



Planteamiento del diseño geométrico, pluvial y estructural de pavimentos de un tramo de 1200 metros para conectar las rutas nacionales número 307 y 216 en el cantón de Coronado

Luis Guillermo Calvo Gutiérrez

Universidad Central

Escuela de Ingeniería Civil

Trabajo Final de Graduación para Optar por el Grado Académico de Licenciatura en Ingeniería

Civil

Steven Mena Alvarado

Fecha de entrega del trabajo

Índice de Contenido

1	Capítulo I. Introducción.....	1
1.1	Planteamiento del problema.....	1
1.2	Antecedentes	2
1.3	Objetivo general	8
1.4	Objetivos específicos.....	8
1.5	Justificación.....	9
1.6	Alcances	10
1.7	Limitaciones	10
2	Capítulo II. Marco teórico	11
2.1	Información del cantón.....	11
2.1.1	Información de Vázquez de Coronado.....	11
2.1.2	Altitudes	11
2.1.3	Hidrografía	11
2.1.4	Precipitación y temperatura promedio anual.....	12
2.1.5	Capacidad de uso de suelo	13
2.2	Conceptos generales	14
2.2.1	Elementos de la sección transversal	14
2.2.2	Clasificación de calles y carreteras	16
2.2.3	Elementos básicos de diseño.....	26
2.3	Diseño geométrico de carreteras	35

2.3.1	Alineamiento horizontal	35
2.3.2	Alineamiento vertical	39
2.4	Diseño estructural de pavimento	43
2.4.1	Estructura del pavimento.....	43
2.4.2	Asfalto y mezcla asfáltica en caliente	44
2.4.3	Tránsito promedio diario y ESALs	45
2.4.4	Variables de diseño	46
2.5	Diseño de estructuras pluviales	56
2.5.1	Cuencas hidrográficas	56
2.5.2	Función y componentes de drenaje	56
2.5.3	Intensidad de lluvia	59
2.5.4	Caudal.....	60
2.5.5	Coefficiente de escorrentía	61
2.5.6	Periodo de retorno	63
2.5.7	Dimensionamiento de tuberías	64
2.6	Diseño de elementos de circulación de peatones	66
2.6.1	Aceras.....	66
2.6.2	Rampas y pasamanos	66
2.7	Cálculo de presupuesto de obra.....	67
2.7.1	Presupuesto.....	67
2.7.2	Costos directos	67
2.7.3	Costos indirectos	67

2.7.4	Mano de obra.....	67
2.7.5	Maquinaria y equipo.....	68
2.7.6	Materiales	68
3	Capítulo III. Marco metodológico	69
3.1	Enfoque de la investigación	69
3.2	Tipo de investigación	70
3.3	Sujetos y fuentes de información	70
4	Capítulo IV. Análisis de resultados	73
4.1	Estudio del Diseño del TPDA	73
4.2	Clasificación de las carreteras	75
4.3	Rango de pendientes.....	76
4.4	Clasificación de las carreteras según su tipología de terreno.....	77
4.5	Nivel de servicio.....	78
4.6	Los vehículos de diseño	80
4.7	Derecho de vía.....	82
4.8	Velocidad de diseño	83
4.9	Bombeo o pendiente transversal de los carriles	84
4.10	Radio s mínimos	85
4.11	Distancia de visibilidad de parada	86
4.12	Alineamiento vertical	89
4.13	Cálculos para el diseño vertical y horizontal.....	90
4.14	Trazado de la ruta	92
4.15	Parámetros de diseño	93

4.16	Alineamiento horizontal	94
4.17	Alineamiento vertical	99
4.18	Señalización.....	101
4.18.1	Señalización vertical	101
4.18.2	Señalización horizontal	103
4.19	Periodo de diseño.....	105
4.20	Factor camión Tf	106
4.21	Factor de distribución direccional DS	107
4.22	Distribución por carril	107
4.23	Factor de crecimiento cantidad de vehículos G.....	108
4.24	Ejes Equivalentes ESALs	108
4.25	Nivel de confiabilidad (R) y Desviación estándar normal Z.....	110
4.26	Desviación Estándar del Sistema (So).....	112
4.27	Índice de serviciabilidad.....	113
4.28	Módulo resiliente.....	114
4.28.1	Módulo resiliente subrasante.....	114
4.28.2	Módulo resiliente capa de subbase.....	114
4.28.3	Módulo resiliente capa de base	116
4.29	Coefficiente de aporte estructural	117
4.29.1	Mezcla asfáltica.....	117
4.29.2	Material de la base.....	118
4.29.3	Material de la subbase	118

4.30	Calidad de drenaje	118
4.31	Utilización del software AASHTO-93	119
4.32	Análisis para el estudio hidrológico	128
4.33	Investigación de datos de la cuenca.....	129
4.33.1	Determinación de los afluentes hasta la zona de estudio	129
4.33.2	Longitud de las elevaciones y pendiente promedio	131
4.34	Cálculo del caudal pluvial	132
4.34.1	Tiempo de concentración	132
4.34.2	Periodo de retorno	134
4.34.3	Intensidad de lluvia	137
4.34.4	Método racional para cálculo de caudales máximos.....	140
4.35	Diseño hidráulico.....	142
4.36	Diseño de tubería y desfogue pluvial	142
4.36.1	Detalles típicos de obras de infraestructura pluvial	147
4.37	Diseño de estructuras peatonales.....	152
4.37.1	Cálculo de espesores.....	153
4.38	Presupuesto.....	157
5	Capítulo IV. Conclusiones y recomendaciones.....	162
5.1	Conclusiones	162
5.2	Recomendaciones.....	163
6	Bibliografía.....	165

Índice de Tablas

Tabla 1 Precipitación promedio	12
Tabla 2 Sistema de clasificación funcional.....	17
Tabla 3 Nivel de <i>SERVICIO DE CARRETERAS</i>	24
Tabla 4 Sistema de clasificación funcional.....	25
Tabla 5 Dimensiones de los vehículos de diseño.....	27
Tabla 6 Radios mínimos de giro de los vehículos de diseño	28
Tabla 7 Valores obtenidos de Tabla III-1 AASHTO	30
Tabla 8 Coeficiente de rozamiento transversal	33
Tabla 9 Valores del factor K para curvas verticales	43
Tabla 10 Coeficientes de drenaje	47
Tabla 11 Coeficiente de drenaje para pavimentos flexibles	47
Tabla 12 Tabla de confiabilidad recomendada	48
Tabla 13 Desviación estándar (ZR)	49
Tabla 14 Espesores mínimos de concreto asfáltico y base granulares.....	51
Tabla 15 Factor de corrección por anchura de carriles	54
Tabla 16 Factores medios de corrección por obstáculos laterales	55
Tabla 17 Factor de equivalencia para camiones y autobuses según tipo de terreno	55
Tabla 18 Factor de corrección de reparto entre sentidos	56
Tabla 19 Dimensiones de pozos de concreto	58
Tabla 20 Cantidad de tubos que se pueden conectar al pozo.....	59
Tabla 21 Tabla de coeficientes de escorrentía	61
Tabla 22 Periodos de diseño según obras	63
Tabla 23 Tabla de coeficiente de rugosidad “n”	65

Tabla 24 TPDA Ruta 216 Estación 673.....	73
Tabla 25 TPDA Ruta 307 Estación 0.....	73
Tabla 26 TPDA Ruta de travesía de diseño	74
Tabla 27 Tabla para el cálculo de ESAL	75
Tabla 28 Clasificación del terreno	78
Tabla 29 Nivel de servicio de carreteras	79
Tabla 30 Guía para seleccionar el nivel de servicio para diseño	80
Tabla 31 Dimensiones de los vehículos de diseño.....	81
Tabla 32 Valores de sección transversal	82
Tabla 33 Velocidad de diseño en función de los volúmenes de tránsito y la topografía del terreno	83
Tabla 34 Radios mínimos y grados máximos de curvas horizontales	85
Tabla 35 Distancia de visibilidad de parada y decisión en terreno plano	87
Tabla 36 Distancia de visibilidad de parada y decisión en pendiente de bajada y subida.....	87
Tabla 37 Control de diseño para curva vertical (Factor K).....	88
Tabla 38 Pendientes máximas y mínimas por tipo de carreteras	89
Tabla 39 Resumen de cálculos para el alineamiento horizontal y vertical	91
Tabla 40 Señalización vertical a emplear	102
Tabla 41 Señalización horizontal a emplear	104
Tabla 42 Periodos de Diseño	105
Tabla 43 Valores respectivos al factor camión para cada vehículo	106
Tabla 44 Factor de distribución por dirección	107
Tabla 45 <i>Factor de distribución por carril</i>	107

Tabla 46 TPDA estimado para el 2021	109
Tabla 47 Factores camión de diseño	109
Tabla 48 Niveles de confiabilidad R en función del tipo de carretera.....	110
Tabla 49 Desviación estándar según R	111
Tabla 50 Calidad del drenaje	118
Tabla 51 Factores recomendados según la calidad de drenaje.....	119
Tabla 52 Espesores mínimos según ESALs.....	122
Tabla 53 Valores para el coeficiente de escorrentía	140
Tabla 54 Elementos de caudal de diseño	141
Tabla 55 Espesores recomendados de bases granulares compactadas según tipo de suelo	153

Índice de Figuras

Figura 1 Mapa de Vázquez de Coronado.....	13
Figura 2 Elementos de una curva circular	36
Figura 3 Curva compuesta	37
Figura 4 Curva reversa.....	38
Figura 5 Tipos de curvas verticales	42
Figura 6 Esquema del comportamiento de pavimentos flexibles y rígidos	44
Figura 7 Espesores de carretera en función del SN	52
Figura 8 Imagen satelital del área de estudio.....	76
Figura 9 Perfil de elevación del área de estudio	77
Figura 10 Vehículo tipo WB-15	81
Figura 11 Dimensiones de ancho transversal sugerida.....	83
Figura 12 Sección transversal típica en tangente.....	85
Figura 13 Emplazamiento del camino	92
Figura 14 Trazado de la ruta	93
Figura 15 Estaciones 0+000.00 a 0+200.00.....	94
Figura 16 Estaciones 0+200.00 a 0+400.00.....	95
Figura 17 Estaciones 0+400.00 a 0+600.00.....	95
Figura 18 Estaciones 0+600.00 a 0+800.00.....	96
Figura 19 Estaciones 0+800.00 a 1+000.00.....	96
Figura 20 Estaciones 1+000.00 a 1+200.00.....	97
Figura 21 Estaciones 1+200.00 a 1+355.51.....	97
Figura 22 Tabla de resumen de resultados.....	98
Figura 23 Dimensiones de los componentes del derecho de vía	98

Figura 24 Sección transversal de la calle.....	99
Figura 25 Perfil longitudinal de la sección	100
Figura 26 Resumen de resultados	100
Figura 27 Detalle constructivo de señalización vertical	103
Figura 28 Tabla para el cálculo de ESALs de diseño	110
Figura 29 Variación en el coeficiente estructural de la capa de subbase.....	115
Figura 30 Variación en el coeficiente estructural de la capa de base	116
Figura 31 Módulo resiliente y coeficiente estructural para el material de asfalto.....	117
Figura 32 Tabla resumen de datos requeridos	120
Figura 33 Resultados para SN1	121
Figura 34 <i>Cálculo de espesor de capa MAC</i>	122
Figura 35 Verificación valor SN*1	123
Figura 36 Cálculo de espesor base granular	124
Figura 37 Cálculo de espesor capa base	125
Figura 38 Verificación valor SN*2.....	125
Figura 39 Cálculo de espesor subbase granular.....	126
Figura 40 Cálculo de espesor capa subbase.....	127
Figura 41 Espesores para propuesta de la ruta.....	128
Figura 42 Afluentes hasta el punto de estudio quebrada derrumbe	129
Figura 43 Delimitación de la cuenca	130
Figura 44 Área de la cuenca	131
Figura 45 Nomograma para tiempo de concentración.....	133
Figura 46 Isoyetas para lluvia de duración de 1 hora	135

Figura 47 Isoyetas para lluvia de diseño de 1 hora de duración	136
Figura 48 Periodos de retorno para lluvias de duración de 1 hora	137
Figura 49 Tormenta de diseño	139
Figura 50 Elevaciones del tramo de intervención.....	142
Figura 51 Tabla de longitudes de tubería pluvial	143
Figura 52 Tabla resumen de cálculo de caudales por pozo	144
Figura 53 Tabla resumen elevación de pozos	145
Figura 54 Resumen de resultados de cálculos de diámetros, velocidad y u %	146
Figura 55 Corte de sección de derecho de vía y ubicación de tuberías	147
Figura 56 Detalle de pozo de registro pluvial.....	148
Figura 57 Detalle de tragantes vista en planta	149
Figura 58 Detalle de tragantes vista en corte.....	150
Figura 59 Detalle de tragantes vista en corte.....	151
Figura 60 Detalle cordón y caño.....	152
Figura 61 Especificaciones técnicas para losetas táctiles	155
Figura 62 Vista superior de acera y detalle de losetas guías y de precaución	156
Figura 63 Corte de sección de acera	156
Figura 64 Cotización para señalización vial	159
Figura 65 Presupuesto final proyecto	160
Figura 66 Presupuesto final Proyecto	160
Figura 67 Presupuesto final proyecto	161

Dedicatoria

Quiero dedicar este trabajo a mi padre, Danny Calvo Chambers, y mi madre, Azalia Gutiérrez Flores, que estuvieron conmigo en todo el proceso académico, apoyándome y entregando lo mejor sí, para alcanzar este objetivo.

Agradecimientos

Primeramente, agradecer a Dios que me permitió llegar a esta instancia con salud, gracias a él conseguí culminar esta etapa de mi vida y gracias a él puedo comenzar otra mejor.

Agradecer a mis padres y hermano que estuvieron en todo momento a mi lado apoyándome y ayudándome en las circunstancias más difíciles de la carrera, sin ellos hoy no hubiera llegado tan lejos.

Agradecer al Ing. Steven Mena Alvarado por sus aportes en la elaboración de este proyecto, guía y comprensión, pero, sobre todo, su constante asesoría para la presentación final del trabajo.

Por último, quiero agradecer a una persona que se convirtió en alguien muy cercano a mí durante este periodo de incertidumbre en mi vida y que me supo cuidar, aconsejar y aceptar tal y como soy, gracias, Carla Ñurinda González, por entrar a mi vida en el momento en que más lo necesitaba.

1 Capítulo I. Introducción

1.1 Planteamiento del problema

Actualmente, no existe una ruta que conecte la zona alta del cantón de Coronado con el cantón de Moravia, lo que ocasiona que los productores y residentes del sector tengan que atravesar el centro de Coronado para dirigirse a Moravia o al Caribe. De esta premisa se deriva que, al existir una única ruta de acceso, se tienen que atravesar zonas urbanas con mayor flujo vehicular, lo que se traduce en un aumento en el tiempo de recorrido y en los costos de operación del vehículo. De este modo, la inclusión de esta ruta alterna aliviaría el tránsito de la zona y reduciría el deterioro de la calle principal favorecería el traslado de mercadería hacia los principales comercios del país y atraería al turismo nacional. Asimismo, hay que mencionar que, al no existir esta ruta alterna, el único camino que conduce a la zona alta del cantón, Cascajal, puede quedar incomunicado si la ruta que atraviesa el centro de Coronado llega a colapsar.

1.2 Antecedentes

Tanto a nivel nacional como internacional, se han desarrollado distintos trabajos de graduación referentes al diseño vial, ya sea haciendo énfasis en el diseño geométrico, pavimentos o pluvial. A continuación, se mencionan los trabajos consultados para la elaboración del proyecto.

Martínez (2020), en su proyecto de graduación *Procedimiento de diseño de infraestructura vial, estabilización de taludes y manejo hídrico – pluvial de la carretera interpoblacional Londres – Villanueva de Quepos*, propone la intervención de un tramo de 1067 metros de carretera que se encuentra sin pavimentar y no cuenta con canalización para el agua pluvial. Esta intervención es de relevancia para la zona, ya que sobre el tramo se localiza el Liceo Rural Londres de Aguirre al que acuden 134 estudiantes, esto representa la imperiosa elaboración de un planeamiento en aras de mejorar el acceso del estudiantado al centro educativo que no cuenta con aceras para el desplazamiento seguro y óptimo de sus estudiantes. Además de que tampoco se encuentra debidamente señalizada como una zona escolar y donde no existen elementos que limiten la velocidad de los vehículos que circulan en el lugar.

El trabajo logró aportar, también, el diseño de las cunetas para la canalización de las aguas pluviales, esto basado en la normativa establecida por Acueductos y Alcantarillados, estableciendo su desfogue en el Río Naranjo y en una quebrada intermitente cerca del lugar. Asimismo, se determina, mediante el *software* Civil 3D, la cantidad de tierra que debe ser removida de los taludes para estabilizarlos, disminuyendo, de esta forma, potenciales accidentes en la vía, así como la caída de material que interrumpa el tránsito en la zona.

El trabajo anterior tiene afinidad con este, al proponer el mejoramiento de una ruta que permite la unión de dos comunidades, a través de la propuesta del diseño geométrico, el diseño estructural de pavimentos y el diseño hidráulico. Mediante la utilización de la normativa

costarricense, se hace posible la recomendación de una carretera que satisfaga con las demandas de servicio, estructurales e hidráulicas, considerando los parámetros establecidos según las características de la zona. De esta forma, se corrigen las deficiencias presentes en el lugar brindando a los residentes una calzada accesible para desplazarse a distintos puntos, obteniendo beneficios en la reducción del tiempo y en el mantenimiento del vehículo.

Hernández (2019) propone en su proyecto de graduación *Diseño geométrico, drenajes y pavimentos de la ruta cantonal Avenida 1 en Guácimo de Limón, desde la entrada de Transportes Ortemos S.R.L hasta el Banco Nacional de Guácimo* la intervención de 2007 metros de carretera que no cuenta con un eficiente drenaje pluvial y que, debido al deterioro, no dispone de los requisitos mínimos de servicio y capacidad. Este tramo permite unir las ciudades de Guácimo y de Jiménez, en Pococí, con lo cual muchos comercios se ven influenciados por las condiciones que pueda presentar la carretera, además, representa una importante ruta para el descongestionamiento de la ruta 32.

El planteamiento de la vía también incluye elementos para que los peatones puedan hacer uso de la infraestructura, esto apegándose a lo que se define en la Ley 7600, logrando así determinar el ancho de acera y la colocación de rampas y dispositivos táctiles a lo largo de la acera. Se concluye que, en la zona de estudio, se deben instalar 33 pozos pluviales, 78 tragantes y 1 cabezal de salida para permitir el desfogue del agua de escorrentía hacia el Río Guácimo, lo que corregiría el problema de inundaciones presentes en la vía durante las precipitaciones, también, se establece la velocidad de ruedo, según las características de la zona en 40 km/h. Asimismo, empleando los datos recolectados por la municipalidad de Guácimo, se logra estimar la cantidad de vehículos que transitan por la zona, logrando definir, de esta forma, los espesores que deberán tener la subbase, base y superficie de rodamiento. Se recomienda tener control de los agregados y

que los tajos de la zona cumplan con el módulo resiliente de los materiales que se contempló para el diseño de los espesores de la carretera, de ser de otra manera, se recomienda rediseñar los espesores.

Se relaciona con este trabajo, al considerar el diseño geométrico, estructural de pavimentos y pluvial para mejorar la vía que conecta dos comunidades y que sirve para aliviar el tránsito de la ruta principal. Mediante la aplicación de la normativa que rige en Costa Rica, se hace posible la elaboración de una propuesta que busca solventar las necesidades de la zona y los vecinos del barrio El Guayacán, ofreciendo una mejor calidad de vida a través de la accesibilidad a distintos servicios de manera sencilla y segura tanto para peatones como conductores. Luego, por medio del presupuesto general, se logra determinar la inversión necesaria en la intervención del tramo para, posteriormente, definir el periodo en que se puede ejecutar el proyecto de mejoramiento vial.

Macero (2017), en su trabajo final de graduación *Diseño geométrico y diseño de pavimentos de la vía Callasay – Zhordan abscisa 0+000 hasta la abscisa 2+000*, elabora el trazado y diseño de pavimentos de 2 km de carretera, en la parroquia rural Mariano Moreno, que presenta condiciones desfavorables para el tránsito al estar compuesta de lastre. Asimismo, la carretera cuenta con un deficiente sistema de drenaje que impide la evacuación de las aguas de lluvia, generando daños en la vía y aumentando el costo en el mantenimiento de los vehículos que transitan la zona. Del mismo modo, se ven afectadas las comunidades aledañas social y económicamente, ya que estas dependen de actividades como el turismo, la ganadería y la agricultura que se ven perjudicadas por las condiciones de la ruta.

A través del levantamiento topográfico en la zona, estudio de suelos y estudio del tránsito, se logran determinar las características necesarias para desarrollar el planteamiento de una vía que cumpla con las condiciones de servicio y capacidad según la normativa NEVI - 12 y AASHTO 93.

Asimismo, la carretera y sus componentes se deben diseñar para condiciones de bajas temperaturas y altos niveles de precipitación al año, con lo que se debe proveer en el tramo sistemas de drenaje eficientes que no permitían que el agua se estanque en la carpeta asfáltica y la deteriore. Concluyendo, se establece para la ruta de intervención la reducción de la sección transversal para disminuir los costos del proyecto y hacer más asequible su construcción, además, se recomienda sustituir el material de la subrasante ya que se ha demostrado que su CBR oscila entre 2 – 3.

Se vincula con la presente tesis de graduación, al proponer el mejoramiento de un tramo de 2 km mediante el rediseño geométrico de la ruta existente, corrección de los espesores que componen la estructura del pavimento e implementación eficiente de una red pluvial. Realizando estudios de tráfico y de suelos, se logra definir los parámetros que establecerán la sección transversal del camino y las solicitados a las que será sometida la carretera, siguiendo lo establecido en la metodología AASHTO 93 y la normativa ecuatoriana; asimismo, se presentan las cunetas que deberán complementar la infraestructura basándose en las recomendaciones del Ministerio de Obras Públicas y Transportes [MOPT], en el 2003. Este replanteamiento del camino tendrá un impacto para la zona que podrá hacer uso del mismo para trasladar distintos artículos y productos en menores tiempos de recorrido impulsando el crecimiento de la economía, al mismo tiempo, se garantiza la comodidad y seguridad del usuario en la vía.

Miranda y Pachar (2012) presentan el trabajo “Diseño del drenaje superficial de calles, en el proyecto vial sector 3, de la parroquia Pascuales, ubicado entre el km 18 y km 22 de la vía perimetral (Av. 56 N-O, utilizando el *software* “Storm Water Management Model (SWMM)” de la Environmental Protection Agency (EPA)”, que busca solucionar la problemática en la canalización del agua pluvial que afecta la comunidad de la parroquia Pascuales. La afectación se da por los asentamientos informales que se produjeron en la zona años atrás y que debido a su falta

de planificación ha entorpecido el curso natural del agua generando inundaciones y daños a las propiedades del lugar. Debido a esta falta de programación en el lugar, los vecinos de la comunidad cuentan con deficiencias en los servicios de agua potable, alcantarillado sanitario y pluvial mediante redes, además, el camino que lleva a la comunidad se encuentra en estado natural y no posee los elementos mínimos que permitan el encauce de las aguas superficiales, con lo que se tienen que plantear soluciones hidráulicas, tomando en cuenta las edificaciones existentes y adaptándose a la rasante natural del terreno.

Hay que mencionar que el sistema de drenaje pluvial está relacionado con el diseño geométrico de la vía, ya que las cotas y dimensiones del trazado sirven de referencia en el diseño y colocación de las estructuras hidráulicas necesarias en un sistema de drenaje. Para el planteamiento del sistema de desagüe, se utilizarán los requerimientos técnicos establecidos por la Municipalidad de Guayaquil e INTERAGUA, del mismo modo, se utilizará el *software* SWMM para simular el recorrido del agua desde su canalización y hasta su desfogue para compararlo con cálculos manuales y determinar los resultados encontrados. Se concluye, según las pendientes longitudinales de las vías del sector 3 y las características de cada cuenca en la parroquia Pascuales, que deberá disponerse de 1209.6 m de canal de concreto simple con sección trapezoidal, 1203.3 m de ducto cajón de concreto reforzado y 688.7 m de tuberías de PVC. La construcción de este sistema colector de aguas pluviales consideró un horizonte de proyecto de 30 años, mejorando su calidad de vida y las condiciones de salud de los habitantes al garantizar y una rápida y adecuada evacuación del agua de escorrentía. Se recomienda, además, verificar el levantamiento topográfico del sector previo a la construcción del sistema, debido a que las precipitaciones pueden modificar el terreno en ciertos puntos, asimismo, se sugiere establecer un mayor control de los asentamientos informales que interrumpan el cauce natural del agua.

Se vincula con el presente trabajo, al proponer el diseño del drenaje superficial de la parroquia Pascuales, considerando la topografía del terreno, el uso del suelo que tiene el sector de estudio y datos hidrológicos como intensidad de lluvia y área de la cuenca de aportación de caudales. De esta forma, se logran seleccionar las fórmulas hidráulicas que servirán para dimensionar los elementos de desagüe pluvial, siguiendo lo dispuesto por la Municipalidad de Guayaquil e INTERAGUA en sus manuales técnicos y solucionando así el inconveniente presente en el lugar. Asimismo, el factor económico representa una parte importante en la implementación de la obra, por lo que estimar y encontrar soluciones económicas que no afecten el desempeño de la infraestructura es determinante para la ejecución y puesta en marcha del proyecto. Es por esto que esta obra de saneamiento permite solucionar muchos de los inconvenientes presentes en la comunidad, aportando una mejor calidad de vida para los habitantes y evitando el deterioro de las viviendas.

1.3 Objetivo general

Realizar el diseño geométrico, estructural de pavimentos y pluvial de un tramo de 1200 metros para conectar las Rutas Nacionales 307 y 216 en el cantón de Vázquez de Coronado.

1.4 Objetivos específicos

- Determinar las características generales del diseño de acuerdo con normativas y estándares para el diseño de obras viales.
- Elaborar el diseño geométrico, estructural de pavimentos y pluvial de un tramo de 1200 metros para conectar las Rutas Nacionales 307 y 216 en el cantón de Coronado.
- Formular la proyección financiera global del costo total de la infraestructura vial.

1.5 Justificación

Este proyecto representa una solución vial a la problemática que en adolece el cantón de Vázquez de Coronado que no posee una ruta que una la parte alta del cantón con Moravia. El presente trabajo propondrá la intervención de un camino en condición “afirmada” que permitirá comunicar dos rutas nacionales acortando la distancia de Cascajal a Moravia, disminuyendo el tiempo de recorrido, además, permitirá aliviar la ruta principal que comunica estas dos comunidades y ofrecerá una nueva alternativa para arribar al cantón. Con esto, se verán beneficiados tanto residentes como productores de la parte alta de Coronado que dispondrán de una ágil salida hacia la ruta 32 o Moravia.

Asimismo, busca suministrar a la comunidad del distrito un camino que permita el transporte de mercadería de manera eficiente y la atracción nuevas actividades turísticas que pueden ser desarrolladas en la zona.

1.6 Alcances

- El trabajo propone el diseño geométrico, estructural de pavimentos y pluvial de 1200 metros de carretera.
- No se realizarán pruebas de suelo para determinar su capacidad portante, por lo que se utilizarán valores aproximados.
- No se efectuarán ensayos de laboratorio de pastillas asfálticas, sino que se emplearán valores estándar para determinar su resistencia.
- Se hará la elaboración del presupuesto global de la carretera considerando los trabajos preliminares y según las dimensiones propuestas en el diseño de geométrico, estructural de pavimentos y pluvial.

1.7 Limitaciones

- No se cuenta con información concerniente a las precipitaciones de la zona, por lo que se estimara un valor aproximado para la determinación del caudal a desfogar.
- No se tiene la topografía detallada del sitio, por lo que se utilizara Google Earth, en su defecto, para referenciar la zona a intervenir.
- Debido a la situación sanitaria que atraviesa el país los datos correspondientes a TPD pueden verse alterados y no mostrar la cantidad real de vehículos que transitan en la zona.
- Las visitas al sitio se tornan difíciles de realizar, ya que la zona de intervención es inaccesible hasta cierto punto, por lo que representa un desafío acudir sin un vehículo al lugar.

2 Capítulo II. Marco teórico

2.1 Información del cantón

2.1.1 Información de Vázquez de Coronado

El cantón de Vázquez de Coronado fue creado por decreto del Congreso Constitucional el 15 de noviembre de 1910, convirtiéndose, el distrito de San Isidro, en el Cantón número once de la provincia de San José. Su nombre se debe al conquistador de Costa Rica, Juan Vásquez de Coronado, y es el cantón número 11 de la Provincia de San José, cuenta con 222,20 km² de los cuales el 39 % pertenece al Parque Braulio Carrillo.

2.1.2 Altitudes

Las elevaciones, en metros sobre el nivel del mar, del centro urbano de los distritos del Cantón son las siguientes: Ciudad de San Isidro 1385, Villa San Rafael 1510, Villa Jesús 1345, Villa San Antonio 1335 y Cascajal 1800 m.s.n.m.

2.1.3 Hidrografía

El sistema fluvial del Cantón Vázquez de Coronado corresponde a las vertientes del caribe y del pacífico. La primera pertenece a la subvertiente norte, la cual comprende la cuenca del Río Chirripó. Es drenada por los ríos Patria y Sucio: a este último se le une el Río Honduras, que nace con el nombre de Zurquí y sus afluentes los ríos Blanco y Cascajal. Estos cursos de agua nacen en el cantón, en la ladera norte de la Sierra Volcánica Central, los cuales presentan un rumbo de sureste a noroeste y de norte a sur. Los Ríos Sucio, Patria y Zurquí son límites cantonales; el primero con Oreamuno, de la provincia Cartago; el segundo con Heredia de la provincia del mismo nombre y el último con Moravia.

A la vertiente del Pacífico, corresponde la cuenca del río Grande de Tárcoles, el área es drenada por el río Virilla, con sus afluentes los ríos Durazno, Macho y la Quebrada Varela, lo

mismo que por los ríos Ipís, y Agrío. Las citadas corrientes de agua nacen en el cantón en la ladera sur de la Sierra Volcánica Central, las cuales van en dirección de este a oeste y de noreste a suroeste. Los Ríos Ipís, Durazno y Macho, son límites cantonales; los dos primeros con Goicoechea y con Moravia.

2.1.4 Precipitación y temperatura promedio anual

Según datos de la Estación Meteorológica Rancho Redondo (1780 msnm) entre el periodo 1968-1988, las temperaturas medias mensuales son mucho más bajas que el resto de la Gran Área Metropolitana (GAM), oscilando entre los 15,3 y 18 CC, siendo junio el mes más cálido y diciembre - enero los meses más frescos (IMN, 1995). Entre diciembre y abril hay una estación relativamente seca con otra lluviosa que va de mayo a noviembre con un 2461,7 mm promedio para el periodo 1961-1988, entre julio y agosto, disminuyen las lluvias. El mes más lluvioso es octubre con unos 398 mm en las nubes.

Tabla 1

Precipitación promedio

Estación	Latitud		Altitud (msnm)	Precipitación		Temperatura	
	Norte	Oeste		Años	Promedio	Años	Promedio
Cascajal	10°00	83°58	1.728	14	2.421,9		
Las Nubes	09°59	83°58	1.845	13	2.669,2		
Platanares	10°0	83°59	1.47	8	2.891,5		
Rancho Redondo	09°58	83°57	1.480	32	2.358,9	18	16,7

2.2 Conceptos generales

2.2.1 Elementos de la sección transversal

2.2.1.1 Calzada. Dobles (2013) menciona que es la superficie destinada a la circulación y comprende un número acorde a la intensidad y composición del tránsito. Se considera que 3,65 m es un ancho ideal de carril, aunque en caminos con poco tránsito el ancho puede ser de 2,75 m.

La calzada debe tener pendiente transversal para evacuar las aguas, con valores entre 2 % y 4 % y recibe el nombre de “sección normal” a la que se presenta en tramos rectilíneos y tiene su punto más alto en el centro de la calzada, desde el cual parten las pendientes a los bordes. A este sistema de dos pendientes se le denomina “bombeo”.

2.2.1.2 Aceras. Este elemento aparece en los tramos urbanos y semiurbanos y debe tener un ancho suficiente para alojar la corriente peatonal. Los valores típicos van de 1 metro a 3 metros (Dobles, 2013).

2.2.1.3 Derecho de Vía. Dobles (2013) afirma que “el ancho de derecho de vía debe ser suficiente para acomodar los elementos de la sección transversal propuestos como última etapa [...] deben contemplarse espacios para operaciones de construcción, o de mantenimiento o de operaciones de drenaje” (p. 120). De igual forma, en el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras (2011) se menciona que:

El derecho de vía es la franja de terreno que adquiere el dueño de una carretera, normalmente el Estado, para la construcción de la misma, incluyendo dentro de sus límites el diseño balanceado de la(s) calzada(s) con sus carriles proyectados, los hombros interiores y exteriores, las medianas y todos los demás elementos que conforman normalmente la sección transversal típica de este tipo de instalaciones, conforme su clasificación funcional.

La determinación del ancho del derecho de vía de una carretera conlleva, por consiguiente, la determinación del ancho óptimo de los componentes de la sección transversal típica que, para el término del período de diseño de alrededor de veinte años, se requiere acomodar con la amplitud necesaria y suficiente dentro de la franja de terreno adquirida para la obra vial y sus detalles conexos. (p. 128)

2.2.1.4 Drenaje Ssuperficial.

De acuerdo con el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras (2011):

El drenaje superficial debe ser muy efectivo para evacuar rápidamente las aguas de la superficie del pavimento y evitar que éstas se infiltren dentro de la estructura del mismo, ocasionándole daños que pueden ser considerables y de efectos inmediatos o a corto plazo [...].

Los canales de drenaje se construyen a los lados de las carreteras para conducir el agua hacia el drenaje transversal de la carretera (alcantarillas, bóvedas, cajas y puentes); así como alejarlas de la carretera en concordancia con la topografía. El sistema de drenaje superficial está constituido por cunetas, contracunetas, cunetas centrales y alcantarilla en el caso de medianas, bordillos- cuneta y disipadores. También forman parte del sistema la evacuación de aguas subterráneas mediante sub-drenajes. (p. 145)

2.2.1.5 Ciclovías. El Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras (2011) afirma acerca de las ciclovías que:

Son pistas auxiliares destinadas a las personas que se desplazan en bicicleta, cuya seguridad peligra cuando lo hacen empleando la calzada o el ancho normal de los hombros.

La construcción de la ciclovía, paralela a la calzada, es recomendable en carreteras de la Clase Colector Rural o Local Rural para velocidades menores a 70 KPH, en aquellos tramos que presenten un flujo superior a dos ciclistas por minuto, en ambos sentidos, en períodos continuados de 15 minutos de duración, determinado dentro de la hora posterior a los horarios laborales del sector. Para velocidades mayores es recomendable construirlas separadas de la calzada. (p. 157)

2.2.2 Clasificación de calles y carreteras

2.2.2.1 Sistemas y clasificaciones. “Siendo las carreteras un componente de un sistema integral de transporte, ha sido necesario clasificarlas de distintas maneras, según la necesidad de reflejar alguna característica común o algún propósito determinado” (Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras, 2011, p. 23). De esta forma, se han categorizado las carreteras según sus sistemas operacionales, su clase, su función y, según sus tipos geométricos y orográficos. De acuerdo con la zona en la que se desarrollan, se clasifican en urbanas y rurales y se usan para denotar niveles de responsabilidad gubernamental y el método de financiamiento de las obras viales (Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras, 2011).

2.2.2.2 Clasificación funcional y servicios provistos.

Esta clasificación reconoce que los caminos y calles individuales no sirven a los viajes en forma independiente. Más bien, la mayoría de los viajes comprenden movimientos a través de las redes de caminos que pueden categorizarse con relación a tales redes en una forma lógica y eficiente. (Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras, 2011, p. 24)

Tabla 2*Sistema de clasificación funcional*

Clasificación funcional	Servicios que provee
Arterial	Provee el mayor nivel de servicio con las mayores velocidades permitidas en distancias de viaje ininterrumpido, con algún grado de control de accesos.
Colector	Provee un menor nivel de servicio que la arterial. Se permiten velocidades menores en distancias cortas por servir de colector de tráfico de caminos locales y los conecta con las arteriales.
Local	Consiste en todas las carreteras no definidas como arteriales o colectoras; su servicio principal es proveer acceso a la mayoría de los lugares y sirve para viajes sobre distancias relativamente cortas.

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras, 2011.

2.2.2.3 Sistemas Viales funcionales en áreas rurales

2.2.2.3.1 Sistema arterial rural principal.

El sistema arterial rural principal comprende una red de vías con los servicios característicos siguientes:

1. Son corredores para movimientos con longitud de viaje y densidad de tránsito adecuados para permitir numerosos viajes entre departamentos o municipios.
2. Movimiento entre todas, o virtualmente todas, las zonas urbanas.
3. Movimiento integrado sin conexiones laterales, excepto donde las condiciones geográficas inusuales o de tránsito, dictan otra cosa (es decir, conexiones de límites internacionales o conexiones de ciudades costeras)

En los departamentos más densamente poblados, las carreteras del sistema arterial rural principal incluyen los itinerarios más transitados (pero no todos) que podrían requerir mejorar carreteras de más de dos carriles. El sistema arterial principal rural está dividido en los siguientes dos tipos: (1) autopistas y (2) otras arterias principales (pueden subdividirse en arterias principales y arterias menores). (Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras, 2011, p. 27)

2.2.2.3.2 *Sistema arterial rural menor*

El sistema de carreteras arterial rural menor, en conjunto con el sistema arterial rural principal, forma una red con las siguientes características de servicio:

1. Conexión de ciudades, grandes poblaciones, y otros generadores de tránsito (tal como las zonas principales de turismo) que son capaces de atraer viajes sobre distancias largas.
2. Servicio departamental y municipal integrado.
3. Espaciamiento interno acorde con la densidad de población, de modo que todas las zonas desarrolladas de los departamentos estén a distancias razonables de las carreteras arteriales.

4. Movimientos en corredores acordes para los ítems de (1) a (3) con longitudes de viaje y densidad de viaje mayores que las predominantemente servidas por los sistemas rurales colector o local.

Por tanto, las arterias menores constituyen vías, cuyo diseño debería esperarse que provea velocidades de viaje relativamente altas, y mínima interferencia de los movimientos directos. (Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras, 2011, p. 27)

2.2.2.3.3 *Sistema colector rural*

Generalmente, las vías colectoras rurales sirven a los viajes interdepartamentales, más que a los de importancia municipal, y sobre las cuales (independientemente del volumen de tránsito) las distancias predominantes de viaje son más cortas que sobre las vías arteriales. Consecuentemente pueden tener velocidades típicas más moderadas. Para definir más claramente los colectores rurales, se los sub-clasifica de acuerdo con los criterios siguientes:

- Carreteras Colectoras Mayores. Estas vías (a) sirven a las cabeceras municipales no ubicadas sobre vías arteriales, grandes poblados no servidos directamente por los sistemas principales, y otros generadores de tránsito equivalente a la importancia interurbana, tales como escuelas, puntos de embarque, parques municipales e importantes zonas mineras y agrícolas; (b) unen estos lugares con pueblos vecinos más grandes o ciudades, o con vías de clasificación más alta; y (c) sirven a los corredores de viajes interurbanos más importantes.
- Carreteras Colectoras Menores. Estas vías deberían (a) espaciarse a intervalos que estén de acuerdo a la densidad de población para juntar el tránsito de los caminos

locales y poner a todas las zonas desarrolladas dentro de distancias apropiadas para el usuario hacia los caminos colectores, (b) servir a las comunidades restantes más pequeñas y (c) unir los generadores de tránsito localmente importantes con su vecindad rural. (Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras, 2011, pp. 27-28)

2.2.2.3.4 *Sistema de caminos locales rurales*

En comparación con los sistemas colectores y arteriales, el de caminos locales rurales primariamente da acceso a comunidades rurales, es adyacente a la red colectora y sirve para viajes de distancias relativamente cortas. El sistema de caminos locales comprende todos los caminos rurales no clasificados como arterias principales, arterias menores o caminos colectores. (Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras, 2011, p. 28)

2.2.2.4 Sistemas viales funcionales en áreas urbanas

2.2.2.4.1 *Sistema arterial urbano principal*

El sistema arterial urbano principal sirve a los principales centros de actividad de las áreas urbanas, los corredores de volúmenes de tránsito más altos y los más largos recorridos de viaje, y lleva una alta proporción del total de viajes de área urbana, aunque constituya un porcentaje relativamente pequeño de la red vial total. El sistema debería integrarse internamente y entre las conexiones rurales principales.

El sistema arterial urbano principal sirve para la mayoría de los viajes que entran y salen del área urbana, como también la mayoría de los movimientos para evitar el centro de la ciudad. Además, esta clase de vías sirven numerosos viajes inter-áreas (tales como

entre los centros de los distritos de negocios y de las áreas residenciales colindantes, entre comunidades importantes dentro de la ciudad y entre los principales centros sub-urbanos).

[...] Para arterias principales, el servicio está subordinado a servir a los movimientos de tránsito principales. Solo las vías dentro de la subclase de otras arterias principales son capaces de dar cualquier acceso directo a áreas adyacentes, y tal servicio debería ser puramente incidental de la responsabilidad funcional de esta clase de caminos. (Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras, 2011, p. 28-29)

2.2.2.4.2 *Sistema arterial urbano menor*

El sistema arterial urbano menor de calles interconecta y aumenta el sistema arterial urbano principal. Acomoda los viajes de longitud moderada en un nivel algo menor de movilidad de viaje que las arterias principales. Este sistema distribuye los viajes a zonas geográficas más pequeñas que las identificadas con el sistema mayor.

El sistema arterial urbano menor de calles incluye todas las arterias no clasificadas como principales. Este sistema pone más énfasis sobre el acceso a la tierra que los sistemas mayores y provee menor movilidad de tránsito. [...] Este sistema incluye las conexiones a los caminos colectores rurales donde tales conexiones no han sido clasificadas como arterias principales urbanas por razones internas. (Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras, 2011, p. 29)

2.2.2.4.3 *Sistema Urbano de calles colectoras*

El sistema de calles colectoras provee servicio de acceso a la propiedad así como circulación del tránsito dentro de las vecindades residenciales y zonas comerciales e industriales. Difiere del sistema arterial en que las vías colectoras pueden ingresar en

vecindades residenciales, distribuyendo viajes desde las arterias a través de la zona hasta sus destinos finales. Inversamente, las calles colectoras también son alimentadas de tránsito desde las calles locales en vecindades residenciales y lo canaliza en el sistema arterial. En el distrito comercial central y en otras zonas de desarrollo y densidad de tránsito similares, el sistema colector puede incluir toda la red de calles. (Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras, 2011, p. 30)

2.2.2.4.4 *Sistema urbano de calles locales*

El sistema de calles locales comprende todas las vías no incluidas en los sistemas más altos. Primariamente permite el acceso directo a las propiedades adyacentes y conexiones con los sistemas de orden mayor. Ofrece la movilidad de más bajo nivel [...]. Generalmente los movimientos de tránsito directo son deliberadamente desalentados. (Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras, 2011, p. 30)

2.2.2.5 Nivel de servicio de carreteras. El Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras (2011) menciona que

El primer paso en el proceso de diseño es definir la función que la vía va tener. El nivel de servicio requerido para realizar esta función para el volumen previsto y composición del tránsito, provee una base racional y de efectividad de costo para la selección de la velocidad de diseño y los criterios geométricos dentro de los rangos de valores disponibles para el proyectista. El uso de la clasificación funcional como un criterio de diseño debería integrar adecuadamente el proceso de planeamiento y diseño vial.

La aplicación del criterio de clasificación funcional de las carreteras es útil para dividir la red vial en segmentos de características similares en función de la demanda. La demanda ha sido expresada mediante los volúmenes de tránsito que comúnmente se

expresan por el Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA), que ofrece la base fundamental para la subsiguiente identificación y cuantificación de los componentes primarios del diseño geométrico. Así, pueden agruparse en rangos de volúmenes que varían desde menos de 50 vehículos por día (vpd), de 500 a 3,000 vehículos por día, de 3,000 a 10,000 vehículos por día, de 10,000 a 20,000 vehículos por día, hasta mayores de 20,000 vehículos por día.

[...] Bajo condiciones ideales del tránsito y de las vías, las autopistas tienen una capacidad de 2,000 vehículos livianos por carril por hora. En carreteras de dos carriles, por otra parte, se alcanzan capacidades de 3,200 vehículos livianos por hora en ambos sentidos de la circulación. Las condiciones ideales se alcanzan con flujos ininterrumpidos, sin interferencia lateral de vehículos o peatones, sin mezcla de vehículos pesados en la corriente del tránsito, con carriles normales de 3.60 m de ancho, hombros de ancho apropiado, altas velocidades de diseño y carencia de restricciones en la distancia de visibilidad de adelantamiento o rebase.

Relacionado con la capacidad está el Nivel de Servicio, en que el flujo vehicular de servicio para diseño es el máximo volumen horario de tránsito que una carretera puede acomodar, sin que el grado de congestionamiento alcance los niveles preseleccionados por el diseñador, tras conciliar los intereses de los conductores, dispuestos quizá a tolerar un mínimo de congestionamiento. Los estándares de diseño vigentes, predeterminarán algunos requerimientos básicos según la clasificación funcional de la vía.

El dimensionamiento de la capacidad y del nivel de servicio resulta crucial para el diseño de cualquier carretera, tanto para establecer el tipo al que corresponde diseñarla, como para seleccionar los elementos que la conforman y sus dimensiones, tales como número y ancho de carriles, alineamientos, restricciones laterales, etc. (pp.31-32)

Tabla 3*Nivel de servicio de carreteras*

Nivel de Servicio	Descripción
A	Flujo libre de vehículos, bajos volúmenes de tránsito y relativamente altas velocidades de operación (90 km/h o más).
B	Flujo libre razonable, pero la velocidad empieza a ser restringida por las condiciones del tránsito (80 km/h).
C	Se mantiene en zona estable, pero muchos conductores empiezan a sentir restricciones en su libertad para seleccionar su propia velocidad (70 km/h).
D	Acercándose a flujo inestable, los conductores tienen poca libertad para maniobrar. La velocidad se mantiene alrededor de 60 km/h.
E	Flujo inestable, suceden pequeños embotellamientos. La velocidad cae hasta 40 km/h.
F	Flujo forzado, condiciones de “pare y siga”, congestión de tránsito.

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras, 2011.

Según el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras (2011), “se establece que las carreteras de la red vial sean diseñadas para el nivel de servicio D, con la excepción de las autopistas que deben limitarse al nivel de servicio C” (p. 32).

2.2.2.6 Clasificación de las carreteras. “La clasificación funcional de las carreteras, admite el establecimiento de doce tipos básicos de carreteras entre rurales y urbanas, con límites en lo que respecta a volúmenes de tránsito para diseño” (Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras, 2011, p. 33).

Tabla 4

Sistema de clasificación funcional

Función	Clase de carretera	Nomenclatura	TPD (año final de diseño)	Número de Carriles
Arterial principal	Autopista	AA	>20.000	6-8
	Arterial rural	AR	10.000-20.000	4-6
	Arterial urbana	AU	10.000-20.000	4-6
Arterial menor	Arterial menor rural	AMR	3.000-10.000	2
	Arterial menor urbana	AMU	3.000-10.000	2
Colector mayor	Colector mayor rural	CMR	10.000-20.000	4-6
	Colector mayor urbana	CMU	10.000-20.000	4-6

Colector menor	Colector menor rural	CR	500-3.000	2
	Colector menor urbana	CU	500-3.000	2
Local	Local rural	LR	100-500	2
	Local urbano	LU	100-500	2
	Rural	R	<100	1-2

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras, 2011.

2.2.3 Elementos básicos de diseño

2.2.3.1 Vehículos de diseño.

Debido a las dimensiones tan variables de los vehículos que circulan por la red de carreteras, es necesario examinarlos, agruparlos en clases similares y establecer un vehículo representativo para cada clase para su uso en el diseño geométrico. Así, cada vehículo de diseño tiene dimensiones físicas mayores y radios de giro mínimos mayores que la mayoría de los de su clase y al tipificar las dimensiones, pesos y características de operación, se brindan los controles y elementos, a los que debe ajustar el diseño para facilitar su circulación sin restricciones. (Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras, 2011, p. 37).

Según su clase, los vehículos se clasifican en:

- 1. Vehículo Liviano:** incluye los automóviles, automóviles compactos, jeeps, camionetas agrícolas, vehículos deportivos, vans, minivans y pick-ups. Un vehículo liviano puede

- considerarse cuando el principal generador de tráfico es el parqueo de un área comercial.
2. **Buses:** incluye los buses extraurbanos, buses urbanos, buses escolares y buses articulados. Un bus puede utilizarse en el diseño de intersecciones de carreteras colectoras con calles urbanas que han sido diseñadas como rutas de buses y que las usen relativamente pocos camiones grandes. Dependiente de la expectativa de uso, un bus escolar largo (84 pasajeros) o un convencional bus escolar (65 pasajeros) pueden utilizarse para el diseño de intersecciones en carreteras locales y calles con volúmenes menores de 400 TPDA. El bus escolar también puede ser apropiado para el diseño de algunas intersecciones de la subdivisión calles.
 3. **Camión:** incluye los camiones de unidad única (2 ó 3 ejes), cabezal con semirremolque o un cabezal con semirremolque más remolque completo. Un camión puede usarse para diseño de intersecciones de carreteras colectoras con calles residenciales y carreteras en áreas turísticas.
 4. **Recreacionales:** incluye casas rodantes, carros con camper, carros con remolques con botes y casas rodantes remolcadas por carros.

Tabla 5

Dimensiones de los vehículos de diseño

Vehículos de diseño	Símbolo	Altura	Ancho	Longitud	Voladizo delantero	Voladizo trasero	WB1	WB2
Vehículo liviano	P	1,30	2,10	5,80	0,90	1,50	3,40	
camión	SU	4,10	2,40	9,20	1,20	1,80	6,10	

Bus	BUS-14	3,70	2,60	12,20	1,80	2,60	7,30	
Bus articulado	A-BUS	3,40	2,60	18,30	3,10	6,70	5,90	
Cabezal con semirremolque	WB-15	4,10	2,60	16,80	0,60	4,50	10,80	
Cabezal con semirremolque	WB-19	4,10	2,60	20,90	0,90	0,60	4,50	10,80
Cabezal con semirremolque	WB-20	4,10	2,60	22,40	1,20	1,40-0,80	6,6	13,20-13,80

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras, 2011.

Es importante destacar que, según el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras (2011) “el camión WB-20 debe ser el mínimo vehículo de diseño a considerar en las rampas de salida de autopistas en las intersecciones con carreteras arteriales y para otras intersecciones en carreteras colectoras y calles que conducen a industrias” (p. 38).

Tabla 6

Radios mínimos de giro de los vehículos de diseño

Vehículo de diseño	Símbolo	Radio de giro mínimo de diseño (m)	Radio de Línea Central (m)	Radio interior RMG mínimo (m)
Vehículo liviano	P	7,30	6,40	4,40
Camión	SU	12,80	11,60	8,60

Bus	BUS-14	13,70	12,40	7,80
Bus articulado	A-BUS	12,10	10,80	6,50
Cabezal con semirremolque	WB-15	13,70	12,50	5,20
Cabezal con semirremolque	WB-19	13,70	12,50	2,40
Cabezal con semirremolque	WB-20	13,70	12,50	1,30

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras

2.2.3.2 Distancia mínima de visibilidad de parada. Según Dobles (2013), se define como “la suma de dos distancias que recorre el vehículo durante la operación del frenado” (p. 42). Siguiendo la misma línea, el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras (2011) lo define como:

La distancia requerida por un conductor para detener su vehículo cuando surge una situación de peligro o percibe un objeto imprevisto delante de su recorrido [...].

La distancia de visibilidad de parada es la suma de dos distancias: (1) la distancia recorrida por el vehículo desde el momento que el conductor percibe el peligro hasta que aplica el pedal del freno; y (2) la distancia para detener el vehículo desde el instante que aplica los frenos. Estas distancias se conocen como distancia de percepción-reacción y la distancia de frenado respectivamente. (p. 75)

Para estos efectos, Dobles (2013) propone una ecuación para la determinación de distancia mínima de la visibilidad de parada, tomando en cuenta la pendiente de la carretera, el coeficiente de rozamiento y la velocidad ruedo.

$$d = \frac{v}{1.44} + \frac{v^2}{254,3(f \pm i)}$$

Ecuación 1 Distancia Mínima de Parada

Donde:

v = Velocidad de diseño en km/h

f = Coeficiente de rozamiento entre llantas y pavimento

i = Gradiente en valor absoluto

2.2.3.3 Coeficiente de rozamiento (f). “Este valor varía en función de la velocidad, con la presión de las llantas, tipo y tacos de las llantas, tipo y condiciones de rodamiento, presencia de agua u otras sustancias en la superficie de ruedo” (Dobles, 2013, p. 43). A nivel de aplicación, se utilizan los valores obtenidos en pavimentos húmedos, ya que representan un escenario crítico de diseño.

Tabla 7

Valores obtenidos de Tabla III-1 AASHTO

Velocidad de diseño (km/h)	Velocidad de ruedo supuesta para condición de f (km/h)	Coeficiente de rozamiento
60	54	0.34
80	75	0.30

100

93

0.29

Fuente: Tabla III-1 AASHTO, 2013.

2.2.3.4 Estabilidad de los vehículos en curvas. “Un vehículo que circula por una trayectoria curvilínea se ve sometido a sollicitaciones transversales que pueden causarle un deslizamiento o derrape así como volcamiento” (Dobles, 2013, p. 45).

Estas sollicitaciones provienen de la fuerza centrífuga que se produce cuando el vehículo entra en una curva, esta fuerza se logra contrarrestar con el peso del vehículo y la adherencia del vehículo con la calzada. Asimismo, si se da una inclinación transversal a la calzada, lo que se denomina “peralte”, se producirá entonces una componente del vehículo, paralela a la calzada y en ese sentido contrario a la fuerza centrífuga.

La fuerza centrífuga se encuentra representada por:

$$F_c = \frac{mv^2}{R}$$

Ecuación 2 Fuerza Centrífuga en Curvas

Donde:

m = Masa

v = Velocidad

R = Radio de la curva

2.2.3.5 Relación velocidad-peralte-radio

2.2.3.5.1 Radio mínimo. Dobles (2013) afirma que “son valores límites de estos elementos para una velocidad de diseño dada, en presencia del máximo peralte aceptado, y de un factor de rozamiento lateral que garantice la estabilidad” (pp. 45-46).

El radio mínimo puede expresarse de la siguiente forma:

$$R = \frac{v^2}{127.15(f' + i)}$$

Ecuación 3 Radio mínimo

Donde:

R = Radio de la curva (m)

v = Velocidad (km/h)

f' = Coeficiente de rozamiento transversal

i = Pendiente en valor absoluto

De acuerdo con Dobles (2013), “cuando un vehículo viaja a velocidad constante, en una curva con peralte, se puede conseguir que la adherencia sea cero, si la fuerza centrífuga se contrarresta con la componente del peso del vehículo” (p. 47).

Hay que mencionar que no se recomienda usar para el diseño peraltes mayores al 10 % puesto que valores más altos afectarían directamente a vehículos más lentos. De igual forma, se utiliza un coeficiente de rozamiento máximo de 0.16.

2.2.3.5.2 *Coefficiente de rozamiento transversal*

Tabla 8

Coefficiente de rozamiento transversal

Velocidad de diseño (km/h)	Coefficiente de rozamiento transversal (f')
60	0,13
80	0,14
100	0,15

Fuente: Dobles, 2013.

2.2.3.6 **Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA).**

El TPDA se define como el volumen total durante un período determinado de tiempo (en general días), mayor que un día y menor o igual que un año, dividido por el número de días comprendido en ese período de tiempo.

El conocimiento del volumen TPDA es importante para muchos propósitos; por ejemplo [...] para el diseño de los elementos estructurales de una carretera, pero su uso directo en el diseño geométrico de carreteras no es apropiado, excepto para calles y carreteras colectoras con relativamente bajos volúmenes de tránsito, porque no indica la variación en el tránsito que ocurre durante los meses del año, días de la semana y horas del día.

La cantidad por la cual el volumen de un día medio es excedido en ciertos días es apreciable y variable. En algunas carreteras, el volumen de algunos días puede ser doble

que el TPDA. De este modo, una carretera proyectada para el tránsito en un día promedio podría requerir llevar un volumen mayor que el volumen de diseño durante una considerable parte del año, y durante muchos días el volumen transportado podría ser mayor que el volumen de diseño. (Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras, 2011, p. 49).

2.2.3.7 Velocidad de diseño.

La velocidad de diseño asumida debe ser consistente con la topografía, el uso de la tierra adyacente y la clasificación funcional de la carretera.

[...]. Deben usarse valores de diseño arriba de los mínimos donde sea práctico. Algunas características del diseño tales como curvatura, peralte y distancia de visibilidad están directamente relacionadas con la velocidad de diseño y varían apreciablemente dentro de ella. Otras características tales como anchos de carriles y hombros y separaciones a muros o barandas, no están directamente relacionados con la velocidad de diseño, pero afectan la velocidad de los vehículos. Por lo tanto, carriles anchos, hombros y distancias laterales grandes deben utilizarse para velocidades altas. Así cuando se hace un cambio en la velocidad de diseño, en consecuencia, muchos elementos de diseño de la carretera deben cambiar.

[...]. Una carretera de alta clasificación funcional, puede justificar una velocidad de diseño más alta que una vía menos importante en condiciones de topografía similares [...] no debe seleccionarse una velocidad de diseño baja donde la topografía es tal que probablemente los conductores viajen a velocidades altas.

[...]. En autopistas y carreteras arteriales principales, en áreas rurales, debe seleccionarse una velocidad de diseño de 110 KPH. En carreteras colectoras de carriles

múltiples, en áreas suburbanas y rurales, las apropiadas velocidades de diseño son de 80 a 100 KPH. En carreteras colectoras, el rango de velocidad debe ser de 30 a 80 KPH y rango de velocidades de 20 a 60 KPH pueden utilizarse en carreteras vecinales. (Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras, 2011, pp.55-56)

2.3 Diseño geométrico de carreteras

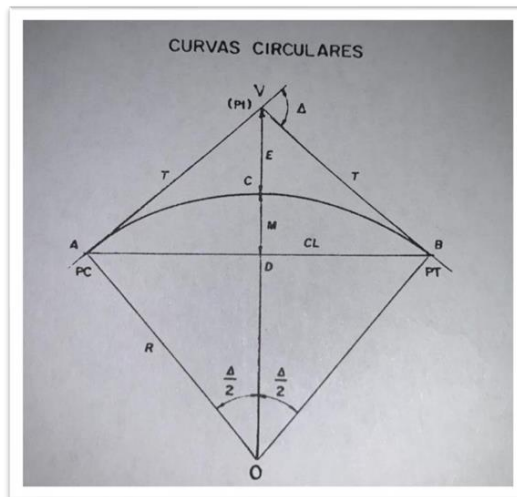
2.3.1 Alineamiento horizontal

Según el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras (2011) las principales consideraciones que controlan el diseño del alineamiento horizontal son:

- a) Categoría de la carretera
- b) Topografía del área
- c) Velocidad del proyecto
- d) Distancias de visibilidad
- e) Coordinación con el perfil
- f) Costos de construcción, operación y mantenimiento

El Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras (2011) explica que “todos los elementos deben conjugarse de tal manera que el diseño resultante sea el más seguro y económico” (p. 81).

2.3.1.1 Curvas circulares. Según Dobles (2013), se define una curva circular como “un arco unido de a dos tangentes y donde se presentan sus elementos” (p. 59).

Figura 2*Elementos de una curva circular*

Fuente: Dobles, 2013.

Donde:

V o Pi: Vértice o punto intermedio

A o Pc: Punto de curvatura

B o Pt: Punto de tangencia

Δ : Ángulo de desviación de tangencia

L: Longitud de arco

T: Tangentes

R: Radios de curvatura

CL: Cuerda larga

E: Externa

M: Flecha

Estos elementos se logran determinar mediante:

$$L = \frac{\pi \Delta R}{180}$$

Ecuación 4 Longitud de Arco

$$CL = 2R \operatorname{sen}\left(\frac{\Delta}{2}\right)$$

Ecuación 5 Cuerda Larga

$$T = R \tan\left(\frac{\Delta}{2}\right)$$

Ecuación 6 Tangente

$$E = R \left[\sec\left(\frac{\Delta}{2}\right) \right]$$

Ecuación 7 Extrema de curva

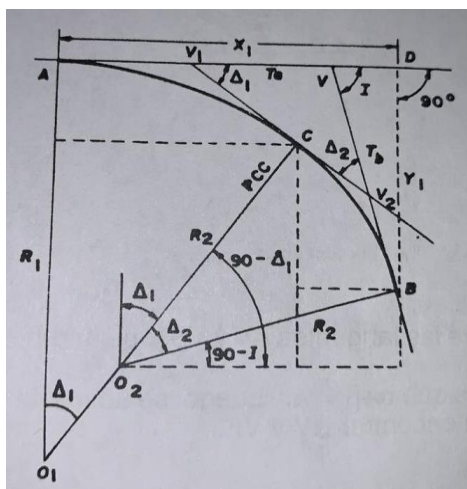
$$M = R \left[1 - \cos\left(\frac{\Delta}{2}\right) \right]$$

Ecuación 8 Flecha

2.3.1.2 Curvas compuestas. Dobles (2013) define “las curvas compuestas tienen sus centros de curvatura del mismo lado respecto de la tangente común” (p. 72).

Figura 3

Curva compuesta

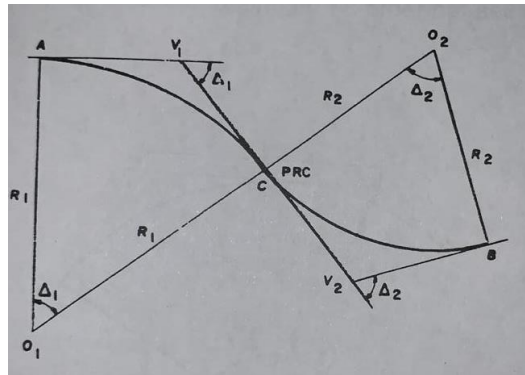


Fuente: Dobles, 2013.

2.3.1.3 Curvas reversas. Dobles (2013) define “Las curvas reversas tienen sus centros de curvatura en lados opuestos. Los centros de curvatura y el punto de tangencia se encuentran en una misma recta” (p. 72).

Figura 4

Curva reversa



Fuente: Dobles, 2013.

2.3.1.4 Peralte. El Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras. (2011) lo define “la inclinación que se le da a la corona de una carretera en los tramos en curva para contrarrestar parcialmente el efecto de la fuerza centrípeta que actúa sobre un vehículo en movimiento” (p. 139).

2.3.1.5 Curvas de transición (Clotoides). Dobles (2013) menciona que “es un trayecto compuesto por un segmento rectilíneo y un segmento circular o entre arcos de diferente curvatura, para proporcionar un cambio gradual de curvatura” (p. 78).

2.3.2 Alineamiento vertical

Dobles (2013) indica que “el alineamiento vertical se representa por el perfil del eje de la vía trazado en planos según vistas verticales que también presentan el perfil del terreno, por lo que con esta superposición se puede observar las excavaciones y los terraplenes” (p. 99).

2.3.2.1 Curva vertical simétrica y asimétrica. Las curvas verticales simétricas es un tipo de curva parabólica y formada por 2 parábolas de igual longitud, que se unen en la proyección vertical del PIV.

El Método de Ordenada al Centro es un método para calcular curvas verticales simétricas, donde Dobles (2013) especifica como

g_1 y g_2 = pendientes de las tangentes AV y VB, respectivamente, considerando positiva la pendiente que sube de izquierda a derecha y negativa la que desciende en ese sentido $G = g_1 - g_2$, L = longitud total de la curva expresada por su proyección horizontal. (p. 100)

$$G = \Delta(g_1 - g_2)$$

Ecuación 9 Diferencia de pendientes

$$e = \frac{LG}{8}$$

Ecuación 10 Ordenada al centro

$$Ex = E_A + g_1 X + \left(\frac{x}{l}\right)^2 e$$

Ecuación 11 Método de la ordenada al centro

$$Ex = E_b + g_1 X + \left(\frac{x}{l}\right)^2 e$$

Ecuación 12 Método de la ordenada al centro

Donde:

E_A = Elevación del PCV

E_b = Elevación del PTV

$$r = \frac{g_2 - g_1}{L}$$

Ecuación 13 Razón de cambio

El Método de Razón de Cambio en Pendiente es un método para calcular curvas verticales asimétricas, donde:

$$r_1 = \frac{l_2}{l_1} * \frac{g_2 - g_1}{L}$$

Ecuación 14 Razón de cambio curvas asimétricas 1

$$r_2 = \frac{l_1}{l_2} * \frac{g_2 - g_1}{L}$$

Ecuación 15 Razón de cambio curvas asimétricas 2

$$Ex = E_A + g_1 * x + \frac{1}{2}r * x^2$$

Ecuación 16 Elevación "X" punto en una curva

$$e = \frac{l_1 * l_2}{2 * l} * (g_2 - g_1)$$

Ecuación 17 Ordenada al centro de una curva

Para la primera rama:

$$Ex = E_A + g_1 X + \left(\frac{x}{l_1}\right)^2 e$$

Ecuación 18 Elevación "X" en una curva primera rama

$$Ex = E_A + g_1 X + \frac{1}{2}r_1 * x^2$$

Ecuación 19 Elevación "X" en una curva primera rama

Para la segunda rama

$$Ex = E_B + g_2 X + \left(\frac{x}{l_2}\right)^2 e$$

Ecuación 20 Elevación "X" en una curva segunda rama

$$Ex = E_B + g_2 X + \frac{1}{2}r_2 * x^2$$

Ecuación 21 Elevación "X" en una curva segunda rama

Donde:

G: diferencia algebraica de pendientes

e: ordenada al centro de la curva

L: longitud total de la curva

Ex: elevación en "x" posición de la curva

EA: elevación del PCV

EB: elevación del PTV

g1: pendiente de primera rama

g2: pendiente de segunda rama

r1: razón de cambio en pendiente de primera rama

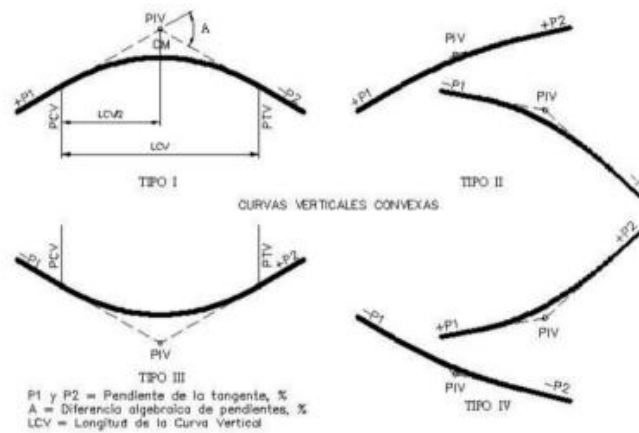
r2: razón de cambio en pendiente de segunda rama

x: valor de longitud de curva entre 0 y L o L/2 según sea el caso

2.3.2.2 Curvas verticales convexas y cóncavas. El Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras (2011) considera que:

En términos generales existen curvas verticales en crestas o convexas y en columpio o cóncavas. Las primeras se diseñan de acuerdo a la más amplia distancia de visibilidad para la velocidad de diseño y las otras conforme a la distancia que alcanzan a iluminar los faros del vehículo de diseño. De aplicación sencilla, las curvas verticales deben contribuir a la estética del trazado, ser confortables en su operación y facilitar las operaciones de drenaje de la carretera. (p. 123)

Por otro lado, Dobles (2013) indica que “las curvas verticales se clasifican en convexas y cóncavas [...] el factor que rige en la longitud de curvas convexas es la visibilidad, mientras que en las cóncavas es la comodidad de viaje o la visibilidad nocturna” (p. 109).

Figura 5*Tipos de curvas verticales*

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras, 2011.

2.3.2.3 Longitud de curva vertical

$$L = K * |G|$$

Ecuación 22 Longitud de curva

Donde:

L: es la longitud de la curva

K: es un factor

G: diferencia algebraica de pendientes

Tabla 9*Valores del factor K para curvas verticales*

Velocidad (km/h)	50	65	80	95	110
Valor mínimo de K para:					
Curvas convexas (de cresta)	900	2400	4900	9500	16500
Curvas cóncavas (de valle)	1200	2100	3400	4900	6700

Fuente: Dobles, 2013.

2.4 Diseño estructural de pavimento

2.4.1 Estructura del pavimento

El Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos (2002) menciona que el pavimento es “la estructura integral de las capas de subrasante, sub-base, base y carpeta colocado encima de la rasante y destinada a sostener las cargas vehiculares” (p. 18). Asimismo, El Manual de especificaciones generales para la construcción de carreteras, caminos y puentes (2010) define la base como:

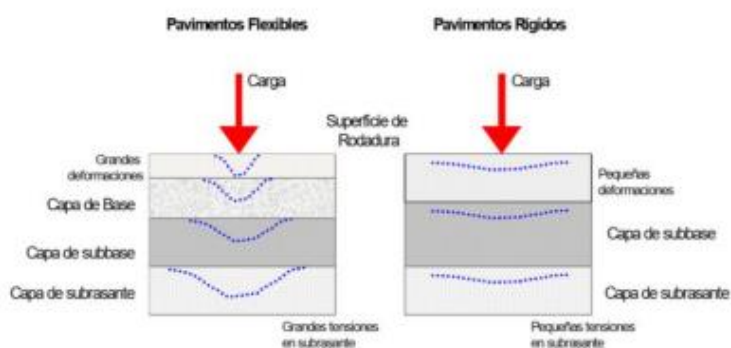
El material constituido por partículas duras y durables que se encuentra inmediatamente debajo de la capa superficial o la capa intermedia. Puede estar compuesta de escoria triturada, roca triturada, grava y arena triturada o cualquier combinación de estos materiales, que cumple con la normativa vigente. Pueden ser tratadas con ligantes bituminosos o aditivos químicos. (p. 17)

Asimismo, se entiende por subbase “la capa o capas de material colocado sobre una subrasante o material selecto para soportar la base o superficie de un pavimento” (Manual de especificaciones generales para la construcción de carreteras, caminos y puentes, 2010, p. 30).

De igual forma, la superficie de rodamiento es “la capa superior de la estructura de un pavimento, diseñada para soportar las cargas del tránsito, resistir el deslizamiento de los vehículos y la abrasión que ellos producen, así como el intemperismo” (Manual de especificaciones generales para la construcción de carreteras, caminos y puentes, 2010, p. 30).

Figura 6

Esquema del comportamiento de pavimentos flexibles y rígidos



Fuente: Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos (2002)

2.4.2 Asfalto y mezcla asfáltica en caliente

El Manual de especificaciones generales para la construcción de carreteras, caminos y puentes (2010) define el asfalto como:

Un material cementante, de color entre caramelo y negro, el cual los constituyentes dominantes son bitúmenes que aparecen en la naturaleza o se obtienen en el proceso en el

procesamiento del petróleo. El asfalto es un constituyente, en proporciones variables, de la mayoría de petróleos crudos. (p. 17)

Por otro lado, el Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos (2002) define la mezcla asfáltica en caliente como “la mezcla de agregados pétreos con aglomerantes bituminosos, materiales que deben cumplir con requisitos especificados, los cuales, mezclados mediante procedimientos controlados en caliente, darán como resultado un material con propiedades y características definidas.

2.4.3 *Tránsito promedio diario y ESALs*

El Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras (2011) define el TPD o Tránsito Promedio Diario como “el volumen total durante un período determinado de tiempo (en general horas), mayor que una hora y menor o igual que un día, dividido por el número de horas comprendido en ese período de tiempo” (p. 49). AASHTO93 (1993) menciona que ESAL es “el acrónimo de carga equivalente de un solo eje. ESAL es un concepto desarrollado a partir de datos recopilados en la Prueba de AASHO para establecer una relación de daños para comparar los efectos de los ejes que transportan cargas diferentes” (p. 58).

$$ESAL = (TPD_0) * T * T_f * D_s * LDF * 365 * G * Y$$

Ecuación 23 Ejes equivalentes de diseño

Donde:

T: tipo de vehículo (%)

T_f : Factor Camión

D_s : Factor de distribución direccional

TPD: Tránsito Promedio Diario.

2.4.4 Variables de diseño

2.4.4.1 Índice de serviciabilidad. AASHTO-93 (1993) define la serviciabilidad como:

La capacidad de servir al tipo de tránsito para el cual ha sido diseñado. Así se tiene un índice de Serviciabilidad presente PSI mediante el cual el pavimento es calificado entre 0 (pésimas condiciones) y 5 (perfecto). En el diseño del pavimento se deben elegir la Serviciabilidad inicial y final. La inicial, p_0 , es función del diseño del pavimento y de la calidad de la construcción. La final o terminal, p_t , es función de la categoría del camino y es adoptada con base en ésta y al criterio del proyectista. (p. 172)

Serviciabilidad inicial:

- $p_0 = 4.5$ para pavimentos rígidos
- $p_0 = 4.2$ para pavimentos flexibles

Serviciabilidad final:

- $p_t = 2.5$ o más para caminos muy importantes
- $p_t = 2.0$ para caminos de menor tránsito

Fuente: AASHTO-93, 1993, p. 172.

Por lo que:

$$\Delta PSI = p_0 - p_t$$

Ecuación 24 Índice de serviciabilidad

2.4.4.2 Coeficiente de drenaje. ASHTO-93 (1993) menciona que “un buen drenaje aumenta la capacidad portante de la subrasante (el módulo resiliente aumenta cuando baja el contenido de humedad), mejorando la calidad del camino y permitiendo el uso de capas más delgadas” (p. 148).

Tabla 10

Coeficientes de drenaje

Calidad de drenaje	Agua removida
Excelente	2 horas
Buena	1 día
Regular	1 semana
Pobre	1 mes
Muy pobre	No drena

Fuente: AASHTO-93, 2006.

Tabla 11

Coeficiente de drenaje para pavimentos flexibles

Calidad de drenaje	% de tiempo en que el pavimento está expuesto a niveles de humedad próximos a la saturación
	>25 %
Excelente	1.20
Bueno	1.00

Regular	0.80
Pobre	0.60
Muy pobre	0.40

Fuente: AASHTO-93, 2006.

2.4.4.3 Confiabilidad (R). AASHTO-93 (1993) menciona que “es el grado de certidumbre de que un dado diseño puede llegar al fin de su período de análisis en buenas condiciones” (p. 171).

Asimismo, AASHTO-93 (1993) agrega que:

Un nivel de confiabilidad alto implica un pavimento más costoso y por lo tanto mayores costos iniciales, pero también pasará más tiempo hasta que ese pavimento necesite una reparación y por ende los costos de mantenimiento serán menores. Por el contrario, un nivel de confiabilidad bajo da pavimentos más económicos, pero con un mayor costo de mantenimiento. (p. 136)

Tabla 12

Tabla de confiabilidad recomendada

Tipo de camino	Confiabilidad recomendada	
	Zonas urbanas	Zonas rurales
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-93, 2006.

2.4.4.4 Desviación estándar (s_0) y Desviación estándar normal (Z_R). AASHTO-93 (1993) dice que la desviación estándar (s_0) “es una desviación debido al error de proyecciones de tránsito y al desempeño del pavimento” (p. 196).

Cuando se considera que la variación en el tránsito futuro será considerable:

- $S_0 = 0.39$ pavimentos rígidos
- $S_0 = 0.49$ pavimentos flexibles

Cuando se considera que la variación en el tránsito futuro no es considerable:

- $S_0 = 0.34$ pavimentos rígidos
- $S_0 = 0.44$ pavimentos flexibles

AASHTO-93 (1993) define la desviación estándar normal como la “referencia al grado de certidumbre de que un dado diseño puede llegar al fin de su período de análisis en buenas condiciones” (p. 196).

Tabla 13

Desviación estándar (Z_R)

Confiabilidad	Desviación estándar	Confiabilidad	Desviación estándar
R	normal, Z	R	normal, Z_R
50 %	0.000	93 %	-1.476
60 %	-0.253	94 %	-1.555
70 %	-0.524	95 %	-1.645
75 %	-0.674	96 %	-1.751
80 %	-0.842	97 %	-1.881
85 %	-1.036	98 %	-2.054

90 %	-1.282	99 %	-2.326
91 %	-1.341	99.9 %	-3.090
92 %	-1.405		

Fuente: AASHTO-93, 2006.

2.4.4.5 Módulo de resiliencia.

Es un ensayo desarrollado para estudiar una propiedad del material que describa mejor el comportamiento del suelo bajo cargas dinámicas de ruedas. Una rueda que se mueve imparte un pulso dinámico a todas las capas del pavimento y a la subrasante. Como respuesta a este pulso dinámico, cada capa de pavimento sufre una deflexión. (AASHTO-93, 1993, p. 70)

$$Mr = 17.6 * CBR^{-0.64}$$

Ecuación 25 Modulo resiliente

Donde:

Mr: Modulo de resiliencia

CBR: Índice de capacidad de California

2.4.4.6 Factor camión. AASHTO-93 (1993) lo define como “el número de ESALs por vehículo” (p. 46).

$$Factor\ Camion\ TF = \frac{No.de\ ESALs}{No.\ de\ camiones}$$

Ecuación 26 Factor camión

2.4.4.7 Distribución direccional.

Es el porcentaje de camiones viajando en una dirección que general es tomado como 0.5, es decir que, del total del flujo vehicular censado, la mitad va por cada dirección, pero que en algunos casos puede ser mayor en una dirección que en otra, lo que debería deducirse del censo de tránsito. (AASHTO-93, 1993, p. 57)

2.4.4.8 Factor de crecimiento. AASHTO-93 (1993) define el factor de crecimiento como “aquel valor donde se espera que las condiciones de tránsito inicial y sus cambios durante el periodo de diseño”.

$$G = \frac{1}{2} [1 + (1 + r)^y]$$

Ecuación 27 Factor de crecimiento

Donde:

y: periodo de análisis

r: factor de crecimiento anual de tránsito

2.4.4.9 Espesores mínimos según número estructural y la AASHTO. Según la AASHTO-93 (1993), los espesores mínimos para capas de concreto asfáltico y de base granular deben ser:

Tabla 14

Espesores mínimos de concreto asfáltico y base granulares

Numero de ESALs	Concreto asfáltico	Base granular
Menos de 50.000	2.5 cm	10 cm
50.000-150.000	5.0 cm	10 cm

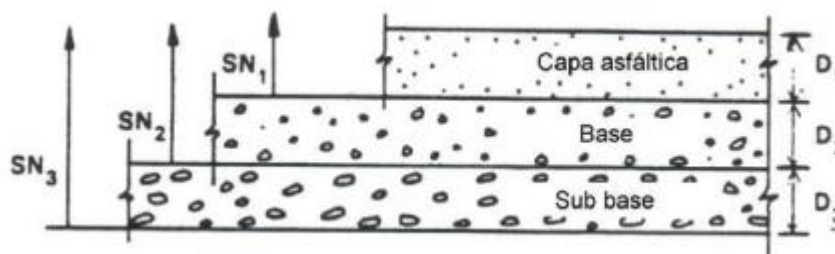
150.000-500.000	6.5 cm	10 cm
500.000-2.000.000	7.5 cm	15 cm
2.000.000-7.000.000	9.0 cm	15 cm
Más de 7.000.000	10.0 cm	15 cm

Fuente: AASHTO-93, 2006.

La AASHTO-93 menciona que la metodología para calcular el espesor mínimo, mediante el SN o Número Estructural, “se basa en el concepto de que las capas granulares no tratadas deben estar protegidas de tensiones verticales excesivas que les producirían deformaciones permanentes” (p. 175).

Figura 7

Espesores de carretera en función del SN



Fuente: AASHTO-93, 1993.

$$D_1^* \geq \frac{SN_1}{a_1}$$

Ecuación 28 Espesor de capa asfáltica

$$SN_1^* = a_1 * D_1 > SN_1$$

Ecuación 29 Corrección de número estructural

$$D_2^* = \frac{SN_2 - SN_1^*}{a_2 m_2}$$

Ecuación 30 Espesor de la base granular

$$SN_1^* + SN_2^* \geq SN_2$$

Ecuación 31 Corrección de número estructural 2

$$D_3^* = \frac{SN_3 - (SN_1^* + SN_2^*)}{a_3 m_3}$$

Ecuación 32 Espesor de la subbase granular

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

Ecuación 33 Cálculo de número estructural

Donde:

a_1 , a_2 y a_3 = Coeficientes de capa representativos de carpeta, base y subbase respectivamente.

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

m_1 , m_2 y m_3 = Coeficientes de drenaje para base y subbase, respectivamente.

2.4.4.10 Capacidad de las Vías. Dobles (2013) menciona que “es el número máximo de personas o de vehículos que tienen una razonable expectativa de atravesar la sección, durante un periodo dado”.

$$fp = \frac{100}{100 - P_a - P_c - P_R + E_a * P_c + E_a * P_a + E_c * P_c + E_R * P_R}$$

Ecuación 34 Factor de Composición de Tránsito

P_a : % de autobuses

P_c : % de camiones

P_R : % de vehículos de particulares

E_a : Equivalente de autobuses (Tabla 17)

E_c : Equivalente de camiones (Tabla 17)

E_R : Equivalente de vehículos particulares (Tabla 17)

$$C = 2800 * fa * fd * fi * fe * fs * fp$$

Ecuación 35 Capacidad Máxima para Vías

Donde:

Fa: factor por ancho de carril (Tabla 15)

Fd: factor por obstáculos en costado derecho (Tabla 16)

Fi: factor por obstáculos en costado izquierdo (Tabla 16)

Fe: experiencia en la conducción (0.9: experimentados, 0.75-0.9: para poco experimentados)

Fs: factor de distribución de tránsito por carril (Tabla 18)

Fp: factor de composición del tránsito

Tabla 15

Factor de corrección por anchura de carriles

Anchura del carril (m)	Calzadas multicarriles y autopistas		Carretera de 2
	2 carriles (por sentido)	3 o 4 carriles (por sentido)	Carriles (ambos sentidos)
>3,60	1,00	1,00	1,00
3,30	0,97	0,96	0,94
3,00	0,91	0,89	0,87
2,70	0,81	0,78	0,76

Fuente: Dobles, 2013.

Tabla 16*Factores medios de corrección por obstáculos laterales*

Distancia al borde la calzada (m)	Calzada multicarriles y autopistas		Carreteras de 2 carriles (ambos sentidos)
	2 carriles (por sentido)	3 o 4 carriles (por sentido)	
>1,80	1,00	1,00	1,00
1,20	0,99	0,99	0,97
0,60	0,97	0,97	0,93
0,00	0,90	0,94	0,88

Fuente: Dobles, 2013.

Tabla 17*Factor de equivalencia para camiones y autobuses según tipo de terreno*

Tipo de carretera y vehículo	Tipo de terreno		
	Llano	Ondulado	Accidentado
Calzadas multicarril y autopistas			
Camiones	1,7	4,0	8,0
Autobuses	1,5	3,0	5,0
Vehículos de recreo	1,6	3,0	4,0
Carreteras de dos carriles			
Camiones	2,0	5,0	12,0
Autobuses	1,6	2,9	6,5

El Manual de especificaciones generales para la construcción de carreteras, caminos y puentes (2010) lo define como “zanja lateral, paralela al eje de la carretera o del camino, construida entre el espaldón y el pie del talud, para recibir y conducir el agua de lluvia” (p. 122).

Tragantes

Dobles (2013) lo define como “estructura que facilita y conduce el ingreso de aguas en la alcantarilla” (p. 148). Por su parte, la Norma Técnica para Diseño y Construcción de Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable de Saneamiento y Pluvial (2017) agrega que:

Las tuberías que unen los tragantes con los pozos de registro deben tener un diámetro nominal mínimo de 300 mm, cuando sean tragantes de una sola parrilla, aceptándose éstos únicamente al inicio del sistema; para el caso de tragantes de dos o tres parrillas, la tubería debe tener como mínimo un diámetro de 400 mm. (p. 51)

Cabezal de desfogue

El Manual de especificaciones generales para la construcción de carreteras, caminos y puentes (2010) “Estructura de concreto construida a la entrada y/o salida de la alcantarilla con el fin de proteger los tubos, los rellenos y terraplenes; encauzando el agua” (p. 18). Por su parte, Dobles (2013) menciona que “son estructuras similares a un muro de contención, que sirven para sostener el terreno que circunda la alcantarilla y sujeta el último tubo a este” (p. 148).

Pozos de registro pluvial

La Norma Técnica para Diseño y Construcción de Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable, de Saneamiento y Pluvial (2017) menciona que “es un elemento de la infraestructura urbana que permite el acceso, desde la superficie, a diversas instalaciones subterráneas de servicios públicos” (p. 149). Asimismo, la norma agrega que para estos registros:

Se deben construir pozos circulares en concreto reforzado en todo inicio o intersección de tuberías, así como en los cambios de: dirección (horizontal o vertical), diámetro, pendiente y material de la tubería y, en los tramos rectos, de tal forma que la distancia entre dos pozos de registro consecutivos en vías públicas no exceda los 120 m; para el caso de servidumbres o terrenos por donde no ingresen vehículos (zonas no transitables) la distancia no debe exceder los 40 m. (pp. 55-56)

Tabla 19

Dimensiones de pozos de concreto

Diámetro interno del pozo (m)	Profundidad del pozo (m)	Espesor de pared del pozo (m)	Resistencia del concreto (kg/cm ²)
1.20	Hasta 5.00	0.12	210
1.60	Mas de 5.00 hasta 8.00	0.12	280
1.80	Mas de 8.00 hasta 10.00	0.20	280
2.00	Mas de 10.00 hasta 15.00	0.20	280

Fuente: Norma Técnica para Diseño y Construcción de Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable, de Saneamiento y Pluvial, 2017.

Tabla 20*Cantidad de tubos que se pueden conectar al pozo*

Diámetro interno del pozo (m)	Cantidad de tubos interconectados al pozo	Rangos de diámetros de las tuberías (mm)
1.20	5	De 400 hasta 800
1.60	5	De 800 hasta 1200
2.00	5	De 1200 hasta 1800

Fuente: Norma Técnica para Diseño y Construcción de Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable, de Saneamiento y Pluvial, 2017.

2.5.3 *Intensidad de lluvia*

La Norma Técnica para Diseño y Construcción de Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable, de Saneamiento y Pluvial (2017) establece que “la intensidad de lluvia se debe calcular en función del período de retorno de la tormenta de diseño y del tiempo de concentración” (p. 49).

- **Periodos de tormenta de diseño**

La Norma Técnica para Diseño y Construcción de Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable, de Saneamiento y Pluvial (2017) determina que “en sistemas de alcantarillado pluvial convencionales, el período de retorno para el diseño de la red del alcantarillado pluvial debe ser como mínimo de diez (10) años” (p. 49). También se menciona que:

Para el cálculo de la intensidad, duración o frecuencia se deben utilizar gráficas (curvas) generadas o seleccionadas por el diseñador, cuya información aplique para la zona de influencia del proyecto y esté sustentada en datos suministrados por el Instituto Meteorológico Nacional u otro organismo competente en esta materia. (p. 49)

$$i = 209.844 - (38.7305 * \ln(dur)) + (21.79 - (3.14 * \ln(dur))) * \ln(tn)$$

Ecuación 36 Intensidad de Lluvias

Donde:

I: intensidad, en mm

dur: tiempo de concentración, duración de la lluvia, en minutos.

tn: periodo de retorno en años

ln: logarítmico natural

- **Tiempo de concentración**

El tiempo de concentración está formado por dos componentes, el tiempo de entrada requerido para que el escurrimiento llegue al primer tragante y el tiempo de recorrido dentro de la tubería entre los pozos consecutivos correspondientes al tragante, el tiempo de recorrido en un tramo de tubería se debe calcular respetando las velocidades máximas y mínimas establecidas para sistemas pluviales, según lo indicado en este capítulo. (Norma Técnica para Diseño y Construcción de Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable, de Saneamiento y Pluvial, 2017, p. 50)

2.5.4 Caudal

El Manual de especificaciones generales para la construcción de carreteras, caminos y puentes (2010) indica que el “caudal es la cantidad de fluido que circula a través de una sección del ducto por unidad de tiempo” (p. 44). De igual forma, la Norma Técnica para Diseño y Construcción de Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable, de Saneamiento y Pluvial (2017)

define el caudal como “los aportes de las áreas tributarias y su correspondiente distribución espacial basado en la topografía del sitio del proyecto y considerando los aportes externos al proyecto” (p. 47). El caudal de escorrentía se debe calcular por medio de la fórmula racional:

$$Q = (c * i * A) / 3600000$$

Ecuación 37 Ecuación Racional

Donde:

Q: caudal

I: intensidad de la lluvia de diseño (mm/hora)

A: área de drenar

C: coeficiente de escorrentía

2.5.5 *Coficiente de escorrentía*

“El coeficiente de escorrentía es la relación entre la parte de la precipitación que circula superficialmente y la precipitación total, entendiendo que la parte superficial es menor que la precipitación total al descontar la evaporación, evapotranspiración, almacenamiento” (Norma Técnica para Diseño y Construcción de Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable, de Saneamiento y Pluvial, 2017, p. 48).

- Tipo de suelo

Tabla 21

Tabla de coeficientes de escorrentía

Tipo de área o desarrollo	C
Tipo de área	

Techos de edificios	0,80-0,95
Pavimentos de asfaltos o concreto	0,70-0,95
Pavimentos de ladrillo	0,70-0,80
Suelos cubiertos de pasto	
Pendiente de 2 % o menos	0,05-0,10
Pendiente de 2 % a 8 %	0,10-0,16
Pendiente de 8 % o mas	0,16-0,20
Suelos arcillosos cubiertos de pasto	
Pendiente de 2 % o menos	0,10-0,16
Pendiente de 2 % a 8 %	0,17-0,25
Pendiente de 8 % o mas	0,26-0,36
Tipo de desarrollo	
Comercio urbano	0,70-0,95
Oficinas comerciales	0,50-0,95
Casas unifamiliares	0,30-0,50
Condominios	0,40-0,60
Tipo de Área de desarrollo	
Apartamentos	0,60-0,80
Residencias suburbanas (parcelas agrícolas)	0,25-0,40
Parques y cementerios	0,10-0,30

Fuente: Norma Técnica para Diseño y Construcción de Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable, de Saneamiento y Pluvial, 2017.

- Pendiente promedio

La pendiente promedio se obtiene mediante diferencia de alturas entre una longitud.

$$S = \left(\frac{\Delta H}{L} \right) * 100$$

Ecuación 38 Pendiente promedio

2.5.6 *Periodo de retorno*

Curvas de Intensidad Duración Frecuencias de algunas estaciones meteorológicas mecánicas (2011) establece que “es comúnmente usado para expresar la probabilidad de ocurrencia de un valor extremo de precipitación o de cualquier otro evento” (p. 21).

Tabla 22

Periodos de diseño según obras

Urbanizaciones	5 años
P. Vecinales	10-15 años
Rutas cantonales	20-25 años
Rutas nacionales	25-50 años

Fuente: Norma Técnica para Diseño y Construcción de Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable, de Saneamiento y Pluvial, 2017.

2.5.7 Dimensionamiento de tuberías

2.5.7.1 Velocidades en tuberías a gravedad o canal abierto. La Norma Técnica para Diseño y Construcción de Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable, de Saneamiento y Pluvial (2017) menciona que:

La velocidad mínima de un tramo entre dos pozos pluviales debe ser de al menos de 0,6 m/s, donde se garantice una fuerza tractiva mínima de 0,10 kg/cm² (1 Pa) con una capacidad del 85 % de la tubería, la velocidad máxima real debe ser de 5,0 m/s, en los tramos entre pozos de registro pluviales. Se permiten velocidades de hasta 7,0 m/s en el tramo final (último pozo de registro pluvial-cabecal de desfogue). (p. 51)

$$V = \frac{Q^*}{A \cdot U\%}$$

Ecuación 39 Velocidad de Flujo de Escorrentía

Donde:

Q*: caudal real

A: Área transversal del tubo

U %: factor de utilización del tubo

2.5.7.2 Diámetro mínimo. La Norma Técnica para Diseño y Construcción de Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable, de Saneamiento y Pluvial (2017) establece que:

El diámetro nominal mínimo de la red pluvial si se utilizan tuberías plásticas con “n” de Manning igual o inferior al del PVC, debe ser de 375 mm. Si se utiliza tubería de polietileno de alta densidad o tubería de concreto, el diámetro nominal mínimo debe ser de 400 mm. (p. 51)

2.5.7.3 Continuidad de tuberías

No se acepta reducir el diámetro de las tuberías en la dirección del flujo, de tal forma que, en un pozo, el diámetro de la tubería de salida debe ser igual o mayor al diámetro mayor de las tuberías de entrada; lo anterior también aplica cuando hay cambios de dirección o de pendiente. (Norma Técnica para Diseño y Construcción de Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable, de Saneamiento y Pluvial, 2017, p. 51)

Por lo que se debe utilizar la formula Manning:

$$Q = \frac{D^{2.66} \cdot \sqrt{S}}{3.2 \cdot n}$$

Ecuación 40 Formula de Manning

$$D = \left(\frac{3.2 \cdot Q \cdot n}{\sqrt{S}} \right)^{\frac{1}{2.66}}$$

Ecuación 41 Cálculo de diámetro según Manning

Donde:

n: coeficiente de rugosidad

D: diámetro

S: pendiente de obra hidráulica

Tabla 23

Tabla de coeficiente de rugosidad “n”

Material	Coeficiente de rugosidad
n PVC	0.010
n Concreto	0.013
n Metal	0.020

Fuente: Norma Técnica para Diseño y Construcción de Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable, de Saneamiento y Pluvial, 2017.

2.6 Diseño de elementos de circulación de peatones

2.6.1 Aceras

Es la “sección al lado de la vía construida exclusivamente para el uso propio de los peatones” (CR-2010). La Guía Integrada para la Verificación de la Accesibilidad al Entorno Físico (2010) indica que “las vías de circulación peatonales horizontales, que son todas las aceras, los senderos, los andenes, los itinerarios peatonales y cualquier otro tipo de superficie de uso público, destinado al tránsito de peatones, deben tener un ancho mínimo libre de obstáculos de 160 cm” (p. 27).

Este elemento aparece en los tramos urbanos y semiurbanos y debe tener un ancho suficiente para alojar la corriente peatonal. Los valores típicos van desde 1 metro a 3 metros, aunque debe admitirse que en las calles céntricas de una ciudad grande se requieren anchos mayores. (Dobles, 2013)

2.6.2 Rampas y pasamanos

La Guía Integrada para la Verificación de la Accesibilidad al Entorno Físico (2010) menciona que:

En las rampas, éstas deben tener un ancho mínimo de 120 cm y además su pendiente longitudinal máxima admitida para las rampas de desarrollo curvo es de 8.5 %, con un radio mínimo de 3 m, medidos con respecto al borde interno de la rampa. La pendiente transversal máxima que debe presentar la rampa de desarrollo curvo debe ser de un 2 %, tomada hacia el borde interno de la rampa. (p. 35)

De igual forma, establece que “cuando las rampas salven desniveles superiores a 25 cm, éstas deben llevar pasamanos, según las características referentes a pasamanos además el ancho mínimo de las rampas definidas de esta manera, debe ser siempre de 120 cm” (p. 34).

2.7 Cálculo de presupuesto de obra

2.7.1 Presupuesto

El Manual para Revisión de Costos y Presupuestos (2010) define el presupuesto como “el cálculo anticipado del costo total estimado para ejecutar la construcción, reparación o mantenimiento de un proyecto generalmente identificado como tramo o subtramos de la red vial del país en un período de tiempo fijado” (p. 5)

2.7.2 Costos directos

El Manual para revisión de Costos y Presupuestos (2010) lo determina como

Los costos previstos en que se debe incurrir directamente para utilizar o adquirir e integrar los recursos necesarios, en la cantidad o en el tiempo que sean necesarios, para realizar una actividad de construcción, mantenimiento o reparación de un tramo o subtramo de carretera o camino de la red vial del país en un plazo establecido. (p. 6)

2.7.3 Costos indirectos

El Manual para revisión de Costos y Presupuestos (2010) lo define como “los costos previstos en que se debe incurrir de manera global o generalizada para realizar la construcción, mantenimiento o reparación de un “sitio crítico” (p. 21).

2.7.4 Mano de obra

El Manual para revisión de Costos y Presupuestos (2010) menciona que

Es el costo previsto por el tipo y la cantidad de trabajadores de la construcción que se planifica y que deberán ser empleados temporalmente para la ejecución de una actividad o de un concepto de obra en el período de tiempo que sean requeridos. (p. 7).

2.7.5 Maquinaria y equipo

Según el Manual para revisión de Costos y Presupuestos (2010), “es el costo previsto por el tipo y la cantidad de maquinaria o de equipos de construcción que deben ser utilizados en la ejecución de una actividad o de un concepto de obra en el período de tiempo que sea requerido” (p. 16).

2.7.6 Materiales

El Manual para revisión de Costos y Presupuestos (2010) indica que “es el costo previsto por la adquisición, traslado y utilización del tipo y la cantidad de materiales de construcción que deben ser incorporados en la ejecución de una actividad o de un concepto de obra” (p. 19).

3 Capítulo III. Marco metodológico

3.1 Enfoque de la investigación

Tomando en cuenta la naturaleza del proyecto y el planteamiento del problema, se utilizará un enfoque de investigación cuantitativo. Hernández Sampieri (2014) menciona que este tipo de enfoque es secuencial y probatorio, con lo que cada etapa precede a la siguiente y no se pueden eludir pasos para la formulación de las conclusiones. Los estudios cuantitativos siguen un patrón ordenado y estructurado con el propósito de generalizar los resultados, de forma deductiva, y comprobar la teoría de manera que pueda replicarse.

La realización del proyecto involucrará la recolección y el análisis de datos existentes en sitio como la topografía del lugar, la resistencia de la subrasante, la intensidad de lluvia y la cantidad y tipos de vehículos predominantes de la zona, de igual forma, se hará una revisión literaria del diseño geométrico, estructural de pavimentos y pluvial para desarrollar el diseño de 1200 metros de carretera que sirva como ruta de travesía en el cantón de Coronado.

El diseño geométrico abordará los criterios correspondientes a la velocidad de diseño, radio de giro, distancia mínima de parada, ancho de la calzada, entre otros. Estas características se definirán, de acuerdo con lo que establezca la normativa correspondiente y a la memoria de cálculo elaborada en el proceso. Por otro lado, en el diseño estructural de pavimentos se determinarán los espesores de la subbase, base y superficie de rodamiento en función de la cantidad y tipos de vehículos de la zona y de la capacidad portante del suelo.

El diseño pluvial establecerá las dimensiones requeridas de las tuberías que canalizarán el agua hacia su punto de desfogue, indicando en el proceso, la distancia a la que irán colocados los

tragantes y los pozos pluviales. Por último, se estimará el costo de inversión necesaria para ejecutar el proyecto según lo que se establezca en el trabajo en cuanto a materiales y mano de obra.

3.2 Tipo de investigación

Considerando el alcance que tendrá el proyecto, se utilizará una investigación del tipo explicativo. Los estudios explicativos van más allá de la descripción de conceptos o fenómenos o del establecimiento de conceptos, están dirigidos a responder por las causas de los eventos y fenómenos físicos (Hernández Sampieri, 2014).

El proyecto pretende exponer los métodos de diseño actualmente usados en Costa Rica para la construcción de carreteras, mediante un proceso estructurado que busca explicar las variables que determinan los requerimientos necesarios para el diseño de los elementos que componen la calzada. Se basa principalmente en entender como intervienen y se correlacionan los diferentes factores presentes en el sitio en la elaboración de un diseño óptimo que contemple a todos los usuarios de la vía, describiendo las características que presenta individualmente cada elemento para mostrar con precisión sus ángulos y dimensiones en relación con los parámetros establecidos.

3.3 Sujetos y fuentes de información

Para la elaboración del proyecto, se contará con la asesoría y colaboración del departamento de la Unidad Técnica de Gestión Vial de la Municipalidad de Vázquez de Coronado ante cualquier duda, durante el proceso de recolección y análisis de datos. Asimismo, se dispondrá de la contribución de profesionales que hayan elaborado un estudio similar en sus proyectos finales de graduación, con el fin de optimizar el diseño de los distintos elementos viales.

En la realización del diseño geométrico, se utilizarán distintos documentos y manuales como fuente de información, tales como: Trazado y Diseño Geométrico de Vías, Manual

Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de la Carreteras Regionales y Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras, Caminos y Puentes CR-2010. La información recopilada nos dará los parámetros necesarios para el planteamiento de las dimensiones de la calzada y demás elementos de la vía.

La obtención de la topografía del sitio se hará mediante el *software* Google Earth, el cual arrojará las curvas de nivel necesarias para el emplazamiento de la carretera, canalización del agua superficial, corte y relleno, entre otros.

La capacidad portante de la subrasante se establecerá a través de datos suministrados por la empresa Castro y de la Torre, en puntos cercanos a la zona de estudio, con esta información se podrá estimar el espesor de la capa de subbase.

Para la determinación de los espesores de la subbase, base y superficie de rodamiento que soportarán la carga vehicular, se utilizarán como referencia: el Método AASHTO 93 para el diseño de Pavimentos y el *software* de diseño de pavimento AASHTO 97-98.

Los datos correspondientes al clima e intensidades de lluvia, necesarios para el diseño de la red pluvial, se obtendrán de las herramientas suministradas por el Instituto Meteorológico Nacional. De esta forma, contemplando la intensidad de lluvia más crítica, se planteará un diseño capaz de evacuar las aguas hasta su punto de desfogue.

Para el diseño de la red pluvial y todos sus componentes, se utilizará la Norma Técnica para Diseño y Construcción de Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable, de Saneamiento y Pluvial, de Acueductos y Alcantarillados.

Los datos correspondientes al TPD se adquirirán de los registros y conteos que se tienen en los anuarios del MOPT de las rutas existentes que servirán para aproximar el tránsito de la nueva ruta a desarrollar.

Por último, para establecer la ubicación de los dispositivos de señalización vertical y horizontal de la carretera propuesta, se consultó el Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control del Tránsito de la Secretaría de Integración Económica Centroamericana [SIECA] (2000).

4 Capítulo IV. Análisis de resultados

4.1 Estudio del Diseño del TPDA

Para estimar la cantidad y las características del tránsito en el sitio, se recurrió al “Anuario de Información de Tránsito 2015”, el cual enlista, mediante estaciones, el flujo vehicular presente en distintas zonas del país. Para este proyecto es necesario estimar, en promedio, la densidad vehicular de las rutas 216 y 307 para así establecer un TPDA con las rutas colindantes. Específicamente se utilizarán las estaciones 673 (Escuela de Cascajal de Coronado) y 0 (Escuela Platanares). Asimismo, se adaptarán estos valores para que reflejen el crecimiento vehicular estadístico nacional de los últimos años.

Tabla 24

TPDA Ruta 216 Estación 673

Ruta	Sección	Estación	Año	TPD	Liviano	Car_Liv	Bus	C2E	C3E	C4E	C5E	C6E
216	10380	673	2015	5886	77,27	15,28	3,12	3,2	1	0,05	0,05	0,03

Fuente: Anuario de Información de Tránsito, 2017.

Tabla 25

TPDA Ruta 307 Estación 0

Ruta	Sección	Estación	Año	TPD	Liviano	Car_Liv	Bus	C2E	C3E	C4E	C5E	C6E
307	10410	0	2015	1554	63,21	20,95	14,3	1,45	0,1	0	0	0

Fuente: Anuario de Información de Tránsito, 2017.

Se catalogan los vehículos por la clasificación que se utiliza en el Anuario de Información de Tránsito (2015) del MOPT de la siguiente forma:

- Vehículos livianos
- Carga liviana
- Bus
- C-2 Eje simple trasero
- C-2 Eje tándem trasero
- C3
- Camiones de varios ejes (T3-S2)

Se procede a realizar una tabla donde se muestre de forma conjunta la cantidad y tipo de vehículos que recogerá el nuevo camino que conectará las rutas 216 y 307. Para esto, se utilizará el mismo formato que utiliza el MOPT en su Anuario de Información de Tránsito y se sumarán los valores presentes en cada apartado tal que la suma de las características de ambas rutas sean los datos a utilizar en el proyecto de la ruta de travesía.

Tabla 26

TPDA Ruta de travesía de diseño

Ruta	Sección	Estación	Año	TPD	Liviano	Car_Liv	Bus	C2E	C3E	C4E	C5E	C6E
Travesía	---	---	2015	7440	74,33	16,46	5,46	2,83	0,81	0,04	0,04	0,02

Fuete: Elaboración propia.

Una vez establecido el TPDA, se determina el crecimiento vehicular desde el 2015, que se tomaron esos datos, hasta el 2021. Para ello, se multiplicará el valor obtenido anteriormente por una razón de crecimiento anual del 4,65 %, lo que nos dará un aumento lineal a través del tiempo.

Tabla 27*Tabla para el cálculo de ESAL*

Año	Razón de crecimiento anual	TPDA	Carga							
			Liviano	Carga liviana	Bus	C2E	C3E	C4E	C5E	C6E
			74,33	16,46	5,46	2,83	0,81	0,04	0,04	0,02
2015	4,65 %	7440	5531	1225	406	211	61	3	3	2
2016	4,65 %	7786	5788	1282	425	221	64	4	4	2
2017	4,65 %	8149	6057	1342	445	231	67	4	4	2
2018	4,65 %	8527	6339	1404	466	242	70	4	4	3
2019	4,65 %	8924	6634	1470	487	253	73	4	4	3
2020	4,65 %	9339	6942	1538	510	265	76	4	4	3
2021	4,65 %	9773	7265	1609	534	278	80	4	4	3

Fuente: Elaboración propia.

4.2 Clasificación de las carreteras

Se clasifica la carretera basados en la cantidad de TPDA del sitio de diseño. Para el caso de estudio, se utilizará un TPDA, estimado para el año 2021, de 9773 vehículos, esto basado en el tránsito circundante en las rutas 216 y 307 y la tabla 27. Teniendo en cuenta lo anterior y según el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales (2011), la carretera se clasifica como Colectora Rural y especifica que:

Este tipo de carreteras generalmente sirve al tránsito con recorridos de menores distancias relativas, que se mueve entre ciudades, pueblos y villas, sirve asimismo como alimentador de las arterias troncales y de las colectoras suburbanas. La velocidad en estas vías es moderada, comparada con las arterias de tránsito mayor. Las colectoras amplían la zona de

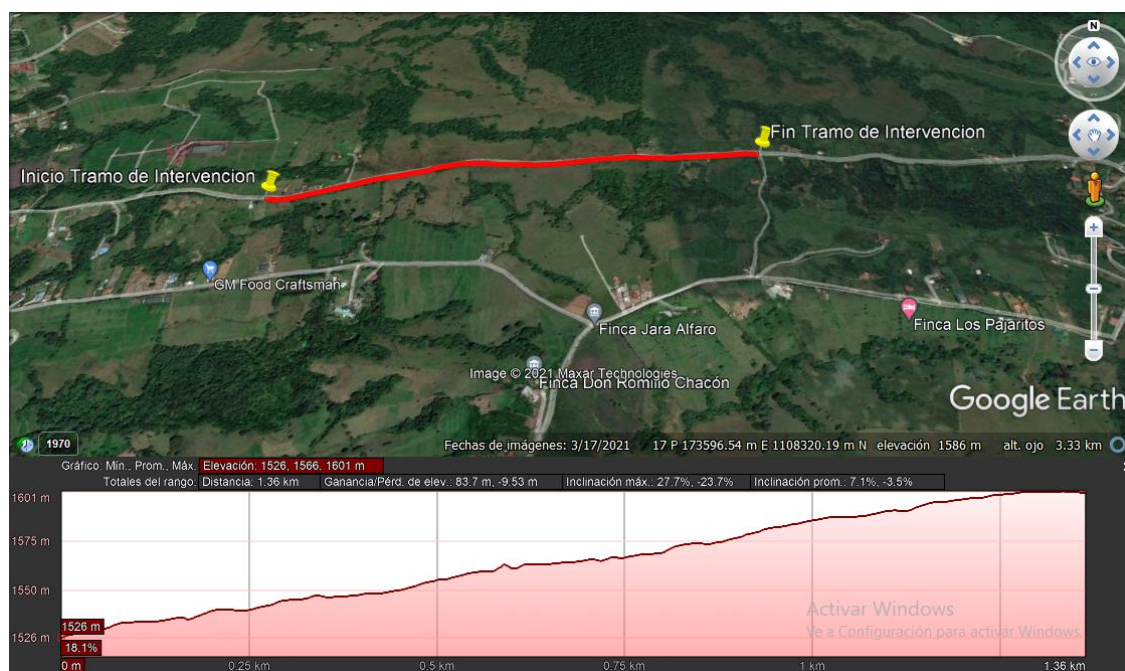
influencia de la red principal, por cuanto mueven el tránsito que se origina en zonas agrícolas y ganaderas importantes, puertos o embarcaderos, centros de educación con significativo movimiento de estudiantes y áreas industriales. Sus volúmenes de tránsito para diseño se ubican entre los 10,000 y 500 vehículos/día.

4.3 Rango de pendientes

Para la determinación del tipo de terreno donde se realizará el proyecto, se debe definir un rango de pendientes. Se dispondrá del diagrama que arroja el *software* Google Earth, el cual arrojará los rangos de pendiente máximo y el promedio de inclinación existente en la zona de estudio. Una vez obtenido este valor, se puede clasificar su topografía, según lo indicado en el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras (2011).

Figura 8

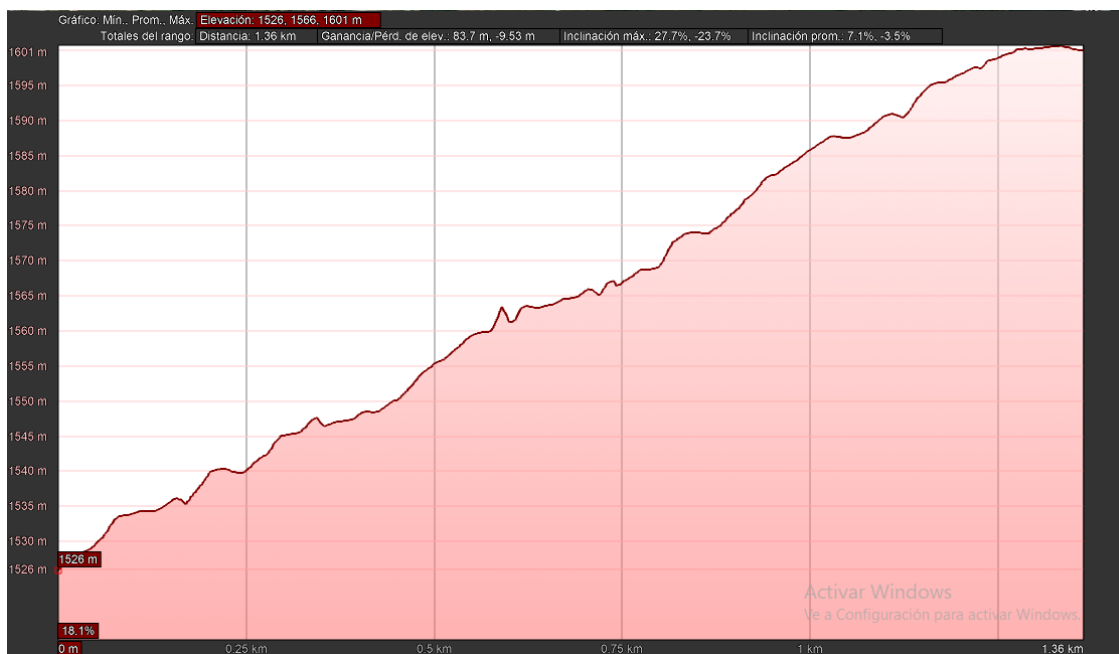
Imagen satelital del área de estudio



Fuente: Elaboración propia.

Figura 9

Perfil de elevación del área de estudio



Fuente: Elaboración propia.

El terreno en su punto inicial tiene una elevación de 1526 m.s.n.m y en su punto final de 1600 m.s.n.m. Según el perfil de elevación de la figura anterior y los datos recogidos del *software*, se establece como que el sitio tiene una pendiente máxima de 27,7 % y una pendiente promedio de 7,1 %.

4.4 Clasificación de las carreteras según su tipología de terreno

Para seleccionar el tipo de terreno, se clasifica, según el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras Regionales (2011), la clase de terreno donde se realiza el proyecto. Para definir el tipo de terreno presente en el sitio, el Manual nos ofrece unos parámetros en función a la pendiente de la zona tal que:

Tabla 28*Clasificación del terreno*

Tipo de terreno	Rango de pendientes P (%)
Llano o plano	$P \leq 5$
Ondulado	$5 > P \leq 15$
Montañoso	$15 > P \geq 30$

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras, 2011.

Teniendo presente que la zona de intervención presenta una topografía con una inclinación del 7,1 % se clasifica el terreno como ondulado.

4.5 Nivel de servicio

Para establecer el nivel de servicio que presentará la carretera en función de su topografía y clasificación funcional, se utilizará como referencia el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras (2011). Es importante mencionar que este Manual establece que las carreteras de la red vial sean diseñadas para el nivel de servicio D, con la excepción de las autopistas que deben limitarse al nivel de servicio C. Ante todo, y cualquier recomendación, registrará el resultado sacado por tablas.

Tabla 29*Nivel de servicio de carreteras*

Nivel de servicio	Descripción
A	Flujo libre de vehículos, bajos volúmenes de tránsito y relativamente altas velocidades de operación (90 km/h o más).
B	Flujo libre razonable, pero la velocidad empieza a ser restringida por las condiciones del tránsito (80 km/h).
C	Se mantiene en zona estable, pero muchos conductores empiezan a sentir restricciones en su libertad para seleccionar su propia velocidad (70 km/h).
D	Acercándose a flujo inestable, los conductores tienen poca libertad para maniobrar. La velocidad se mantiene alrededor de 60 km/h.
E	Flujo inestable, suceden pequeños embotellamientos. La velocidad cae hasta 40 km/h.
F	Flujo forzado, condiciones de “pare y siga”, congestión de tránsito.

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras, 2011.

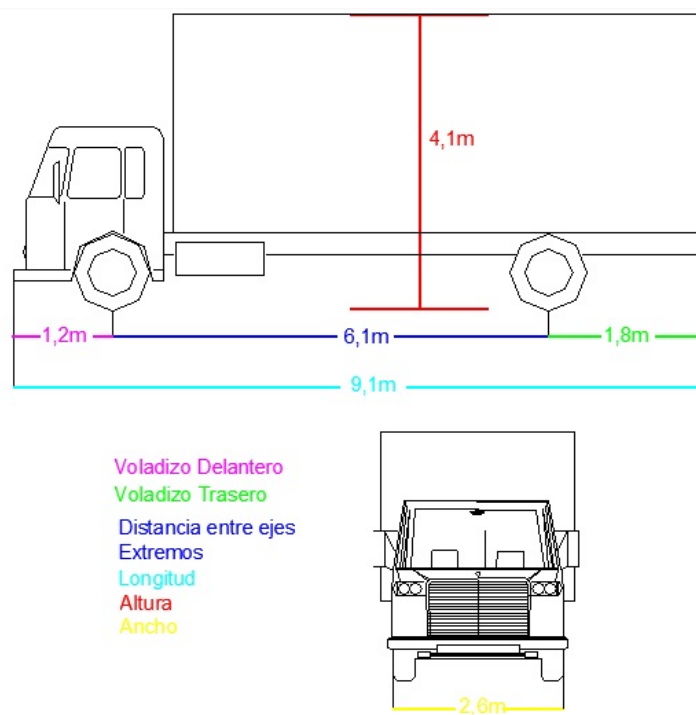
Tabla 30*Guía para seleccionar el nivel de servicio para diseño*

Tipo de carretera	Tipo de área y nivel de servicio apropiado			
	Rural plano	Rural ondulado	Rural montañoso	Urbano y suburbano
Autopista	B	B	C	C
Arterial	B	B	C	C
Colectora	C	C	D	D
Locales	D	D	D	D

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras, 2011.

4.6 Los vehículos de diseño

El vehículo a elegir para el diseño del proyecto será el de tipo WB-15 (cabezal con semirremolque), ya que, según el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico (2011), este tipo de camión puede usarse para el diseño de intersecciones de carreteras colectoras con calles residenciales y carreteras en áreas turísticas.

Figura 10*Vehículo tipo WB-15*

Fuente: Moreno, 2013.

Tabla 31*Dimensiones de los vehículos de diseño*

Vehículos de diseño	Símbolo	Altura	Ancho	Longitud	Voladizo delantero	Voladizo trasero	WB1	WB2
Vehículo liviano	P	1,30	2,10	5,80	0,90	1,50	3,40	
Camión	SU	4,10	2,40	9,20	1,20	1,80	6,10	
Bus	BUS-14	3,70	2,60	12,20	1,80	2,60	7,30	

Bus articulado	A-BUS	3,40	2,60	18,30	3,10	6,70	5,90	
Cabezal con semirremolque	WB-15	4,10	2,60	16,80	0,60	4,50	10,80	
Cabezal con semirremolque	WB-19	4,10	2,60	20,90	0,90	0,60	4,50	10,80
Cabezal con semirremolque	WB-20	4,10	2,60	22,40	1,20	1,40-0,80	6,6	13,20-13,80

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras, 2011.

4.7 Derecho de vía

Para el presente proyecto, el derecho de vía estipulado para municipalidades es de 14 m.

En el siguiente cuadro se muestra cómo se encuentra conformada la sección transversal, según el MOPT.

Tabla 32

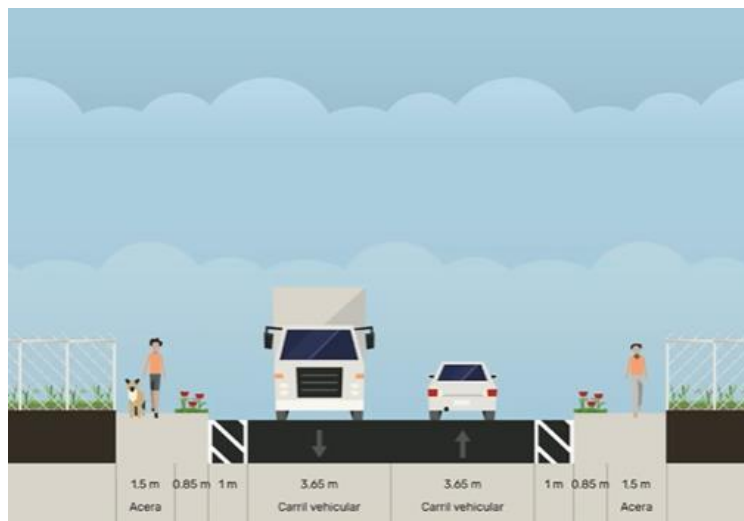
Valores de sección transversal

Derecho de vía	Calzada	Acera	Franjas verdes
14 m	9,30 m	3 m	1,70 m

Fuente: Ministerio de Obras Públicas y Transporte, 2005.

Figura 11

Dimensiones de ancho transversal sugerida



Fuente: Unidad Técnica de Gestión Vial de Vázquez de Coronado, **indicar año.**

4.8 Velocidad de diseño

El Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras (2011) establece los principales parámetros para la velocidad de diseño, debe ser en función del TPDA ya conocido, y la selección de tipología de topografía del terreno.

Tabla 33

Velocidad de diseño en función de los volúmenes de tránsito y la topografía del terreno

Tipo de terreno	Volúmenes de TPDA
-----------------	-------------------

	> 20.000	20.000 – 10.000	10.000 - 3000	3000 - 500
Plano	110	90	80	70
Ondulado	90	80	70	60
Montañoso	70	70	60	50

Fuente: Consejo Sectorial de Ministros de Transporte de Centroamérica, COMITRAN, 2001.

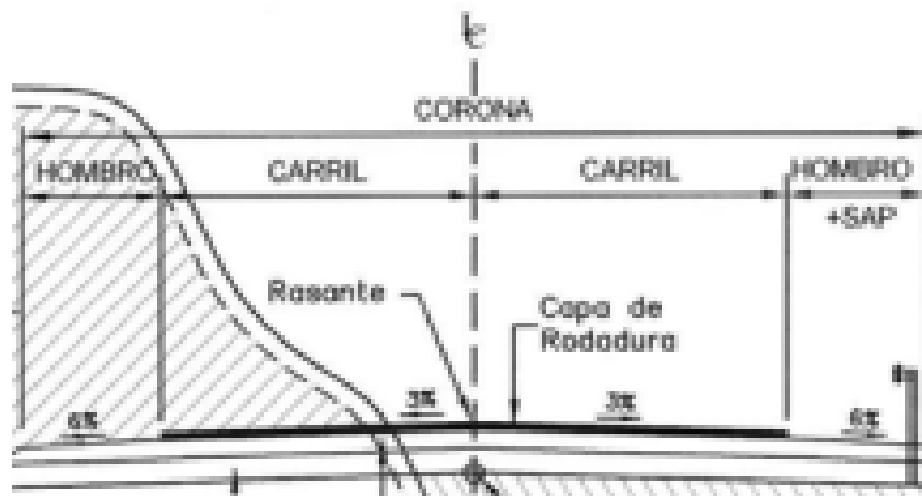
A pesar de todo, el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras (2011) dice que, para carreteras colectoras, el rango de velocidad debe ser de 30 a 80 KPH. Debido a esto, se considerará una velocidad de diseño de 60 KPH.

4.9 Bombeo o pendiente transversal de los carriles

Es la pendiente que se le da a la plataforma en las tangentes del alineamiento horizontal, con el objeto de facilitar el escurrimiento superficial del agua. Para el correcto drenaje del agua pluvial, se estableció un bombeo del 2 % según lo que indica el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras (2011).

Figura 12

Sección transversal típica en tangente



Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras, 2011.

4.10 Radios mínimos

Las pendientes longitudinales, la distancia de visibilidad de parada y los radios de giro se deben cumplir según la velocidad de diseño definida (60km/h) para el tramo de 0+000 hasta 1+356

Tabla 34

Radios mínimos y grados máximos de curvas horizontales

Velocidad de diseño (KPH)	Factor de fricción Máxima	Peralte máximo = 4 %		Grado de curvatura (Degree)
		Calculado Radio (m)	Recomendado	
20	0,35	8,1	8	143°14'
30	0,28	22,1	22	52°05'
40	0,23	46,7	47	24°23'

50	0,19	67,9	86	13°19'
60	0,17	135,0	135	08°29'
70	0,15	203,1	203	05°39'
80	0,14	280,0	280	04°06'
90	0,13	375,2	375	03°03'
100	0,12	492,1	492	02°20'
110				
120				

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras, 2011.

4.11 Distancia de visibilidad de parada

Según la velocidad de diseño estimada para la carretera del proyecto, de 60 km/h en 0+000 hasta 1+320, se procede a seleccionar cuál será la distancia de visibilidad de parada en terreno plano y en partes donde la pendiente sea un poco más prolongada.

Tabla 35*Distancia de visibilidad de parada y decisión en terreno plano*

Velocidad de diseño	Velocidad de marcha	Tiempo de percepción y reacción		Coeficiente de fricción	Distancia de frenado	Distancia de parada para
		Tiempo (s)	Distancia (m)			
30	30 - 30	2,5	20,8 – 20,8	0,40	8,8 – 8,8	30 - 30
40	40 - 40	2,5	27,8 – 27,8	0,38	16,6 – 16,6	45 - 45
50	47 - 50	2,5	32,6 – 34,7	0,35	24,8 – 28,1	57 - 63
60	55 - 60	2,5	38,2 – 41,7	0,33	36,1 – 42,9	74 - 85
70	67 - 70	2,5	43,8 – 48,6	0,31	50,4 – 62,2	94 - 111
80	70 - 80	2,5	48,6 – 55,6	0,30	64,2 – 83,9	113 - 139
90	77 - 90	2,5	53,5 – 62,4	0,30	77,7 – 106,2	131 - 169
100	85 - 100	2,5	59,0 – 69,4	0,29	98,0 - 135,6	157 - 205
110	91 - 110	2,5	63,2 – 76,4	0,28	116,3 - 170	180 - 246

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras Regionales, 2011, 2011.

Tabla 36*Distancia de visibilidad de parada y decisión en pendiente de bajada y subida*

Velocidad de diseño	Distancia de parada en bajadas (m)			Distancia de parada en subidas (m)		
	3 %	6 %	9 %	3 %	6 %	9 %
30	30,4	31,2	32,2	29,0	28,5	28,0
40	45,7	47,5	49,5	43,2	42,1	41,2

50	65,5	68,6	72,6	55,5	53,8	52,4
60	88,9	94,2	100,8	71,3	68,7	66,6
70	117,5	125,8	136,3	89,7	85,9	82,8
80	148,8	160,5	175,5	107,1	102,2	98,1
90	180,6	195,4	214,4	124,2	118,8	113,4
100	220,8	240,6	256,9	147,9	140,3	133,9
110	267,0	292,9	327,1	168,4	159,1	151,3

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño de Geométrico de Carreteras Regionales, 2011.

Se definió para terreno plano a una velocidad de 60 km/h una distancia de visibilidad de parada de 85 m, en bajada 100 m y en subida 67 m. También se considera la distancia mínima de visibilidad de parada basada en la velocidad como lo dicta la tabla 37, arrojando un factor k de diseño de 18 para 60 km/h.

Tabla 37

Control de diseño para curva vertical (Factor K)

Velocidad de diseño	Distancia de	Tasa de curvatura vertical K	
KPH	visibilidad de parada	Calculada	Para diseño
	(m)		
20	20	2,1	3
30	35	5,1	6
40	50	8,5	9
50	65	12,2	13

60	85	17,3	18
70	105	22,6	23
80	130	29,4	30
90	160	37,6	38
100	185	44,6	45
110	220	54,4	55
120	250	62,8	63

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras, 2011.

4.12 Alineamiento vertical

Para el cálculo de pendientes máximas, se define con base en la tabla (38), en la cual se utiliza como parámetro la velocidad de diseño ya establecida anteriormente de 60 km/h y el tipo de terreno para definir el porcentaje máximo de la pendiente.

Tabla 38

Pendientes máximas y mínimas por tipo de carreteras

Clasificación funcional	Tipo de terreno	Velocidad de diseño (km/h) y pendiente máxima (%)						Pendiente mínima (%)
		32	48	64	80	96	112	
AR	Plano	-	-	-	4	3	3	0,5 con
Autopistas	Ondulado	-	-	-	5	4	4	predominio
Regionales	Montañoso	-	-	-	6	6	5	del drenaje
	Plano	-	8	7	6	5	-	
	Ondulado	-	9	8	7	6	-	

TS	Montañoso	-	11	10	9	8	-	0,5 con
Troncales								predominio
Suburbanas								del drenaje
TR Trocales	Plano	-	-	5	4	3	3	0,5 con
Rurales	Ondulado	-	-	6	5	4	4	predominio
	Montañoso	-	-	8	7	6	5	del drenaje
CS	Plano	9	9	9	7	6	5	0,3 – 0,5
Colectoras	Ondulado	12	11	10	8	7	6	
Suburbanas	Montañoso	14	12	12	10	9	7	
CR	Plano	-	7	7	6	5	-	0,5
Colectoras	Ondulado	11	10	9	8	6	-	
Rurales	Montañoso	16	14	12	10	-	-	

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras Regionales, 2011

Según la tabla anterior e interpolando los valores, la pendiente máxima admisible para una velocidad de 60 km/h es de 10,75 %. Este valor permite establecer el límite de inclinación que deberá presentar el alineamiento vertical de la carretera.

4.13 Cálculos para el diseño vertical y horizontal

A continuación, se elabora una tabla con los datos obtenidos y referenciados anteriormente, cuya finalidad es la de obtener una mejor y más ordenada apreciación para el respectivo diseño vertical y horizontal, los mismos obtenidos del Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras.

Tabla 39*Resumen de cálculos para el alineamiento horizontal y vertical*

Resumen de cálculos para el alineamiento vertical y horizontal	
Tránsito Promedio Diario (TPD)	9773 VPD
Clasificación de la carretera	colectora rural
Rango de pendientes	3,5 % - 7,1 %
Tipo de terreno	Ondulado
Nivel de servicio	C
Vehículo de diseño	WB-15
Derecho de vía	14 m
Velocidad de diseño	60 km/h
Pendiente transversal	2 %
Radio mínimo para una velocidad de 60 km/h	135 m
Distancia de visibilidad de parada terreno plano 60 km/h	85 m
Distancia de visibilidad de parada terreno en subida 60 km/h	100 m
Distancia de visibilidad de parada terreno en bajada 60 km/h	67 m

Pendiente máxima (vertical)	10,75 %
Pendiente mínima	0,5 %
Factor K de diseño	18
Velocidad máxima	60 km/h

Fuente: Elaboración propia.

4.14 Trazado de la ruta

Se elabora un trazado del tramo a intervenir en el programa Google Earth, según la zona que se encuentra intransitable actualmente.

Figura 13

Emplazamiento del camino

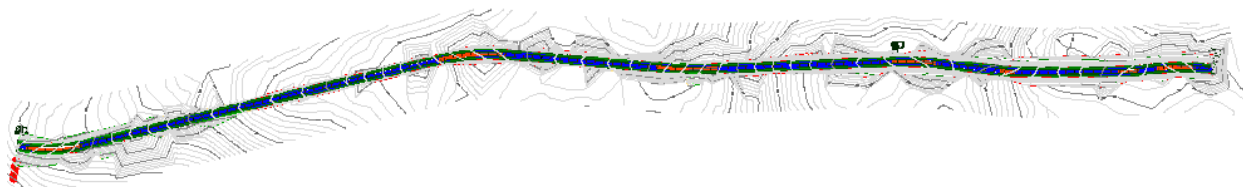


Fuente: Elaboración propia.

Esta demarcación se toma como el trazado de la ruta propuesta para el diseño de la carretera. Se considera el uso del *software* Google Earth Pro, para delimitar e identificar las curvas de nivel, además de la altitud y pendientes en el sitio del proyecto.

Figura 14

Trazado de la ruta



Fuente: Elaboración propia.

El tramo de intervención es actualmente una zona intransitable y de difícil acceso entre las comunidades de Cascajal y Moravia.

4.15 Parámetros de diseño

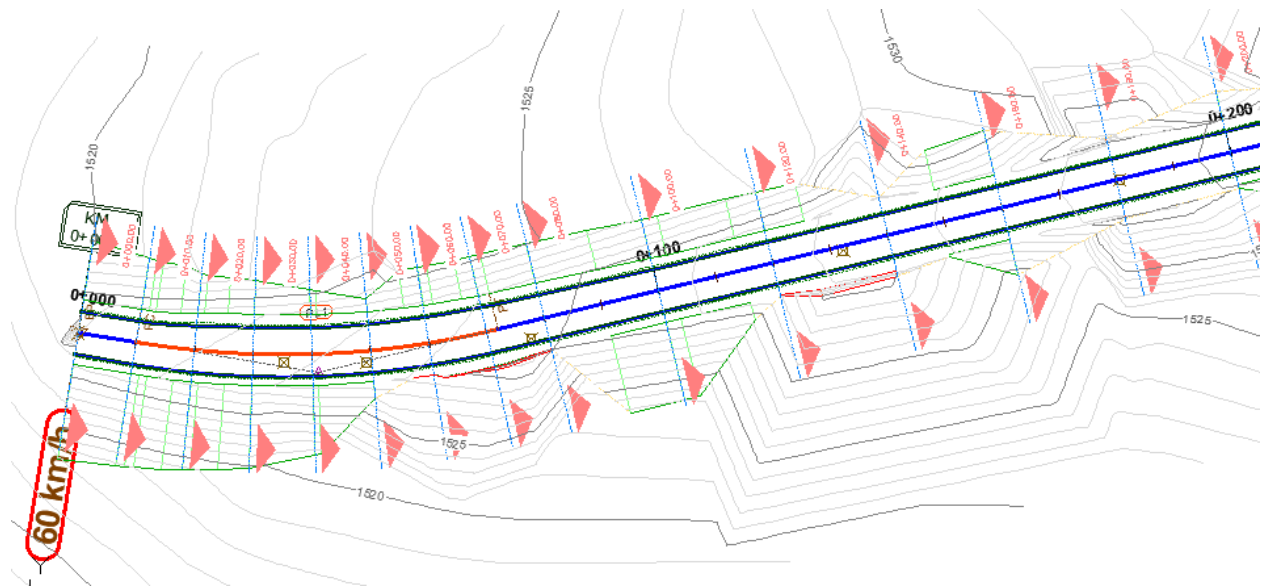
Estableciendo los parámetros de la SIECA (2017), como lo es la velocidad de diseño, radios mínimos, derecho de vía, pendientes máximas, visibilidad de parada, entre otros, se deben referenciar en el *software* a utilizar para el diseño del tramo que en este caso será el Autocad Civil 3D. En el *software* de Google Earth, se recogieron los puntos que forman las curvas de nivel y los del tramo de intervención mediante la utilización de programas SIG, así como la velocidad de diseño para la vía referenciada es 60 km/h, esto debido a que, según la SIECA (2017), la velocidad podía oscilar entre los 30 y 80 km/h. También, se considera el derecho de vía de 14 metros por ser una carretera cantonal, este se configura en el *software* para obtener un diseño óptimo.

4.16 Alineamiento horizontal

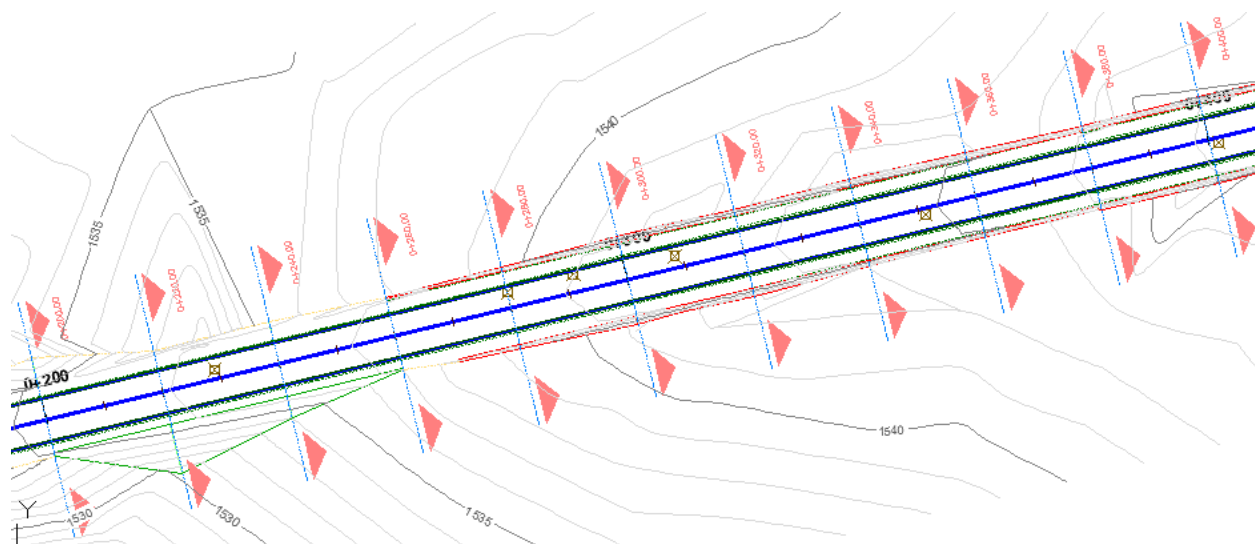
Desde una vista horizontal para su respectivo diseño, el *software* de Autocad Civil 3D es de mucha ayuda, ya que en él van establecidas las medidas de requerimientos mínimos para brindar las estaciones en cada característica del tramo, por ejemplo, en las curvas y en las líneas rectas, fueron establecidas sus respectivas estaciones cada 20 metros en los tramos rectos y cada 10 metros en curvas, donde se indica su propia estación para el pc, mid y pt. El punto inicial del trazado es en la estación: 0+000.00m, ubicado donde empieza el camino intransitable sentido Platanares – Cascajal y finalizando 1356 metros después en la estación: 1+355.51. A continuación, se muestran las imágenes de las estaciones detalladas.

Figura 15

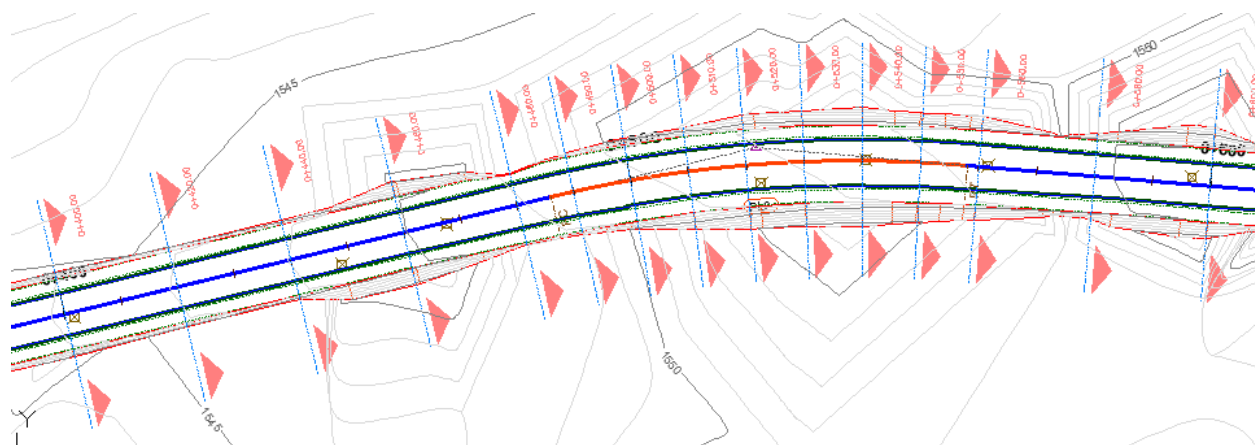
Estaciones 0+000.00 a 0+200.00



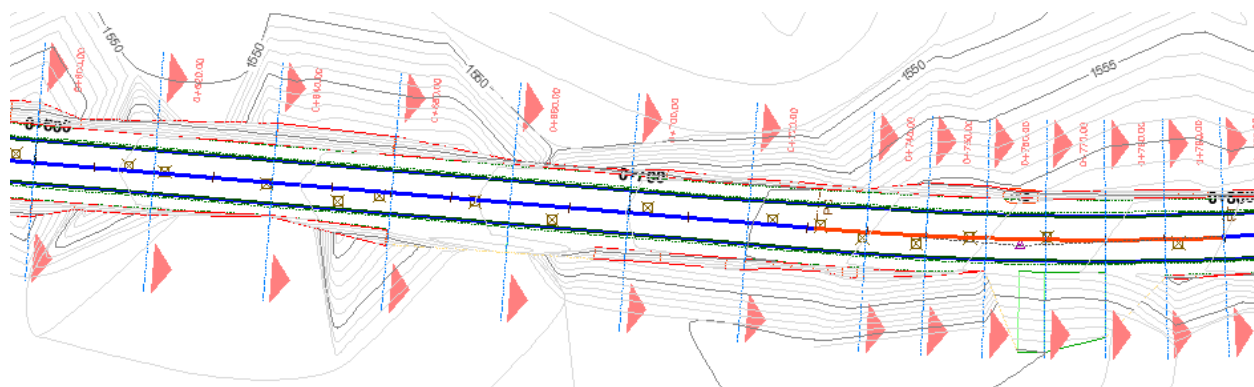
Fuente: Elaboración propia.

Figura 16*Estaciones 0+200.00 a 0+400.00*

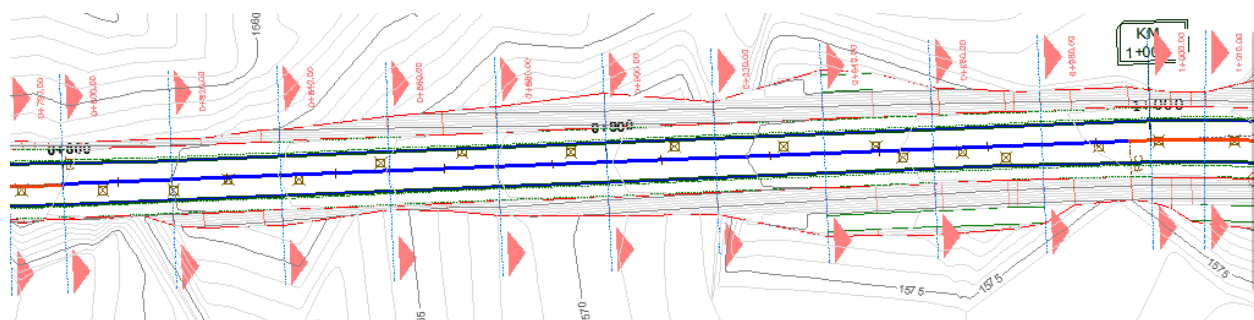
Fuente: Elaboración propia.

Figura 17*Estaciones 0+400.00 a 0+600.00*

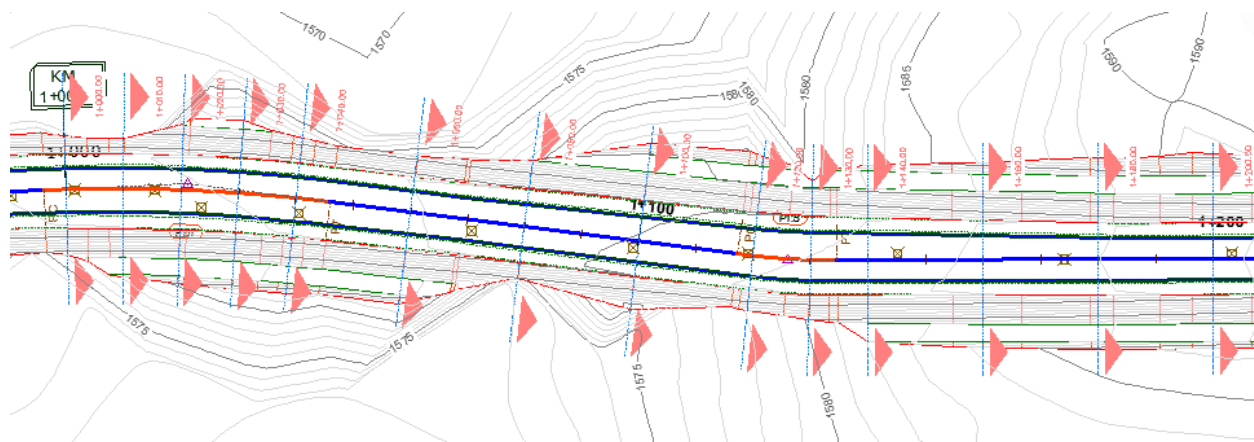
Fuente: Elaboración propia.

Figura 18*Estaciones 0+600.00 a 0+800.00*

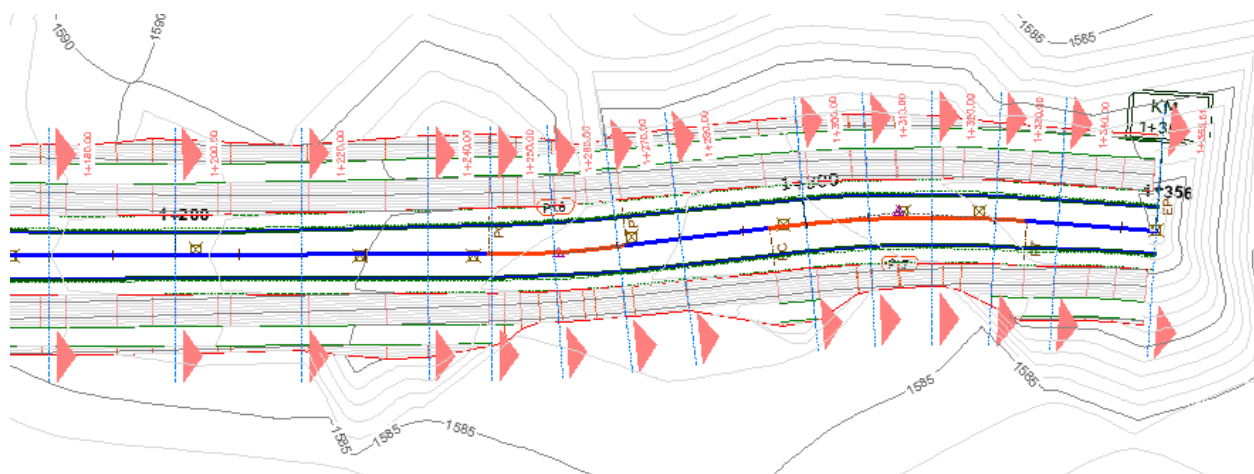
Fuente: Elaboración propia.

Figura 19*Estaciones 0+800.00 a 1+000.00*

Fuente: Elaboración propia.

Figura 20*Estaciones 1+000.00 a 1+200.00*

Fuente: Elaboración propia.

Figura 21*Estaciones 1+200.00 a 1+355.51*

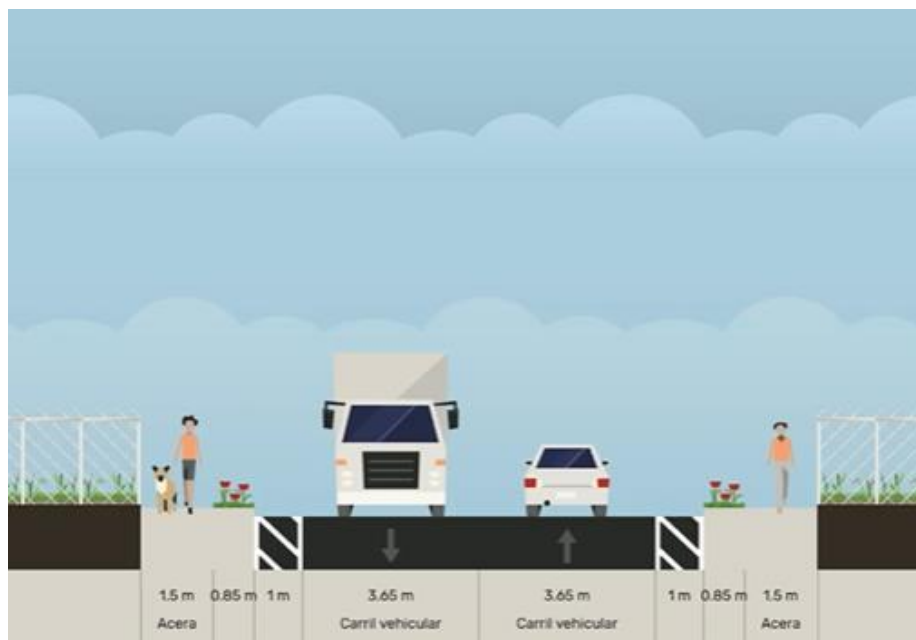
Fuente: Elaboración propia.

Figura 22*Tabla de resumen de resultados*

No.	Type	Tangency Constraint	Parameter C...	Length	Radius	Design Speed	Start Station	End Station	Delta angle	External Tangent	PI Station
1	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	9.984m		60 km/h	0+000.00m	0+009.98m			
2	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	61.971m	155.000m	60 km/h	0+009.98m	0+071.95m	22.9075 (d)	31.405m	0+041.39m
3	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	414.021m		60 km/h	0+071.95m	0+485.98m			
4	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	72.093m	225.000m	60 km/h	0+485.98m	0+558.07m	18.3583 (d)	36.358m	0+522.33m
5	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	173.462m		60 km/h	0+558.07m	0+731.53m			
6	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	68.425m	549.301m	60 km/h	0+731.53m	0+799.96m	7.1372 (d)	34.257m	0+765.79m
7	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	196.225m		60 km/h	0+799.96m	0+996.18m			
8	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	49.835m	300.000m	60 km/h	0+996.18m	1+046.01m	9.5177 (d)	24.975m	1+021.15m
9	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	71.324m		60 km/h	1+046.01m	1+117.34m			
10	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	17.352m	135.000m	60 km/h	1+117.34m	1+134.69m	7.3642 (d)	8.688m	1+126.03m
11	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	114.981m		60 km/h	1+134.69m	1+249.67m			
12	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	21.786m	182.052m	60 km/h	1+249.67m	1+271.46m	6.8566 (d)	10.906m	1+260.58m
13	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	22.884m		60 km/h	1+271.46m	1+294.34m			
14	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	40.782m	210.000m	60 km/h	1+294.34m	1+335.12m	11.1269 (d)	20.455m	1+314.80m
15	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	20.390m		60 km/h	1+335.12m	1+355.51m			

Fuente: Elaboración propia.

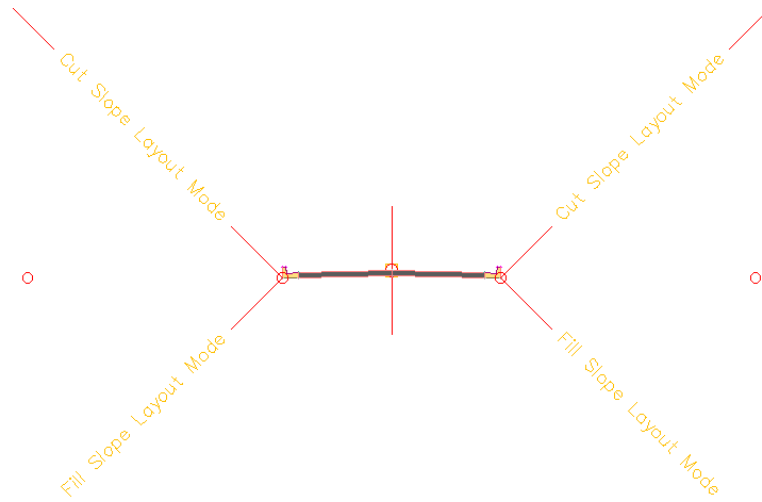
El derecho de vía mencionado anteriormente, más el valor de la pendiente transversal ya definidos, se establecen en el *software* de Autocad Civil 3D, según como se muestra en la figura 23.

Figura 23*Dimensiones de los componentes del derecho de vía*

Fuente: Unidad Técnica de Gestión Vial de Vázquez de Coronado, 2021.

Figura 24

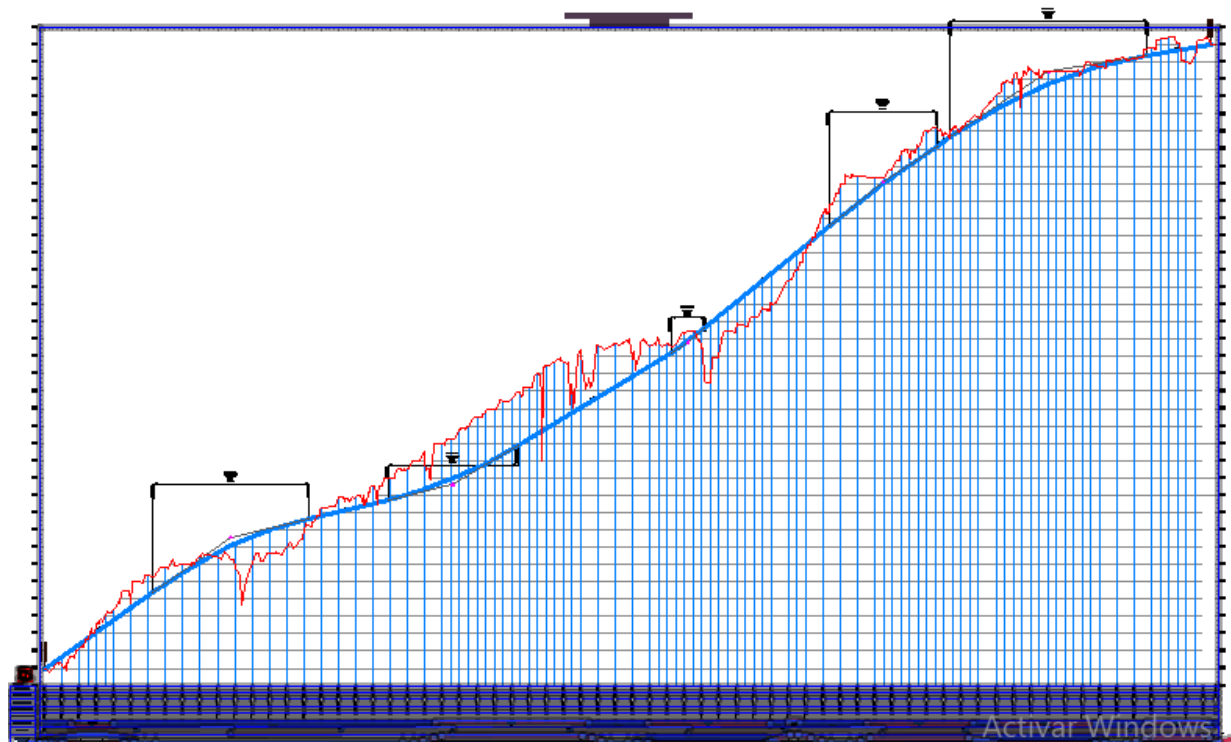
Sección transversal de la calle



Fuente: Elaboración propia.

4.17 Alineamiento vertical

Se basa en el diseño horizontal, con su respectivo eje de acceso, y las estaciones como se muestra en la siguiente imagen, esto para tomar con la tabla de curvas horizontales la base para crear un perfil longitudinal de acceso.

Figura 25*Perfil longitudinal de la sección*

Fuente: Elaboración propia.

Creando el perfil longitudinal de acceso, se muestran las pendientes naturales en el terreno, con dicho perfil se crea la línea rasante mediante un trazado, donde se muestra las pendientes en porcentajes del tramo, con base en la ubicación de la estación respectiva.

Figura 26*Resumen de resultados*

No.	PVI Station	PVI Elevation	Grade In	Grade Out	A (Grade Change)	Profile Curve Type	Sub-Entity Type	Profile Curve Length	K Value	Curve Radius
1	0+000.00m	1526.000m		7.04%						
2	0+215.75m	1541.179m	7.04%	2.35%	4.69%	Crest	Symmetric Parabola	179.999m	38.400	3840.000m
3	0+472.14m	1547.199m	2.35%	6.06%	3.71%	Sag	Symmetric Parabola	150.032m	40.400	4040.000m
4	0+743.94m	1563.674m	6.06%	8.21%	2.15%	Sag	Symmetric Parabola	38.642m	18.000	1800.000m
5	0+969.60m	1582.197m	8.21%	6.61%	1.59%	Crest	Symmetric Parabola	124.871m	78.300	7830.000m
6	1+161.27m	1594.873m	6.61%	1.67%	4.94%	Crest	Symmetric Parabola	227.457m	46.000	4600.000m
7	1+348.61m	1598.000m	1.67%							

Fuente: Elaboración propia.

Según los valores arrojados por el *software* Autocad Civil 3D en la tabla anteriormente referenciada, estos cumplen con las normas para un diseño óptimo.

4.18 Señalización

Las señalizaciones encargadas de informar al usuario sobre las regulaciones existentes en la vía serán de manera horizontal y vertical. La normativa oficial establecida por la SIECA, en el Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control del Tránsito, que rige para Costa Rica, establece para los parámetros regulatorios:

- Ubicación en el sitio.
- Función específica que realiza la señal de tránsito.
- Justificación de su uso.
- Código según el tipo de señal.
- Simbología.
- Color de la rotulación.

4.18.1 Señalización vertical

Las señales verticales encargadas de indicar la reglamentación que se debe respetar, informando de alguna actividad o condición física de la carretera, se seleccionaron de acuerdo con las condiciones presentes en el sitio y al alineamiento geométrico propuesto. El tramo de Cascajal – Moravia se sustentó por el Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control de Tránsito (2000).

Tabla 40*Señalización vertical a emplear*

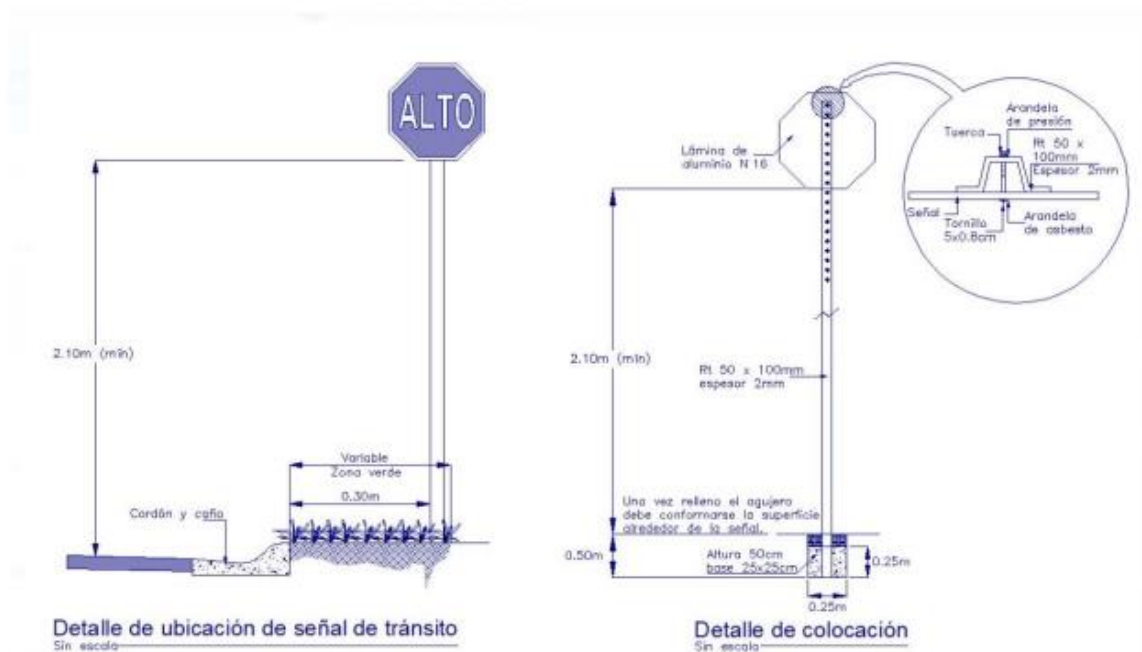
Característica de la carretera	Señal vertical	Función
Velocidad de ruedo	Velocidad máxima los cuales se indicarán en múltiplos de 5 kilómetros por hora. En este caso el proyecto contara con límites de velocidad de 40 km/h.	Se utilizará para notificar a los conductores el valor de la velocidad máxima a la cual deberán circular los vehículos, de conformidad con los límites de velocidad establecidos.
Características físicas de la carretera	Advertencia de curvas.	Se usa para advertir a los conductores la proximidad de una curva, o sucesión de curvas, que ofrezca peligro por sus características físicas o por falta de visibilidad.
Señales de semovientes y otros animales o equipos en la vía	Advertencia de semovientes en la vía	Se usa para advertir a los conductores la proximidad de una zona pecuaria donde existe la posibilidad de encontrar ganado o similar y maquinaria agropecuaria.

Fuente: Martínez, 2020.

A continuación, se muestra la manera en la que se deben colocar las señales verticales.

Figura 27

Detalle constructivo de señalización vertical



Fuente: Ministerio de Obras Públicas y Transporte, 2005.

4.18.2 Señalización horizontal

Basado en las características que se presentan en la vía del proyecto, se establece la rotulación horizontal para este de la siguiente manera:

Tabla 41*Señalización horizontal a emplear*

Característica de la carretera	Señal horizontal	Función
Dos carriles (uno por sentido de circulación)	Dos líneas amarillas continuas.	Prohibir el adelantamiento de vehículos durante el recorrido.
Línea central de la carretera	Capta luces reflectoras	Usados para servir de guía a los vehículos acompañando otras líneas longitudinales como lo es el trazado de línea de centro de toda la carretera, determinando el ancho del carril respecto a los costados.
Bordes de la carretera	Una línea blanca continua de no menos de 5 cm ni más de 10 cm de ancho	Marcar de manera visible el borde de la carretera donde limita su ancho de carril para circular.
Borde de la carretera	Capta luces reflectoras	Usados para servir de guía a los vehículos acompañando otras líneas longitudinales como lo es el trazado de la línea del costado de toda la carretera, determinando el

		ancho del carril respecto a la línea de centro.
Velocidad de ruedo	Palabras o símbolos de color blanco, donde usaran letras y cifras de dimensiones, 2.40 m de largo para velocidades de 40 km/h	Usado con el fin de guiar o advertir al tránsito.

Fuente: Martínez, 2020.

4.19 Periodo de diseño

El número de años o vida útil del pavimento para este proyecto, el cual pretende alcanzar un mínimo de serviciabilidad, se obtiene de los parámetros sugeridos en el Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos (2002).

Tabla 42

Periodos de Diseño

Tipo de carretera	Periodo de diseño
Autopista regional	20 – 40 años
Troncales suburbanas	15 - 30 años
Troncales rurales	
Colectoras suburbanas	10 – 20 años
Colectoras rurales	

Fuente. Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos, 2002.

De acuerdo con la clasificación que se había asignado a la carretera, se estima que el periodo de diseño será la media entre los valores límite para las calles colectoras rurales, por lo que se toma un periodo de diseño de 15 años.

4.20 Factor camión Tf

Para obtener el factor camión correspondiente al proyecto, se considera la directriz del MOPT (1995), el de la tabla 43, donde se utilizaron los valores máximos de cada vehículo.

Tabla 43

Valores respectivos al factor camión para cada vehículo

Vehículo	Factor camión		
	Mínimo	Máximo	Promedio
Pick-up	0,01	0,02	0,01
C2 - eje simple trasero	0,01	0,07	0,26
C2 - eje tandem trasero	0,26	0,63	0,47
C3	0,99	1,28	1,10
Bus	1,25	2,29	1,71
T3 – s2	1,51	2,38	1,71

Fuente: Ministerio de Obras Públicas y Transporte, 1995.

4.21 Factor de distribución direccional DS

Se utiliza un 50 % según lo estipula la tabla de AASTHO, sumado a las características que presenta el diseño estipulado anteriormente de 2 carriles, uno en cada sentido de dirección para este proyecto.

Tabla 44

Factor de distribución por dirección

Número de carriles en ambas direcciones	LD
2	50
4	45
6 o más	40

Fuente: Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos

4.22 Distribución por carril

Basado en la tabla 45, se selecciona un LC de 1.00, esto por ser solo un carril en cada dirección.

Tabla 45

Factor de distribución por carril

Número de carriles en una sola dirección	LC
1	1,00
2	0,80 – 1,00
3	0,60 – 0,80
4	0,50 – 0,75

Fuente: Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos

4.23 Factor de crecimiento cantidad de vehículos G

Para determinar el factor de crecimiento que se debe emplear en la fórmula de ESALS, se utiliza una ecuación de AASHTO 93, la cual es:

$$G = \frac{1}{2} [1 + (1+r)^Y]$$

Ecuación 42 Factor de crecimiento

Donde se estima un valor para $r = 4,65 \%$, que fue establecido en el Anuario del tránsito del MOPT 2015 para las rutas cercanas al estudio, y un valor de $y = 15$ años, que fue establecido en el Manual Centroamericano de Diseño de Pavimentos. Con estos datos, se obtiene un valor de (G) igual a 1,70.

4.24 Ejes Equivalentes ESALs

El proceso de los ejes equivalentes para el diseño se establece mediante la siguiente ecuación:

$$ESAL = (TPD_0) * T * T_f * D_s * LDF * 365 * G * Y$$

Ecuación 43 ESALs de diseño

Para los valores de T , se tomarán los estimados para el año 2021, según el crecimiento de la zona. Los valores utilizados se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 46*TPDA estimado para el 2021*

Año	Razón de crecimiento anual	TPDA	Liviano	Carga liviana	Bus	C2E	C3E	C4E	C5E	C6E
			74,33 %	16,46 %	5,46 %	2,83 %	0,81 %	0,04 %	0,04 %	0,02 %
2021	4,65 %	9773	7265	1609	534	278	80	4	4	3

Fuente: Elaboración propia.

Una vez actualizado el tránsito de la zona a intervenir, se necesita convertir estos datos a una unidad de equivalencia, para ello, se emplea el Factor Camión que tanto el MOPT como el Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LANAMME) nos ofrecen en tablas de ejes equivalente para cada tipo de vehículo, con lo cual se tiene que:

Tabla 47*Factores camión de diseño*

Vehículo	Liviano	Pickup	C2	Bus C2	C2+	C3	C4	T3-S2	T3-S3
<i>Tf</i>	0,005	0,013	0,400	2,734	0,107	1,414	1,193	2,098	2,230

Fuente: LANAMME, 2019.

Luego de haber determinado, con base en un informe realizado por el LANAMME (2019), el TF para cada tipo de vehículo, y teniendo los datos de G, Y, DS y LFD, se procede a calcular el número de ESALs de diseño, entonces:

Figura 28

Tabla para el cálculo de ESALs de diseño

Año	TPDA	Clasificación Vehicular							
		Liviano	Pickup	Bus C2	C2	C3	C4	T3-S2	T3-S3
2021	9773	74,33%	16,46%	5,46%	2,83%	0,81%	0,04%	0,04%	0,02%
		7265	1609	534	278	80	4	4	3
	Factor Camion	0,005	0,013	2,734	0,400	1,414	1,193	2,098	2,230
	ESALs Diarios por Vehículo	36,33	20,92	1459,96	111,20	113,12	4,77	8,39	6,69
	ESALs Totales Diarios	1761,37							
	DS	0,5							
	LFD	1							
	G	1,70							
	Y	15							
	ESALs de Diseño	8 196 984,95							

Fuente: Elaboración propia.

Utilizando los parámetros dados por AASHTO-93, se obtiene un total de 8.196.984,95 ESALs para el diseño de la superficie de pavimento.

4.25 Nivel de confiabilidad (R) y Desviación estándar normal Z

Para establecer el factor de confiabilidad (R) se utilizaron los parámetros establecidos por la AASHTO-93. Para tomar el valor indicado en la tabla, se identificó la función y la importancia de la vía, como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 48

Niveles de confiabilidad R en función del tipo de carretera

Tipo de carretera	Niveles de confiabilidad R	
	Suburbanas	Rurales
Autopista }gional	85 - 99,9	80 – 99,9
Troncales	80 - 99	75 - 95

Colectoras	80 - 95	50 - 80
------------	---------	---------

Fuente: AASHTO-93, 1993.

Para este estudio, la ruta se identificó como carretera colectoras, ubicada en un sector rural. El nivel de confiabilidad (R) que se muestra en la tabla, según los datos indicados es de entre el 50 % y el 80 %, por lo que se tomó el valor máximo de 80 %. La desviación estándar con una confiabilidad del 80 % corresponde a $Z_R = 0.842$, según la tabla 49.

Tabla 49

Desviación estándar según R

Confiabilidad R	Desviación estándar normal, Z
50 %	0.000
60 %	-0,253
70 %	-0,524
75 %	-0,674
80 %	-0,842
85 %	-1,036
90 %	-1,282
91 %	-1,341
92 %	-1,405
93 %	-1,476
94 %	-1,555
95 %	-1,645
96 %	-1,751

97 %	-1,881
98 %	-2,054
99 %	-2,326
99,90 %	-3,090
99,99 %	-3,719

Fuente: AASHTO-93, 1993.

4.26 Desviación Estándar del Sistema (S_o)

Este parámetro, según el método AASHTO (1993), se define como desviación estándar del sistema, debido a errores de proyección del tránsito y al desempeño del pavimento. El rango de valores que toma este parámetro está definido en dos formas, dependiendo si se considera o no las variaciones del tránsito a futuro, de la siguiente manera:

Cuando se considera que la variación en el tránsito futuro será considerable:

- $S_o = 0.39$ pavimentos rígidos
- $S_o = 0.49$ pavimentos flexibles

Cuando se considera que la variación en el tránsito futuro no es considerable:

- $S_o = 0.34$ pavimentos rígidos
- $S_o = 0.44$ pavimentos flexibles

Como el pavimento que se diseñará será flexible y como se estimó que idealmente el tránsito creció de forma lineal hasta el 2021, lo que puede haber variado considerablemente, se asume un valor para S_o de 0,49.

4.27 Índice de serviciabilidad

Según el método de la AASHTO-93 (1993), se establece un índice de serviciabilidad que permite determinar el grado de calidad del pavimento. Existe un índice de serviciabilidad inicial (p_o), que indica el estado del pavimento recién construido, donde el valor para un pavimento excelente corresponde a 5, el cual es muy difícil de obtener en condiciones normales de construcción.

El valor establecido, según los experimentos viales realizados por la AASHTO (1993), corresponde a un valor para pavimento flexible en óptimas condiciones de construcción de 4,2 como máximo. Asimismo, existe un índice de serviciabilidad final (p_t) para pavimentos, que indica el nivel más bajo tolerable para los usuarios antes de que sea necesaria la rehabilitación, reconstrucción o repavimentación de un pavimento flexible. Para seleccionar este índice (p_t), se utilizan los siguientes rangos:

Serviciabilidad inicial:

- $p_o = 4.5$ para pavimentos rígidos
- $p_o = 4.2$ para pavimentos flexibles

Serviciabilidad final:

- $p_t = 2.5$ o más para caminos muy importantes
- $p_t = 2.0$ para caminos de menor tránsito

Para efectos del presente trabajo, se consideró la ruta como una colectora de intensidad de tráfico normal, por lo que se escogió un valor (p_t) = 2,0. La serviciabilidad (ΔPSI) se describe con la siguiente ecuación:

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

4.28 Módulo resiliente

El módulo resiliente se refiere a la capacidad para soportar carga, que tiene cada una de las distintas capas que componen la estructura de la carretera.

4.28.1 Módulo resiliente subrasante

Para el estudio realizado en la zona, se tomaron los valores de CBR de la subrasante basado en datos recolectados por Castro y de la Torre en puntos cercanos al sitio de intervención, específicamente en el distrito de San Isidro sobre la ruta 216. Con la clasificación del tipo de suelo de la subrasante obtenido a partir de muestras tomadas, se pudo determinar que el CBR de la zona del proyecto, en promedio, se puede aproximar a un valor de 3,8.

A través de la siguiente ecuación, se logra relacionar el valor del CBR y su correspondiente capacidad en psi, y así obtener el valor de módulo resiliente de la subrasante.

$$Mr = 1500 (CBR)$$

Ecuación 44 Modulo Resiliente para Subrasante

Reemplazando el valor del CBR en la ecuación, se pudo calcular que el módulo resiliente para la subrasante es aproximadamente de $Mr = 5700$ PSI.

4.28.2 Módulo resiliente capa de subbase

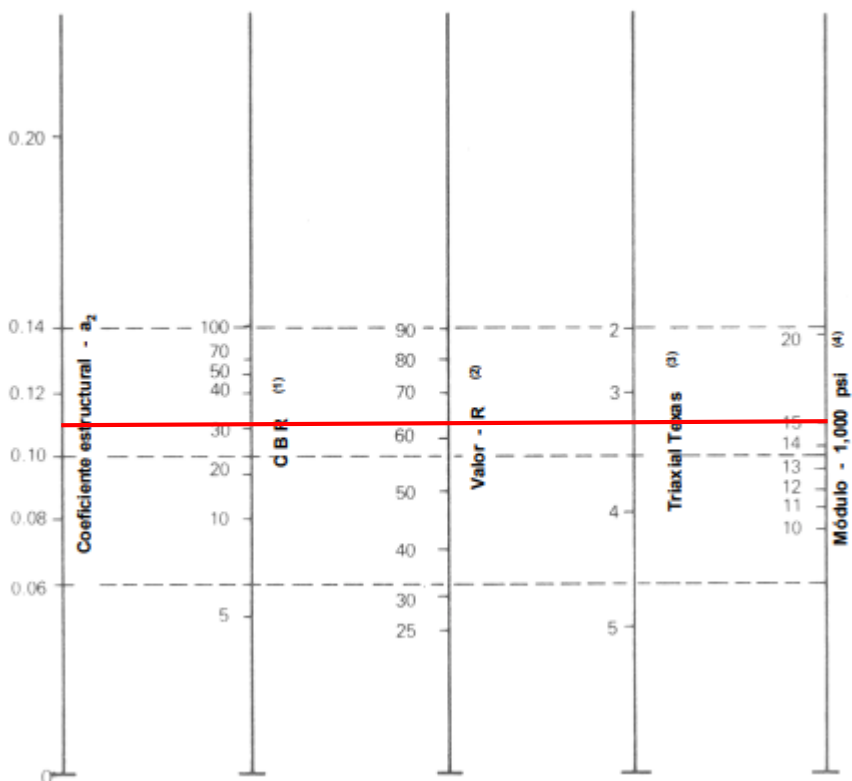
Con respecto al material que se consideró para elaborar el diseño de la subbase, se tomó lo que menciona el Manual de Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras, Caminos y Puentes (2010) en su apartado de condiciones mínimas que deben cumplir los materiales, mencionando que:

- CBR 30 mín.
- Índice de plasticidad entre 4 y 10.

- Límite líquido máx. 35.
- Compactación 95 %, según AASHTO T180

Figura 29

Variación en el coeficiente estructural de la capa de subbase



Fuente: Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos, 2002.

Utilizando la figura anterior, con el valor de CBR propuesto, se obtiene un módulo resiliente para el material granular de subbase de $M_r = 15.000 \text{ PSI}$

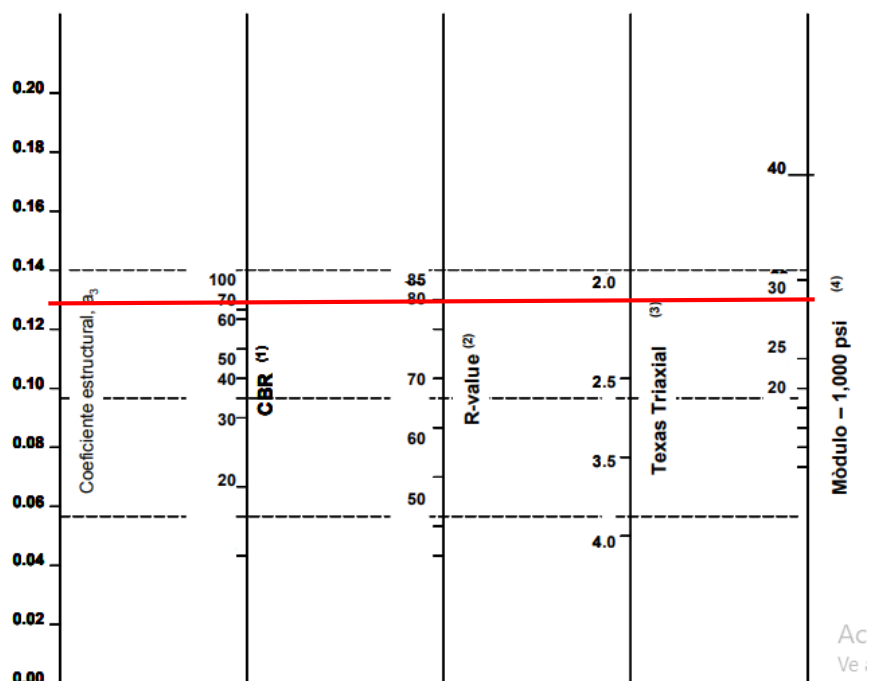
4.28.3 Módulo resiliente capa de base

Para el material a utilizar en esta la capa base, también se consideró lo que menciona el Manual de Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras, Caminos y Puentes (2010) en su apartado de condiciones mínimas que deben cumplir los materiales, definiendo que:

- CBR 80 mín.
- Compactación 95 %, según AASHTO T180
- Límite líquido máx. 35
- Índice de plasticidad entre 4 y 9
- Cumplir AASHTO M147

Figura 30

Variación en el coeficiente estructural de la capa de base



Fuente: Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos, 2002.

Utilizando la figura anterior, con el valor de CBR propuesto se obtiene un módulo resiliente para el material granular de base de $M_r = 29.000$ PSI

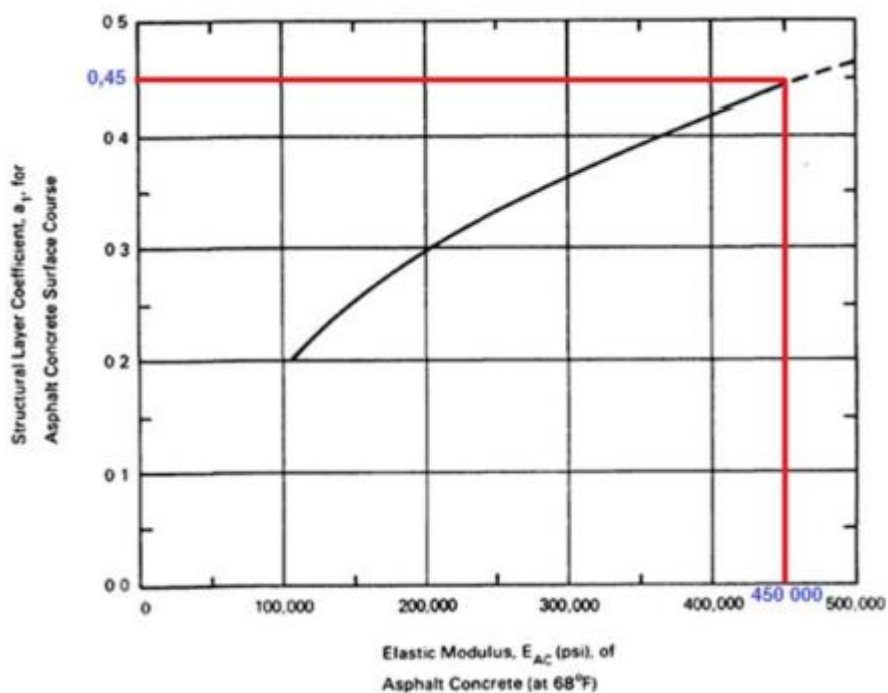
4.29 Coeficiente de aporte estructural

4.29.1 Mezcla asfáltica

De la figura 31, se obtiene el coeficiente de aporte estructural. Se hace una proyección sobre la curva, utilizando un estimado del módulo de elasticidad de 450 000 psi, debido a que, para valores mayores, se pueden presentar fallas térmicas o por fatiga y se obtuvo del gráfico un $a_1 = 0.45$.

Figura 31

Módulo resiliente y coeficiente estructural para el material de asfalto



Fuente: Rodríguez, 2017.

4.29.2 *Material de la base*

De la misma figura 30, se obtiene el coeficiente de aporte estructural, que, en este caso, es de un $a_2 = 0.13$.

4.29.3 *Material de la subbase*

De la figura 29, se obtiene el coeficiente de aporte estructural que, en este caso, es de $a_3 = 0.11$.

4.30 **Calidad de drenaje**

Para obtener los coeficientes de drenaje, m_2 y m_3 , correspondientes a las capas de base y subbase respectivamente, el método actual de AASHTO se basa en la capacidad del drenaje para remover la humedad interna del pavimento y para ello define lo siguiente:

Tabla 50

Calidad del drenaje

Calidad de drenaje	Agua removida en:
Excelente	2 horas
Bueno	1 día
Regular	1 semana
Pobre	1 mes
Malo	Agua no removida

Fuente: Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos, 2002.

Se presentan los valores recomendados para m_2 y m_3 (bases y subbases granulares sin estabilizar) en función de la calidad del drenaje y el porcentaje del tiempo a lo largo de un año, en

el cual la estructura del pavimento pueda estar expuesta a niveles de humedad próximos a la saturación, como se muestra a continuación:

Tabla 51

Factores recomendados según la calidad de drenaje

Calidad del drenaje	Porcentaje de tiempo al cual está expuesta la estructura del pavimento a niveles de humedad próxima a la saturación			
	Menor del 1 %	1 – 5 %	5 – 25 %	Mayor del 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: Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos, 2002.

En el caso del asfalto, se asume un factor $m_1 = 1$, ya que en las condiciones óptimas el asfalto debe considerarse como impermeable. Para los valores de m_2 y m_3 , se utiliza el valor de 1, ya que el proyecto se ubica en el rango de humedad próxima a la saturación más del 25 % del año y se asume una capacidad buena, con un tiempo de drenaje de un día.

4.31 Utilización del software AASHTO-93

Para realizar los cálculos establecidos por el método AASHTO-93, se deben utilizar generalmente ábacos, en los cuales las escalas no corresponden debido a que han sido reproducidos o fotocopiados muchas veces a tamaños de acuerdo con la necesidad de cada usuario.

Lo anterior conlleva a la obtención de valores con sesgos importantes en los resultados. De igual manera, se hace ineficiente realizar los cálculos propios del método, por lo que surge la necesidad de emplear algún tipo de herramienta computacional para agilizar dichos cálculos y obtener una mayor precisión.

A través de la utilización de la herramienta computacional elaborada por el Ing. Civil Luis Ricardo Vásquez Varela, la cual fue desarrollada con las fórmulas del método AASHTO-93, se realizaron los cálculos de los números estructurales (SN).

Con todos los valores de las variables obtenidos e indicados anteriormente, se procedió a incluirlos en el *software* obteniéndose los resultados que a continuación se exponen:

Figura 32

Tabla resumen de datos requeridos

Transito ESALs		Variables		Materiales	Modulo (PSI)	Coficiente Estructural
8 196 984,95		R	80%	MAC	450 000	0,45
Calidad de Drenaje		Po	4,2	Base Granular	29 000	0,13
Bueno	1	Pt	2,0	Subbase Granular	15 000	0,11
m1, m2, m3	1	So	0,49	Subrasante	4 500	---

Fuente: Elaboración propia.

Figura 33

Resultados para SN1

The screenshot shows the 'Ecuación AASHTO 93' software interface. The window title is 'Ecuación AASHTO 93'. The interface is divided into several sections:

- Tipo de Pavimento:** Radio buttons for 'Pavimento flexible' (selected) and 'Pavimento rígido'.
- Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So):** A dropdown menu showing '80 % Zr=-0.841' and a text box for 'So' with the value '0.49'.
- Serviciabilidad inicial y final:** Text boxes for 'PSI inicial' (4.2) and 'PSI final' (2.0).
- Módulo resiliente de la subrasante:** Text box for 'Mr' (29000) with the unit 'psi'.
- Información adicional para pavimentos rígidos:** Four empty text boxes for 'Módulo de elasticidad del concreto - Ec (psi)', 'Módulo de rotura del concreto - Sc (psi)', 'Coeficiente de transmisión de carga - (J)', and 'Coeficiente de drenaje - (Cd)'.
- Tipo de Análisis:** Radio buttons for 'Calcular SN' (selected) and 'Calcular W18'. The result 'W18 = 8196985' is displayed next to the selected option.
- Número Estructural:** The result 'SN = 2.69' is displayed in a large text box.

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

Fuente: Elaboración propia.

Con el primer cálculo realizado, se obtiene el valor de $SN1 = 2,69$. Dicho valor se aplica en el diseño del espesor de la capa de asfalto.

Figura 34*Cálculo de espesor de capa MAC*

Metodo AASHTO-93		
SN1	2,69	
a1	0,45	
$D^*1 = SN1/a1$		
D*1	5,98	
D1 AASHTO	3	

Fuente: Elaboración propia.

Con el resultado obtenido de SN1, se calculó el valor de D1, se verifica con el mínimo espesor establecido por la ASSTHO, según la siguiente tabla:

Tabla 52*Espesores mínimos según ESALs*

Tránsito (ESALs) en ejes equivalentes	Carpetas de concreto	
	asfaltico	Bases granulares
Menor de 50.000	1,0 o T.S.	4,0
50.001 – 150.000	2,0	4,0
150.001 – 500.000	2,5	4,0
500.001 – 2.000.000	3,0	6,0
2.000.001 – 7.000.000	3,5	6,0
Mayor de 7.000.000	4,0	6,0

Fuente: AASHTO-93, 2006.

En el estudio, se obtuvo un valor para los ESALs de 8.196.985, por lo que se analiza el rango de mayor de 7.000.000. Se verifica que cumpla el mínimo de 4 pulgadas de espesor para la capa de concreto asfáltico.

Figura 35

*Verificación valor SN*1*

	D1	5,98	
	a1	0,45	
	$SN^*1 = a1 * D1$		
	SN*1 =	2,691	

Fuente: Elaboración propia.

Con la verificación realizada, se calcula el valor de SN*1, por lo que se obtiene un valor para $SN^*1 = 2,69$.

Figura 36

Cálculo de espesor base granular

The screenshot shows the 'Ecuación AASHTO 93' software interface. The window title is 'Ecuación AASHTO 93'. The interface is divided into several sections:

- Tipo de Pavimento:** Radio buttons for 'Pavimento flexible' (selected) and 'Pavimento rígido'.
- Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So):** A dropdown menu showing '80 % Zr=-0.841' and a text box for 'So' with the value '0.49'.
- Serviciabilidad inicial y final:** Text boxes for 'PSI inicial' (4.2) and 'PSI final' (2.0).
- Módulo resiliente de la subrasante:** A text box for 'Mr' with the value '15000' and the unit 'psi'.
- Información adicional para pavimentos rígidos:** Four empty text boxes for 'Módulo de elasticidad del concreto - Ec (psi)', 'Módulo de rotura del concreto - Sc (psi)', 'Coeficiente de transmisión de carga - (J)', and 'Coeficiente de drenaje - (Cd)'.
- Tipo de Análisis:** Radio buttons for 'Calcular SN' (selected) and 'Calcular W18'. The result 'W18 = 8196985' is displayed next to the selected option.
- Número Estructural:** The result 'SN = 3.39' is displayed in a large text box.

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

Fuente: Elaboración propia.

Se procedió a calcular el SN2 con la calculadora, variando únicamente el (Mr) de la base a 15.000 psi, con lo que obtuvo un valor SN2 = 3,39.

Figura 37*Cálculo de espesor capa base*

Metodo AASHTO-93		
SN2	3,39	
SN*1	2,69	
a2	0,13	
m2	1	
$D^*2 = (SN2 - SN^*1) / (a2 * m2)$		
D*2	5,38	
D1 AASHTO	6,0	

Fuente: Elaboración propia.

Utilizando el resultado obtenido de SN2, se calculó el valor de D2. De igual manera, se verifica con el mínimo espesor establecido por la ASSTHO, según la tabla 52. Como el mínimo espesor que establece la tabla es de 6 pulgadas, se procede a utilizar este valor para el espesor de la capa D2.

Figura 38*Verificación valor SN*2*

SN*1	2,69	
SN2	3,39	
$SN^*2 = SN2 - SN^*1$		
SN*2 =	0,7	

Fuente: Elaboración propia.

Con la verificación realizada para $D2 = 6$ pulgadas, se calcula el valor de SN^*2 , por lo que se obtiene un valor para $SN^*2 = 0,7$.

Figura 39

Cálculo de espesor subbase granular

The screenshot shows the 'Ecuación AASHTO 93' software interface. The window title is 'Ecuación AASHTO 93'. The interface is divided into several sections:

- Tipo de Pavimento:** Radio buttons for 'Pavimento flexible' (selected) and 'Pavimento rígido'.
- Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So):** A dropdown menu set to '80 % Zr=-0.841' and a text box for 'So' with the value '0.49'.
- Serviciabilidad inicial y final:** Text boxes for 'PSI inicial' (4.2) and 'PSI final' (2.0).
- Módulo resiliente de la subrasante:** A text box for 'Mr' with the value '5700 psi'.
- Información adicional para pavimentos rígidos:** Four empty text boxes for 'Módulo de elasticidad del concreto - Ec (psi)', 'Módulo de rotura del concreto - Sc (psi)', 'Coeficiente de transmisión de carga - (J)', and 'Coeficiente de drenaje - (Cd)'.
- Tipo de Análisis:** Radio buttons for 'Calcular SN' (selected) and 'Calcular W18'. Below 'Calcular SN' is a text box showing 'W18 = 8196985'.
- Número Estructural:** A text box showing 'SN = 4,67'.

At the bottom of the window are two buttons: 'Calcular' and 'Salir'.

Fuente: Elaboración propia.

Se calculó el $SN3$ con el *software*, variando el (Mr) de la subrasante a 5.700 psi, con lo que obtuvo un valor $SN3 = 4,67$

Figura 40*Cálculo de espesor capa subbase*

Metodo AASHTO-93	
SN3	4,67
SN*2	0,7
SN*1	2,69
a3	0,11
m3	1
$D^*3 = (SN3 - (SN^*2 + SN^*1)) / (a3 * m3)$	
D*3	11,64
D3 AASHTO	6,0

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, con el resultado obtenido de SN3, se calculó el valor de D3. También se verificó con el mínimo espesor establecido por la ASSTHO, según la tabla 52. Como el mínimo espesor que establece la tabla es de 6 pulgadas y el espesor de diseño indica un valor de 11,64 pulgadas, se utiliza este valor y se aproxima a uno constructivo de 12 pulgadas para el espesor de la subbase.

Figura 41

Espesores para propuesta de la ruta



Fuente: Elaboración propia.

4.32 Análisis para el estudio hidrológico

Para el estudio realizado en este proyecto, se recurre a la página del Sistema Nacional de Información Territorial y se accede a la pestaña de “Visor Principal” para visualizar, mediante capas, la red hídrica y la cuenca hidrográfica de la zona de estudio a una escala de 1:34.000. Con base en la información obtenida, se pretende obtener los datos necesarios para calcular la avenida pluvial que se puede presentar en caso de una tormenta de diseño.

Los principales elementos necesarios para realizarlo fueron: límite de la cuenca, afluentes del río hasta el punto de diseño, área tributaria, principales elevaciones, pendientes promedio, longitud del cauce en el tramo más largo, uso del suelo, entre otros. Con los elementos mencionados en el párrafo anterior, se procedió a realizar un estudio para una eventualidad a futuro, que se denominó tormenta de diseño. La tormenta de diseño proyecta varios factores de la cuenca, como: el tiempo de concentración, el periodo de retorno, intensidad de lluvia y coeficiente

de escorrentía. Estos factores permitieron calcular un caudal pluvial máximo de diseño para una eventualidad esperada.

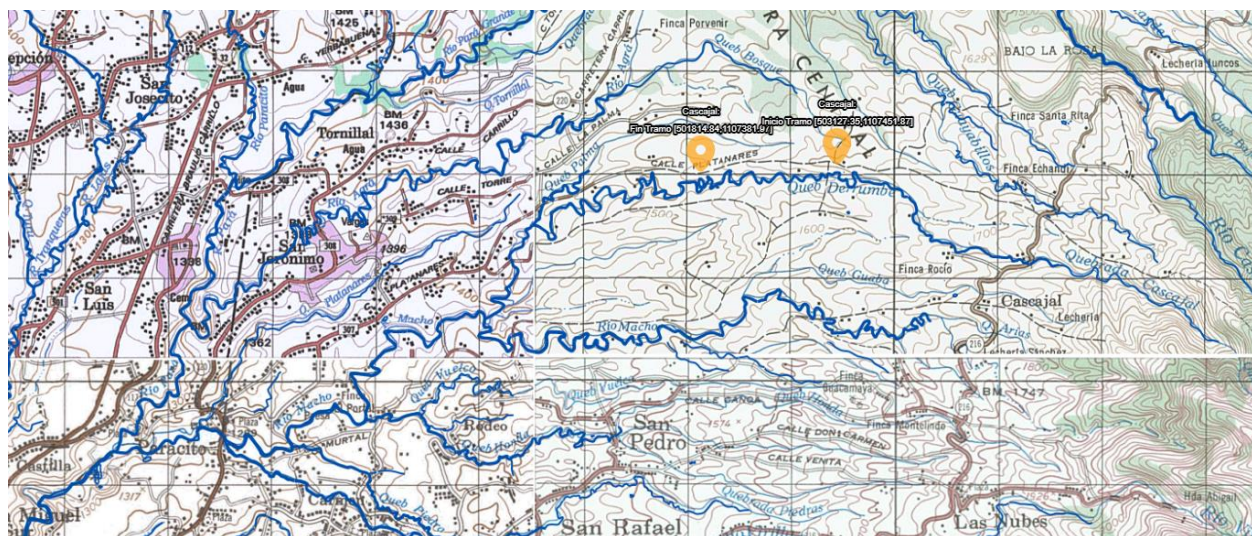
4.33 Investigación de datos de la cuenca

4.33.1 Determinación de los afluentes hasta la zona de estudio

Para obtener un valor aproximado al área de la cuenca en estudio, se utilizó la herramienta que proporciona el SNIT “Visor Principal”, mediante el cual, a través de distintas capas, proporcionó datos basados de la hoja cartográfica “Carillo” en escala 1:34.000, la red hidrográfica del país, la delimitación de las cuencas hidrográficas que la componen y la precipitación promedio anual desde 1960 hasta 2013. Con dicha herramienta, se ubicó la sección del cauce de la quebrada Palma que recibirá el agua captada por pozos y tragantes de la carretera.

Figura 42

Afluentes hasta el punto de estudio quebrada derrumbe



Fuente: Sistema Nacional de Información Territorial, 2021.

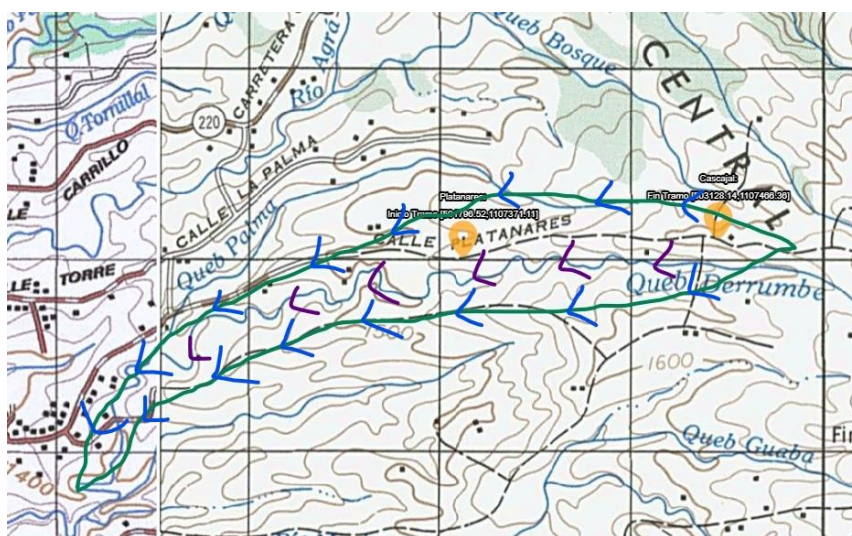
En la figura anterior, se marcó, mediante dos símbolos de color amarillo, la ubicación del tramo de intervención, permitiendo apreciar, de esta manera, el cuerpo receptor de agua llamado “quebrada Palma” que, a su vez, aguas abajo, desfoga en el río Macho.

Delimitación de la cuenca y área de aporte

Para delimitar, dar un perímetro a la cuenca y a los afluentes mencionados anteriormente, se utilizaron las curvas de nivel que aparecen reflejadas en el “Visor Principal” del SNIT. Las curvas de nivel indican la dirección del caudal del río, ya que donde pasa el río se forman concavidades en las curvas, producto de la erosión del río, como se puede observar en la figura 43.

Figura 43

Delimitación de la cuenca



Fuente: Elaboración propia.

La dirección de las flechas indica el curso del agua, según las características topográficas del lugar, asimismo, las flechas de color azul representan la delimitación de la quebrada que desemboca en el río Macho que, a su vez, desemboca en el Río Virilla. Cabe resaltar que se

utilizaron las concavidades de las curvas de nivel para marcar los límites de la cuenca. Luego de realizar la delimitación, se procedió a medir el área de la cuenca, utilizando la opción de “Medir Áreas” del “Visor de Principal” del SNIT. Se pudo obtener un valor aproximado del área de 1,41 km². A continuación, se muestra en la figura el área que se pudo medir

Figura 44

Área de la cuenca



Fuente: Elaboración propia.

4.33.2 Longitud de las elevaciones y pendiente promedio

La cuenca anterior representa el recorrido del agua de escorrentía en el punto de estudio hasta su desembocadura en el Río Macho, sin embargo, para efectos del trabajo, se tomará únicamente la distancia comprendida entre el punto de inicio y el punto final del tramo. Las principales elevaciones para el estudio se identificaron en 1526 msnm y 1598 msnm aproximadamente. Con los datos hallados, se calculó la pendiente promedio, mediante:

$$P = \frac{\Delta H}{L} * 100$$

Ecuación 45 Pendiente promedio

Donde:

P = pendiente promedio de la cuenca, %.

ΔH = diferencia de altura, entre la curva de nivel más baja y la curva de nivel más elevada en metros.

L= longitud del cauce más largo, en metros

4.34 Cálculo del caudal pluvial

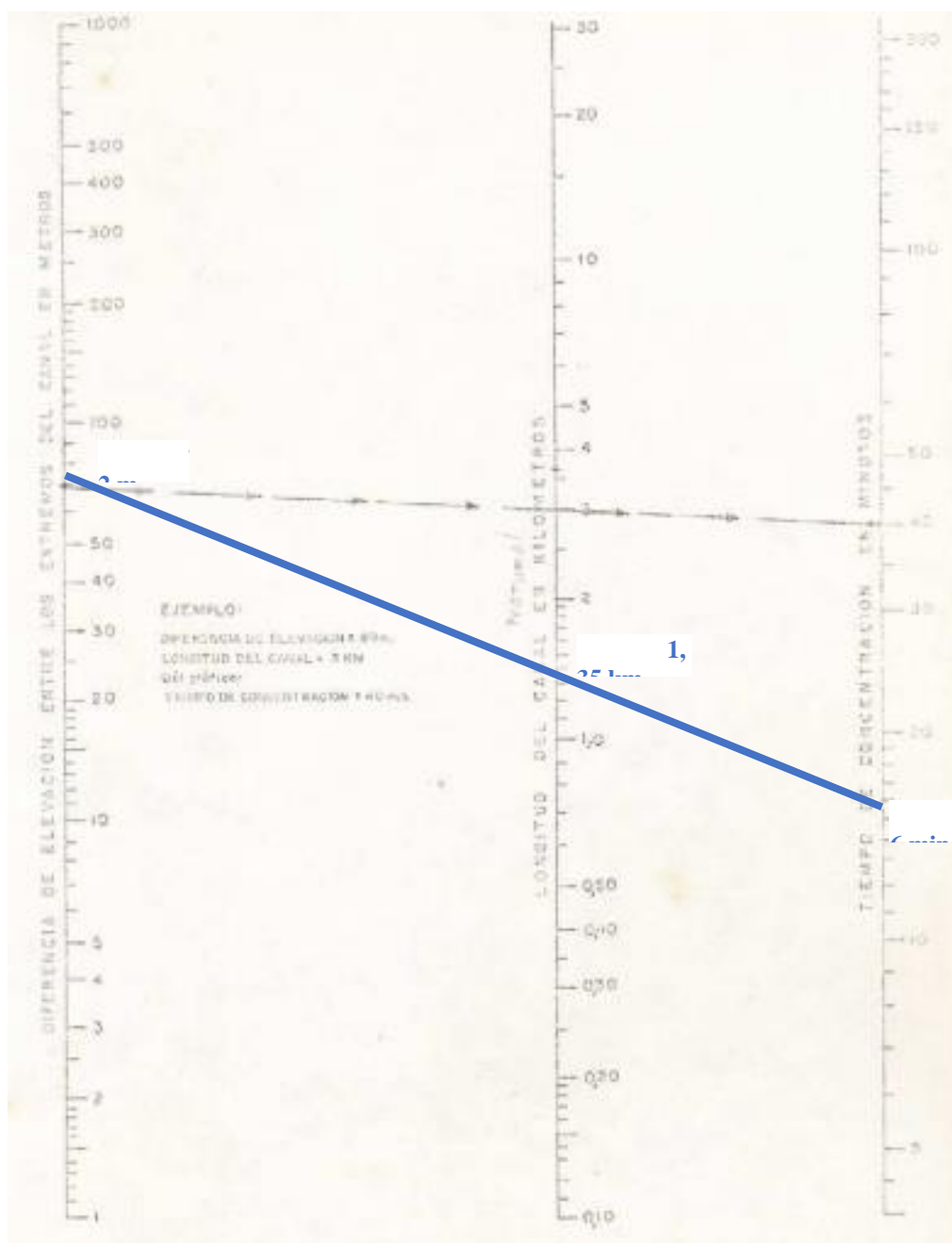
El método empleado para calcular el caudal máximo para una tormenta de diseño fue el de la *Tesis Diseño Hidrológico e Hidráulico de drenajes menores de carreteras* del Ing. Ramiro Gamboa (1969). En este estudio, realizado por el Ing. Gamboa, se explica el método para calcular los factores antes mencionados, utilizando los gráficos de proyección, mapas de isoyetas, registros de eventualidades y diagramas de coeficientes. A continuación, se detallan los datos obtenidos del método antes mencionado, para el presente estudio.

4.34.1 Tiempo de concentración

Para calcular esta variable, se utilizó el nomograma del tiempo de concentración de la cuenca, incluido en la tesis del Ing. Ramiro Gamboa. Se identificaron los distintos factores antes mencionados, para trazar una línea en el nomograma y proyectar el tiempo de concentración, tal como se muestra en la siguiente figura:

Figura 45

Nomograma para tiempo de concentración



Fuente: Gamboa, 1969.

Según lo analizado en dicha tesis, se utilizó la ecuación obtenida de los análisis de Kirpich. Esta ecuación permite calcular el tiempo de concentración con dos factores: longitud y diferencia de alturas. Se manejó la siguiente fórmula:

$$t_c = 0.0195 * \left(\frac{L^3}{h}\right)^{0.385}$$

Ecuación 46 Tiempo de concentración

Para el cálculo del método de Kirpich, se utilizan los datos de (L) en metros, por lo que se transforma la fórmula anterior, para utilizar (L) en kilómetros y se escribe la siguiente manera:

$$t_c = 56.77 * \left(\frac{L^{1.155}}{h^{0.385}}\right)$$

Ecuación 47 Tiempo de Concentración

Donde:

t_c = tiempo de concentración de la cuenca en minutos.

L= longitud del cauce más largo en kilómetros.

h= diferencia de elevaciones de la cuenca en metros

Utilizando la ecuación 47 y los valores de L = 1,35 km y h = 54 m, se obtuvo un resultado de t_c aproximado de 16 min

4.34.2 Periodo de retorno

Para determinar la intensidad de lluvia en la zona de Coronado, con duración de 1 hora y periodo de retorno de 1 año, se utilizó el mapa confeccionado por el Ing. Elliot Coen Paris, para el Instituto Meteorológico Nacional. En él se muestran las lluvias para todo el territorio nacional,

cada curva corresponde a una precipitación. Estas curvas se conocen como “isoyetas” y se muestran en los mapas a continuación:

Figura 46

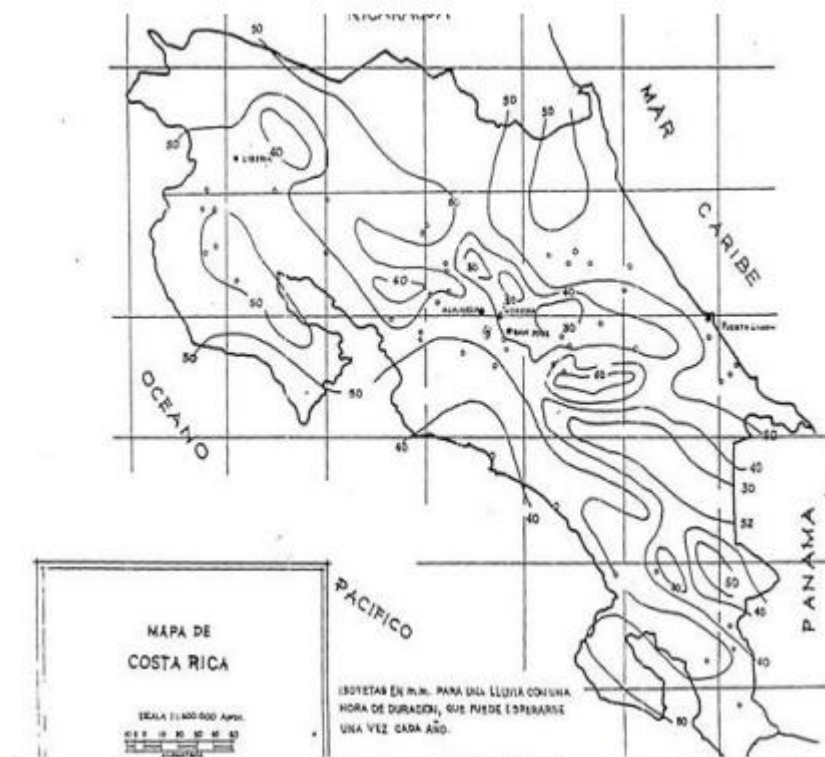
Isoyetas para lluvia de duración de 1 hora



Fuente: Gamboa, 1969.

Figura 47

Isoyetas para lluvia de diseño de 1 hora de duración

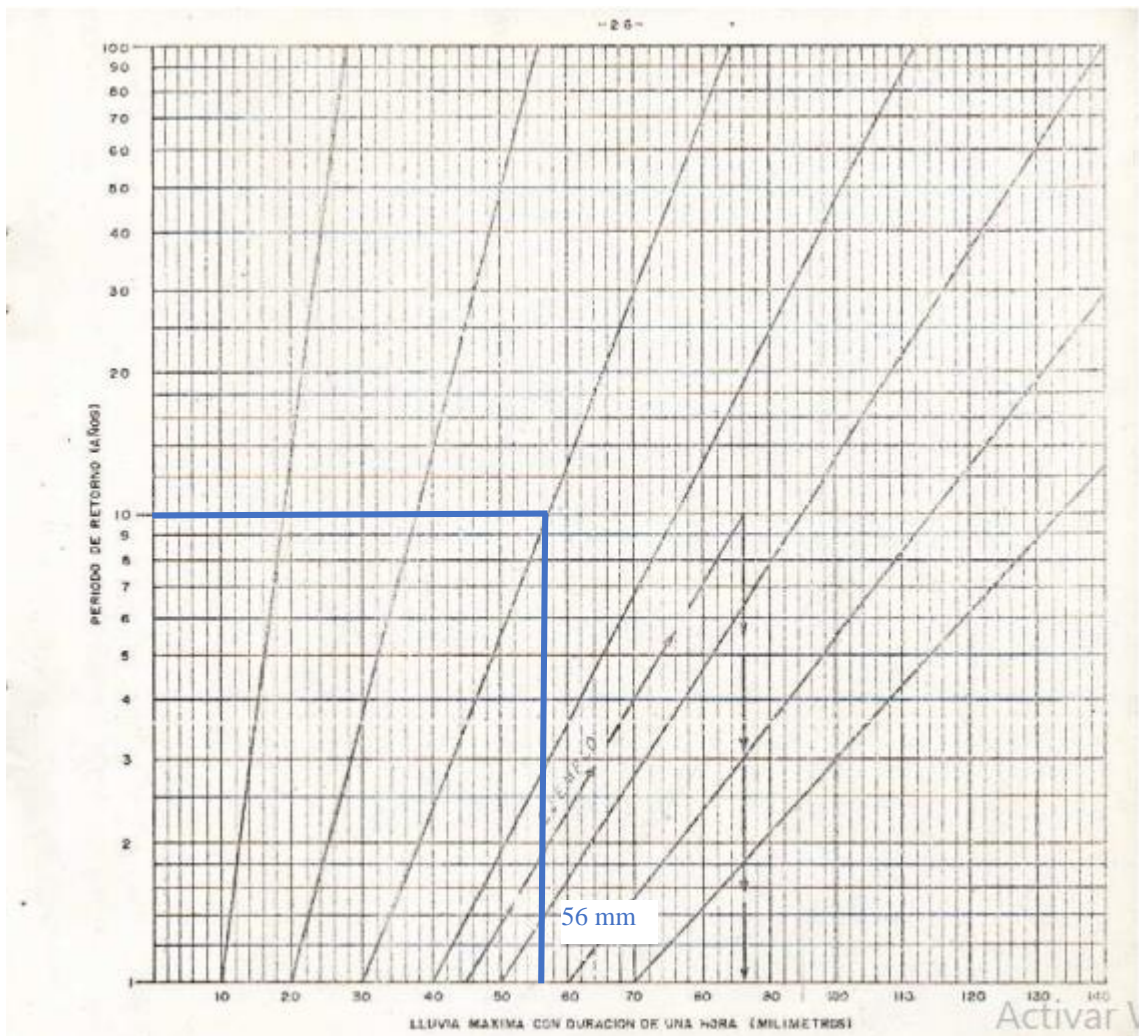


Fuente: Gamboa, 1969.

Según el análisis realizado, el proyecto se ubica en la isoyeta 30 cercana al cantón de Vázquez de Coronado. Con esta isoyeta identificada, se utilizó la figura 48, para proyectar con la línea de la isoyeta 30, en un periodo de retorno de 5 años, la lluvia en mm/h a futuro.

Figura 48

Periodos de retorno para lluvias de duración de 1 hora



Fuente: Gamboa, 1969.

Según el gráfico para periodos de retorno antes ilustrado, se obtuvo un valor para la lluvia de diseño = 56 mm/h.

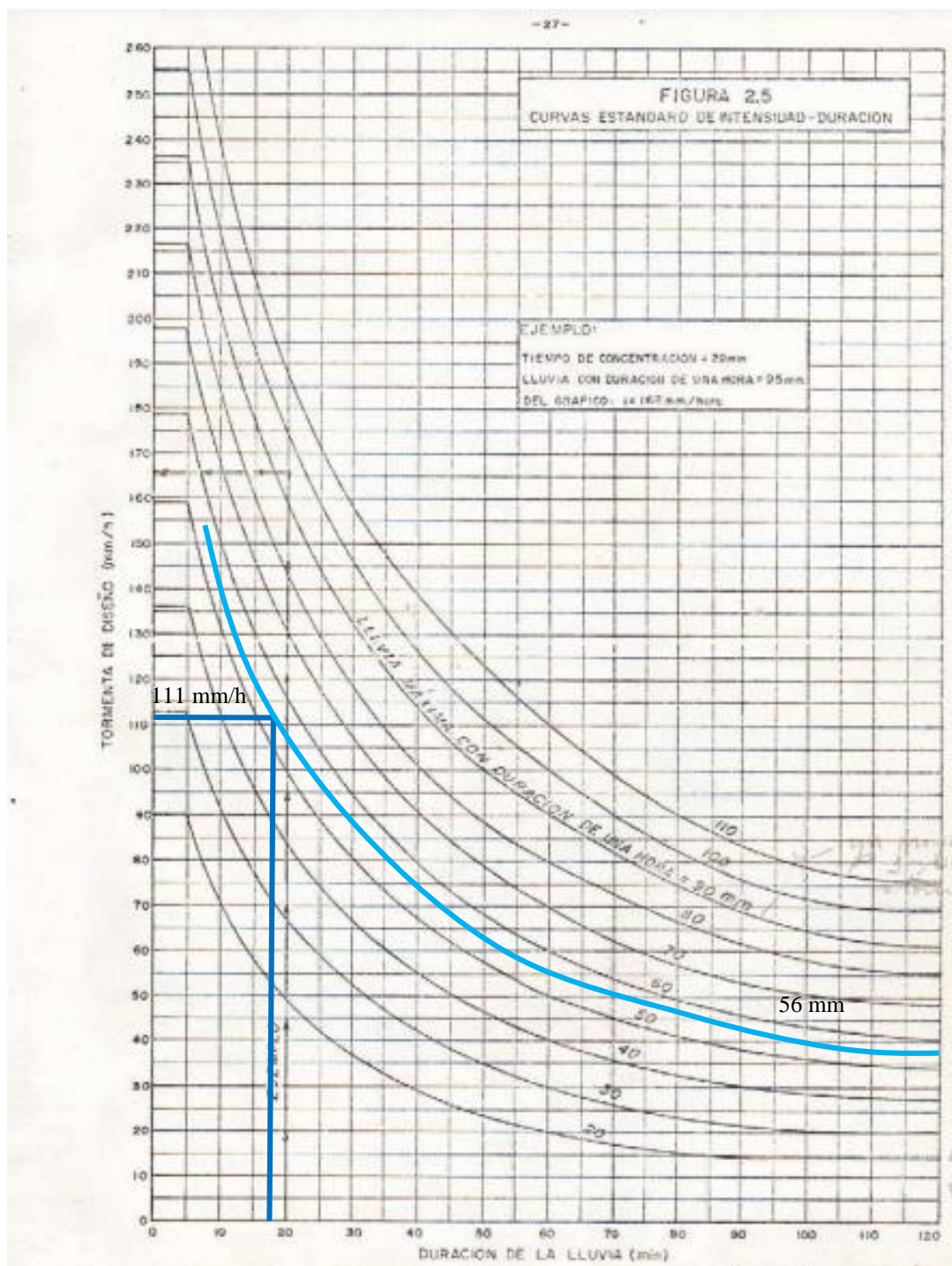
4.34.3 Intensidad de lluvia

Con la intensidad de lluvia para una duración de una hora y un periodo de retorno de 10 años calculados, se puede obtener la tormenta de diseño en mm/h, mediante la figura 49 de "Curvas

Estándar de Intensidad-Duración” con un valor de 110 mm/h aproximadamente. A continuación, se detalla cómo se obtuvo con la ayuda de la figura 49:

Figura 49

Tormenta de diseño



Fuente: Gamboa, 1969.

4.34.4 Método racional para cálculo de caudales máximos

El método racional se emplea mediante una ecuación, cuya principal función es la de calcular los caudales máximos, la misma utiliza variables, como los valores de escorrentía, según la topografía y característica física del terreno establecidos por C y A , área total de la cuenca que tributa sobre la quebrada Derrumbe y la intensidad de lluvia.

$$Q = \frac{C * i * A}{3\ 600\ 000}$$

Ecuación 48 Caudal de Diseño Método Racional

Tabla 53

Valores para el coeficiente de escorrentía

Tipo de área o desarrollo	C
Tipo de área	
Techos de edificios	0,80-0,95
Pavimentos de asfaltos o concreto	0,70-0,95
Pavimentos de ladrillo	0,70-0,80
Suelos cubiertos de pasto	
Pendiente de 2 % o menos	0,05-0,10
Pendiente de 2 % a 8 %	0,10-0,16
Pendiente de 8 % o mas	0,16-0,20
Suelos arcillosos cubiertos de pasto	
Pendiente de 2 % o menos	0,10-0,16
Pendiente de 2 % a 8 %	0,17-0,25

Pendiente de 8 % o mas	0,26-0,36
Tipo de desarrollo	
Comercio urbano	0,70-0,95
Oficinas comerciales	0,50-0,95
Casas unifamiliares	0,30-0,50
Condominios	0,40-0,60
Tipo de área de desarrollo	
Apartamentos	0,60-0,80
Residencias suburbanas (parcelas agrícolas)	0,25-0,40
Parques y cementerios	0,10-0,30

Fuente: Norma Técnica para Diseño y Construcción de Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable, de Saneamiento y Pluvial, 2017.

Debido a que el proyecto se ubica en un lugar intransitable, la zona está compuesta casi en su totalidad de áreas verdes a ambos lados del camino, por lo que se utilizarán los valores correspondientes tomando en cuenta estas características.

Tabla 54

Elementos de caudal de diseño

Elementos	Significado
Q	Caudal de diseño m ³ /s
C	Coefficiente de escorrentía
I	Intensidad de lluvia
A	Área tributaria

Fuente: Elaboración propia.

4.35 Diseño hidráulico

El diseño hidráulico es parte fundamental de esta carretera, ya que en él se establecen las dimensiones y parámetros a cumplir para cada obra en específico, cuya función principal es captar el agua que tributa en el tramo vial hasta el punto de desfogue.

4.36 Diseño de tubería y desfogue pluvial

Se emplea el diseño de tuberías en el sentido sur de la carretera, la misma con la principal función de conducir el agua a lo largo del tramo hasta los puntos de descarga. Se diseñan las tuberías con una pendiente dependiente de la dirección de la carretera, en cuanto a ubicación del punto más alto hasta el más bajo, cumpliendo así con canalizar toda el agua que tribute en el proyecto. A continuación, se señalan los puntos más altos y más bajos del tramo

Figura 50

Elevaciones del tramo de intervención

No.	PVI Station	PVI Elevation	Grade In	Grade Out	A (Grade Change)	Profile Curve Type	Sub-Entity Type	Profile Curve Length	K Value	Curve Radius
1	0+000.00m	1526.000m		7.04%						
2	0+215.75m	1541.179m	7.04%	2.35%	4.69%	Crest	Symmetric Parabola	179.999m	38.400	3840.000m
3	0+472.14m	1547.199m	2.35%	6.06%	3.71%	Sag	Symmetric Parabola	150.032m	40.400	4040.000m
4	0+743.94m	1563.674m	6.06%	8.21%	2.15%	Sag	Symmetric Parabola	38.642m	18.000	1800.000m
5	0+969.60m	1582.197m	8.21%	6.61%	1.59%	Crest	Symmetric Parabola	124.871m	78.300	7830.000m
6	1+161.27m	1594.873m	6.61%	1.67%	4.94%	Crest	Symmetric Parabola	227.457m	46.000	4600.000m
7	1+348.61m	1598.000m	1.67%							

Fuente: Elaboración propia.

- Punto hidráulicamente más alto: 1596.00 msnm
- Punto hidráulicamente más bajo: 1526.00 msnm
- Donde la diferencia de elevaciones es de 72 m

Asimismo, el alcantarillado se compone por:

Figura 51*Tabla de longitudes de tubería pluvial*

Tramo		Longitud (m)
PP	1	40
PP	1-2	55
PP	2-3	35
PP	3-4	100
PP	4-5	100
PP	5-6	58
PP	6-7	50
PP	7-8	50
PP	8-9	100
PP	9-10	40
PP	10-11	100
PP	11-12	100
PP	12-13	77
PP	13-14	100
PP	14-15	100
PP	15-16	100
PP	16-17	100
PP	17-18	49,82
PP	18- Desfogue	1617

Fuente: Elaboración propia.

Con las consideraciones anteriores y teniendo en cuenta que la zona es predominantemente rural, se procede a elaborar una hoja de cálculo que contenga una base de datos con áreas verdes, áreas de carreteras y sus correspondientes factores de escorrentía para calcular el caudal que deberá transportar la tubería.

Figura 52

Tabla resumen de cálculo de caudales por pozo

Pozo	Areas Verdes (m2)	Area de Calles (m2)	Q de Ingreso o Anterior	Q de Areas Verdes	Q de Calles	Q Total
	Tributaria	Tributaria				
1	1794,05	560	0	0,01	0,02	0,02
2	2390,78	770	0,02	0,01	0,02	0,06
3	1452,42	490	0,06	0,006	0,01	0,08
4	4164,22	1400	0,08	0,02	0,04	0,13
5	4354,60	1400	0,13	0,02	0,04	0,19
6	2095,86	812	0,19	0,01	0,02	0,22
7	2054,78	700	0,22	0,01	0,02	0,25
8	2054,78	700	0,25	0,01	0,02	0,28
9	4515,38	1400	0,28	0,02	0,04	0,34
10	1638,78	560	0,34	0,01	0,02	0,36
11	4532,17	1400	0,36	0,02	0,04	0,42
12	4323,34	1400	0,42	0,02	0,04	0,48
13	3660,72	1078	0,48	0,01	0,03	0,52
14	4220,66	1400	0,52	0,02	0,04	0,58
15	4211,40	1400	0,58	0,02	0,04	0,64
16	4109,88	1400	0,64	0,02	0,04	0,69
17	3954,96	1400	0,69	0,02	0,04	0,75
18	1878,58	697,48	0,75	0,01	0,02	0,78
Desfogue	---	---	0,78	---	---	---

Fuente: Elaboración propia.

Estimados ya los caudales en metros cúbicos que serán captados por los tragantes de cada pozo, se procede a realizar el dimensionamiento del alcantarillado.

Figura 53*Tabla resumen elevación de pozos*

Tramo		Longitud (m)	Elevaciones (m)					
			Rasante	Altura	Pozo	Rasante	Altura	Pozo
PP	1-2	55	1597,35	2,5	1594,85	1596,21	2,5	1593,71
PP	2-3	35	1596,21	2,5	1593,71	1595,52	2,6	1592,92
PP	3-4	100	1595,52	2,6	1592,92	1591,47	4,5	1586,97
PP	4-5	100	1591,47	4,5	1586,97	1585,55	4,5	1581,05
PP	5-6	58	1585,55	4,5	1581,05	1582,04	4,4	1577,64
PP	6-7	50	1582,04	4,4	1577,64	1577,42	2,7	1574,72
PP	7-8	50	1577,42	2,7	1574,72	1574,10	2,3	1571,80
PP	8-9	100	1574,10	2,3	1571,80	1565,49	1,5	1563,99
PP	9-10	40	1565,49	1,5	1563,99	1563,17	1,5	1561,67
PP	10-11	100	1563,17	1,5	1561,67	1556,76	1,5	1555,26
PP	11-12	100	1556,76	1,5	1555,26	1551,04	1,5	1549,54
PP	12-13	77	1551,04	1,5	1549,54	1547,11	1,5	1545,61
PP	13-14	100	1547,11	1,5	1545,61	1544,45	1,5	1542,95
PP	14-15	100	1544,45	1,5	1542,95	1541,33	2	1539,33
PP	15-16	100	1541,33	2	1539,33	1536,61	1,5	1535,11
PP	16-17	100	1536,61	1,5	1535,11	1529,22	1,5	1527,72
PP	17-Desfogue	1617	1529,22	2	1527,22	1438,23	0	1438,23

Fuente: Elaboración propia.

Con base en la tabla anterior, se procede a realizar los demás cálculos para cada tramo, donde estos tramos deben cumplir con porcentajes de utilización (u %) menores al 92 % y de velocidades de flujo menores a 5 m/s. Para cumplir con dichos parámetros de diseño, se modificarán pendientes entre tramos aumentando profundidades de pozos, ya sea para aumentar o disminuir pendientes, así como diámetros.

Figura 54

Resumen de resultados de cálculos de diámetros, velocidad y u %

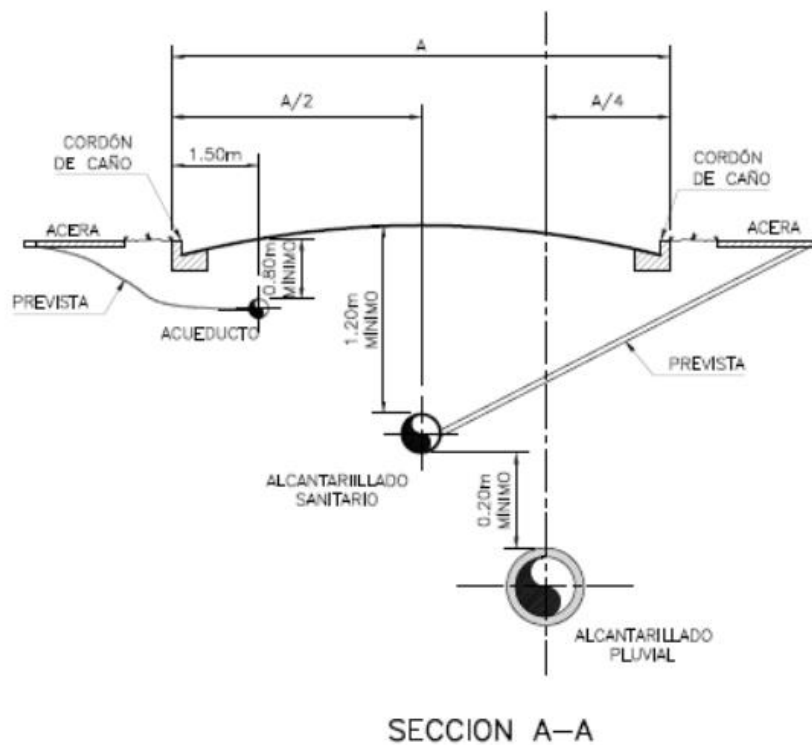
Tramo		Caudal (m ³ /s)	Pendiente (%)	Diámetro de Diseño (mm)	Diámetro Comercial (mm)	Diámetro Comercial (m)	Área de Tubería (m ²)	Q lleno (m ³ /s)	u%	Velocidad (m/s)
PP	1-2	0,06	2,07	239,69	400	0,4	0,13	0,22	25,37%	1,73
PP	2-3	0,08	2,26	260,67	400	0,4	0,13	0,24	31,73%	1,89
PP	3-4	0,13	5,95	224,03	400	0,4	0,13	0,62	21,18%	4,97
PP	4-5	0,19	5,92	257,19	400	0,4	0,13	0,62	30,61%	4,95
PP	5-6	0,22	5,88	273,28	400	0,4	0,13	0,62	35,99%	4,91
PP	6-7	0,25	5,84	286,64	400	0,4	0,13	0,61	40,87%	4,88
PP	7-8	0,28	5,84	298,44	400	0,4	0,13	0,61	45,51%	4,88
PP	8-9	0,34	7,81	287,43	400	0,4	0,13	0,82	41,17%	6,53
PP	9-10	0,36	5,80	329,32	400	0,4	0,13	0,61	59,18%	4,85
PP	10-11	0,42	6,41	335,64	400	0,4	0,13	0,67	62,26%	5,36
PP	11-12	0,48	5,72	367,68	400	0,4	0,13	0,60	79,39%	4,78
PP	12-13	0,52	5,10	397,16	400	0,4	0,13	0,54	97,52%	4,27
PP	13-14	0,58	2,66	527,31	600	0,6	0,28	0,82	70,63%	2,91
PP	14-15	0,64	3,62	486,67	600	0,6	0,28	1,12	57,03%	3,95
PP	15-16	0,69	4,22	474,46	600	0,6	0,28	1,30	53,29%	4,61
PP	16-17	0,75	7,39	395,96	600	0,6	0,28	2,28	32,90%	8,07
PP	17-Desfogue	0,78	5,50	448,29	600	0,6	0,28	1,70	45,81%	6,01

Fuente: Elaboración propia.

4.36.1 Detalles típicos de obras de infraestructura pluvial

Figura 55

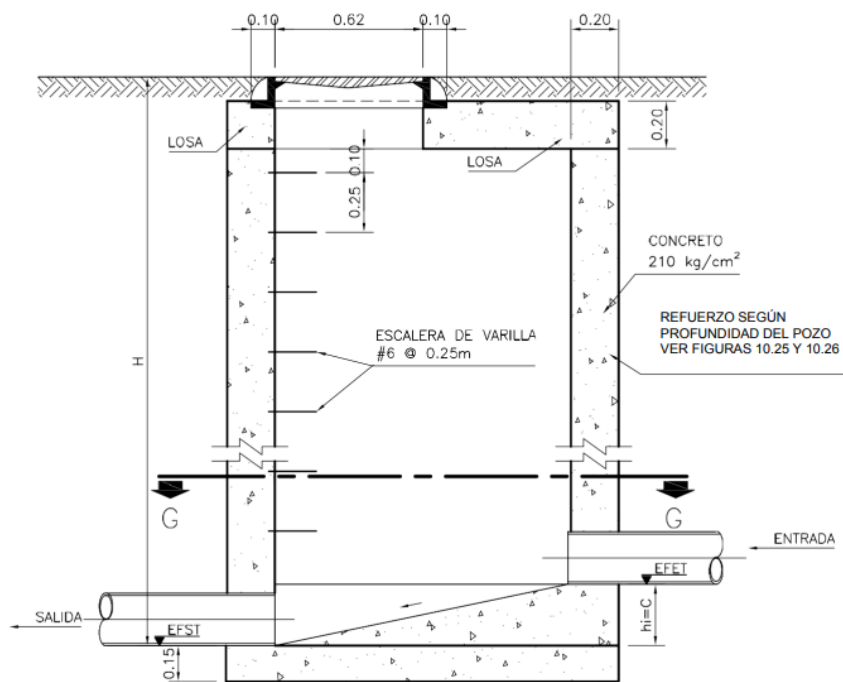
Corte de sección de derecho de vía y ubicación de tuberías



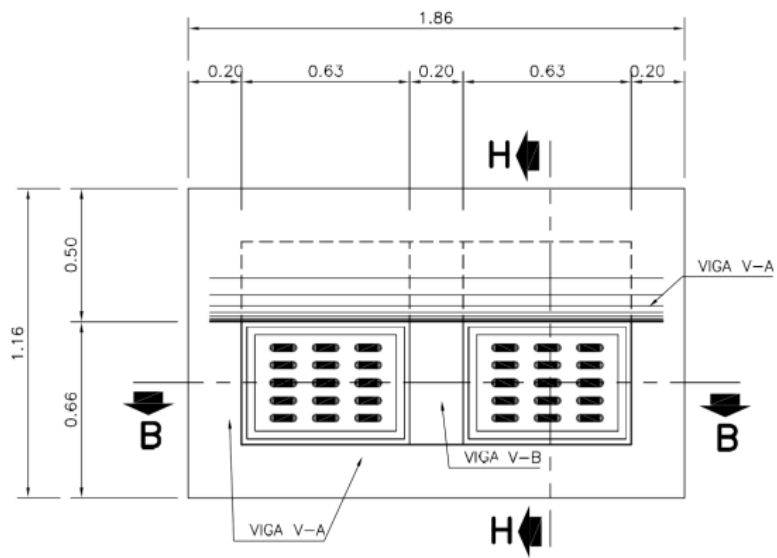
Fuente: Norma Técnica para Diseño y Construcción de Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable, de Saneamiento y Pluvial, 2017.

Figura 56

Detalle de pozo de registro pluvial



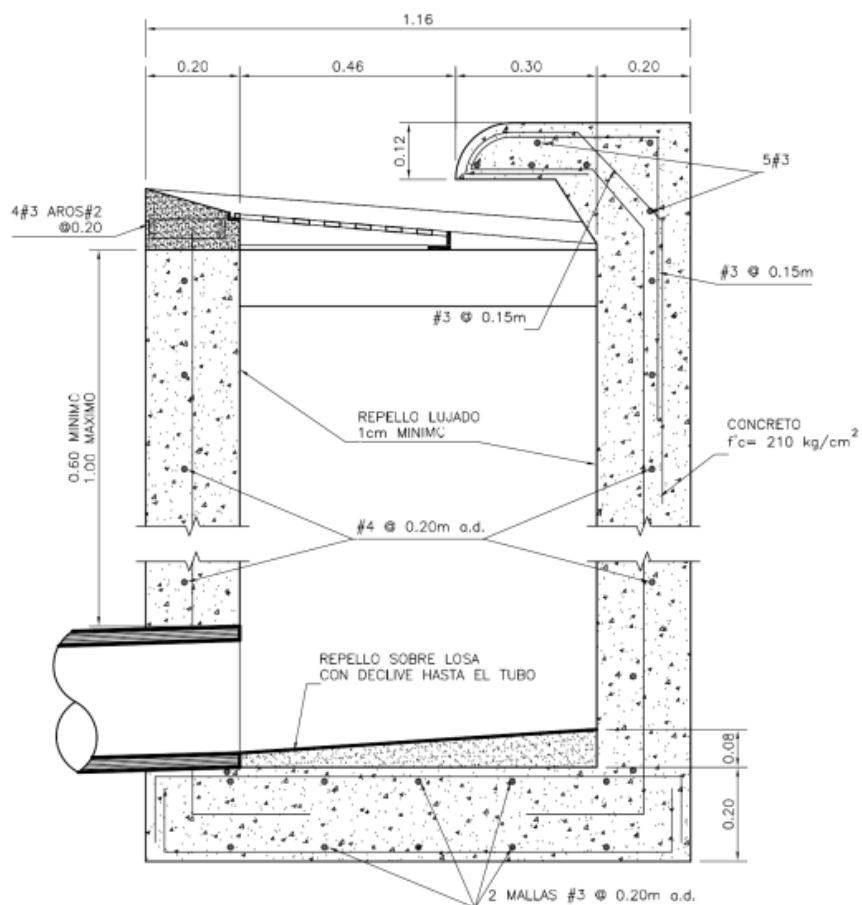
Fuente: Norma Técnica para Diseño y Construcción de Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable, de Saneamiento y Pluvial, 2017.

Figura 57*Detalle de tragantes vista en planta*

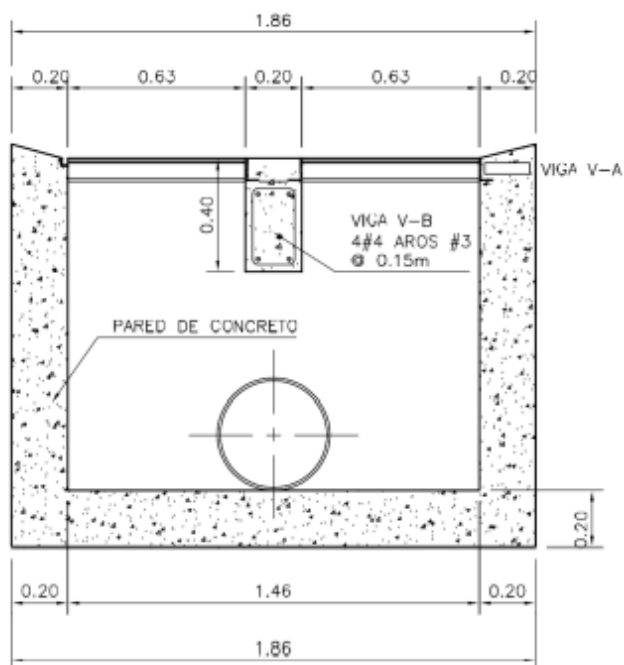
Fuente: Norma Técnica para Diseño y Construcción de Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable, de Saneamiento y Pluvial, 2017.

Figura 58

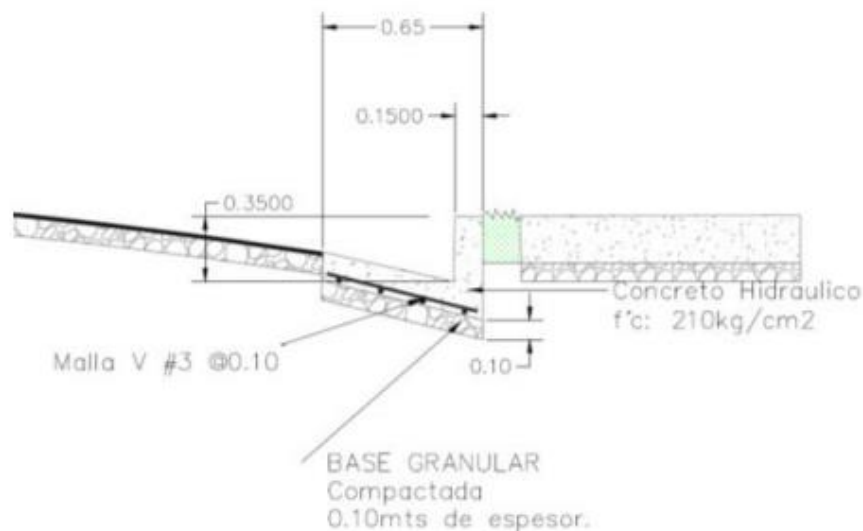
Detalle de tragantes vista en corte



Fuente: Norma Técnica para Diseño y Construcción de Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable, de Saneamiento y Pluvial, 2017.

Figura 59*Detalle de tragantes vista en corte*

Fuente: Norma Técnica para Diseño y Construcción de Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable, de Saneamiento y Pluvial, 2017.

Figura 60*Detalle cordón y caño*

Fuente: Hernández, 2019.

4.37 Diseño de estructuras peatonales

Con base en lo establecido en la Ley 7600, Ley de Igualdad de Oportunidades para las Personas con Discapacidad, se propone el diseño de una acera de dimensiones de 1.5 m de ancho con pendiente transversal para bombeo de aguas superficiales de 2 %, de acabado antiderrapante y sin escalones ni rampas en todo su trayecto.

La construcción de las aceras consistirá en una losa de concreto de 10 cm de espesor conformado con concreto de resistencia de 210 kg/cm² y refuerzo de acero con malla electrosoldada #3, la cual, a su vez, se coloca sobre una base de material base granular debidamente compactado de 10 cm de espesor y en casos de desnivel una capa de material tipo lastre para estabilizar y rellenar la subrasante.

4.37.1 Cálculo de espesores

Según la Norma de Instalación de Adoquines de Concreto (2010), para uso peatonal se tiene que:

Para uso exclusivo de zonas peatonales, espacios públicos y, de manera eventual, bicicletas y motocicletas. Incluye desde tránsito peatonal muy bajo hasta tránsito peatonal alto, cómo por ejemplo el que se encuentra en zonas céntricas de la ciudad reconocidas por alta afluencia de peatones; centros empresariales, centros de comercio, centros educativos, zonas deportivas, áreas de mercado (plazas o supermercados); así como áreas cercanas a vías principales en zonas con actividades comerciales o similares. (p. 15)

Asimismo, para establecer el espesor de la base granular, es necesario contar con la capacidad portante de la subrasante, lo que, para efectos del proyecto, se estimó en 3,8 %, según datos recolectados por Castro y de la Torre en puntos cercanos al área de estudio. Por lo tanto, se tiene que:

- Suelo categoría 3 (S3): es de mala calidad; es decir, cuando este húmedo se deforma con el paso de unos pocos vehículos pesados y se hace muy difícil la circulación sobre él. $CBR < 5$

A través de la siguiente tabla, se puede definir el espesor de base granular:

Tabla 55

Espesores recomendados de bases granulares compactadas según tipo de suelo

Tipo de tránsito			
Categoría suelo	Clase A (cm)	Clase B (cm)	Clase C (cm)
S1	20	10 - 20	10

S2	26	14 - 22	10
S3	32	17 - 28	10

Fuente: Norma de Instalación de Adoquines de Concreto, 2010

Para aceras de clasificación C (de uso peatonal y espacios públicos), no se requiere la colocación de una subbase, pero la subrasante debe ser compactada y nivelada con material tipo lastre compactado al 95 % del Proctor modificado en capas de 30cm.

Asimismo, la estructura de aceras llevará losetas guías en el eje central de la acera para personas no videntes y losetas de precaución al final – comienzo de cada acera, las proveerán de espacios peatonales de equidad para todos los transeúntes que circulen por ellas.

Figura 61**Especificaciones técnicas para losetas táctiles****ASPECTOS GENERALES**

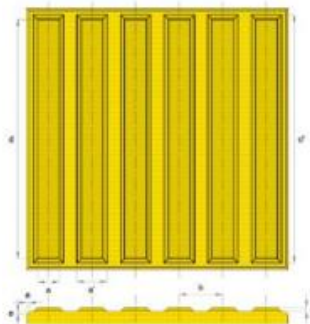
Resistencia de $f'c$: 210kg/cm², son de color Amarillo, las losetas deben tener un acabado rugoso, antideslizante firme y no lacerante.

Norma de referencia: INTE 03-01-17-2017 Accesibilidad de las personas al medio físico, señalización accesibilidad en espacios urbanos y en edificios con acceso al público, señalización superficies horizontales (pisos) para exteriores

**LOSETAS GUIAS**

Las franjas de guía indican la dirección de un recorrido, cuyos relieves o textura siempre deben estar orientados en la dirección de marcha.

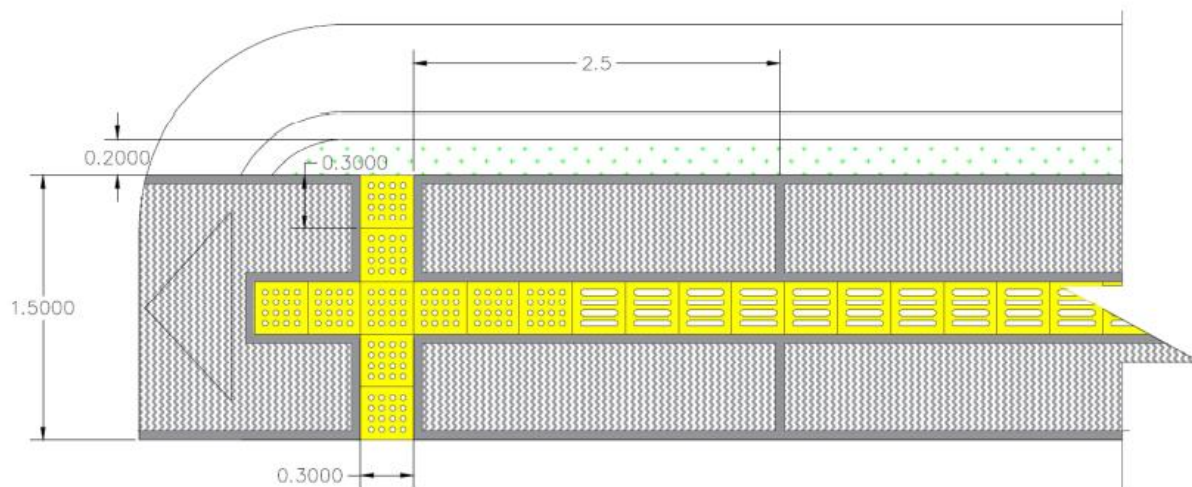
Dimensión: 30 x 30 cm



Fuente: Hernández, 2019.

Figura 62

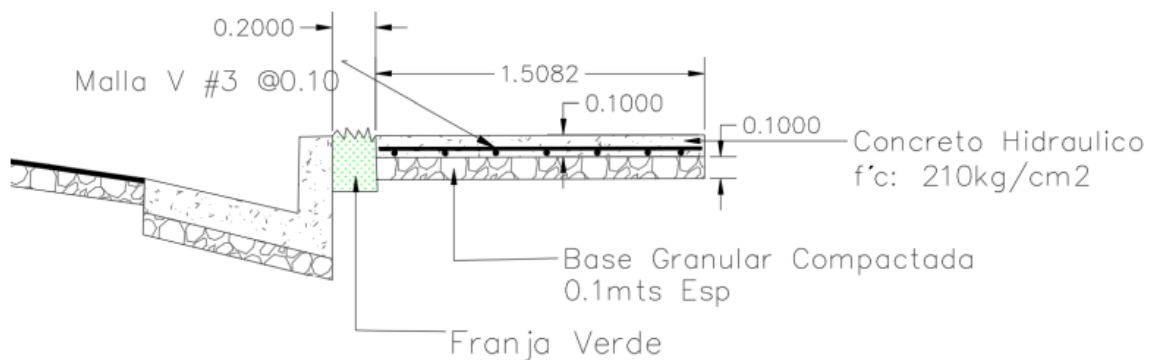
Vista superior de acera y detalle de losetas guías y de precaución



Fuente: Hernández, 2019.

Figura 63

Corte de sección de acera



Fuente: Hernández, 2019.

4.38 Presupuesto

A. Movimiento de tierras:

Esta actividad comprenderá la limpieza del terreno y la estimación del material de corte y relleno, según las características de la carretera.

B. Materiales granulares:

Material para base granular utilizada para la estructura de pavimentos esta debe poseer una capacidad soportante igual o mayor a CBR=80 %, según el Manual de Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras, Caminos y Puentes (2010). El material para subbase granular para la estructura de pavimentos debe poseer una capacidad soportante mayor o igual a CBR= 30 %, según el mismo manual.

C. Alcantarillado pluvial:

Alcantarillas de diámetro variable según cada tramo, donde estos deben ser clase 3 en concreto de alta resistencia y reforzados con acero, el cálculo de tuberías corresponde a la distancia lineal entre pozos dividido entre la longitud de cada tubería. Los diámetros varían desde 400mm hasta los 600mm.

Tragantes y pozos pluviales:

Los tragantes serán hechos en obra y cada uno de 1.5 m de profundidad, pero los pozos de registro pluvial serán prefabricados para optimizar los tiempos de construcción y la disminución en costos de producción, además de que los pozos tendrán diferentes medidas o profundidades para cada tramo.

El material de relleno para cualquier vacío que quede entre tuberías, pozos de registro y tragantes pluviales deben ser rellenados y compactados hasta el nivel donde se colocará la subbase

granular, mediante la reutilización del material cortado en obras de zanjeo del alcantarillado, debido a que posee características soportantes óptimas, sin revolverse con material vegetal.

Para los servicios de fletes (transporte de materiales) donde se incluya el desgaste de vehículos, personal a cargo del transporte entre otros costos indirectos vendrán implícitos en el costo de cada producto.

D. Estructura de pavimentos:

El asfalto a utilizar será el AC-30 de importación por parte de RECOPE. El precio de capa asfáltica donde se utiliza una cotización por parte de MECO para mezclas asfálticas en 46438.00 colones, donde se adjunta el servicio de transporte + instalación.

E. Obras peatonales:

El concreto se debe utilizar un concreto hidráulico de resistencia mínima de 210 kg/cm² premezclado para mantener un mayor control del concreto que se utiliza, así como de reducción de tiempo y costos de mano de obra.

Acabados:

Las aceras serán de un acabado con microranuras perpendicular a los sentidos del tránsito peatonal para más adherencia, además de que en cada borde y en las juntas entre losas deben ser redondeadas de acabado liso.

Las losetas serán para proveer de un espacio de acceso universal para los peatones de medidas de 30cmx30cm de color amarillo, losetas guías con rayas en relieve para guiar a los no videntes y losetas de advertencia con puntos en relieve para indicar o advertir una rampa adelante o un cambio de dirección. Estos serán fijados con un mortero de 20mm de alta resistencia INTECO

F. Señalización vial:

Características:

- a) Pintura TTP115E III con microesferas de vidrio.
- b) Reflectivos alta intensidad prismáticos.
- c) Lamina HG calibre 16.
- d) Poste tubo HG 3''x3''x1.8 m.
- e) Concreto para fijación.

Figura 64*Cotización para señalización vial*

Descripción	Cantidad	Unidad	Precio	Total
Doble Línea Amarilla Continua	2712	Metro Lineal	€682,00	€1 849 584,00
Línea Blanca Continua	2712	Metro Lineal	€682,00	€1 849 584,00
Velocidad Máxima Est. 91,4x61 cm	1	Unidad	€43 400,00	€43 400,00
Subtotal Horizontal				€3 742 568,00
Velocidad Máxima Est. 91,4x61 cm	2	Unidad	€65 100,00	€130 200,00
Curva Est. 76,2x76,2 cm	7	Unidad	€95 000,00	€665 000,00
Semoviente en Vía 76,2x76,2 cm	2	Unidad	€95 000,00	€190 000,00
Subtotal Vertical				€985 200,00

Fuente: Elaboración propia.

Para un total de €4 727 768,00 con impuestos + fletes + instalación, debido a que esta actividad requiere de personal y equipo especializado.

Figura 65*Presupuesto final proyecto*

Descripción	Cantidad	Unidad	Costo Unitario	Costo Total	Costo Directo
0. Estudios Preliminares					
0.1 Estudios Topograficos	1	gb	¢4 207 055,33	¢4 207 055,33	¢4 207 055,33
0.2 Estudios de Laboratorio (Geotecnia)	1	gb	¢500 000,00	¢500 000,00	¢500 000,00
1. Movimiento de Tierra					
1.1 Movimiento de Tierra	1	gb		¢124 380 000,00	¢124 380 000,00
Corte y Disposicion Final del Material	20730	m3	¢6 000,00	¢124 380 000,00	

Fuente: Elaboración propia.

Figura 66*Presupuesto final Proyecto*

2. Obras Pluviales					
2.1 Pozos	17	un	¢750 000,00	¢12 750 000,00	¢12 750 000,00
2.2 Tragantes	34	un	¢600 000,00	¢20 400 000,00	¢20 400 000,00
2.3 Alcantarillado	2972	m	¢62 000,00	¢184 264 000,00	¢184 264 000,00
2.4 Cabezal de Desfogue	1	un	¢1 100 000,00	¢1 100 000,00	¢1 100 000,00
2.5 Cordon y Caño	2712	m	¢28 000,00	¢75 936 000,00	¢75 936 000,00
3. Estructura de Pavimentos					
3.1 Estructura de Pavimentos	1	gb		¢402 897 760,00	¢402 897 760,00
Material Base Granular	1936,36	m3	¢23 000,00	¢44 536 280,00	
Material Subbase Granular	4254,52	m3	¢23 000,00	¢97 853 960,00	
Asfalto	4341,79	Ton	¢60 000,00	¢260 507 520,00	

Fuente: Elaboración propia.

Figura 67*Presupuesto final proyecto*

4. Obras Peatonales	Cantidad	Unidad	Costo Unitario	Costo Total	Costo Directo
4.1 Aceras	4068	m2	¢26 000,00	¢105 768 000,00	¢105 768 000,00
5. Obras de Señalización	Cantidad	Unidad	Costo Unitario	Costo Total	Costo Directo
6.1 Señalización	1	gb		¢4 727 768,00	¢4 727 768,00
Señalización Vertical	1	gb	¢985 200,00	¢985 200,00	
Señalización Horizontal	1	gb	¢3 742 568,00	¢3 742 568,00	
Costo Total					¢936 930 583,33

Fuente: Elaboración propia.

5 Capítulo IV. Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

Se concluye mediante un análisis del comportamiento del tránsito en la zona en la actualidad versus en el futuro, gracias a los anuarios del MOPT (2015), que la ruta se clasifica como una colectora rural donde se puede determinar, según el SIECA (2011), el límite de velocidad gracias al TPDA y a la topografía del sitio. Se tomó como velocidad máxima de diseño 60km/h y de 40km/h como velocidad de ruedo.

Se concluye también que, con una mejor distribución en los espacios del derecho de vía, se plantea un ancho de carril de 3.65 metros de ancho a dos vías, y se espera se garantice una mayor seguridad para todos los transeúntes al circular por dicha ruta.

Se concluye que, como parte del diseño de la estructura de pavimentos, fue importante conocer las características de la subrasante donde se va a construir la carretera, la cual, según Castro y de la Torre, tenía un CBR de 3,8, dato tomado en un lugar próximo al área de estudio. Asimismo, ayudó a conocer las condiciones climáticas de la zona de Coronado para establecer el porcentaje de humedad y saturación a lo largo del año. De esta forma, y habiendo establecido unas condiciones buenas de drenaje, se pudo establecer m^2 y m^3 , vitales para determinar los espesores de las capas de base y subbase. Para la estimación de la estructura de pavimento, se determinó un Transito Promedio Diario de 9773 vehículos y unos 8.196.984,95 ejes equivalentes.

Se concluye, según los parámetros establecidos durante el proceso de diseño y ejecutándolos mediante el *software* de AASHTO, un espesor de 6 pulgadas (15,24 centímetros) de capa asfáltica, 6 pulgadas (15,24 centímetros) de capa de base granular y de 12 pulgadas (30,48 centímetros de subbase). Se utilizó un periodo de diseño de 15 años.

Se concluye que el diseño una red pluvial deberá tener 2.972 metros de longitud, se estudió el terreno se determinaron áreas tributarias y la colocación óptima para pozos de registro pluvial y de tragantes, donde se denota la colocación de 17 pozos pluviales, 34 tragantes y de un cabezal de desfogue, que vierte la escorrentía captada a la quebrada Palma 1600 metros aguas debajo de la zona de estudio. Se tomaron en cuenta todos los parámetros que exige la Norma del AyA (2017).

Con el mejor aprovechamiento de los espacios públicos, así como de la idea de generar un espacio de acceso de universal, se diseñaron las estructuras peatonales utilizando anchos de aceras de 1,5 metros de ancho mínimo con dispositivos táctiles para personas no videntes y de acabado de superficie rugosa. Además, se planteó conservar 85 centímetros de franja verde, paralelo a la acera para la instalación de postes o cualquier otro elemento que restrinja la libre circulación de peatones.

Se concluye que el presupuesto global del proyecto el cual comprendía desde obras preliminares, movimiento de tierras, alcantarillado pluvial, estructura de pavimentos, obras peatonales, obras de señalización, etc., para un total de: ¢ 936 930 583,33.

5.2 Recomendaciones

Se recomienda hacer una estimación manual del TPDA de las rutas que van a abastecer la nueva ruta de travesía, esto porque los datos que ofrece el MOPT están desactualizados al año 2015 y no reflejan de manera confiable el flujo vehicular actual en el área de estudio. Asimismo, se pretende obtener un diseño de pavimentos más eficiente y con menor grado de incertidumbre en el tiempo.

Es aconsejable, también, hacer una recolección de puntos topográficos *in situ* para reconocer las características relevantes del lugar, además, permitiría establecer un diseño

geométrico con condiciones reales de la zona, lo que haría plantear un diseño geométrico preciso permitiendo la obtención de valores más atinados.

Es importante destacar la relevancia de estudios de suelos en la zona de intervención, esto ayudaría a establecer los espesores acordes al suelo donde se va a sostener la carretera. Además, se recomienda monitorear, durante el proceso constructivo los materiales granulares y sus grados de compactación, mediante pruebas periódicas de laboratorio, esto permitirá que el pavimento goce de una mayor vida útil, así como un mayor grado de serviciabilidad.

Las obras de señalización horizontal se deben realizar pasado 30 días de la colocación de la capa asfáltica, para evitar que la pintura termoplástica se dañe o sea manchado por los mismos componentes bituminosos de la capa asfáltica.

Como parte de la realización de este proyecto, es aconsejable realizar un presupuesto actualizado debido a la variación en los costos de las materias primas de importación. En el presupuesto global, no se incluyó el rubro de imprevistos, ya que este debe ser establecido y administrado por la municipalidad que contrate el proyecto. Por lo general, se debe estimar al menos un 5 % del valor total de la obra.

Con lo que respecta al estudio hidrológico, se deberá verificar el caudal de diseño, ya que la variación por el fenómeno de impermeabilización en las áreas tributarias de aportes pluvial, podrían modificar el caudal máximo estimado con el desarrollo de grandes extensiones urbanizadas.

6 Bibliografía

Acueductos y Alcantarillados. (2017). Norma técnica para para diseño y construcción de sistemas de abastecimientos de agua potable, de saneamiento y pluvial. San José: Acueductos y Alcantarillados.

American association of state Highway and Transportantion Officials. (1993). AASHTO Guide for Design of Pavement Structures. Washington: AASHTO.

American Society for Testing and Materials. (2014). Standard Test Method for California Bearing Ratio (CBR) of Laboratory-Compacted Soils. Pensilvania: American Society for Testing and Materials.

American Society for Testing and Materials. (2018). Standard Test Method for CBR (California Bearing Ratio) of Soils in Place (Withdrawn 2018). Washington: American Society for Testing and Materials.

Dobles Umaña, M. (2013). Trazado y diseño geométrico de vías. San José: EUNED.

Iturbide, I. J. (Noviembre de 2002). Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos.

Obtenido de Academia EDU:

https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/34036856/manual_centroamericano_para_diseno_de_pavimentos.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOW

YYGZ2Y53UL3A&Expires=1557940422&Signature=zohaRzrOJBaxYXNw9NF
oaONZ8js %3D&response-content-disposition=inline %3B %20filename

Iturbide, I. J. (2004). Manual Centroamericano de Mantenimiento de Carreteras. Guatemala.

Ministerio de Obras Públicas y Transporte. (2010). Manual de especificaciones generales para la construcción de carreteras, caminos y puentes. San José: Ministerio de Obras Públicas y Transporte.

Ministerio de Obras Públicas y Transporte. (2017). Norma Técnica para el Desarrollo y Conservación de la Red Vial Cantonal. San José: Ministerio de Obras Públicas y Transporte.

Peña Dueñas, V. (31 de Agosto de 2016). CRITERIOS BÁSICOS PARA DISEÑO DE CARRETERAS.

Pérez, G. (2 de Junio de 2015). Diseño y Trazado de una Via.

PM4DEV. (2008). Gestión del Cronograma del Proyecto.

S.a, Corea y Asociados S.A. (2008). Manual para la Revisión de Costos y Presupuestos. Nicaragua.

SIECA. (Diciembre de 2000). MANUAL CENTROAMERICANO DE DISPOSITIVOS
UNIFORMES PARA EL CONTROL DEL TRÁNSITO. Guatemala.

Gamboa, Ramiro. Tesis “Diseño Hidrológico e Hidráulico de Drenajes menores en carreteras”.
Costa Rica: Universidad de Costa Rica, 1969.

Gobierno de Costa Rica. Instituto Geográfico Nacional. Sistema Nacional de Información
Territorial (SNIT). Infraestructura nacional de datos espaciales de Costa Rica, 2005.

Gobierno de Costa Rica. Ministro de Obras Públicas y Transportes. Manual de Especificaciones
Generales para la construcción carreteras, caminos y puentes CR-2010. Costa Rica:
LanammeUCR-MOPT, 2010