseñar una capa de mejoramiento para la subrasante. También se implementó un sistema de drenaje eficiente para controlar el agua pluvial, minimizando los riesgos de inundación y protegiendo a las viviendas, un aspecto crítico en esta región montañosa.

Finalmente, al integrar criterios de seguridad vial, diseño geométrico y señalización, logré desarrollar un proyecto que reduce los riesgos en tramos y curvas críticas, promoviendo

una circulación más segura y fluida. En resumen, el diseño propuesto no solo satisface las necesidades inmediatas de movilidad y seguridad, sino que también impulsa el desarrollo sostenible y mejora la calidad de vida de la población local. Con esta visión integral, el proyecto busca modernizar la infraestructura vial, fomentando el crecimiento económico y social, y asegurando que la vía sea funcional y sostenible a largo plazo.

6.1 Recomendaciones

Recomiendo realizar un análisis exhaustivo de las condiciones topográficas y geotécnicas del terreno antes de iniciar el diseño, ya que estos factores influyen directamente en la selección de parámetros geométricos y estructurales adecuados para la vía.

Considero fundamental aplicar las normativas vigentes, como la NEVI 12 y las recomendaciones del MTOP, para garantizar que el diseño cumpla con los estándares de seguridad, funcionalidad y durabilidad.

Sugiero incorporar un estudio detallado del comportamiento del suelo, incluyendo pruebas de CBR y análisis de estabilidad, para definir correctamente las capas estructurales del pavimento y evitar fallas prematuras.

Es importante que el diseño geométrico contemple la velocidad de diseño, radios mínimos de curva, peraltes y distancias de visibilidad, adaptándolos a las características reales del terreno y al tipo de vehículos que transitarán por la vía.

Recomiendo utilizar herramientas computacionales y software especializado para optimizar el diseño y facilitar la verificación de parámetros hidráulicos, estructurales y geométricos.

Considero esencial incluir un sistema de drenaje eficiente que minimice los impactos del agua sobre la estructura vial y proteja las áreas circundantes, especialmente en zonas montañosas o con alta pluviosidad.

Sugiero planificar el diseño con un horizonte temporal adecuado, para incorporar proyecciones de tráfico y garantizar la capacidad y durabilidad del pavimento a largo plazo.

Finalmente, recomiendo realizar una validación integral del diseño mediante simulaciones, análisis de seguridad vial y evaluación económica, para asegurar que la vía cumpla con los objetivos de movilidad, seguridad y sostenibilidad.

7 Bibliografía

- Cantón Nabón (Ecuador)* - EcuRed. (2024). Ecured.cu.
[https://www.ecured.cu/Cant%C3%B3n_Nab%C3%B3n_\(Ecuador\)](https://www.ecured.cu/Cant%C3%B3n_Nab%C3%B3n_(Ecuador))
- Cochapata, pueblo escondido y sus maravillas | Sala de redacción.* (2017). Utpl.edu.ec.
<https://saladeredaccion.utpl.edu.ec/node/475>
- Julián Pérez Porto, & Merino, M. (2010, May 3). *Vía - Qué es, usos, definición y concepto.* Definición.de; Definicion.de. <https://definicion.de/via/>
- Equipo editorial, Etecé. (2018, February 8). *Suelo - Concepto, tipos, composición y características.* Concepto; Concepto. <https://concepto.de/suelo/>
- Where to find a complete help manual for Civil 3D.* (2023). Autodesk.com.
<https://www.autodesk.com/support/technical/article/caas/sfdcarticles/sfdcarticles/Where-to-find-complete-manual-for-Civil-3D.html>
- ¿Qué es la Geotecnia? Concepto y Campo de Estudio» Geobiental.* (2021, June 22).
 Geobiental. <https://www.geobiental.com/que-es-la-geotecnia/>
- Dren - significado de Dren definición en diccionario.* (2016). Infojardin.com.
<https://www.infojardin.com/glosario/dren/dren.htm>
- Julián Pérez Porto, & Gardey, A. (2017, February 15). *Cuneta - Qué es, definición y concepto.* Definición.de; Definicion.de. <https://definicion.de/cuneta/>
- de, C. (2006, March 13). *flujo de vehículos en una vía, calle o autopista.* Wikipedia.org; Wikimedia Foundation, Inc.
https://es.wikipedia.org/wiki/Tr%C3%A1nsito_vehicular
- Normas AASHTO | Normas AASHTO en español.* (2024, September 16). ASTM Latinoamérica. <https://la.astm.org/es/standards/aashto/>

7.1 Anexos

Figura 46 Excavación Calicata



Figura 47 Obtención Calicatas



Figura 48 Cámara Para Conteo Vehicular



Figura 49 Estado Actual de la Vía



Figura 50 Estado Actual 2



Figura 51 Cajón de Alivio existente en la vía



Figura 52 Vista Previa Del Proyecto



Figura 53 Curva crítica del proyecto




ENSAYO PROCTOR MODIFICADO									
NORMAS DE REFERENCIA:		ASTM D1557-12							
Proyecto:	PROYECTO DE TITULACIÓN					Detalle de la muestra:		M1-C1	
Solicitante:	UPS ESTUDIANTES					Calicata:		CALICATA 1	
Coordenadas:						Profundidad muestra (m):		0.80	
PESO MOLDE SIEMBLLO (Kg):			4.58			Molde:		4"	
PESO MOLDE SIEMBLLO (Kg):			3.78			Altura Molde (cm):		11.64	
VOLUMEN DEL MOLDE (m ³):			0.00055			Diámetro Molde (cm):		10.25	
No. CAPAS:			5			Masa:		2780 UN/aire ³	
No. GOLPES POR CAPA:			25			Altura de caída (cm):		45	
No. ENSAYO	HUMEDAD ESTIMADA (%)	W MOLDE + MUESTRA (Kg)	W TARA (g)	W _h + TARA (g)	W _s + TARA (g)	HUMEDAD (%)	HUMEDAD PROMEDIO (%)	PESO ESPECIFICO HUMEDO (Kg/m ³)	PESO ESPECIFICO SECO (Kg/m ³)
1	4.00	5.2	17.29	70.09	67.75	4.6	4.14	1492.95	1433.63
			17.53	62.05	60.41	3.8			
			17.3	55.35	53.9	4.0			
2	8.00	5.30	17.56	49.63	47.08	8.6	8.59	1629.63	1500.71
			17.24	65.64	64.55	8.3			
			17.49	65.96	62.94	8.8			
3	12.00	5.5	17.27	55.4	51.3	12.0	12.39	1608.36	1609.39
			17.27	61.65	58.61	12.7			
			17	58.92	54.33	12.3			
4	16.00	5.55	17.23	58.79	53.03	16.1	16.05	1600.93	1600.51
			17.18	58.76	53.14	16.7			
			17.33	56.11	52.65	16.4			

CURVA DE COMPACTACIÓN			
Peso Especifico Seco Máximo (Kg/m ³):	1629.5	Humedad Óptima:	14.2

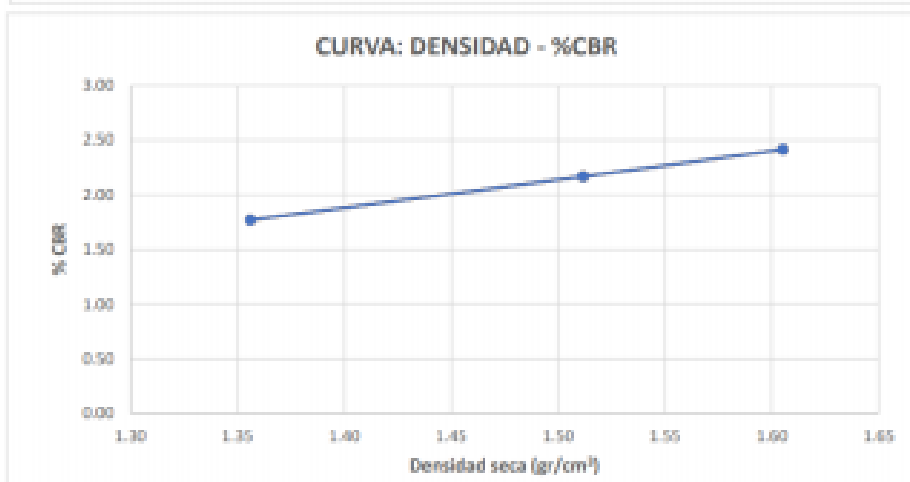
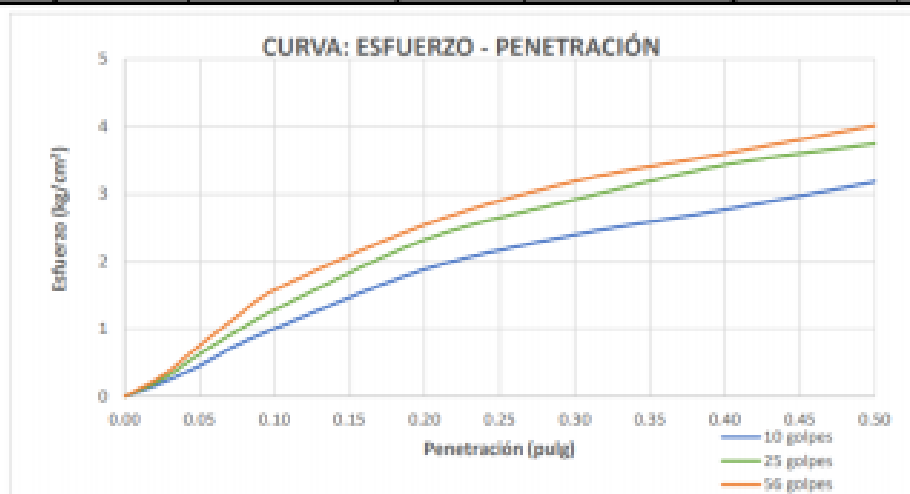
ENSAYO PROCTOR MODIFICADO									
NORMAS DE REFERENCIA:			ASTM D1557-12						
Proyecto:	PROYECTO DE TITULACIÓN					Detalle de la muestra:		M1- C2	
Solicitante:	UPS ESTUDIANTES					Calicata:		CALICATA 2	
Coordenadas:			Profundidad muestra [m]:			0.80			
PESO MOLDE C/WANILLO [Kg]:			4.58			Molde:		4"	
PESO MOLDE S/WANILLO [Kg]:			3.78			Altura Molde [cm]:		11.64	
VOLUMEN DEL MOLDE [m ³]:			0.00066			Diámetro Molde [cm]:		10.20	
No. CAPAS:			5			Maza:		2700 kN-m/m ²	
No. GOLPES POR CAPA:			25			Altura de caída [cm]:		45	
No. ENSAYO	HUMEDAD ESTIMADA [%]	W MOLDE + MUESTRA [kg]	W TARA [g]	W _h + TARA [g]	W _s + TARA [g]	HUMEDAD [%]	HUMEDAD PROMEDIO [%]	PESO ESPECIFICO HÚMEDO [Kg/m ³]	PESO ESPECIFICO SECO [Kg/m ³]
1	4.00	5.02	17.32	62.25	60.38	4.3	4.73	1303.70	1244.78
			17.51	72	68.56	4.7			
			17.32	63.66	61.39	5.2			
2	9.00	5.15	17	53.87	50.77	9.2	9.02	1440.39	1321.27
			17.58	51.46	48.71	8.8			
			17.32	45.81	43.45	9.0			
3	14.00	5.14	17.18	60.55	54.88	15.0	14.48	1429.87	1248.91
			17.34	72.75	65.04	14.0			
			17.24	57.48	52.41	14.4			
4	20.00	5.09	17.13	42.4	38.22	19.8	20.17	1377.30	1148.08
			17.18	55.28	48.92	20.0			
			17.47	60.21	52.89	20.7			
<p style="text-align: center;">CURVA DE COMPACTACIÓN</p> <p style="text-align: center;">$y = 0.1781x^2 - 8.2158x^2 + 104.75x + 914.08$</p>									
Peso Especifico Seco Máximo [Kg/m³]:			1321.3			Humedad Óptima:		9.02	

ENSAYO PROCTOR MODIFICADO									
NORMAS DE REFERENCIA:		ASTM D1557-12							
Proyecto:	PROYECTO DE TITULACIÓN					Detalle de la muestra		M1- C3	
Solicitante:	LPS ESTUDANTES					Calicata:		CALICATA 3	
Coordenadas:						Profundidad muestra [m]:		0.80	
PESO MOLDE CIANILLO [Kg]:			4.58			Molde:		4"	
PESO MOLDE S/ANILLO [Kg]:			3.78			Altura Molde [cm]:		11.64	
VOLUMEN DEL MOLDE [m ³]:			0.00095			Diámetro Molde [cm]:		10.20	
No. CAPAS:			5			Maza:		2700 kN-m/m ²	
No. GOLPES POR CAPA:			25			Altura de caída [cm]:		45	
No. ENSAYO	HUMEDAD ESTIMADA [%]	W MOLDE + MUESTRA [Kg]	WTARA [g]	W _h + TARA [g]	W _s + TARA [g]	HUMEDAD [%]	HUMEDAD PROMEDIO [%]	PESO ESPECÍFICO HÚMEDO [Kg/m ³]	PESO ESPECÍFICO SECO [Kg/m ³]
1	5.00	5.43	17.03	75.49	72.41	5.6	5.52	1734.77	1644.07
			17.18	74.93	71.91	5.5			
			17.23	83.17	79.75	5.5			
2	7.50	5.51	17.28	64.4	61.58	7.6	7.45	1818.88	1692.67
			17.36	59.59	56.58	7.7			
			17.33	68.5	65.1	7.1			
3	12.00	5.67	17.28	62.48	57.51	12.4	12.09	1987.09	1772.90
			17.53	54.57	50.85	11.8			
			17.25	79.84	73.68	12.1			
4	15.50	5.68	17.27	56.63	51.24	15.9	15.40	1997.61	1730.98
			17.3	60.3	54.57	15.4			
			17	64.08	57.85	15.0			

CURVA DE COMPACTACIÓN			
Peso Especifico Seco Máximo [Kg/m ³]:	1773.7	Humedad Óptima:	12.5

 GEO GEO <small>GEOLÓGIA GEOTÉCNICA GEOTECNIA GEOINGENIERÍA</small>		ENSAYO DE CBR NORMA ASTM D-1883								
		Proyecto:		PROYECTO DE TITULACIÓN						
		Coordenadas:					Cota (manm):			
		Fecha toma de muestra:		15/11/2024			Fecha de ensayo:		26/11/2024	
		Ubicación:					Nivel Freático:		N/A	
		Tipo de material:		ML- Limo baja plasticidad arenoso			Calicata:		# 1	
COMPACTACION CBR										
MOLDE	1			2			3			
Altura Molde (mm)	120			120			120			
N° Capas	5			5			5			
N°Golpe por capa	10			25			56			
ANTES DE SATURAR										
P. Húm.+ Molde	11310.00			9940.00			9810.00			
Peso Molde (gr)	7940.00			6130.00			5760.00			
Peso Húmedo (gr)	3370.00			3810.00			4050.00			
Vol. Molde (cc)	2177.50			2206.25			2206.25			
Densidad H.(gr/cc)	1.55			1.73			1.84			
Número de tara	26	97	119	30	96	98	21	37	111	
Peso Tara (gr)	17.32	17.22	17.00	17.28	17.27	17.00	17.37	17.16	17.29	
P.Húmedo + Tara (gr)	61.54	62.45	59.79	53.77	64.35	62.37	59.14	68.32	59.60	
Peso Seco + Tara (gr)	56.00	56.66	54.74	49.13	58.43	56.88	54.00	62.00	54.09	
Peso Agua (gr)	5.54	5.79	5.05	4.64	5.92	5.49	5.14	6.32	5.51	
P. Muestra Seca (gr)	38.68	39.44	37.74	31.85	41.16	39.88	36.63	44.84	36.80	
Cont. Humedad	14.32%	14.68%	13.38%	14.57%	14.38%	13.77%	14.03%	14.09%	14.97%	
Cont.Hum.Prom.	14.13%			14.24%			14.37%			
Densidad seca (gr/cm ³)	1.356			1.512			1.605			
DEPUÉS DE SATURAR										
P. Sat.+ Molde	11834.40			10400.63			10225.24			
Peso Molde (gr)	7940.00			6130.00			5760.00			
Peso Sat. (gr)	3894.40			4270.63			4465.24			
Vol. Molde (cc)	2177.50			2206.25			2206.25			
Densidad Sat.(gr/cc)	1.79			1.94			2.02			
Número de tara	26	97	119	30	96	98	21	37	111	
Peso Tara (gr)	17.32	17.22	17.00	17.28	17.27	17.00	17.37	17.16	17.29	
P.Húmedo + Tara (gr)	82.54	94.33	98.11	90.11	82.11	80.05	70.92	81.22	69.11	
Peso Seco + Tara (gr)	67.23	75.94	77.68	74.38	67.84	66.11	59.68	68.04	58.48	
Peso Agua (gr)	15.31	18.39	20.43	15.73	14.27	13.94	11.24	13.18	10.63	
P. Muestra Seca (gr)	49.91	58.72	60.68	57.10	50.57	49.11	42.31	50.88	41.19	
Cont. Humedad	30.68%	31.32%	33.67%	27.55%	28.22%	28.39%	26.57%	25.90%	25.81%	
Cont.Hum.Prom.	31.89%			28.05%			26.09%			
Densidad seca (gr/cm ³)	1.356			1.512			1.605			
ENSAYO DE HINCHAMIENTO										
TIEMPO ACUMULADO		MOLDE N° 01			MOLDE N° 02			MOLDE N° 03		
		LECTURA DEFORM.	HINCHAMIENTO		LECTURA DEFORM.	HINCHAMIENTO		LECTURA DEFORM.	HINCHAMIENTO	
(Hs)	(Días)		(mm)	(%)		(mm)	(%)		(mm)	(%)
0	0	0.19	0.00	0.00	0.13	0.00	0.00	1.50	0.00	0.00
24	1	3.74	3.55	2.96	3.07	2.94	2.45	4.35	2.85	2.38
48	2	4.45	4.26	3.55	4.15	4.02	3.35	5.42	3.92	3.27
72	3	4.73	4.54	3.78	4.85	4.72	3.93	6.19	4.69	3.91
96	4	5.03	4.84	4.03	4.93	4.80	4.00	6.21	4.71	3.93

ENSAYO CARGA - PENETRACION							
PENETRACION		MOLDE N° 01		MOLDE N° 02		MOLDE N° 03	
(mm)	(pulg)	CARGA (kg)	ESFUERZO (kg/cm ²)	CARGA (kg)	ESFUERZO (kg/cm ²)	CARGA (kg)	ESFUERZO (kg/cm ²)
0.00	0.000	0	0.00	0	0.00	0	0.00
0.64	0.025	4	0.20	5	0.25	6	0.31
1.27	0.050	9	0.46	12	0.63	15	0.76
1.91	0.075	15	0.76	19	0.97	23	1.18
2.54	0.100	20	1.01	25	1.28	31	1.58
5.08	0.200	37	1.88	46	2.32	50	2.54
7.62	0.300	47	2.40	57	2.92	63	3.19
10.16	0.400	54	2.77	67	3.43	71	3.60
12.70	0.500	62	3.18	74	3.75	79	4.02




PENETR.	0.1 (")	0.2 (")
MOLDE 1	1.00	1.87
MOLDE 2	1.27	2.29
MOLDE 3	1.58	2.55

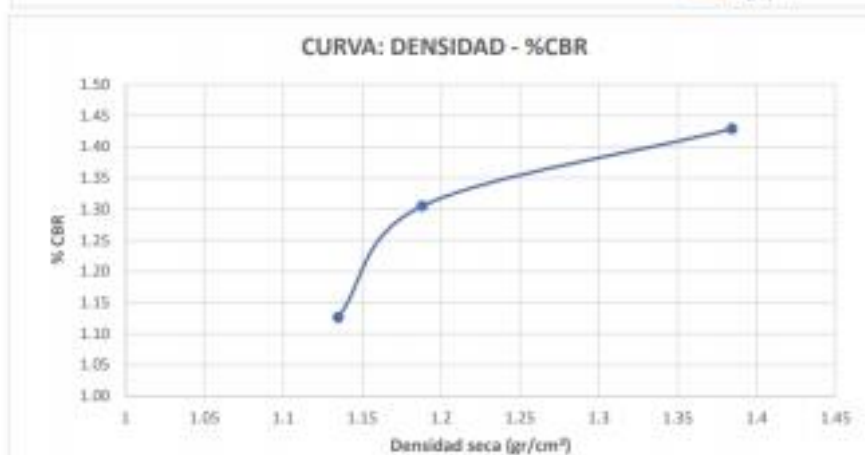
	DENS (gr/cm ³)	0.1 in	0.2 in	CBR (%)
MOLDE 1	1.356	1.42	1.77	1.77
MOLDE 2	1.512	1.81	2.17	2.17
MOLDE 3	1.605	2.26	2.42	2.42

C.B.R. Para el 95% de la M.D.S. =

2.26

 GEO • GEO <small>OFICINA DE INGENIERIA REGIONAL</small> GEOINGENIERIA		ENSAYO DE CBR NORMA ASTM D-1883								
		Proyecto:		PROYECTO DE TITULACIÓN						
		Coordenadas:					Cota (mm):			
		Fecha toma de muestra:		15/11/2024			Fecha de ensayo:		21/11/2024	
		Ubicación:					Nivel Freático:		N/A	
		Tipo de material:		MH- Limo alta plasticidad			Calicata:		# 2	
COMPACTACIÓN CBR										
MOLDE	1			2			3			
Altura Molde (mm)	120			120			120			
N° Capas	5			5			5			
N°Golpe por capa	10			25			56			
ANTES DE SATURAR										
P. Húm.+ Molde	10642.00			9002.00			9104.00			
Peso Molde (gr)	7940.00			6130.00			5760.00			
Peso Húmedo (gr)	2702.00			2872.00			3344.00			
Vol. Molde (cc)	2177.50			2206.25			2206.25			
Densidad H.(gr/cc)	1.24			1.30			1.52			
Número de tara	108	112	31	99	32	11	20	21	26	
Peso Tara (gr)	17.24	17.00	17.32	17.41	17.13	17.28	17.54	17.38	17.33	
P.Húmedo + Tara (gr)	55.39	71.34	66.66	62.92	51.87	60.60	62.75	62.27	62.54	
Peso Seco + Tara (gr)	51.91	66.52	62.89	59.00	49.26	56.24	58.92	58.40	58.52	
Peso Agua (gr)	3.48	4.82	3.77	3.92	2.61	4.36	3.83	3.87	4.02	
P. Muestra Seca (gr)	34.67	49.52	45.57	41.59	32.13	38.96	41.38	41.02	41.19	
Cont. Humedad	10.04%	9.73%	8.27%	9.43%	8.12%	11.19%	9.26%	9.43%	9.76%	
Cont.Hum.Prom.	9.35%			9.58%			9.48%			
Densidad seca (gr/cm ³)	1.135			1.188			1.384			
DESPUÉS DE SATURAR										
P. Sat.+ Molde	11584.17			10007.33			10031.76			
Peso Molde (gr)	7940.00			6130.00			5760.00			
Peso Sat. (gr)	3644.17			3877.33			4271.76			
Vol. Molde (cc)	2177.50			2206.25			2206.25			
Densidad Sat.(gr/cc)	1.67			1.76			1.94			
Número de tara	108	112	31	99	32	11	20	21	26	
Peso Tara (gr)	17.24	17.00	17.32	17.41	17.13	17.28	17.54	17.38	17.33	
P.Húmedo + Tara (gr)	58.92	73.92	69.62	59.62	98.72	89.63	102.33	97.84	89.33	
Peso Seco + Tara (gr)	44.08	58.32	52.33	48.09	71.03	64.00	79.12	74.95	67.99	
Peso Agua (gr)	14.84	15.60	17.29	11.53	27.69	25.63	23.21	22.89	21.34	
P. Muestra Seca (gr)	26.84	41.32	35.01	30.68	53.90	46.72	61.58	57.57	50.66	
Cont. Humedad	55.29%	37.75%	49.39%	37.58%	51.37%	54.86%	37.69%	39.76%	42.12%	
Cont.Hum.Prom.	47.48%			47.94%			39.86%			
Densidad seca (gr/cm ³)	1.135			1.188			1.384			
ENSAYO DE HINCHAMIENTO										
TIEMPO ACUMULADO		MOLDE N° 01			MOLDE N° 02			MOLDE N° 03		
		LECTURA DEFORM.	HINCHAMIENTO		LECTURA DEFORM.	HINCHAMIENTO		LECTURA DEFORM.	HINCHAMIENTO	
(Hs)	(Días)		(mm)	(%)		(mm)	(%)		(mm)	(%)
0	0	0.650	0.000	0.00	1.160	0.000	0.00	1.030	0.000	0.00
24	1	11.450	10.800	9.00	13.630	12.470	10.39	19.110	18.080	15.07
48	2	11.620	10.970	9.14	13.890	12.730	10.61	19.480	18.450	15.38
72	3	11.780	11.130	9.28	14.110	12.950	10.79	19.820	18.790	15.66
96	4	11.980	11.330	9.44	14.390	13.230	11.03	20.250	19.220	16.02

ENSAYO CARGA - PENETRACIÓN							
PENETRACIÓN		MOLDE N° 01		MOLDE N° 02		MOLDE N° 03	
(mm)	(pulg)	CARGA (kg)	ESFUERZO (kg/cm ²)	CARGA (kg)	ESFUERZO (kg/cm ²)	CARGA (kg)	ESFUERZO (kg/cm ²)
0.00	0.000	0	0.00	0	0.00	0	0.00
0.64	0.025	6	0.32	9	0.46	10	0.49
1.27	0.050	9	0.46	12	0.60	13	0.66
1.91	0.075	12	0.61	15	0.75	16	0.83
2.54	0.100	15	0.76	17	0.87	19	0.98
5.08	0.200	23	1.17	27	1.36	27	1.36
7.62	0.300	32	1.61	36	1.82	34	1.72
10.16	0.400	39	1.99	43	2.18	41	2.08
12.70	0.500	46	2.33	46	2.35	46	2.32




PENETR.	0.1 (*)	0.2 (*)
MOLDE 1	0.76	1.29
MOLDE 2	0.91	1.36
MOLDE 3	1.00	1.37

	DENS (gr/cm ³)	0.1 in	0.2 in	CBR (%)
MOLDE 1	1.195	1.09	1.11	1.11
MOLDE 2	1.188	1.30	1.29	1.30
MOLDE 3	1.384	1.43	1.30	1.43

C.B.R. Para el 95% de la M.D.S. =

1.38

 GEO GEO <small>ESCUELA TÉCNICA DE INGENIERÍA DE INGENIERÍA</small>		ENSAYO DE CBR									
		NORMA ASTM D-1883									
		Proyecto:			PROYECTO DE TITULACIÓN						
		Coordenadas:						Cota (msnm):			
		Fecha toma de muestra:			15/11/2024			Fecha de ensayo:		21/11/2024	
		Ubicación:						Nivel Freático:		N/A	
Tipo de material:			ML- Limo baja plasticidad arenoso			Calicata:		# 3			
COMPACTACIÓN CBR											
MOLDE		1			2			3			
Altura Molde (mm)		120			120			120			
N° Capas		5			5			5			
N°Golpe por capa		10			25			56			
ANTES DE SATURAR											
P. Húm.+ Molde		10250.00			10500.00			10440.00			
Peso Molde (gr)		6250.00			6290.00			6090.00			
Peso Húmedo (gr)		4000.00			4210.00			4350.00			
Vol. Molde (cc)		2177.50			2206.25			2206.25			
Densidad H.(gr/cc)		1.84			1.91			1.97			
Número de tara		108	112	31	99	32	11	20	21	26	
Peso Tara (gr)		17.25	17.17	17.65	17.57	17.16	17.00	17.35	17.00	17.31	
P.Húmedo + Tara (gr)		63.52	60.10	60.66	65.81	64.95	58.14	62.11	63.27	60.16	
Peso Seco + Tara (gr)		58.37	55.39	55.73	60.05	59.78	53.63	57.56	58.23	55.00	
Peso Agua (gr)		5.15	4.71	4.93	5.76	5.17	4.51	4.55	5.04	5.16	
P. Muestra Seca (gr)		41.12	38.22	38.08	42.48	42.62	36.63	40.21	41.23	37.69	
Cont. Humedad		12.52%	12.32%	12.95%	13.56%	12.13%	12.31%	11.32%	12.22%	13.69%	
Cont.Hum.Prom.		12.60%			12.67%			12.41%			
Densidad seca (gr/cm³)		1.631			1.694			1.754			
DESPUÉS DE SATURAR											
P. Sat.+ Molde		10586.87			10748.84			10632.48			
Peso Molde (gr)		6250.00			6290.00			6090.00			
Peso Sat. (gr)		4336.87			4458.84			4542.48			
Vol. Molde (cc)		2177.50			2206.25			2206.25			
Densidad Sat.(gr/cc)		1.99			2.02			2.06			
Número de tara		108	112	31	99	32	11	20	21	26	
Peso Tara (gr)		17.25	17.17	17.65	17.57	17.16	17.00	17.35	17.00	17.31	
P.Húmedo + Tara (gr)		65.31	60.20	69.26	67.32	93.33	98.12	70.11	82.33	85.11	
Peso Seco + Tara (gr)		56.28	69.23	76.33	59.13	80.88	85.32	62.33	72.68	75.00	
Peso Agua (gr)		9.03	10.97	12.93	8.19	12.45	12.80	7.78	9.65	10.11	
P. Muestra Seca (gr)		39.03	52.06	58.68	41.56	63.72	68.32	44.98	55.68	57.69	
Cont. Humedad		23.14%	21.07%	22.03%	19.71%	19.54%	18.74%	17.30%	17.33%	17.52%	
Cont.Hum.Prom.		22.08%			19.33%			17.38%			
Densidad seca (gr/cm³)		1.631			1.694			1.754			
ENSAYO DE HINCHAMIENTO											
TIEMPO ACUMULADO		MOLDE N° 01			MOLDE N° 02			MOLDE N° 03			
		LECTURA DEFORM.	HINCHAMIENTO		LECTURA DEFORM.	HINCHAMIENTO		LECTURA DEFORM.	HINCHAMIENTO		
(Hs)	(Días)		(mm)	(%)		(mm)	(%)		(mm)	(%)	
0	0	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	
24	1	0.540	0.540	0.45	0.340	0.340	0.28	0.310	0.310	0.26	
48	2	0.540	0.540	0.45	0.380	0.380	0.32	0.330	0.330	0.28	
72	3	0.560	0.560	0.46	0.450	0.450	0.38	0.340	0.340	0.28	
96	4	0.560	0.560	0.47	0.470	0.470	0.39	0.350	0.350	0.29	

ENSAYO CARGA - PENETRACIÓN							
PENETRACION		MOLDE N° 01		MOLDE N° 02		MOLDE N° 03	
(mm)	(pulg)	CARGA (kg)	ESFUERZO (kg/cm ²)	CARGA (kg)	ESFUERZO (kg/cm ²)	CARGA (kg)	ESFUERZO (kg/cm ²)
0.00	0.000	0	0.00	0	0.00	0	0.00
0.64	0.025	28	1.42	26	1.31	57	2.92
1.27	0.050	34	1.73	40	2.05	73	3.70
1.91	0.075	39	1.98	50	2.57	86	4.36
2.54	0.100	43	2.18	59	3.00	93	4.76
5.08	0.200	52	2.67	79	4.04	116	5.91
7.62	0.300	61	3.09	95	4.84	132	6.72
10.16	0.400	68	3.45	107	5.44	153	7.79
12.70	0.500	74	3.78	118	6.00	172	8.78



PENTRC.	0.1 (")	0.2 (")
MOLDE 1	2.24	2.55
MOLDE 2	3.02	4.00
MOLDE 3	4.84	5.94

	DENS (gr/cm ³)	0.1 in	0.2 in	CBR (%)
MOLDE 1	1.631	3.19	2.42	3.19
MOLDE 2	1.694	4.29	3.79	4.29
MOLDE 3	1.754	6.60	5.63	6.60

C.B.R. Para el 95% de la M.D.S. = 5.19