



RECINTO UNIVERSITARIO PEDRO ARAUZ PALACIOS

Facultad de Tecnología de la Construcción

UNI-RUPAP

Monografía para Optar al Título de Ingeniero Civil.

PROPUESTA DE DISEÑO GEOMÉTRICO PARA EL MEJORAMIENTO DE LA  
CARRETERA PUENTE OLAMA – PUENTE WILIWA, EST.126 + 000.00 -  
EST.133 + 500.00 (7.5 KM), MUNICIPIO DE MUYMUY, DEPARTAMENTO DE  
MATAGALPA.

ELABORADO POR:

Br. Danny Israel Aguilar Sequeira.

Br. Helen María de la Concepción Luna Herrera.

TUTOR:

Ing. Claudia Verónica Reyes Romero.

Managua, Nicaragua

Septiembre, 2021.

## **DEDICATORIA**

De todo corazón y con mucha gratitud dedico este trabajo:

A Dios, ante todo por darme la vida, la sabiduría y la paciencia de lograr culminar este último proceso en mi carrera.

A mis padres Helen Herrera y Fernando Luna que siempre me ha apoyado incondicionalmente en la parte moral y económica para poder llegar a ser una profesional, gracias por haberme dado el mejor regalo de la vida, la educación.

A mis hijos Sara y Leonardo que han sido los motores principales en mi vida.

A mi compañero de monografía, Danny Aguilar, por su amistad y motivación para realizar este trabajo final monográfico.

**HELEN MARÍA DE LA CONCEPCIÓN LUNA HERRERA**

## **DEDICATORIA**

A Dios, ante todo por darme la vida, la sabiduría y la paciencia de lograr culminar este último proceso en mi carrera

A mi familia por su gran confianza, apoyo económico, moral y amor incondicional durante toda mi vida hasta el día de hoy que gracias a ellos pude lograr todas las metas de todos mis estudios.

A mis hermanos y hermana por ser un gran apoyo en mi vida.

A mi compañera de monografía, Helen Luna por su amistad, compañerismo y motivación, por estar al frente en la realización de este trabajo.

**DANNY ISRAEL AGUILAR SEQUEIRA**

## **AGRADECIMIENTO**

A todos nuestros maestros que nos brindaron sabios consejos y valiosos conocimientos, por el incondicional apoyo brindado para la realización de este trabajo.

A Ing. Claudia Verónica Reyes Romero, por sus oportunas consideraciones durante la asesoría técnica brindada en la monografía.

**GRACIAS A TODOS**

## RESUMEN EJECUTIVO

El presente documento está orientado específicamente a la realización de una propuesta de Diseño Geométrico de un tramo de Carreteras de 7.5 kilómetros, comprendido entre el Puente Olama (Est.126+000) y el Puente Wiliwa (Est.133+500), en el Municipio de Muy Muy, Departamento de Matagalpa.

**Capítulo I: Generalidades**, se destacan aspectos generales de la población influenciada, problemática atravesada en la zona por la que se justifica la realización de la propuesta de diseño geométrico de la vía, y por supuesto, los objetivos planteados que se quieren alcanzar con este estudio.

**Capítulo II: Estudio de Tránsito**, abarca los conceptos referentes al tránsito, composición, volúmenes, tasa de crecimiento vehicular, y proyecciones del Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA).

**Capítulo III: Estudio Topográfico**, consiste en la obtención y presentación de los datos de campo del tramo, con los que se emplazará la obra de carretera.

**Capítulo IV: Diseño Geométrico de la Vía**, comprende el análisis de los diferentes elementos del diseño geométrico en planta, en perfil, y en sección transversal, partiendo de características geométricas actuales, condiciones topográficas y volúmenes de tránsito actual y proyectado al período de diseño. El diseño está basado en los criterios y especificaciones del Manual Centroamericano de Normas Para el Diseño Geométrico de Carreteras con enfoque de Gestión de Riesgo y Seguridad Vial, SIECA, 3ª Edición, 2011, y el Manual, A Policy On Geometric Design of Highways and Streets, AASHTO, 5th Edition. 2004.

**Capítulo V: Aplicación de AutoCAD Civil 3D**, se hace una pequeña guía acerca de cómo realizar el modelado y diseño geométrico vial, haciendo uso de una plantilla con estilos y etiquetas personalizadas con el software Autodesk AutoCAD Civil 3D, tomando en consideración los criterios y especificaciones de diseño abordados en el Capítulo IV.

## INDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO I: GENERALIDADES.....	1
1.1    Introducción.....	1
1.2    Antecedentes.....	4
1.3    Justificación.....	5
1.4    Objetivos.....	6
1.4.1  Objetivo General.....	6
1.4.2  Objetivos Específicos.....	6
CAPÍTULO II: ESTUDIO DE TRÁNSITO.....	6
2.1    Introducción.....	7
2.2    Composición del tránsito.....	8
2.3    Volumen de tránsito.....	8
2.4    Volúmenes de tránsito promedio diarios.....	8
2.5    Aforo vehicular.....	9
2.6    Tránsito promedio diario anual.....	10
2.7    Proyección del tránsito promedio diario anual.....	14
2.7.1  Correlación de variables macroeconómicas.....	14
2.7.2  Tasa de crecimiento para proyección del tránsito.....	19
2.7.3  Período de diseño.....	20

2.7.4	Tránsito normal.....	21
CAPÍTULO III: ESTUDIO TOPOGRÁFICO.....		22
3.1	Introducción.....	23
3.2	Definición de topografía.....	23
3.3	Establecimiento de puntos georreferenciados.....	24
3.4	Establecimiento de puntos de línea base. ....	25
3.5	Levantamiento de circuitos de poligonal línea base. ....	25
3.6	Nivelación de BM's.....	25
3.7	Seccionamiento del camino.....	26
3.8	Trabajo de gabinete.....	26
CAPÍTULO IV: DISEÑO GEOMÉTRICO DE LA VÍA.....		26
4.1	Introducción.....	27
4.2	Aspectos fundamentales del diseño. ....	27
4.2.1	Seguridad. ....	28
4.2.2	Funcionalidad. ....	28
4.2.3	Entorno. ....	28
4.2.4	Economía. ....	28
4.2.5	Estética.....	29
4.2.6	Elasticidad. ....	29
4.3	Factores o criterios de diseño.....	29

4.3.1	Clasificación de la vía según su función. ....	30
4.3.2	Clasificación del tipo de terreno de la vía. ....	31
4.3.3	Vehículos de diseño. ....	32
4.3.4	Velocidad. ....	34
4.3.4.1	Velocidad de diseño. ....	35
4.3.4.2	Velocidad de ruedo. ....	36
4.3.5	Visibilidad en carreteras. ....	37
4.3.5.1	Distancia de visibilidad de parada. ....	38
4.3.5.2	Distancia de visibilidad de adelantamiento. ....	40
4.4	Diseño geométrico en planta. ....	45
4.4.1	Normas generales para el alineamiento horizontal. ....	45
4.4.2	Curvas circulares simples. ....	46
4.4.2.1	Nomenclatura en una curva circular simple. ....	47
4.4.2.2	Ecuaciones de una curva circular simple. ....	48
4.4.2.3	Estacionamientos de una curva circular simple. ....	48
4.4.3	Curvas espirales de transición. ....	50
4.4.3.1	Nomenclatura de la curva circular con espirales de transición. ....	52
4.4.3.2	Ecuaciones de una curva circular con espirales de transición. ....	53
4.4.3.3	Estacionamientos de una curva circular con espirales de transición. .	54
4.4.3.4	Determinación de la longitud de la curva espiral de transición. ....	54

4.4.3.5	Radios que permiten prescindir de la curva espiral de transición.....	57
4.4.4	Sobreelevación o peralte máximo ( $e_{m\acute{a}x}$ ).....	61
4.4.5	Coeficiente de fricción lateral.....	62
4.4.6	Radio mínimo de curvatura.....	63
4.4.7	Grado máximo de curvatura ( $G_{m\acute{a}x}$ ).....	65
4.4.8	Longitud de transición.....	66
4.4.8.1	Longitud de transición para curvas circulares.....	67
4.4.8.2	Longitud de transición para curvas con espirales.....	71
4.4.9	Desarrollo del peralte.....	72
4.4.10	Sobreelevación en curvas.....	75
4.4.10.1	Determinación del sobreelevación en curvas.....	76
4.4.10.2	Desarrollo del sobreelevación en curvas.....	79
4.5	Diseño geométrico en perfil.....	82
4.5.1	Normas generales para el alineamiento vertical.....	83
4.5.2	Pendientes longitudinales de control para el diseño.....	84
4.5.2.1	Pendiente mínima.....	84
4.5.2.2	Pendiente máxima.....	85
4.5.3	Curvas verticales.....	86
4.5.3.1	Tipos de curvas verticales.....	87
4.5.3.2	Elementos geométricos de las curvas verticales.....	88

4.5.3.3	Criterios para la determinación de la longitud de una curva vertical...	92
4.5.3.3.1	Longitud mínima de las curvas verticales según el criterio de visibilidad de parada.	92
4.5.3.3.2	Longitud mínima de las curvas verticales según el criterio de visibilidad de rebase.	96
4.5.3.3.3	Longitud mínima de las curvas verticales cóncavas según el criterio de comodidad en la marcha.....	97
4.5.3.3.4	Longitud mínima de las curvas verticales cóncavas según el criterio de apariencia. ....	98
4.5.3.3.5	Longitud máxima de las curvas verticales según el criterio de drenaje.	99
4.5.3.3.6	Longitud mínima de las curvas verticales según el criterio de operación.	99
4.6	Diseño geométrico en sección transversal. ....	110
4.6.1	Elementos geométricos que integran la sección transversal.....	111
4.6.1.1	Derecho de vía. ....	111
4.6.1.2	Corona.....	112
4.6.1.2.1	Rasante.....	112
4.6.1.2.2	Pendiente transversal.....	113
4.6.1.2.3	Calzada. ....	119
4.6.1.2.4	Hombros.....	120
4.6.1.3	Aceras. ....	121

4.6.1.4	Mediana.....	122
4.6.1.5	Cunetas.....	123
4.6.1.6	Taludes.....	125
CAPÍTULO V: APLICACIÓN DE AUTOCAD CIVIL 3D.....		125
5.1	Introducción.....	126
5.2	Importación de puntos.....	127
5.3	Creación de superficie.....	129
5.4	Alineamiento horizontal.....	132
5.5	Alineamiento vertical.....	138
5.5.1	Creación de vista de perfil longitudinal.....	138
5.5.2	Creación de rasante de diseño.....	145
5.6	Obras lineales.....	149
5.6.1	Bombeos y peraltes.....	150
5.6.2	Offsets y sobrecanchos.....	153
5.6.3	Ensamblajes de secciones para carreteras.....	157
5.6.4	Creación de la obra lineal.....	165
CONCLUSIONES.....		171
RECOMENDACIONES.....		173
BIBLIOGRAFÍA.....		174
ANEXOS.....		175

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Resumen semanal de 12 horas por tipo de vehículo en ambos sentidos (miércoles 10/07/2019 a martes 16/07/2019).	10
Tabla 2: Vector Geográfico de Correspondencia.	12
Tabla 3: Dependencia de Estaciones 2018.	12
Tabla 4: Factores de ajustes del segundo cuatrimestre del año (mayo - agosto) en la estación EMC 700 Emp. Camoapa - Tecolostote.	13
Tabla 5: Tránsito promedio diario anual 2019 para el tramo en estudio.	14
Tabla 7: Logaritmos Neperianos de los Registros Históricos.	15
Tabla 8: Tasas de crecimiento por tipo de variable.	20
Tabla 9: Períodos de Diseño.	21
Tabla 11: Actividades de campo realizadas.	23
Tabla 12: Puntos de control de la red geodésica nacional.	24
Tabla 13: Clasificación funcional de carreteras.	31
Tabla 14: Clasificación de los terrenos en función de las pendientes naturales.	32
Tabla 15: Dimensiones de los vehículos de diseño.	32
Tabla 16: Radios mínimos de giro de los vehículos de diseño.	33
Tabla 17: Elementos de diseño geométrico de las carreteras regionales.	36
Tabla 18: Velocidad promedio de ruedo.	37

Tabla 19: Distancias de visibilidad de parada horizontal y con pendiente vertical. .....	40
Tabla 20: Elementos que conforman la distancia de visibilidad de adelantamiento en carreteras de dos carriles dos sentidos.....	44
Tabla 21: Mínimas distancias de visibilidad de adelantamiento za ..... en carreteras de dos carriles dos sentidos.....	44
Tabla 23: Variación de la aceleración centrífuga por unidad de tiempo (J).....	56
Tabla 24: Radios límites que permiten prescindir de una curva de transición. ....	58
Tabla 25: Tasas máximas de sobreelevación según tipo de área. ....	61
Tabla 26: Valores del Coeficiente de fricción lateral máximo ( $f_{\text{máx}}$ ).....	62
Tabla 27: Radios mínimos y grados máximos de curvas horizontales para distintas velocidades de diseño, usando valores límites de “e” y “f”.....	64
Tabla 28: Máximas pendientes relativas ( $\Delta$ ) de la orilla del pavimento.....	69
Tabla 29: Factores de ajuste por el número de carriles rotados ( $b_w$ ).....	69
Tabla 30: Sobreanchos en curvas para carreteras de dos carriles ..... (una calzada o dos calzadas). ....	78
Tabla 31: Ajuste para sobreanchos en curvas para ..... carreteras de dos carriles (una calzada o dos calzadas). ....	79
Tabla 32: Pendiente máxima para carreteras colectoras rurales. ....	86
Tabla 33: Control de diseño para curva vertical en cresta para distancia de visibilidad de parada. ....	94

Tabla 34: Control de diseño para curva vertical en columpio para distancia de visibilidad de parada. ....	95
Tabla 35: Control de diseño para curva vertical en cresta para distancia de visibilidad de adelantamiento o rebase. ....	97
Tabla 36: Bombeo normal de la calzada.....	114
Tabla 37: Anchos mínimos de hombros y aceras. ....	121
Tabla 38: Anchos recomendables de medianas. ....	123
Tabla 39: Taludes de relleno recomendables. ....	125

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de macro localización del tramo en estudio. ....	2
Figura 2: Mapa de micro localización del tramo en estudio. ....	3
Figura 3: Línea de tendencia del PIB. ....	16
Figura 4: Línea de tendencia TPDA 2103. ....	16
Figura 5: Línea de tendencia TPDA 700. ....	17
Figura 6: Línea de tendencia del crecimiento poblacional. ....	17
Figura 7: Línea de tendencia del $\ln$ PIB vs $\ln$ TPDA 700. ....	18
Figura 8: Línea de tendencia del $\ln$ PIB vs $\ln$ TPDA 2103. ....	19
Figura 9: Línea de tendencia $\ln$ PIB vs $\ln$ Población. ....	19
Figura 10: Trayectoria de giro mínima para vehículo de diseño SU. ....	34
Figura 11: Distancia de visibilidad de adelantamiento en carreteras de dos carriles dos sentidos. ....	42
Figura 12: Componentes de una curva circular simple. ....	47
Figura 13: Componentes de una curva espiral de transición. ....	51
Figura 14: Disposición de los carriles que giran respecto a su eje de rotación. ....	69
Figura 15: Métodos para desarrollar el peralte. ....	74
Figura 16: Transición del peralte por el método del eje de la vía para una curva circular simple. ....	74

Figura 17: Componentes del sobreancho en curvas.....	75
Figura 18: Transición del sobreancho en curva circular simple. ....	81
Figura 19: Transición del sobreancho en curva espiralizada. ....	81
Figura 20: Tipos de curvas verticales convexas y cóncavas.....	87
Figura 21: Tipos de curvas verticales simétricas y asimétricas.....	88
Figura 22: Elementos de una curva vertical simétrica.....	88
Figura 23: Elementos de una curva vertical asimétrica.....	90
Figura 24: Longitud mínima de curva vertical convexa .....	93
con visibilidad de parada. ....	93
Figura 25: Longitud mínima de curva vertical cóncava. ....	95
Figura 26: Longitud mínima de curva vertical convexa con visibilidad de rebase. .....	96
Figura 27: Sección transversal típica mixta, pavimentada en recta. ....	111
Figura 28: Distribución de la superelevación “e” por el método 5. ....	115
Figura 29: Sección típica de una cuneta triangular. ....	124
Figura 30: Herramientas de creación .....	127
de puntos. ....	127
Figura 31: Ventana de creación de puntos. ....	127
Figura 32: Ventana de importación de puntos. ....	128
Figura 33: Visualización de puntos en el espacio modelo. ....	129

Figura 34: Herramientas de .....	130
creación de superficies. ....	130
Figura 35: Ventana de creación de superficies. ....	130
Figura 36: Ventana de creación de superficies. ....	131
Figura 37: Visualización de la superficie en el espacio modelo. ....	131
Figura 38: Herramientas de creación de alineamientos. ....	132
Figura 39: Creación de alineamiento .....	133
Figura 41: Herramientas de creación de alineamientos (trazo sin curvas). ....	134
Figura 42: Trazo del alineamiento horizontal sin curvas. ....	135
Figura 43: Herramientas de creación de alineamientos.....	135
(inserción de curvas circulares). ....	135
Figura 44: Inserción de curva circular simple.....	136
Figura 45: Herramientas de creación de alineamientos.....	136
(inserción de espirales).....	136
Figura 46: Inserción de curva espiral - circular - espiral.....	137
Figura 47: Trazo del alineamiento horizontal con curvas circulares simples .....	138
y curvas circulares con espirales de transición. ....	138
Figura 48: Herramienta de creación de perfil de superficie.....	139
Figura 49: Creación de perfil desde superficie.....	139
Figura 50: Creación de vista de perfil (sección general). ....	140

Figura 51: Creación de vista de perfil (sección intervalo de estaciones). .....	141
Figura 52: Creación de vista de perfil (sección altura de visualización del perfil). .....	141
Figura 53: Creación de vista de perfil (sección opciones ..... de visualización del perfil). .....	142
Figura 54: Creación de vista de perfil (sección bandas del perfil). .....	143
Figura 55: Creación de vista de perfil (sección opciones de sombreado del perfil). .....	144
Figura 56: Vista de perfil (sin rasante). .....	144
Figura 57: Herramientas de creación de perfil (rasante). .....	145
Figura 58: Creación de perfil ..... por composición, Pestaña “General” .....	146
Figura 60: Herramientas de creación de perfiles (trazo sin curvas). .....	147
Figura 61: Vista de perfil (rasante sin curvas). .....	147
Figura 62: Herramientas de creación de perfiles (trazo con curvas). .....	148
Figura 63: Vista de perfil (rasante con curvas). .....	149
Figura 64: Cálculo de peralte (sección tipo de carretera). .....	150
Figura 65: Cálculo de peralte (sección carriles). .....	151
Figura 66: Cálculo de peralte (sección control de hombros). .....	151
Figura 67: Cálculo de peralte (sección definición de peraltes). .....	152
Figura 68: Reporte de peraltes y longitudes de transición. ....	153

Figura 69: Herramienta de creación de alineamientos desfase. ....	154
Figura 70: Creación de alineamientos .....	155
de desfase, pestaña “General” .....	155
Figura 71: Creación de alineamientos .....	156
de desfase, pestaña “Widening Criteria” .....	156
Figura 72: Alineamiento horizontal principal y sus desfases.....	157
Figura 73: Creación de ensamblajes. ....	158
Figura 74: Creación de ensamblajes. ....	158
Figura 75: Paleta de creación .....	159
Figura 77: Ventana propiedades.....	160
Figura 79: Ventana propiedades.....	161
Figura 81: Ventana propiedades.....	162
Figura 83: Ventana propiedades.....	162
Figura 85: Ventana propiedades.....	163
Figura 87: Ventana propiedades.....	164
“TALUD DE RELLENO 1” . ....	164
Figura 89: Ventana propiedades.....	164
“TALUD DE RELLENO 3” . ....	164
Figura 91: Sección típica completa. ....	165
Figura 92: Herramientas de creación.....	166

de corredores.....	166
Figura 94: Parámetros de línea base y región. ....	167
Figura 95: Frecuencia para aplicar .....	167
Figura 97: Corredor del proyecto. ....	168
Figura 98: Propiedades del corredor, pestaña “Codes”. ....	168
Figura 99: Propiedades del corredor, pestaña “Surfaces”. ....	169
Figura 100: Propiedades del corredor, pestaña “Boundaries”. ....	170

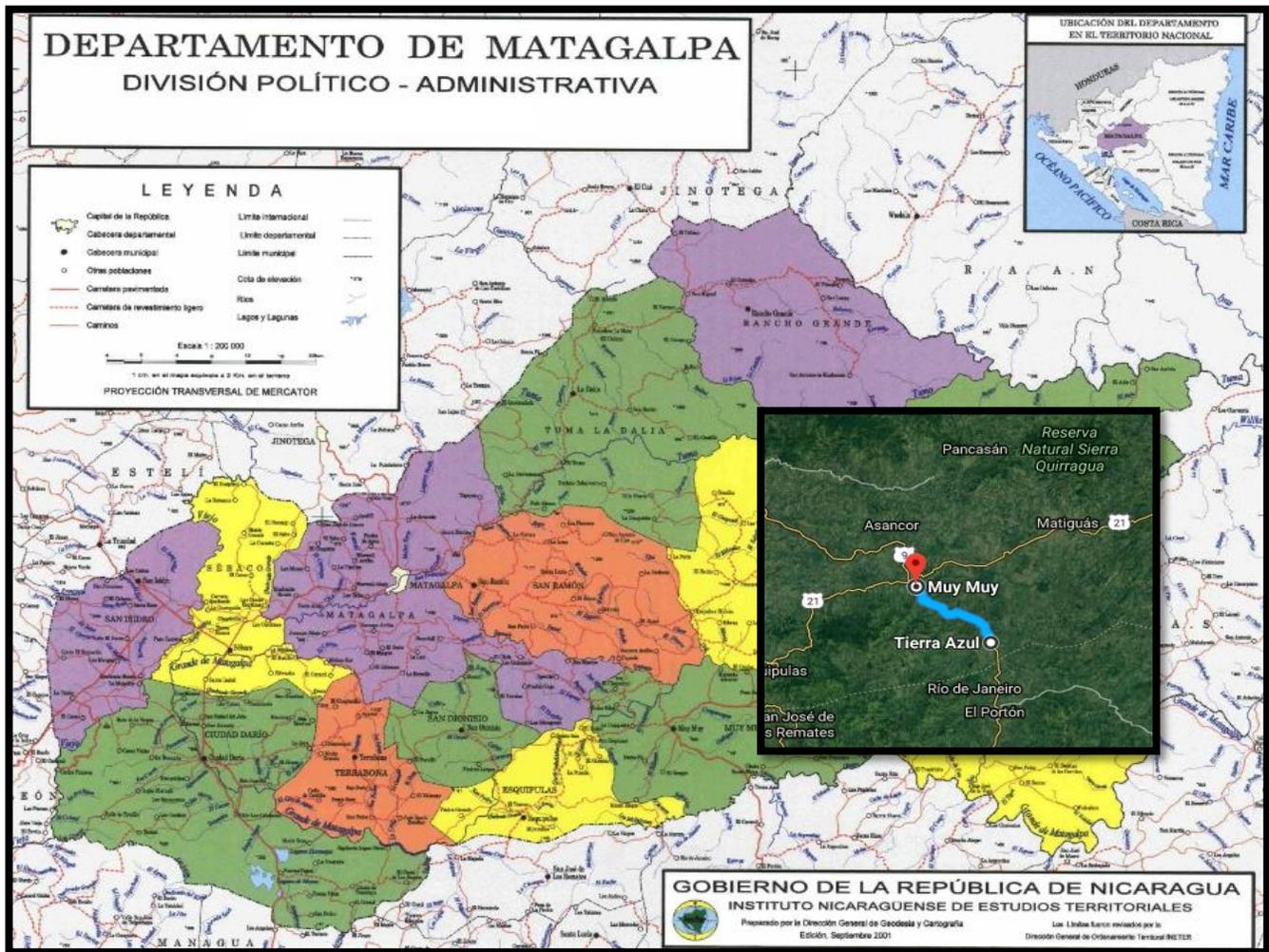
## **1.1 Introducción.**

El proyecto se localiza, en el municipio de Muy Muy, departamento de Matagalpa. Su población es mayoritariamente urbana y según el censo de población y viviendas realizado en el año 2005, fue de 469,172 habitantes. No obstante, de acuerdo al Instituto Nacional de Información de Desarrollo (INIDE), la población estimada para el año 2017 en el departamento de Matagalpa es de 547,500 habitantes. Este municipio cuenta con una extensión territorial de 375 km<sup>2</sup> y se encuentra a 51.9 km al norte del casco urbano de Matagalpa.

El municipio de Muy Muy fue fundado en el año 1,751 y su economía se basa en la ganadería, la agricultura y sus derivados. La Agricultura, en su mayoría, es de cultivo de café.

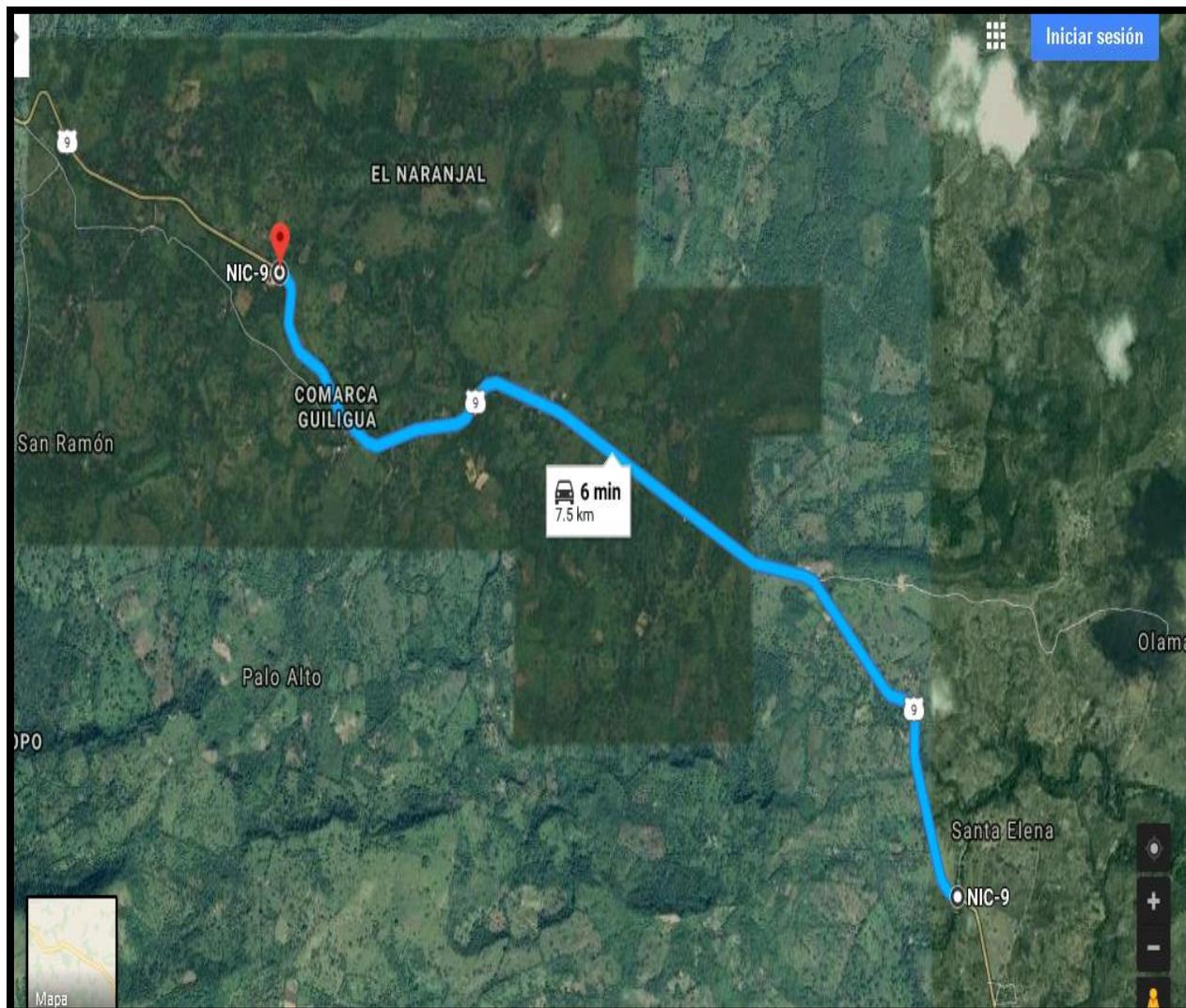
El tramo en estudio inicia en el puente Olama Est.126+000 y finaliza en el puente Wiliwa Est.133+500. El trabajo consiste en la mejora del tramo de carretera, la cual es catalogada como una carretera Colectora Menor Rural, debido a su gran importancia económica. Para esta propuesta de diseño, se utilizará el Software de diseño Autodesk AutoCAD Civil 3D y normas de diseño de documentos tales como: Manual Centroamericano de Normas Para el Diseño Geométrico de Carreteras con enfoque de Gestión de Riesgo y Seguridad Vial, SIECA, 3<sup>a</sup> Edición, 2011, Manual Estadounidense, A Policy On Geometric Design of Highways and Streets, AASHTO, 5th Edition. 2004, Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos, Calles y Puentes (NIC-2000) y el Manual del Usuario de Autodesk AutoCAD Civil 3D. Con la realización del diseño geométrico aplicando el Software Civil 3D, se pretende crear un documento práctico que sirva de apoyo a los interesados en la rama de la vialidad para usar esta tecnología, cumpliendo con los estándares de diseño descritos anteriormente.

Figura 1: Mapa de macro localización del tramo en estudio.



Fuente: Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER).

Figura 2: Mapa de micro localización del tramo en estudio.



Fuente: Google Earth.

## **1.2 Antecedentes.**

Han pasado casi 20 años desde la última rehabilitación del tramo en estudio, el cual presenta un gran deterioro en su infraestructura, debido al paso del tiempo y los efectos climáticos. El tramo se encuentra alojado sobre un terreno ondulado; cuenta con un derecho de vía aproximado de 25 a 30 metros a cada lado, el flujo vehicular según su categoría (carretera colectora menor rural) oscila de 500 a 3000 vehículos por día. Actualmente la carpeta de rodamiento existente es de concreto asfáltico, la cual, debido a la nula inversión en el mantenimiento, las lluvias, los malos drenajes y aumento del peso y flota vehicular, se encuentra en mal estado, ocasionando pegaderos en periodos lluviosos, daños a terceros, pésimo flujo vehicular y atraso en la economía.

### **1.3 Justificación.**

El gobierno de Nicaragua, a través de diferentes instituciones, ha mostrado mayor interés en el desarrollo de la infraestructura vial de municipios y comunidades con alto potencial económico y social, implementando programas para el mejoramiento de las vías terrestres, lo cual demanda agilidad y eficiencia de las actividades de gabinete y de manera especial el Diseño Geométrico de Carreteras para crear diferentes alternativas y seleccionar la que genere mejores beneficios a las zonas de influencias de los proyectos que se pretendan ejecutar.

**La Propuesta para el Diseño Geométrico para el Mejoramiento de la Carretera Puente Olama – Puente Wiliwa, Est.126+000 - Est.133+500 (7.5km), Municipio de Muy Muy, Departamento de Matagalpa,** se emplaza en una zona de producción agrícola, por lo que traerá grandes beneficios. Al mismo tiempo, esta vía es considerada uno de los principales accesos hacia la Región del Atlántico Norte, y por donde se transita gran parte del comercio tales como: la agricultura, ganadería, minería, entre otros.

Por lo tanto, para dar solución a las diferentes problemáticas, se requiere un diseño geométrico que proporcione seguridad, capacidad y calidad del transporte, debido que la evaluación de la infraestructura vial y las políticas de desarrollo económico actuales buscan conservar, mejorar, ampliar y construir nuevas carreteras que cumplan rigurosamente las normas técnicas aplicables vigentes y/o se desarrollen procedimientos y técnicas de ingeniería vial nuevas que conlleven a un desarrollo económico sostenible para las generaciones actuales y futuras.

## **1.4 Objetivos.**

### **1.4.1 Objetivo General.**

Realizar la “Propuesta de Diseño Geométrico para el Mejoramiento de la carretera Puente Olama – Puente Wiliwa, Est.126+000 – Est.133+500 (7.5 km)” para proporcionar seguridad y calidad del transporte, utilizando el software Civil 3D 2017.

### **1.4.2 Objetivos Específicos.**

1. Crear un archivo de proyecto del tramo en estudio, para producir un soporte de los análisis y cambios del diseño dinámico, en el software Autodesk, AutoCAD, Civil 3D 2017.
2. Definir los parámetros de diseño (peralte, transiciones, sobre ancho, distancias de visibilidad de parada y de rebase), con la finalidad de brindar seguridad al conductor según normas.
3. Diseñar el alineamiento horizontal y vertical, estableciendo armonía en los trazos de acuerdo a la norma Estadounidense, A Policy On Geometric Design of Highways and Streets, AASHTO, 5th Edition. 2004 y el Manual Centroamericano de Normas Para el Diseño Geométrico de Carreteras con enfoque de Gestión de Riesgo y Seguridad Vial, SIECA, 3ª Edición, 2011.
4. Elaborar planos planta - perfil, secciones transversales, que representen el diseño geométrico del tramo en estudio por medio del software Autodesk, AutoCAD, Civil 3D 2017.

## **2.1 Introducción.**

El propósito del estudio de tránsito es cuantificar la cantidad de vehículos que pasan por una vía en una unidad de tiempo, dado generalmente en días; esto permite conocer la capacidad y los niveles de servicio a la cual puede operar según la vida útil que comprenda su diseño, sirven tanto para los análisis de ingeniería como para fundamentar los estudios económicos y estudios de factibilidad.

En la actualidad, el transporte terrestre en Nicaragua se ve dificultado por numerosas razones entre las que cabe mencionar principalmente una red vial que se caracteriza por una inadecuada operatividad aunada a un sistema de gestión que requiere mayores niveles de eficiencia ante las enormes necesidades y limitados recursos, por tanto se requiere de un sistema vial que garantice competitividad y bajos costos de operación de transporte, asimismo que los tiempos de viaje de los usuarios y de carga sean cortos, a fin de que los productos transportados no sufran daños o pérdidas por degradación o descomposición y que estos lleguen a sus destinos en tiempo y forma.

El Gobierno de Reconciliación y Unidad Nacional (GRUN) tiene como objetivo primordial, el mejoramiento, rehabilitación y construcción de carreteras y caminos, lo cual ejecuta a través del órgano rector del transporte, el Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI). A través de estos proyectos, se persigue mejorar la competitividad, reducir costos de operación vehicular, tiempos de viaje de los usuarios y garantizar el transporte en todo tiempo de personas, bienes y mercancías. Al implantar las facilidades en la infraestructura vial, se debe tomar en consideración, que éstas deban integrar los elementos que conforme el crecimiento económico y social del país se requieran para estar en concordancia con el ascendente flujo vehicular y de personas, pero sin olvidar todos los elementos del transporte, como son los vehículos automotores, los vehículos de tracción humana y animal, los peatones; y que a su vez sea un sistema ambientalmente sostenible.

## **2.2 Composición del tránsito.**

La composición del tránsito es la relación porcentual entre el volumen de tránsito correspondiente a cada diferente tipo de vehículo, expresado en función del volumen de tránsito total.

El flujo de tránsito está compuesto por todos los tipos de vehículos, los cuales difieren en tamaño, peso y velocidad, por lo que, para simplificar los trabajos correspondientes a un aforo vehicular, se agrupan por categorías en vehículos livianos (motos, autos, jeeps, camionetas), vehículos de pasajeros (microbuses y buses), vehículos de carga (camiones y cabezales con semirremolques) y equipos pesados (maquinaria agrícola y maquinaria de construcción). Para mayor detalle ver Anexo, pág. I.

## **2.3 Volumen de tránsito.**

Es el número de vehículos que pasan por un punto dado o sección transversal de un tramo de carretera en cierto período de tiempo y se determina con un conteo directo, denominado aforo. Según la duración del aforo, el volumen puede ser horario, diario, semanal, mensual o anual.

## **2.4 Volúmenes de tránsito promedio diarios.**

El tránsito promedio diario (TPD) es una medida de tránsito fundamental, y se define como el número total de vehículos que pasan durante un periodo dado (en días completos) igual o menor a un año y mayor que un día, dividido entre el número de días del periodo. En función del número de días del periodo establecido, los volúmenes de tránsito promedio diarios se clasifican en:

a) Tránsito promedio diario anual (TPDA).

$$TPDA = \frac{TA}{365} \quad (\text{Ec. 1})$$

b) Tránsito promedio diario mensual (TPDM).

$$TPDM = \frac{TM}{30} \quad (\text{Ec. 2})$$

c) Tránsito promedio diario semanal (TPDS).

$$TPDS = \frac{TS}{7} = \frac{\sum TD}{7} \quad (\text{Ec. 3})$$

Donde:

TA: Tránsito Anual.

TM: Tránsito Mensual.

TS: Tránsito Semanal.

TD: Tránsito Diario.

## **2.5 Aforo vehicular.**

Para recolectar los datos de campo del aforo vehicular, se situó la estación de conteo en el estacionamiento 132 + 500.0 (Comarca Wiliwa), el cual es un punto con adecuada visibilidad y mayor concentración del flujo vehicular por la afluencia de personas. Tomando en cuenta la metodología planteada por el MTI, la cual indica que es necesario como mínimo doce horas de conteo y tres días consecutivos en caminos con un flujo vehicular menor a una red troncal, se seleccionaron para el aforo manual de observación directa, siete días consecutivos, iniciando el día miércoles 10 de Julio del 2019 y finalizando el martes 16 de Julio del mismo año, en un horario de 12 horas de 6:00 am a 6:00 pm. Ver Anexo, pág. II a pág. VIII.

De la información obtenida de los conteos vehiculares diarios realizados se presenta el siguiente resumen semanal diurno (12 horas) por tipo de vehículo en ambos sentidos.

Tabla 1: Resumen del tránsito diurno semanal por tipo de vehículo en ambos sentidos (miércoles 10/07/2019 a martes 16/07/2019).

Día	VEHÍCULOS LIVIANOS				VEHÍCULOS DE PASAJEROS			VEHÍCULOS DE CARGA				EQUIPO PESADO		Total
	MOTO	AUT O	JEE P	Camionetas Pick Ups	Mbus	MB >15 P	Bus	C2 Liv	C2 > 5 ton	C3	TXS X 5	VC	OTROS	
MIÉRCOLES 10/07/2019	101	24	7	143	6	3	29	16	98	8	18	35	3	491
JUEVES 11/07/2019	58	26	20	137	6	2	30	18	66	19	19	31	-	432
VIERNES 12/07/2019	84	27	21	141	8	1	31	10	83	12	15	32	-	465
SABADO 13/07/2019	78	21	14	131	3	1	35	12	80	7	15	32	2	431
DOMINGO 14/07/2019	61	29	16	120	-	-	19	4	37	15	22	32	-	355
LUNES 15/07/2019	104	23	19	157	13	-	26	20	62	4	15	23	-	466
MARTES 16/07/2019	91	35	25	177	7	2	26	51	64	11	22	90	-	601
ΣTDiS	577	185	122	1006	43	9	196	131	490	76	126	275	5	3241
TPDiS	82	27	17	144	6	1	28	19	70	11	18	39	1	463
%TPDiS	17.8	5.7	3.8	31.0	1.3	0.3	6.1	4.0	15.1	2.3	3.9	8.5	0.2	100
vehículo liviano = 59.9%								vehículo pesado 40.1%						

Fuente: Elaboración Propia.

Puede apreciarse en la tabla anterior, que el vehículo liviano “camioneta” es el más representativo constituyendo un 31% (1006 vpd), debido a que este es el que más se utiliza para transportar los productos que se cultivan en el lugar y sus alrededores; así mismo las motocicletas tiene bastante presencia con un 17.8% (577 vpd), dado que son los medios que los habitantes usan para movilizarse rápidamente en la zona. Dentro de los vehículos de carga, el tipo C2 es el más recurrente con un 15.1% (490 vpd), por ser utilizado para transporte de materiales de construcción.

## 2.6 Tránsito promedio diario anual.

Como no es posible disponer de registros de volúmenes a lo largo de un año en todas las vías para poder determinar el tránsito promedio diario anual actual o de año base, se hace uso del método de asociación de estaciones que aparece en el

Anuario de Aforos de Tráfico 2018 del Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI), el cual utiliza factores de ajuste (factor día, factor semana, factor fin de semana y factor expansión a TPDA) para convertir los volúmenes de tráfico contabilizados a valores de tránsito promedio diario anual.

Dado que el aforo vehicular realizado para este proyecto se realizó diurnamente durante doce horas los siete días de la semana no es necesario usar los factores semana y fin de semana para estimar el tránsito promedio diario anual, sino que solo basta con aplicar el factor día y el factor de expansión a TPDA a los volúmenes de tránsito diario aforados en campo. Dicha estimación se realiza con la siguiente ecuación:

$$TPDA = TPD_iS * F_D * F_E \quad (\text{Ec. 4})$$

Donde:

TPDA: Tránsito Promedio Diario Anual.

TPD<sub>i</sub>S : Tránsito Promedio Diurno Semanal.

F<sub>D</sub>: Factor día.

F<sub>E</sub>: Factor expansión.

Tabla 2: Vector Geográfico de Correspondencia.

Vector	Código	Nombre de Región	Departamentos
R1	PS	Pacífico Sur	Masaya, Granada, Carazo, Rivas
R2	PN	Pacífico Norte	León, Chinandega, Managua
R3	CN	Central Norte	Nueva Segovia, Madriz, Estelí, Jinotega, Matagalpa, Boaco, Chontales
R4	AS	Atlántico Sur	Región Autónoma del Caribe Sur (RACS), Río San Juan
R5	AN	Atlántico Norte	Región Autónoma del Caribe Norte (RACN)

Fuente: Anuario de aforos de tráfico 2018, pág. 16.

Este tramo vial “Puente Olama - Puente Wiliwa” se localiza en el Municipio de Muy Muy, Departamento de Matagalpa (Región Central Norte o R3), por lo que se identifican dos estaciones de corta duración relevantes por su proximidad geográfica al proyecto que son la ECD 905 “El Portón - Empalme Muy Muy” y la ECD 2103 “Empalme Muy Muy - Matiguás”, las cuales dependen de la estación de mayor cobertura EMC 700 “Empalme Camoapa - Tecolostote”, tal como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3: Dependencia de Estaciones 2018.

ESTACIÓN DE MAYOR COBERTURA	NIC	Nº ESTACIÓN	TIPO	NOMBRE DEL TRAMO
700 Emp. Camoapa - Tecolostote	NIC - 5	504	ECS	Emp. Cerro Verde - El Comején
	NIC - 7	701A	ECD	Emp. San Benito - Las Banderas
	NIC - 7	701B	ECD	Las Banderas - Emp. Teustepe
	NIC - 7	702	ECD	Emp. Boaco - Emp. Camoapa
	NIC - 9	902	ECD	Boaco - El Portón
	NIC - 9	905	ECD	El Porton - Emp. Muy Muy
	NIC - 20A	140	ECD	Cofradía (Parque Infantil) - Emp. El Portillo
	NIC - 20A	2014	ECD	Emp. El Portillo - Emp. A Sabana Grande (Molinos Meco de Sta. Fe)
	NIC - 21B	2103	ECD	Emp. Muy Muy - Matiguás
	NIC - 21B	2104	ECD	Matiguás - Río Blanco
NIC - 21B	906	ECD	Río Blanco - Wanawana	

Fuente: Anuario de Aforos de Tráficos 2018, pág. 57.

La estación de corta duración ECD 905 “El Portón - Empalme Muy Muy”, presenta un mayor grado de similitud en cuanto al perfil del flujo vehicular del tramo en estudio, sin embargo, al poseer registros muy escasos se descarta y se elige la estación de corta duración ECD 2103 “Empalme Muy Muy - Matiguás”, que cuenta con datos más completos con los que se obtendrá una correlación confiable y estimar así, una tasa de crecimiento acorde a la actividad económica.

La estación de referencia seleccionada para el uso de los factores de ajuste necesarios para el cálculo del tránsito promedio diario anual (TPDA) del año base (2019) es la estación de mayor cobertura EMC 700 “Empalme Camoapa - Tecolostote”. Los factores de ajuste empleados son los correspondientes al segundo cuatrimestre debido a que los conteos fueron realizados en Julio 2019.

Tabla 4: Factores de ajustes del segundo cuatrimestre del año (mayo - agosto) en la estación EMC 700 Emp. Camoapa - Tecolostote.

Descripción	Moto	Carro	Jeep	Camioneta	Micro Bus	Mini Bus	Bus	Liv. 2-5 t.	C2	C3	Tx- Sx<=4	Tx- Sx>5	Cx- Rx<4	Cx- Rx>5	V.A	V.C	Otros
Factor Día	1.24	1.24	1.25	1.32	1.26	1.50	1.36	1.42	1.75	1.73	1.00	1.75	1.00	1.00	1.00	1.00	1.75
Factor Semana	1.02	1.00	0.95	0.94	0.94	1.14	0.96	0.90	0.90	0.93	1.00	0.91	1.00	1.00	1.00	1.00	0.81
Factor Fin de Semana	0.94	1.00	1.14	1.21	1.18	0.76	1.12	1.39	1.39	1.23	1.00	1.33	1.00	1.00	1.00	1.00	2.43
Factor Expansión a TPDA	1.04	1.16	1.19	1.11	1.20	3.04	1.06	1.10	1.09	1.25	1.27	1.11	1.00	1.00	1.00	1.00	1.07

Fuente: Anuario de Aforos de Tráfico 2018, Pág.328.

Por ejemplo, si se quiere calcular el tránsito promedio diario anual para un vehículo de carga “C2”, simplemente se multiplica el valor del TPDS calculado en la Tabla 1 para este vehículo por sus factores día y expansión que aparecen en la Tabla 4, tal como sigue:

$$TD = 70 * 1.75 * 1.09 = 134 \text{ vpd}$$

En la Tabla 5 se muestran los cálculos del tránsito promedio diario anual del año base 2019 en la estación de conteo ubicada en la progresiva 132 + 500.0 (Comarca Wiliwa) y sus respectivos factores de ajuste provenientes de la estación de mayor cobertura EMC 700 “Empalme Camoapa - Tecolostote”.

Tabla 5: Tránsito promedio diario anual 2019 para el tramo en estudio.

Tramo: Puente Olama - Puente Wiliwa (7.5 km)    Días: 7    Horas: 12    Mes/Año Julio / 2019														
Item	Vehículos livianos				Vehículos de			Vehículos de carga				Equipos		Total
	Moto	Auto	Jeep	Camioneta	Micro bus < 15 Pas	Micro bus > 15 Pas	Bus	C2 Liv	C2 > 5 ton	C3	Tx - Sx ≥ 5e	VC	Otros	
TPDiS	82	27	17	144	6	1	28	19	70	11	18	39	1	463
Factor día	1.24	1.24	1.25	1.32	1.26	1.5	1.36	1.42	1.75	1.73	1.75	1	1.75	
Factor expansión	1.04	1.16	1.19	1.11	1.20	3.04	1.06	1.10	1.09	1.25	1.11	1	1.07	
TPDA (vpd)	106	39	25	211	9	5	40	30	134	24	35	39	2	699
% TPDA	15.16	5.58	3.58	30.19	1.29	0.72	5.72	4.29	19.17	3.43	5	5.58	0.29	100
%	% vehículos livianos				56.52 %			% vehículos pesados				43.48 %		100%

Fuente: Elaboración Propia.

## 2.7 Proyección del tránsito promedio diario anual.

El pronóstico del volumen de tránsito promedio diario anual en el año de proyecto, para el mejoramiento de una carretera existente o para la construcción de una nueva carretera, deberá basarse no solamente en los volúmenes normales actuales, sino también en los incrementos del tránsito que se espera utilicen la nueva carretera al entrar en operación.

### 2.7.1 Correlación de variables macroeconómicas.

Para obtener el tránsito futuro es necesario tomar en cuenta los indicadores de crecimiento que presenta la zona donde se ubica la vía en estudio. Se utilizan métodos econométricos que relacionan variables claves de la economía nacional y/o regional, tales como las tasas de crecimiento histórico de la flota vehicular (según datos del MTI), tasas de crecimiento poblacional y el crecimiento del producto interno bruto (PIB).

Tabla 6: Registros históricos de las variables.

Año	PIB (Millones de C\$ constantes)	TPDA "ECD 2103"	TPDA "EMC 700"	Población
2009	124907.7	765	2091	5,742,310
2010	130416.3	1033	2097	5,815,524
2011	138654.2	927	2283	5,996,619
2012	147661.4		2511	6,071,045
2013	154936.8	1175	2596	6,134,270
2014	162351.3	1241	2608	6,198,154
2015	170131.6		2920	6,232,703
2016	177894.9		3156	6,327,927
2017	186212.4		3808	6,393,824
2018	179107	1329	3334	6.465.513

Fuente: Anuario de Estadísticas Macroeconómicas 2018 (BCN), Pág.8.  
 Anuario de Aforos de Tráfico 2018 (MTI), Pág.127 y 154.  
 Anuario Estadístico 2017(INIDE), Pág.30.

Para lograr una mejor correlación entre las variables, se aplicará el logaritmo natural a los datos de los registros históricos, tal como se muestra en la Tabla 7, y de este modo poder utilizarlos en un análisis de regresión lineal y calcular los coeficientes de correlación de dichas variables.

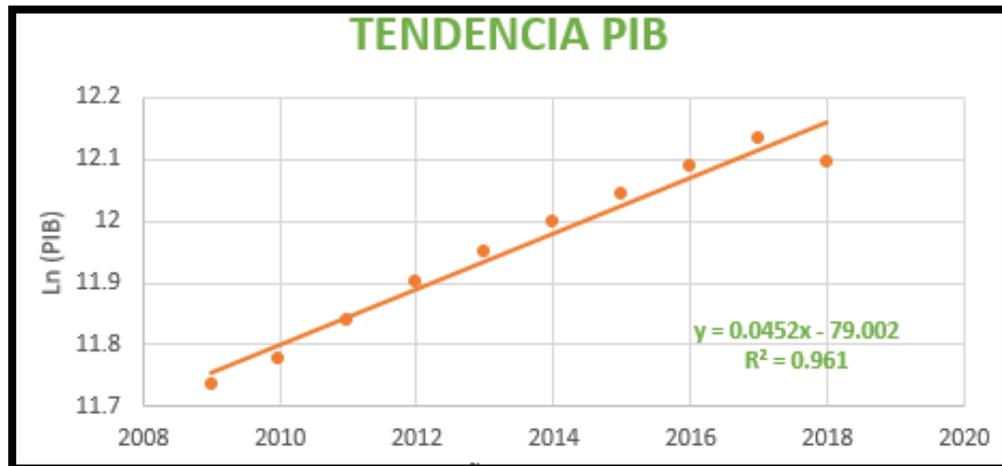
Tabla 7: Logaritmos Neperianos de los Registros Históricos.

Año	Ln (PIB)	Ln (TPDA ECD 2103)	Ln (TPDA EMC 700)	Ln(Población)
2009	11.7353	6.64	7.645	15.563
2010	11.7785	6.94	7.648	15.576
2011	11.8397	6.832	7.733	15.607
2012	11.9027		7.828	15.619
2013	11.9508	7.069	7.862	15.629
2014	11.9975	7.124	7.866	15.64
2015	12.0443		7.979	15.645
2016	12.0889		8.057	15.66
2017	12.1346		8.245	15.671
2018	12.0957	7.192	8.112	15.682

Fuente: Elaboración Propia

En seguida, se analiza la correlación de los datos de cada variable con respecto al tiempo en años, utilizando líneas de tendencias que arrojan un porcentaje de correlación y una tasa de crecimiento.

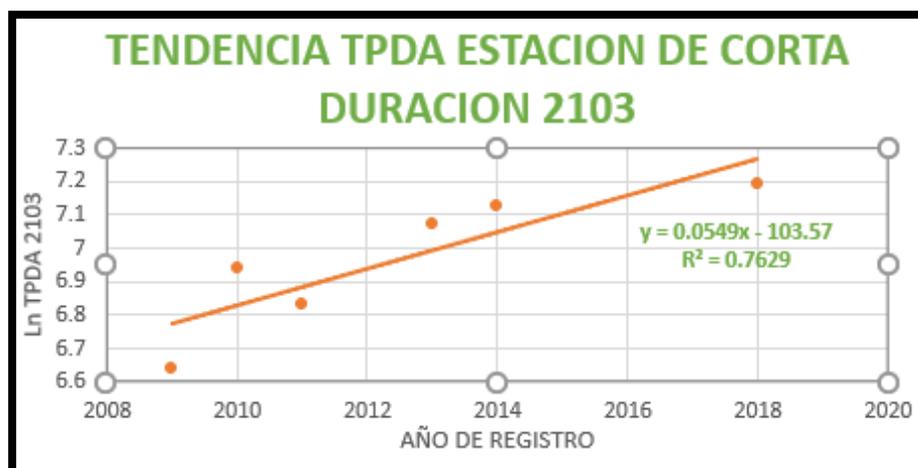
Figura 3: Línea de tendencia del PIB.



Fuente: Elaboración propia.

Al realizar un análisis de la tendencia de los datos del PIB con respecto al tiempo, se obtiene un coeficiente de correlación  $R^2=0.961$ , es decir los datos tienen una correlación de 96.1 %, y presentan una tasa de crecimiento promedio de 4.52 % anual. Ver Figura 3.

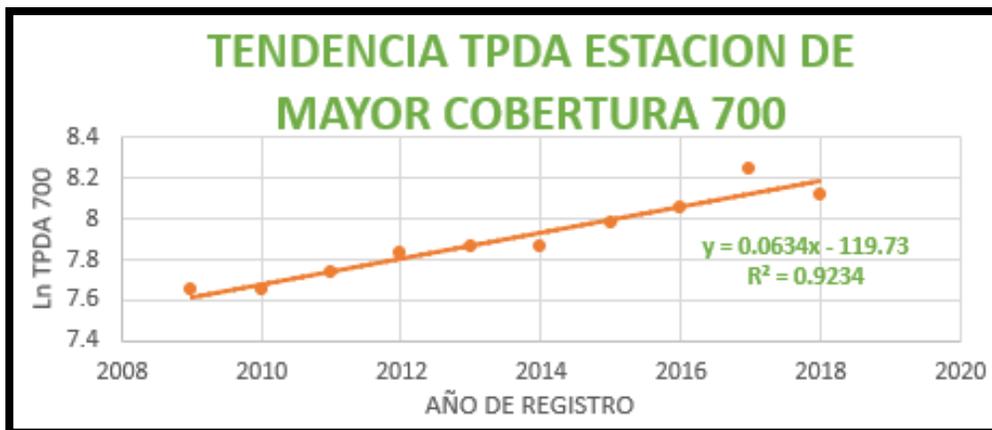
Figura 4: Línea de tendencia TPDA 2103.



Fuente: Elaboración propia.

La línea de tendencia de los datos del TPDA de la estación de corta duración ECD 2103 “Empalme Muy Muy - Matiguás” presenta un coeficiente de correlación  $R^2 = 0.7629$ , es decir que dichos datos se correlacionan al 76.29 %, y tiene crecimiento promedio anual de 5.49 %. Ver Figura 4.

Figura 5: Línea de tendencia TPDA 700.



Fuente: Elaboración propia.

La correlación de los datos del TPDA de la estación de mayor cobertura “EMC 700 Empalme Camoapa - Tecolostote” es excelente y equivalente a 92.34 %, presentando un crecimiento promedio anual del 6.34 %. Ver Figura 5.

Figura 6: Línea de tendencia del crecimiento poblacional.



Fuente: Elaboración propia.

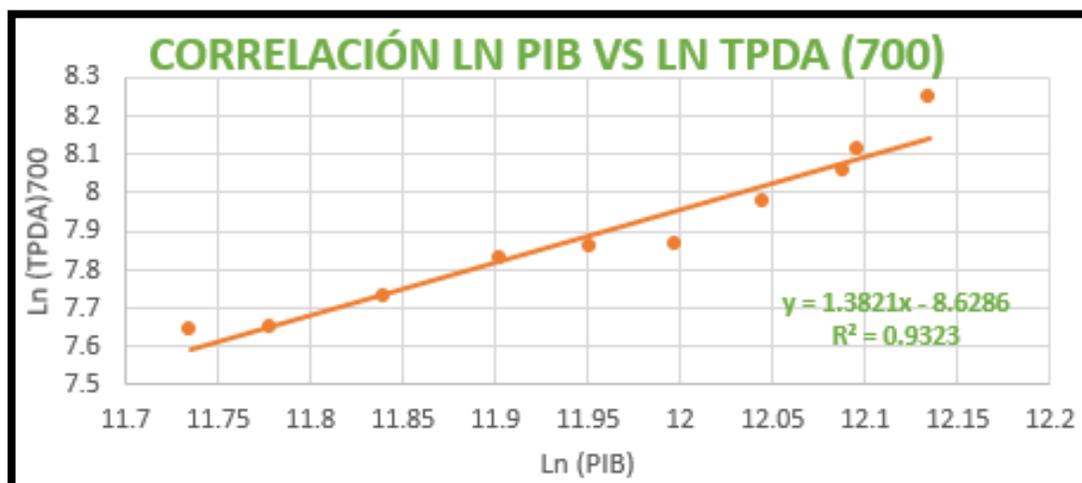
Los datos del crecimiento poblacional también poseen una alta correlación al 96.9 % ( $R^2 = 0.969$ ), presentando una tasa de crecimiento promedio anual de 1.27 %. Ver Figura 6.

Después de haber determinado que existen valores altos de correlación de cada variable con respecto al tiempo, también se analizan las correlaciones que se producen al combinar las variables TPDA “EMC 700 Empalme Camoapa – Tecolostote”, TPDA “ECD 2103 Empalme Muy Muy – Matiguás”, y “Población Nacional” con la variable “PIB”.

Como resultado de correlacionar los datos del TPDA de la estación de mayor cobertura EMC 700 “Empalme Camoapa – Tecolostote” con los datos del PIB, se obtuvo un coeficiente de correlación alto ( $R^2 = 0.9323$ ), que indica que ambas variables están muy relacionadas, tal como se muestra en la Figura 7. Mientras que la correlación de los datos del TPDA de la estación de corta duración ECD 2103 “Empalme Muy Muy - Matiguás” con los datos del PIB, resultó un poco menor equivalente al 83.03 %, según se observa en la Figura 8.

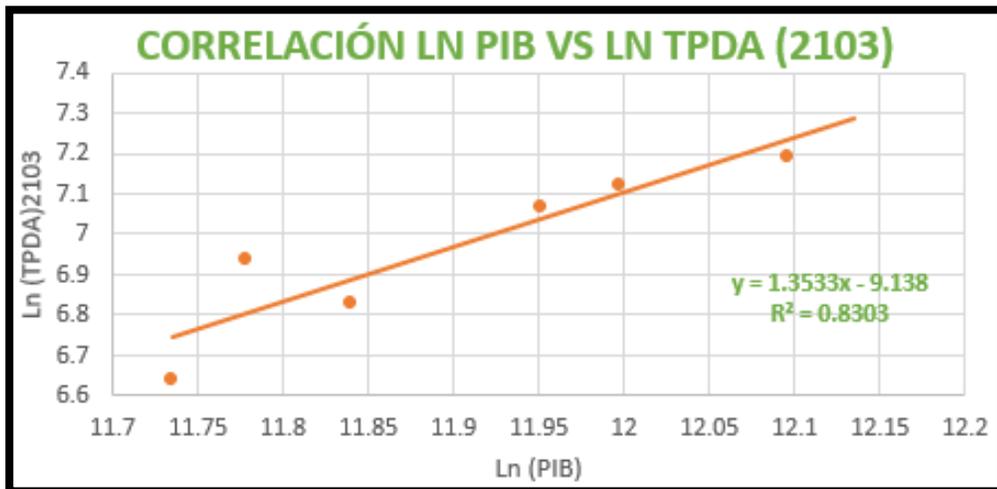
Por último, al evaluar los datos de la variable Población Nacional con los datos de la variable PIB se encontró una correlación bastante alta de 96.11%. Ver Figura 9.

Figura 7: Línea de tendencia del Ln PIB vs Ln TPDA 700.



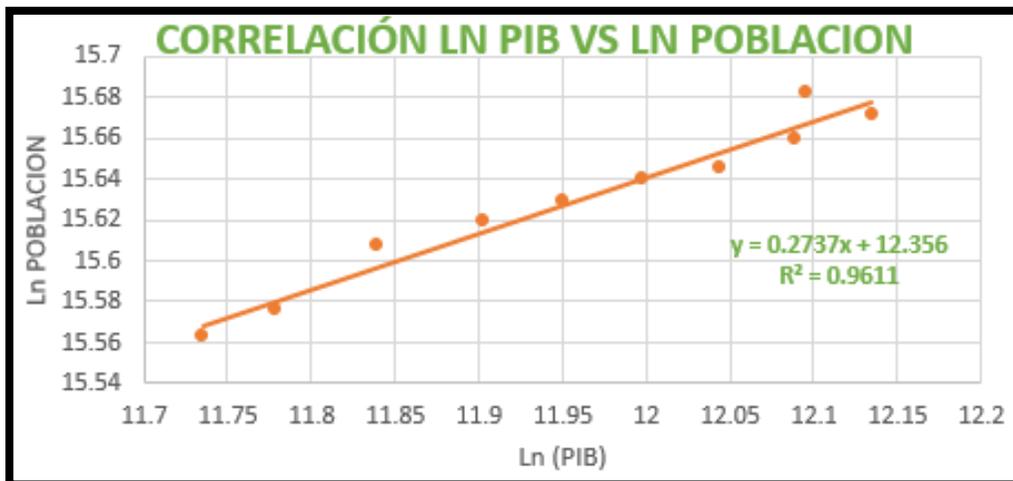
Fuente: Elaboración propia.

Figura 8: Línea de tendencia del ln PIB vs ln TPDA 2103.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 9: Línea de tendencia ln PIB vs ln Población.



Fuente: Elaboración propia.

### 2.7.2 Tasa de crecimiento para proyección del tránsito.

La tasa de crecimiento es la que determina básicamente el incremento del tránsito. Al analizar las variables relacionadas al tránsito (PIB, TPDA de las estaciones correspondientes al tramo en estudio y crecimiento poblacional), se puede determinar la tasa de crecimiento de tránsito normal como un promedio de las

tasas de las variables mencionadas, siempre y cuando exista una alta correlación entre ellas. Las tasas calculadas se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 8: Tasas de crecimiento por tipo de variable.

Variable	Coefficiente de Correlación	Tasa de Crecimiento (%)
PIB	0.961	4.52
TPDA EST. 2103	0.7629	5.49
TPDA EST.700	0.9234	6.34
POBLACIÓN	0.969	1.27

Fuente: Elaboración propia.

De los resultados presentados en la tabla anterior, puede decirse que la tasa relacionada al TPDA de la estación de corta duración ECD 2103 “Empalme Muy Muy - Matiguás” tiene un valor de 5.49 %, el cual es menor que el obtenido para la tasa de la estación de mayor cobertura EMC 700 “Empalme Camoapa - Tecolostote” que es de 6.34 %. De manera similar ocurre al comparar la variable Población con la variable PIB, donde la primera tiene una tasa de crecimiento bastante baja de 1.27 %, mientras que el PIB posee una tasa alta de 4.52 %.

Debido a la alta variación que existe entre los valores de las tasas de crecimiento obtenidas se recomienda utilizar un promedio para realizar la proyección del tránsito, tal como sigue:

$$tc = \frac{(4.52 + 5.49 + 6.34 + 1.27)}{4} = 4.4 \%$$

Por tanto, se tiene que para obtener el tránsito normal (Tn) se debe proyectar el tránsito promedio diario anual del año base 2019 hasta el año horizonte de proyecto 2039, utilizando una tasa de crecimiento anual de 4.4 %.

### 2.7.3 Período de diseño.

Para una carretera clasificada como colectora rural se recomienda adoptar un período de proyección entre diez y veinte años para su diseño. En este estudio en

particular se seleccionó un período de diseño de veinte años, basado en el “Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos, SIECA 2002”. Ver Tabla 9.

Tabla 9: Períodos de Diseño.

Tipo de Carretera	Período de Diseño
Autopista Regional	20 – 40 años
Troncales suburbanas	15 – 30 años
Troncales Rurales	
Colectoras Suburbanas	10 – 20 años
Colectoras Rurales	

Fuente: Fuente: Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos, SIECA 2002. Capítulo 7, Pág.3.

#### 2.7.4 Tránsito normal.

El Tránsito Normal comprende el flujo que actúa en la carretera y crece como consecuencia de la dinámica económica del país, independiente de la mejora que se haga a la vía. El crecimiento normal del tránsito obedece a la siguiente ecuación:

$$T_n = T_o (1 + i)^n \quad (\text{Ec. 5})$$

Donde:

T<sub>n</sub>: Cantidad de vehículos para el año estimado (2039).

T<sub>o</sub>: Tránsito en el año cero (2019).

i: Tasa de crecimiento anual.

n: Cantidad de años.

Por ejemplo, si se desea calcular el tránsito normal en el año 2021 para un vehículo de carga como lo es el C2, se utiliza la ecuación anterior, donde el tránsito en el año cero, es el tránsito promedio diario anual para este vehículo en el año base 2019 equivalente a 134 vpd, y la tasa de crecimiento anual es la calculada en la Sección 2.7.2.

$$T_{2020} = 134 * (1 + 0.044)^2 = 146 \text{ vpd}$$

En la Tabla 10, se presentan los resultados del cálculo del tránsito normal para 20 años (período de diseño), iniciando en el año base 2019 y finalizando en el año horizonte de proyecto 2039, utilizando una tasa de crecimiento anual de 4.4 %. De esta misma tabla se puede extraer la proyección total del tránsito promedio diario anual en el año 2039 (TPDA<sub>2039</sub>) equivalente a 1649 vehículos por día. Así mismo se puede observar que la camioneta y camión C2, son los más representativos con 499 vpd y 317 vpd respectivamente.

Tabla 10: Proyección del Tránsito Normal con Tasa de Crecimiento del 4.4%.

AÑO	MOTO	AUTO	JEEP	Camionetas PicK UPs	Mbus	MB >15 P	Bus	C2 Liv	C2 > 5 ton	C3	TXSX 5	VC	OTROS	TOTAL
2019	106	37	25	211	9	5	40	30	134	24	35	39	2	697
2020	111	39	26	220	9	5	42	31	140	25	37	41	2	728
2021	116	40	27	230	10	5	44	33	146	26	38	43	2	760
2022	121	42	28	240	10	6	46	34	152	27	40	44	2	793
2023	126	44	30	251	11	6	48	36	159	29	42	46	2	828
2024	131	46	31	262	11	6	50	37	166	30	43	48	2	864
2025	137	48	32	273	12	6	52	39	174	31	45	50	3	902
2026	143	50	34	285	12	7	54	41	181	32	47	53	3	942
2027	150	52	35	298	13	7	56	42	189	34	49	55	3	984
2028	156	55	37	311	13	7	59	44	197	35	52	57	3	1027
2029	163	57	38	325	14	8	62	46	206	37	54	60	3	1072
2030	170	59	40	339	14	8	64	48	215	39	56	63	3	1119
2031	178	62	42	354	15	8	67	50	225	40	59	65	3	1169
2032	186	65	44	369	16	9	70	53	235	42	61	68	4	1220
2033	194	68	46	386	16	9	73	55	245	44	64	71	4	1274
2034	202	71	48	403	17	10	76	57	256	46	67	74	4	1330
2035	211	74	50	420	18	10	80	60	267	48	70	78	4	1388
2036	220	77	52	439	19	10	83	62	279	50	73	81	4	1449
2037	230	80	54	458	20	11	87	65	291	52	76	85	4	1513
2038	240	84	57	478	20	11	91	68	304	54	79	88	5	1580
2039	251	88	59	499	21	12	95	71	317	57	83	92	5	1649

Fuente: Elaboración propia.

### 3.1 Introducción.

Los estudios topográficos son un elemento esencial en todos los proyectos de carretera, debido al nivel de exactitud exigido, sin embargo, representan una actividad crítica para el buen desarrollo de los diseños viales. Consiste en la obtención de los datos de campo del tramo en donde se emplazará a obra de carretera.

### 3.2 Definición de topografía.

Se conoce con el nombre de topografía a la disciplina o técnica que se encarga de describir de manera detallada la superficie de un determinado terreno. Esta rama, hace foco en el estudio de todos los principios y procesos que brindan la posibilidad de trasladar a un gráfico las particularidades de la superficie. La elevación del terreno se ve reflejada en los mapas topográficos por medio de líneas que se unen con un plano de referencia, conocidas con el nombre de curvas de nivel.

Todos los datos obtenidos en este capítulo se realizaron en base a las exigencias mínimas establecidas por el MTI para obras de carreteras, las cuales se encuentran en el “Manual para la Elaboración de Términos de Referencia para diseños de carreteras”. Las actividades realizadas para el estudio topográfico se presentan en la Tabla 11.

Tabla 11: Actividades de campo realizadas.

Item	Actividades ejecutadas	Unidad	Cantidad
1	Establecimiento de puntos georreferenciados	pares de puntos	2
2	Establecimientos de puntos línea base	puntos	34
3	Nivelación de BM's	c/u	34
4	Seccionamiento de camino	puntos	9,054

Fuente: Proporcionada por EDICRO.

### 3.3 Establecimiento de puntos georreferenciados.

El proceso de georreferenciación se realizó en dos etapas, la primera consistió en la ubicación y construcción de 2 pares de puntos de control base (PCB). Los cuatro GPS utilizados son los GPS 3, GPS 4, GPS 5 y GPS 6, dado que los GPS 1 y GPS 2 corresponden a un tramo de carreteras contiguo. Los GPS a utilizarse son mojones de concreto de 20 x 20 x 60 cm, que se ubican longitudinalmente cada 5 - 6 km el par, separados a una distancia no mayor de 250 m.

A continuación, se detalla la ubicación de cada par de PCB (GPS).

- Primer par de puntos (GPS-5 y GPS-6): Este par de GPS están localizados a la salida de la Comarca Tierra Azul en dirección al Municipio de Muy Muy (Puente Olama).
- Segundo par de puntos (GPS-3 y GPS-4): Este par de GPS están localizados en dirección a la Comarca Wiliwa.

La segunda etapa consistió en realizar las mediciones necesarias para establecer las coordenadas de cada PCB con equipo GPS de alta precisión, empleando el método de triangulación teniendo como base las estaciones geodésicas de la red altimétrica nacional 3055-II-1 (MW08) y 3055-I-1 (MW07).

En la Tabla 12, se muestran los resultados obtenidos luego del postproceso de los datos recopilados durante la georreferenciación en el sistema de coordenadas geográfico WGS84 (sistema nacional vigente) y su proyección al sistema UTM.

Tabla 12: Puntos de control de la red geodésica nacional.

N°. GPS	Coordenadas (Y)	Coordenadas (X)	Elevación (Z)
GPS-3	1407603.644	652573.843	326.622
GPS-4	1407500.882	652686.622	322.588
GPS-5	1405169.65	657244.219	273.499
GPS-6	1405054.166	657361.87	270.763

Fuente: Datos de INETER, Proporcionados por EDICRO.

### **3.4 Establecimiento de puntos de línea base.**

Los criterios utilizados para la instalación de los mojones que conformarían los puntos de línea base (PLB) son los siguientes:

- Distancia mínima entre punto y punto: No existe.
- Distancia máxima entre punto y punto: 200 mts.
- Instalación en sitios seguros, donde no estén expuestos a ser destruidos o dañados de una u otra forma.
- Referencia y rotulados a un mínimo de tres referencias de objetos fijos dentro del área en estudio.
- Visibilidad entre puntos.

Para este tramo en estudio se establecieron un total de 34 mojones de concreto de 20 cm x 20 cm x 60 cm. Ver Anexo, pág. IX.

### **3.5 Levantamiento de circuitos de poligonal línea base.**

Esta actividad consistió en términos generales en el traslado de las coordenadas geodésicas de los PCB, previamente establecidos en pares de puntos. Todo el tramo se dividió en tres poligonales de línea de base (circuito). Cada circuito resultó constituido entre dos pares de puntos de control base, donde el primer par suministra los datos de salida y el segundo par controla la llegada.

El mecanismo de medición de la poligonal sobre la línea base, fue bajo el método tradicional que emplea una estación total, plomada de topografía, prisma reflector y portaprisma. Esta medición se realiza estacionando en cada PLB con el instrumento visando atrás y girando al siguiente PLB de la línea. Las precisiones obtenidas empleando este método fueron mayores a 1/5000.

### **3.6 Nivelación de BM's.**

Se realizó a partir de una nivelación diferencial con nivel de precisión, en circuitos cerrados de ida y regreso, entre uno y otro PLB (BM's). Para esta nivelación

diferencial se utilizó como punto de partida la elevación ortogonal establecida en uno de los primeros pares de puntos de control base (PCB) que previamente habían sido georreferenciados. Para efectos de control altimétrico, la precisión aceptable de cada circuito se estableció en  $12mm\sqrt{k}$ .

### **3.7 Seccionamiento del camino.**

Para la realización de esta actividad fue necesario la aplicación del método de radiación utilizando equipo topográfico electrónico (estación total). Se identifican principalmente el centro del camino, orillas, bordes, cunetas, cercas del derecho de vía y cualquier otro punto que presente irregularidad topográfica respecto al resto del terreno. Estos levantamientos se realizaron a partir de cada uno de los PLB (BM's), desde los cuales se obtuvieron las coordenadas de ubicación y la correspondiente elevación de cada uno de los puntos de dicha sección. De manera similar se obtuvo la información de la ubicación de los puntos que constituían cada una de las infraestructuras existentes en la franja en estudio tales como: muros, casas, alcantarillas y puentes existentes, muros, postes tendidos eléctricos y telefónicos, etc.

### **3.8 Trabajo de gabinete.**

El trabajo de gabinete conlleva a las siguientes actividades:

- Descargar desde el equipo electrónico (estación total) hacia el computador, el archivo txt que contiene el levantamiento topográfico.
- Una vez que se han descargado los puntos, se procede a depurarlos, y dejar solamente el número de puntos seccionados que aparecen indicados en la libreta topográfica.
- Posteriormente a la depuración de los puntos, se importan al software Autodesk AutoCAD Civil 3D, para proceder con el diseño geométrico, elaboración de planos, plantillas y reportes.

## **4.1 Introducción.**

Se entiende por diseño geométrico de una carretera al proceso de correlacionar sus elementos físicos tales como alineamientos, pendientes, distancia de visibilidad, peralte, ancho de carril con las características de operación de los vehículos, facilidades de frenado, aceleración, condiciones de seguridad, etc. Este proceso supone la parte más importante de la concepción de la carretera, puesto que permite establecer su disposición espacial más adecuada sobre el territorio, para que se adapte a sus características y condicionantes, como las alineaciones horizontal y vertical y el ancho del derecho de vía (sección transversal).

Para la elaboración del diseño geométrico del tramo en estudio se utilizan los requerimientos establecidos por el Manual Centroamericano de Normas Para el Diseño Geométrico de Carreteras con enfoque de Gestión de Riesgo y Seguridad Vial, SIECA, 3ª Edición, 2011, y el Manual Estadounidense, A Policy On Geometric Design of Highways and Streets, AASHTO, 5th Edition. 2004.

Así mismo se aplican las herramientas contenidas en el software Autodesk AutoCAD Civil 3D para modelar el diseño de la vía y generar los planos del proyecto.

## **4.2 Aspectos fundamentales del diseño.**

Dado que el diseño geométrico es una de las partes más importantes de un proyecto de carreteras, existen algunos aspectos que son de gran importancia y se deben tener en cuenta en el momento de iniciar el diseño a fin de obtener el más apropiado desde el punto de vista técnico, económico, social y ambiental. Dichos aspectos son la seguridad, la comodidad, la funcionalidad, el entorno, la economía, la estética y la elasticidad.

### **4.2.1 Seguridad.**

La seguridad de una carretera debe ser la premisa más importante en el diseño geométrico.

Se debe obtener un diseño simple y uniforme, exento de sorpresas, fácil de entender para el usuario y que no genere dudas en este. Cuanto más uniforme sea la curvatura de una vía será mucho más segura. Se debe dotar a la vía de la suficiente visibilidad, principalmente la de parada y de una buena y apropiada señalización, la cual debe ser ubicada antes de darse al servicio la vía.

### **4.2.2 Funcionalidad.**

Se debe garantizar que los vehículos que transitan una vía circulen a velocidades adecuadas permitiendo una buena movilidad. La funcionalidad la determina el tipo de vía, sus características físicas, como la capacidad, y las propiedades del tránsito como son el volumen y su composición vehicular.

### **4.2.3 Entorno.**

Se debe procurar minimizar al máximo el impacto ambiental que genera la construcción de una carretera, teniendo en cuenta el uso y valores de la tierra en la zona de influencia y buscando la mayor adaptación física posible de esta al entorno o topografía existente.

### **4.2.4 Economía.**

Hay que tener en cuenta tanto el costo de construcción como el costo del mantenimiento. Se debe buscar el menor costo posible, pero sin entrar en detrimento de los demás objetivos o criterios, es decir buscar un equilibrio entre los aspectos económicos, técnicos y ambientales del proyecto.

#### **4.2.5 Estética.**

Se debe buscar una armonía de la obra con respecto a dos puntos de vista, el exterior o estático y el interior o dinámico.

El estático se refiere a la adaptación de la obra con el paisaje, mientras que el dinámico se refiere a lo agradable que sea la vía para el conductor. El diseño debe de ser de tal forma que no produzca fatiga o distracción al conductor con el fin de evitar posibles accidentes.

#### **4.2.6 Elasticidad.**

Procurar la elasticidad suficiente de la solución definitiva para prever posibles ampliaciones en el futuro y facilitar la comunicación e integración con otras vías.

#### **4.3 Factores o criterios de diseño.**

Los factores, criterios o condicionantes que intervienen o influyen en el diseño definitivo de una vía son muy variados y podrían agruparse en externos (previamente existentes) correspondientes al territorio por donde se quiere trazar la carretera, e internos o propios de la vía y su diseño.

Dentro de los factores externos se tienen:

- Las características físicas (Topografía, geología, climatología, hidrología).
- El volumen y características del tránsito actual y futuro.
- Los recursos económicos de que se pueda disponer para su estudio, construcción y mantenimiento.
- Los aspectos ambientales.
- Los desarrollos urbanísticos existentes y previstos en la zona de influencia.
- Los parámetros socioeconómicos del área de influencia (uso de la tierra, empleo, producción).
- La calidad de las estructuras existentes.
- Los peatones.

- Tráfico de ciclistas.
- La seguridad vial.

De la misma forma se pueden mencionar algunos factores internos:

- Las velocidades a tener en cuenta.
- Las características de los vehículos.
- Los efectos operacionales de la geometría.
- Las características del tráfico.
- Las capacidades de las vías.
- Las aptitudes y comportamiento de los conductores.
- Las restricciones a los accesos.

A continuación, se tratarán algunos criterios de diseño tanto externos como internos.

#### **4.3.1 Clasificación de la vía según su función.**

La clasificación funcional agrupa a las carreteras según la naturaleza del servicio que están supuestas a brindar, lo cual a su vez tiene íntima relación con la estructura y categorización de los viajes.

Esta clasificación es muy requerida, en razón de que establece sistemas integrados dentro de una concepción lógica, por que agrupa las carreteras en grandes categorías de similares características según sus objetivos, que requieren el mismo grado de ingeniería y competencia administrativa. Carreteras análogas son sometidas a normas de diseño que, fundamentalmente, son ajustadas en rangos apropiados de volúmenes de tránsito.

La vía en estudio está ubicada en el Municipio de Muy Muy, Departamento de Matagalpa, específicamente entre el Puente Olama (Est.126+000) y el Puente Wiliwa (Est.133+500).

En la Sección 2.7.4 del Capítulo de estudio de tráfico se obtuvo un Transito Promedio Diario Anual proyectado al año horizonte de diseño 2039 equivalente a 1649 vpd, por lo que, según la clasificación funcional de carreteras del Manual Centroamericano de Normas Para el Diseño Geométrico de Carreteras con enfoque de Gestión de Riesgo y Seguridad Vial, SIECA, 3ª Edición, 2011 en la página 33, se estaría en presencia de una Colectora Menor Rural compuesta por dos carriles tal como se muestra a continuación.

Tabla 13: Clasificación funcional de carreteras.

FUNCIÓN	CLASE DE CARRETERA	NOMEN-CLATURA	TPDA (AÑO FISCAL 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 URBANA	LU	100 - 500	2
	RURAL	R	< 100	1-2

Fuente: Manual Centroamericano de Normas Para el Diseño Geométrico de Carreteras con enfoque de Gestión de Riesgo y Seguridad Vial, SIECA, 3ª Edición, 2011, Pág.33.

#### 4.3.2 Clasificación del tipo de terreno de la vía.

La administración correcta del modelo digital del terreno (superficie) creado a partir de los puntos del levantamiento topográfico en el software Autodesk AutoCAD Civil 3D se pudo realizar un análisis de pendientes del terreno, en el que predominan pendientes cercanas al 15%, por lo que el área de influencia del proyecto tendría un relieve ondulado como indica la Tabla 14.

Tabla 14: Clasificación de los terrenos en función de las pendientes naturales.

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 con enfoque de Gestión de Riesgo y Seguridad Vial, SIECA, 3ª Edición, 2011, Pág.116.

#### 4.3.3 Vehículos de diseño.

Es un vehículo representativo cuyas dimensiones y características operativas se usan para dimensionar elementos importantes de una carretera tales como sobrecanchos en las curvas, radios en las intersecciones y radio de rampas de giro.

De acuerdo con los vehículos que se espera circulen por las carreteras de la red Centroamericana, se establecen cuatro clases generales de vehículos de proyecto tales como livianos, buses, camiones y recreacionales.

Tabla 15: Dimensiones de los vehículos de diseño.

TIPO DE VEHÍCULO	SIMBOLO	ALTURA	ANCHO	LONGITUD	VOLADIZO DELANTERO	VOLADIZO TRASERO	WB1	WB2
VEHÍCULO LIVIANO	P	1.30	2.10	5.80	0.90	1.50	3.40	0.00
CAMIÓN	SU	4.10	2.40	9.20	1.20	1.80	6.10	0.00
BUS	BUS-14	3.70	2.60	13.70	1.80	2.60	8.10	1.20
BUS ARTICULADO	A-BUS	3.40	2.60	18.30	2.60	3.10	6.70	5.90
CABEZAL CON SEMIRREMOLQUE	WB-15	4.10	2.60	16.80	0.90	0.60	4.50	10.80
CABEZAL CON SEMIRREMOLQUE	WB-19	4.10	2.60	20.90	1.20	0.80	6.60	12.30
CABEZAL CON SEMIRREMOLQUE	WB-20	4.10	2.60	22.40	1.20	1.10	6.60	13.50

Fuente: Manual Centroamericano de Normas Para el Diseño Geométrico de Carreteras con enfoque de Gestión de Riesgo y Seguridad Vial, SIECA, 3ª Edición, 2011, Pág.38.

En el diseño de cualquier obra vial, el diseñador debe considerar el vehículo de diseño más grande, que probablemente use la obra con mayor frecuencia, o un vehículo de diseño con características especiales que deben tomarse en cuenta

en el dimensionamiento del proyecto. Es decir que se deben adoptar las condiciones más desfavorables, con el objetivo específico de diseñar con estándares altos que proporcionen mayor seguridad vial. Las dimensiones principales del vehículo de proyecto que afecta el diseño son el radio mínimo de giro (RMG) en la línea central, el ancho de la huella, la distancia entre ejes y la trayectoria del neumático interior trasero.

Tabla 16: Radios mínimos de giro de los vehículos de diseño.

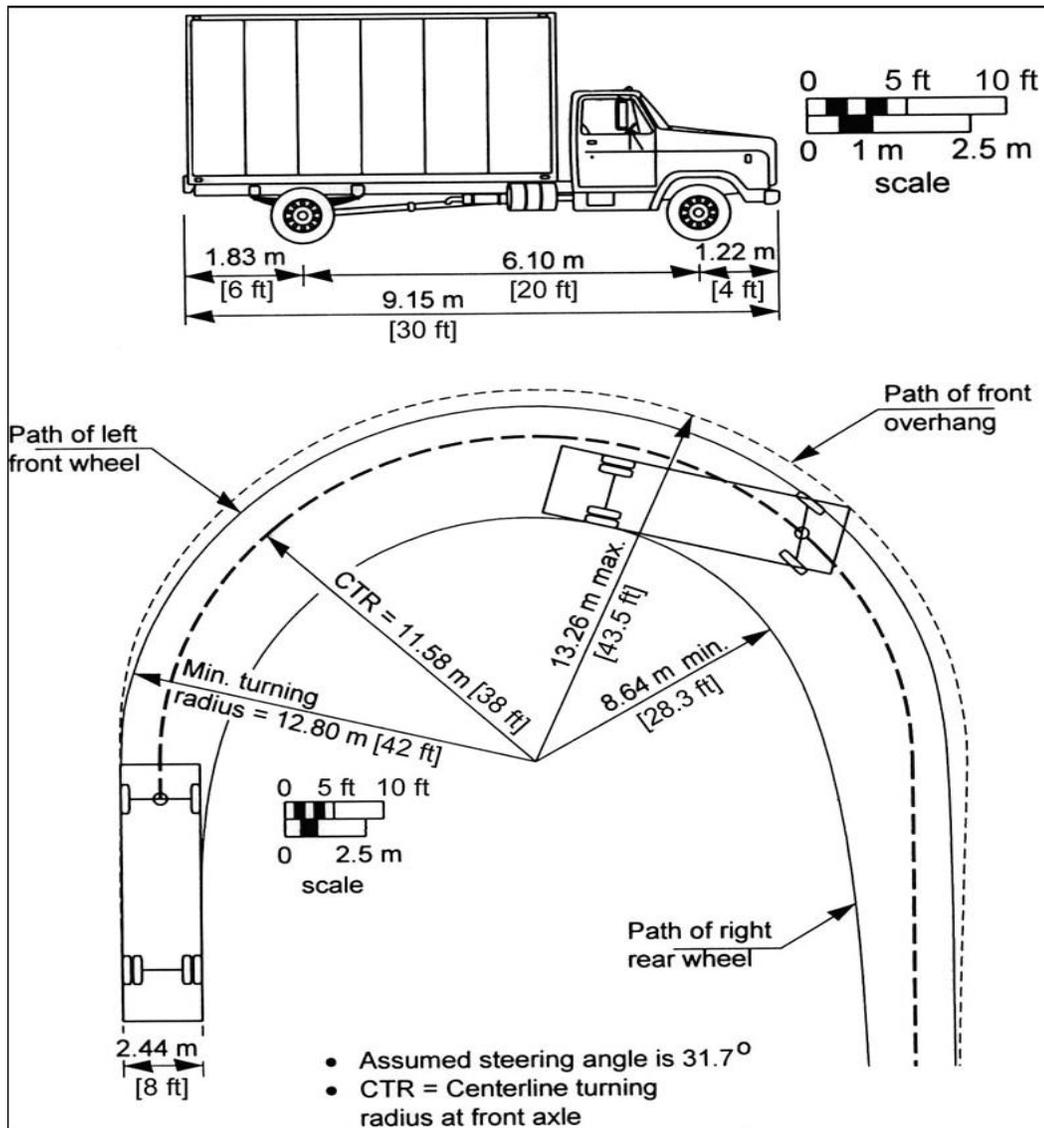
TIPO DE VEHÍCULO	SIMBOLO	RADIO DE GIRO MÍNIMO DE DISEÑO (m)	RADIO DE GIRO EN LA LINEA CENTRAL RMG (m)	RADIO INTERIOR MÍNIMO (m)
VEHÍCULO LIVIANO	P	7.30	6.40	4.40
CAMIÓN	SU	12.80	11.60	8.60
BUS	BUS-14	13.70	12.40	7.80
BUS ARTICULADO	A-BUS	12.10	10.80	6.50
CABEZAL CON SEMIRREMOLQUE	WB-15	13.70	12.50	5.20
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 con enfoque de Gestión de Riesgo y Seguridad Vial, SIECA, 3ª Edición, 2011, Pág.39.

Los efectos de las características del conductor (tal como la velocidad a la cual el conductor realiza un giro) y de los ángulos de deslizamiento de las ruedas, son minimizados asumiendo que la velocidad del vehículo para el radio mínimo de giro es de 15 km/h o menor.

Según el estudio de tránsito realizado, el vehículo más representativo (mayor presencia) en el tramo de carretera en estudio es el liviano tipo camioneta, pero no será el usado como vehículo de proyecto, sino que siguiendo las recomendaciones hechas en los párrafos anteriores se utilizará el vehículo de carga más grande con mayor frecuencia como lo es el “SU” que corresponde a un camión “C2” (dos ejes).

Figura 10: Trayectoria de giro mínima para vehículo de diseño SU.



Fuente: A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, AASHTO, 5th ed. 2004, Pág.32.

#### 4.3.4 Velocidad.

La velocidad es uno de los más importantes factores que los viajeros consideran al seleccionar entre medios de transporte o entre alternativas de rutas. La calidad de un medio de transporte al movilizar personas o mercancías se juzga por su eficiencia y economía, los cuales están directamente relacionados con la velocidad.

La velocidad de los vehículos sobre un camino o carretera depende, además de la capacidad de los conductores y sus vehículos, de cinco condiciones generales: las características físicas de la carretera, la cantidad de interferencias en los lados de la carretera, las condiciones climáticas en su entorno, la presencia o interferencia de otros vehículos y las limitaciones a la velocidad, sean estas establecidas por regulaciones de carácter legales o debidas a dispositivos de control. Aunque cualquiera de ellas puede gobernar la velocidad de viaje, usualmente los efectos de estas condiciones son combinados.

#### **4.3.4.1 Velocidad de diseño.**

La velocidad de diseño, velocidad directriz o velocidad de proyecto de un tramo de carretera es la velocidad guía o de referencia que permite definir las características geométricas mínimas de todos los elementos del trazado, en condiciones de comodidad y seguridad. Por lo que todos aquellos elementos geométricos de la planta, del perfil y sección transversal, tales como radios mínimos, distancias de visibilidad, peraltes, pendientes máximas, anchos de carriles y bermas, anchuras y alturas libres, entre otros, varían con un cambio de ella. La selección de la velocidad de diseño depende de la importancia o categoría de la futura carretera, de la configuración topográfica del terreno, de los usos de la tierra, del servicio que se quiere ofrecer, de las consideraciones ambientales, de la homogeneidad a lo largo de la carretera, de las facilidades de acceso (control de accesos), de la disponibilidad de recursos económicos y de las facilidades de financiamiento. Cabe mencionar que uno de los principales factores que rigen la adopción de valores para la velocidad de diseño es el costo de construcción resultante. Una velocidad de diseño elevada exige características físicas y geométricas más amplias, principalmente en lo que respecta a curvas verticales y horizontales, declives y anchos.

Tabla 17: Elementos de diseño geométrico de las carreteras regionales.

No.	DESCRIPCION	AUTOPISTAS REGIONALES	TRONCALES			COLECTORAS		
			Suburbanas	Rurales	Suburbanas	Rurales		
1	TPDA, vehículos promedio diario	>20,000	20,000-10,000	10,000-3,000	3,000-500	3,000-500		
2	VHD, vehículos por hora	>2,000	2,000-1,000	1,500-450	300-50	450-75		
3	Factor de Hora Pico, FHP	0.92	0.92	0.95-0.91	0.92	0.85		
4	Vehículo de Diseño	WB-20	WB-20	WB-20	WB-15	WB15		
5	Tipo de Terreno	P O M	P O M	P O M	P O M	P O M		
6	Velocidad de Diseño o Directriz, km/hora	110 90 70	90 80 70	80 70 60	70 60 50	70 60 50		
7	Número de Carriles	4 a 8	2 a 4	2 a 4	2	2		
8	Ancho de Carril, metros	3.6	3.6	3.6	3.3-3.6	3.3		
9	Ancho de Hombros/Espaldones, metros	Int: 1.0 - 1.5 Ext: 1.8 - 2.5	Int: 1.0 - 1.5 Ext: 1.8 - 2.5	Int: 0.5 - 1.0 Ext: 1.2 - 1.8	Ext: 1.2 - 1.5	Ext: 1.2 - 1.5		
10	Tipo de Superficie de Rodamiento	Pav.	Pav.	Pav.	Pav.	Pav.-Grava		
11	Dist.de Visibilidad de Parada, metros	110-245	110-170	85-140	65-110	65-110		
12	Dist. de Visib. Adelantamiento, metros	480-670	480-600	410-540	350-480	350-480		
13	Radio Mín. de Curva, Peralte 6%, metros	195-560	195-335	135-250	90-195	90-195		
14	Maximo Grado de Curva	5°53' - 2°03'	5°53' - 3°25'	8°29' - 4°35'	12°44' - 5°53'	12°44' - 5°53'		
15	Pendiente Longitudinal Max, porcentaje	6	8	8	10	10		
16	Sobreelevación, porcentaje	10	10	10	10	10		
17	Pendiente Transversal de Calzada, %	1.5 - 3	1.5-3	1.5-3	1.5-3	1.5-3		
18	Pendiente de Hombros, porcentaje	2-5	2-5	2-5	2-5	2-5		
19	Ancho de Puentes entre bordillos, metros	Variable	Variable	Variable	7.8-8.7	7.8-8.1		
20	Carga de Diseño de Puentes (AASHTO)	HS 20-44+25%	HS20-44+25%	HS20-44+25%	HS20-44	HS20-44		
21	Ancho de Derecho de vía, metros	80-90	40-50	40-50	20-30	20-30		
22	Ancho de Mediana, metros	4-12	4-10	2-6	-	-		
23	Nivel de Servicio, según el HCM	B-C	C-D	C-D	C-D	C-D		
24	Tipo de Control de Acceso	Control Total	Control Parcial	Sin Control	Sin Control	Sin Control		
25	CLASIFICACIÓN FUNCIONAL	AR-TS	AR-TS-TR	TR-CR	TS-CS	TR-CR		

Fuente: Manual Centroamericano de Normas Para el Diseño Geométrico de Carreteras, SIECA, 2da ed. 2004, Pág.13.

Para hacer una selección adecuada de la o las velocidades de diseño del proyecto en estudio se hace uso de la Tabla Resumen (Elementos de Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales) en la página 13 del Manual Centroamericano de Normas Para el Diseño Geométrico de Carreteras, SIECA, 2da ed. 2004. En esta se debe conocer previamente el tipo de vía y topografía del terreno, que según las Secciones 4.3.1 y 4.3.2 respectivamente, es una Colectora Menor Rural y está alojada totalmente en terreno ondulado, con lo cual se seleccionaría una sola velocidad directriz de 60 km/hr, sin embargo, debido a la topografía irregular con pendientes altas y curvas con radios pequeños, se adoptará una velocidad de diseño menor equivalente a 50 km/hr.

#### 4.3.4.2 Velocidad de ruedo.

La velocidad de ruedo o marcha, es la velocidad promedio de un vehículo en un determinado tramo de carretera, obtenida mediante la relación de la distancia recorrida a lo largo de dicho tramo con el tiempo efectivo de ruedo del vehículo,

sin incluir paradas. La velocidad de ruedo promedio de todos los vehículos es la más apropiada medida de la velocidad para evaluar el nivel de servicio y costos de los usuarios de la carretera.

En las carreteras de bajos volúmenes de tránsito, las velocidades promedio de ruedo se aproximan a las velocidades de diseño y llegan a representar entre 90 y 95 por ciento de éstas. A medida que los volúmenes de tránsito aumentan, aumenta igualmente la fricción entre los vehículos en la corriente vehicular y se reducen sensiblemente las velocidades de ruedo, hasta que en su mínima expresión los volúmenes alcanzan niveles de congestionamiento que, deseablemente, deben evitarse por todos los medios disponibles en un proyecto vial. Para carreteras de dos carriles, la velocidad se reduce linealmente con el incremento de la tasa de volumen sobre el rango completo de tasas entre cero y la capacidad.

Tabla 18: Velocidad promedio de ruedo.

Velocidad de diseño (KPH)	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
Velocidad de ruedo (KPH)	20	30	40	47	55	63	70	77	85	91	98	102

Fuente: Manual Centroamericano de Normas Para el Diseño Geométrico de Carreteras con enfoque de Gestión de Riesgo y Seguridad Vial, SIECA, 3ª Edición, 2011, Pág.85.

Se observa la Tabla 18, que para una velocidad de diseño de 50 km/h, corresponde una velocidad de ruedo de 47 km/h.

#### 4.3.5 Visibilidad en carreteras.

Al establecer los radios y longitudes mínimas de las curvas de enlace (horizontales o verticales) de los alineamientos rectos de una carretera, es requisito esencial obtener una visibilidad satisfactoria, ya que la longitud del tramo de carretera que sea visible al conductor es de la mayor importancia en la seguridad y facilidad de operación.

A veces ocurren choques entre vehículos que circulan en el mismo sentido, o entre un vehículo en marcha y otro parado o cualquier obstáculo que se encuentra en la vía. A fin de evitar este tipo de accidentes, es necesario disponer de suficiente visibilidad en la vía; ello permitirá detener el vehículo cuando la aparición de un obstáculo así lo aconseje. Por otra parte, en una carretera con doble sentido de circulación, la seguridad impone que dos vehículos que viajen en sentido contrario deban distinguirse a tiempo, para que, si se encuentran en el mismo carril (lo cual sucede cuando uno de ellos trata de adelantar a otro que circula más lentamente), puedan maniobrar para que no se produzca colisión entre ellos.

Al proyectar una carretera hay entonces que proveer estos dos tipos principales de visibilidad, los cuales se designan con los nombres de distancia de visibilidad de frenado (parada) y distancia de visibilidad de paso (rebase o adelantamiento), respectivamente, entendiéndose por distancia de visibilidad la longitud continua de carretera que es visible para el conductor que transita por ella.

La distancia de visibilidad de parada se debe garantizar a lo largo de toda la vía y en ambas direcciones mientras que la distancia de visibilidad de adelantamiento se recomienda garantizarla al menos en un porcentaje del recorrido total de la vía de acuerdo a la velocidad e importancia de esta.

#### **4.3.5.1 Distancia de visibilidad de parada.**

La distancia de visibilidad de parada ( $D_P$ ) es la distancia de visibilidad mínima necesaria para que el conductor promedio de un vehículo que circula por la vía, vea un objeto que está en su trayectoria, reaccione ante este peligro y pueda detener su vehículo antes de llegar al objeto, o sea, es la suma de las distancias recorridas durante tres intervalos de tiempo por el vehículo.

- Tiempo necesario para ver el objeto peligroso.
- Tiempo para reaccionar ante el peligro.
- Tiempo para detener el vehículo después de aplicar los frenos (frenado).

Durante el primero y segundo intervalo de tiempo, el vehículo circula a la velocidad de diseño o cerca de ésta (tiempo transcurrido desde que el conductor ve el objeto peligroso y aplica los frenos). La suma de estos dos primeros intervalos de tiempo es conocida como tiempo de percepción-reacción (se adoptan 2.5 segundos como promedio).

La distancia de visibilidad de parada en carreteras con tramos planos o con pendientes longitudinales se puede determinar por la siguiente expresión, donde el primer término representa la distancia de percepción-reacción y el segundo la distancia de frenado:

$$D_p = 0.278 * V_d * t + \frac{V_d^2}{254 * \left[ \left( \frac{a}{9.81} \right) \pm p \right]} \quad (\text{Ec. 6})$$

Donde:

$D_p$ : Distancia de visibilidad de parada, m.

$V_d$ : Velocidad de diseño, km/h.

$t$ : Tiempo de percepción-reacción, igual a 2.5 seg.

$a$ : Tasa de desaceleración, equivalente a 3.4 m/seg<sup>2</sup>.

$p$ : Pendiente de la rasante, m/m.

En la tabla mostrada a continuación se puede observar que para la velocidad de diseño seleccionada el presente estudio (50 km/hr), se debe utilizar una distancia mínima de visibilidad de parada, recomendada por el Manual Centroamericano de Normas Para el Diseño Geométrico de Carreteras con enfoque de Gestión de Riesgo y Seguridad Vial, SIECA, 3ª Edición, 2011 equivalente a 65 metros.

Tabla 19: Distancias de visibilidad de parada horizontal y con pendiente vertical.

VELOCIDAD (KPH)	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	
PENDIENTE EN ASCENSO +i%	12	17	29	41	56	72	90	110	131	154	179	205
	11	17	29	42	57	73	91	111	133	156	181	208
	10	17	29	42	57	74	92	112	134	158	184	211
	9	18	29	43	58	75	93	114	136	160	186	214
	8	18	30	43	58	75	94	115	138	162	189	217
	7	18	30	43	58	76	95	117	139	164	191	220
	6	18	30	44	59	77	97	118	141	167	194	223
	5	18	30	44	60	78	98	119	143	169	197	227
	4	18	30	44	60	79	99	121	145	172	198	231
	3	19	31	45	61	80	100	123	148	174	203	234
	2	19	31	45	62	81	102	125	150	177	207	239
1	19	31	46	63	82	103	127	152	180	210	243	
CALCULADO HORIZONTAL	0	18.5	31.2	46.2	63.4	83.0	104.9	129.0	155.5	184.2	215.2	248.6
REDONDEADO HORIZONTAL	0	20	35	50	65	85	105	130	160	185	220	250
PENDIENTE EN DESCENSO -i%	1	20	32	47	64	85	106	131	158	187	218	252
	2	20	32	48	65	85	108	133	161	191	223	257
	3	20	32	50	66	87	110	136	164	194	227	263
	4	20	33	50	67	88	112	138	167	198	232	269
	5	20	33	50	68	90	114	141	171	203	238	275
	6	20	35	50	70	92	116	144	174	207	243	281
	7	20	35	51	71	93	119	147	178	212	249	289
	8	20	35	52	72	95	121	151	183	218	256	297
	9	20	35	53	74	97	124	154	187	223	262	304
	10	21	36	53	75	99	127	158	192	230	270	314
	11	21	36	54	77	102	131	163	198	236	279	323
	12	21	37	56	78	105	134	167	204	244	287	334

Fuente: Manual Centroamericano de Normas Para el Diseño Geométrico de Carreteras con enfoque de Gestión de Riesgo y Seguridad Vial, SIECA, 3ª Edición, 2011, Pág.77.

#### 4.3.5.2 Distancia de visibilidad de adelantamiento.

Se define como distancia de visibilidad de adelantamiento ( $D_a$ ), como la menor distancia que es necesaria para que un vehículo salga de su carril, adelante al que le precede y vuelva a la senda o carril de origen con seguridad y comodidad sin interferir con el vehículo adelantado o con otro que venga en sentido contrario a/o cerca de la velocidad de diseño, aunque éste aparezca a la vista del conductor que realiza el adelantamiento después de comenzada la maniobra de paso.

La visibilidad de adelantamiento se requiere únicamente en carreteras de dos carriles, con tránsito bidireccional. En carreteras con carriles unidireccionales no será necesario considerar el concepto de distancia de visibilidad de adelantamiento, bastando diseñar los elementos para que cuenten con la distancia de visibilidad de parada.

Para el cálculo de la distancia de visibilidad de adelantamiento se hacen algunas hipótesis sobre el comportamiento del binomio conductor - vehículo:

- El vehículo que se va a adelantar viaja a velocidad uniforme y menor que la de diseño.
- El vehículo que va a adelantar debe reducir la velocidad y tomar la misma del vehículo que lo precede hasta llegar al tramo de adelantamiento.
- Cuando se llega al tramo de adelantamiento el conductor necesita de un tiempo para percibir con claridad dicho tramo y reaccionar para comenzar su maniobra.
- El adelantamiento se logra bajo lo que se puede denominar un comienzo retardado y un retorno acelerado de frente al tráfico contrario.
- El vehículo que adelanta acelera durante la maniobra y su velocidad promedio durante la ocupación del carril de la izquierda es aproximadamente 15 Km/h mayor que la del vehículo sobrepasado.
- Cuando el vehículo que adelanta regresa al carril de la derecha queda una distancia prudencial entre él y el vehículo que viene en sentido contrario.

La distancia mínima de visibilidad de adelantamiento ( $D_a$ ), de acuerdo con la Figura 11, se determina como la suma de cuatro distancias, así:

$$D_a = D_1 + D_2 + D_3 + D_4 \quad (\text{Ec. 7})$$

Donde:

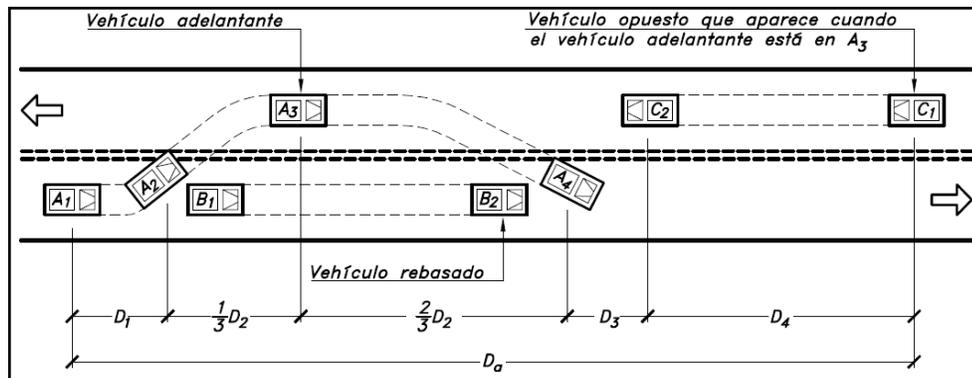
$D_1$ : Distancia recorrida durante el tiempo de percepción-reacción e inicio de la maniobra (m).

D<sub>2</sub>: Distancia recorrida por el vehículo adelantante durante el tiempo desde que invade el carril del sentido contrario hasta que regresa a su carril (m).

D<sub>3</sub>: Distancia de seguridad entre el vehículo que adelanta y el vehículo que viene en sentido opuesto, al terminar la maniobra de adelantamiento (m).

D<sub>4</sub>: Distancia recorrida por el vehículo que viene en sentido contrario durante el tiempo en que se realiza la maniobra de rebase, estimada en 2/3 de D<sub>2</sub> (m).

Figura 11: Distancia de visibilidad de adelantamiento en carreteras de dos carriles dos sentidos.



Fuente: Cárdenas Grisales, James. Diseño Geométrico de Carreteras, 2ª Edición, Bogotá, Ecoe Ediciones. 2013, Pág.368.

La distancia D<sub>1</sub> recorrida durante el periodo de la maniobra inicial, se calcula con la siguiente ecuación:

$$D_1 = 0.278 * t_1 * \left( v - m + \frac{a * t_1}{2} \right) \quad (\text{Ec. 8})$$

Donde:

t<sub>1</sub>: Tiempo de la maniobra inicial, (segundos).

a: Promedio de aceleración que el vehículo necesita para iniciar el rebase (km/h/s).

v: Velocidad del vehículo que adelanta (km/h).

m: Diferencia de velocidades entre el vehículo que adelanta y el que es adelantado, igual a 15 km/h en todos los casos.

La distancia  $D_2$  recorrida por el vehículo adelantante durante el tiempo desde que invade el carril del sentido contrario hasta que regresa a su carril, se calcula con la siguiente ecuación:

$$D_2 = 0.278 * t_2 * v \quad (\text{Ec. 9})$$

Donde:

$t_2$ : Tiempo empleado por el vehículo adelantante desde que invade el carril del sentido contrario hasta que regresa a su carril. Este tiempo varía entre 9.3 y 10.4 segundos.

Para determinar la distancia  $D_3$  se sigue como criterio que esta distancia libre que queda después que se realiza la maniobra de adelantamiento entre el vehículo que adelanta y el que viene en sentido opuesto, debe de estar entre 30 y 75 metros con el objetivo de que la maniobra no sea peligrosa. Mientras que la distancia  $D_4$ , recorrida por el vehículo que viene en sentido opuesto, suponiendo que circula a la misma velocidad del vehículo adelantante, es igual a la distancia recorrida por el vehículo adelante desde el momento en que invade el carril del sentido opuesto hasta que regresa a su carril. Se calcula con la siguiente ecuación:

$$D_4 = \frac{2}{3} * D_2 \quad (\text{Ec. 10})$$

En la siguiente tabla, se encuentran los resultados obtenidos de los estudios del Manual, A Policy On Geometric Design of Highways and Streets, AASHTO, 5th Edition. Donde al correlacionar los resultados obtenidos con las velocidades de diseño, se extrae una distancia mínima de visibilidad de adelantamiento igual a 345 metros para la velocidad directriz del proyecto en cuestión.

Tabla 20: Elementos que conforman la distancia de visibilidad de adelantamiento en carreteras de dos carriles dos sentidos.

COMPONENTE DE LA MANIOBRA DE ADELANTAMIENTO	RANGO DE LA VELOCIDAD ESPECIFICA DEL ELEMENTO EN EL QUE SE EFECTÚA LA MANIOBRA, $V_e$ (Km/h)			
	50-65	66-80	81-95	96-110
	VELOCIDAD DEL VEHÍCULO QUE ADELANTA, $V$ (Km/h)			
	56.2	70.0	84.5	99.8
Maniobra inicial:				
$a$ = Aceleración promedio (Km/h/s)	2.25	2.30	2.37	2.41
$t_1$ = Tiempo (s)	3.6	4.0	4.3	4.5
$D_1$ = Distancia recorrida (m)	45	66	89	113
Ocupación del carril contrario:				
$t_2$ = Tiempo (s)	9.3	10.0	10.7	11.3
$D_2$ = Distancia recorrida (m)	145	195	251	314
Distancia de seguridad:				
$D_3$ = Distancia recorrida (m)	30	55	75	90
Vehículo en sentido opuesto:				
$D_4$ = Distancia recorrida (m)	97	130	168	209
Distancia total:				
$D_a = D_1 + D_2 + D_3 + D_4$	317	446	583	726

Fuente: A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, AASHTO, 5th ed. 2004, Pág.120.

Tabla 21: Mínimas distancias de visibilidad de adelantamiento en carreteras de dos carriles dos sentidos.

VELOCIDAD ESPECÍFICA DEL ELEMENTO EN EL QUE SE EFECTÚA LA MANIOBRA, $V_e$ (Km/h)	VELOCIDAD DEL VEHÍCULO ADELANTADO (Km/h)	VELOCIDAD DEL VEHÍCULO QUE ADELANTA, $V$ (Km/h)	MINIMA DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE ADELANTAMIENTO $D_a$ (m)	
			CALCULADA	REDONDEADA
30	29	44	200	200
40	36	51	266	270
50	44	59	341	345
60	51	66	407	410
70	59	74	482	485
80	65	80	538	540
90	73	88	613	615
100	79	94	670	670
110	85	100	727	730
120	90	105	774	775
130	94	109	812	815

Fuente: A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, AASHTO, 5th ed. 2004, Pág.124.

En carreteras de dos carriles y dos sentidos de circulación, se debe procurar obtener la máxima longitud posible en que la distancia de visibilidad de adelantamiento sea mayor a la mínima dada por las Tablas 20 y 21.

Toda vez que no se disponga la visibilidad de adelantamiento mínima, por restricciones causadas por elementos asociados a la planta o elevación o

combinaciones de éstos, la zona de adelantamiento prohibido, deberá quedar señalizada mediante pintura en el pavimento y/o señalización vertical correspondiente.

#### **4.4 Diseño geométrico en planta.**

El diseño geométrico en planta de una carretera, o alineamiento horizontal, es la proyección sobre un plano horizontal de su eje real o espacial. Dicho eje horizontal está constituido por una serie de líneas rectas, definidas por la línea preliminar, enlazados por curvas circulares (simples y/o compuestas) o curvas de grado de curvatura variable (espirales tipo clotoide) de modo que permitan una transición suave y segura al pasar de tramos rectos a tramos curvos o viceversa. Los tramos rectos que permanecen luego de emplear las curvas de enlace se denominan también tramos en tangente y pueden llegar a ser nulos, es decir, que una curva de enlace quede completamente unida a la siguiente.

##### **4.4.1 Normas generales para el alineamiento horizontal.**

La velocidad del proyecto y el grado de las curvas horizontales están condicionados fundamentalmente por la topografía del terreno. Al proyectar el camino debe tomarse en cuenta que el tránsito se haga con la máxima seguridad.

La distancia de visibilidad debe ser tomada en cuenta en todos los casos, porque con frecuencia la visibilidad requiere radios mayores que la velocidad en sí. Una línea que se adapta al terreno natural es preferible a otra con tangentes largas, pero con repetidos corte y terraplenes.

Para una velocidad de proyecto dada debe evitarse dentro de lo razonable el uso de la curvatura máxima permisible. El proyectista debe tender, en lo general, a usar curvas suaves, dejando las de curvatura máxima para las condiciones más críticas.

Debe procurarse un alineamiento uniforme que no tenga quiebres bruscos en su desarrollo, por lo que deben evitarse curvas forzadas después de tangentes largas o pasar repentinamente de tramos de curvas suaves a otros de curvaturas forzadas. En terraplenes altos y largos sólo son aceptables alineamientos rectos o de muy suave curvatura.

En camino abierto debe evitarse el uso de curvas compuestas, sobre todo donde sea necesario proyectar curvas forzadas. Debe evitarse el uso de curvas inversas que presenten cambios de dirección rápidos.

Un alineamiento con curvas sucesivas en la misma dirección debe evitarse, cuando existan tangentes cortas entre ellas, pero puede proporcionarse cuando las tangentes sean mayores de 500 m. Para anular la apariencia de distorsión, el alineamiento horizontal debe estar coordinado con el vertical.

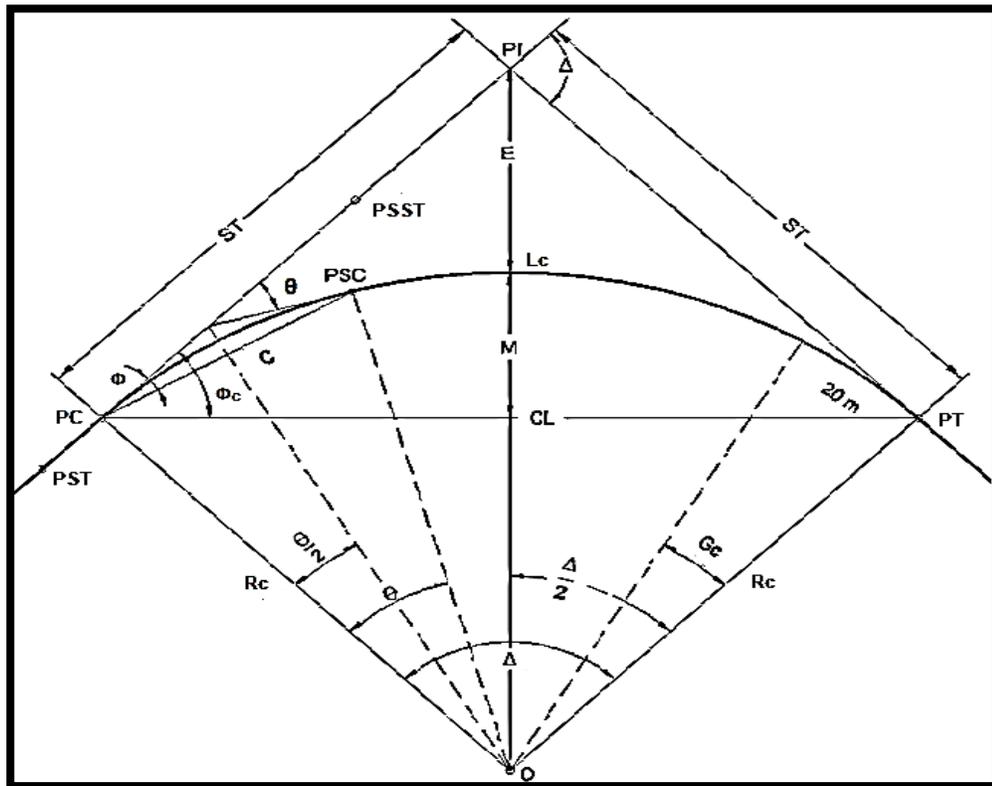
Es conveniente limitar el empleo de tangentes muy largas, pues la atención de los conductores se concentra durante largo tiempo en puntos fijos, que motivan somnolencia, especialmente durante la noche, por lo cual es preferible proyectar un alineamiento ondulado con curvas amplias.

#### **4.4.2 Curvas circulares simples.**

Las curvas horizontales circulares simples son arcos de circunferencia de un solo radio que unen dos tangentes consecutivas, conformando la proyección horizontal de las curvas reales o espaciales.

A lo largo del tramo completo de carretera en estudio (7.5 kilómetros) se tienen 11 curvas del tipo circular simple de un total de 17 curvas horizontales.

Figura 12: Componentes de una curva circular simple.



Fuente: Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (2018), Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras, 2ª Edición, México DF, México. Pág.34.

#### 4.4.2.1 Nomenclatura en una curva circular simple.

- PI: Punto de intersección de las tangentes.
- PC: Punto de comienzo de la curva.
- PT: Punto de término de la curva.
- PST: Punto sobre la tangente.
- PSST: Punto sobre la sub tangente.
- PSC: Punto sobre la curva.
- O: Centro de la curva.
- $\theta$ : Ángulo a un PSC (grados).
- $\Phi$ : Ángulo a cuerda (grados)
- $\Phi_c$ : Ángulo a cuerda larga
- $R_c$ : Radio de la curva (m).
- ST: Sub tangente (m).
- E: Externa (m).
- M: Ordenada media (m).

- $\Delta$ : Deflexión entre sub tangentes (grados).    - C: Cuerda (m).
- $G_c$ : Grado de curvatura.    - CL: Cuerda larga (m).
- $L_c$ : Longitud de curva (m).

#### 4.4.2.2 Ecuaciones de una curva circular simple.

$$ST = R_C * \tan\left(\frac{\Delta}{2}\right) \quad (\text{Ec. 11}) \qquad M = R_C * \left[1 - \cos\left(\frac{\Delta}{2}\right)\right] \quad (\text{Ec. 14})$$

$$E = R_C * \left[\sec\left(\frac{\Delta}{2}\right) - 1\right] \quad (\text{Ec. 12}) \qquad CL = 2 * R_C * \sin\left(\frac{\Delta}{2}\right) \quad (\text{Ec. 15})$$

$$L_C = \frac{\pi * R_C * \Delta}{180} \quad (\text{Ec. 13})$$

#### 4.4.2.3 Estacionamientos de una curva circular simple.

$$\text{EST. PC} = \text{EST. PI} - ST \quad (\text{Ec. 16})$$

$$\text{EST. PM} = \text{EST. PC} + \left(\frac{L_C}{2}\right) \quad (\text{Ec. 17})$$

$$\text{EST. PT} = \text{EST. PC} + L_C \quad (\text{Ec. 18})$$

#### Ejemplo de diseño y cálculo de una curva circular simple (Curva 2).

Datos:

$$V_d = 50 \text{ km/h.} \qquad \Delta = 21.6956^\circ \text{ D.} \qquad G_{\text{máx}} = 15^\circ 42'.$$

$$\text{PI} = 126 + 985.54. \qquad R_{\text{mín}} = 73 \text{ m.} \qquad R_C \text{ (propuesto)} = 225 \text{ m.}$$

1) Comparar radio propuesto de diseño de la curva con respecto al radio mínimo.

$$R_C = 225 \text{ m} > R_{\text{mín}} = 73 \text{ m} \text{ (Cumple)}$$

Nota: El radio mínimo de curvatura solo debe ser usado en situaciones extremas, donde sea imposible la aplicación de radios mayores. La selección del radio mínimo se aborda en la Sección 4.4.6.

2) Comparar grado de curvatura de diseño con respecto al grado máximo.

$$G_c = \frac{1145.92}{R_C} = \frac{1145.92}{225} = 5^{\circ}6' < G_{\text{máx}} = 15^{\circ}42' \text{ (Cumple)}$$

Nota: Este criterio debe tenerse siempre en cuenta, ya que garantiza la estabilidad del vehículo que transita en una curva. El cálculo del grado máximo de curvatura se realiza en la Sección 4.4.7.

3) Revisar si la curva circular amerita espirales de transición en la entrada y la salida.

En la Sección 4.4.3.5, se establece un radio límite de 148 metros para el uso de curvas espirales de transición para 50 km/hr, por lo que este valor se debe comparar con el radio de diseño de la curva circular analizada tal como sigue:

$$R_C = 225 \text{ m} > R_{\text{límite}} = 148 \text{ m}$$

Dado que el radio de diseño es mayor que el radio límite, se concluye que la curva circular no requiere espirales de transición al inicio y al final.

4) Calcular los elementos geométricos de la curva.

a) Calcular el valor de la subtangente de entrada y salida de la curva circular.

$$ST = R_C * \tan\left(\frac{\Delta}{2}\right) = 225 * \tan\left(\frac{21.6956}{2}\right) = 43.12 \text{ m}$$

b) Calcular el valor de la cuerda larga.

$$CL = 2 * R_C * \text{Sen}\left(\frac{\Delta}{2}\right) = 2 * 225 * \text{Sen}\left(\frac{21.6956}{2}\right) = 84.70 \text{ m}$$

c) Calcular la longitud de la curva circular.

$$L_C = \frac{\pi * R_C * \Delta}{180} = 2 * \pi * 225 * \left(\frac{21.6956}{360}\right) = 85.20 \text{ m}$$

d) Calcular el valor de la ordenada media.

$$M = R_C * \left[1 - \cos\left(\frac{\Delta}{2}\right)\right] = 225 * \left(1 - \cos\left(\frac{21.6956}{2}\right)\right) = 4.02 \text{ m}$$

e) Calcular el valor de la externa.

$$E = R_C * \left[\sec\left(\frac{\Delta}{2}\right) - 1\right] = 225 * \left(\sec\left(\frac{21.6956}{2}\right) - 1\right) = 4.09 \text{ m}$$

5) Calcular las estaciones principales.

$$\text{EST. PC} = \text{EST. PI} - \text{ST} = (126 + 985.54) - 43.12 = 126 + 942.42$$

$$\text{EST. PM} = \text{EST. PC} + \left(\frac{L_C}{2}\right) = (126 + 942.42) + \left(\frac{85.20}{2}\right) = 126 + 985.02$$

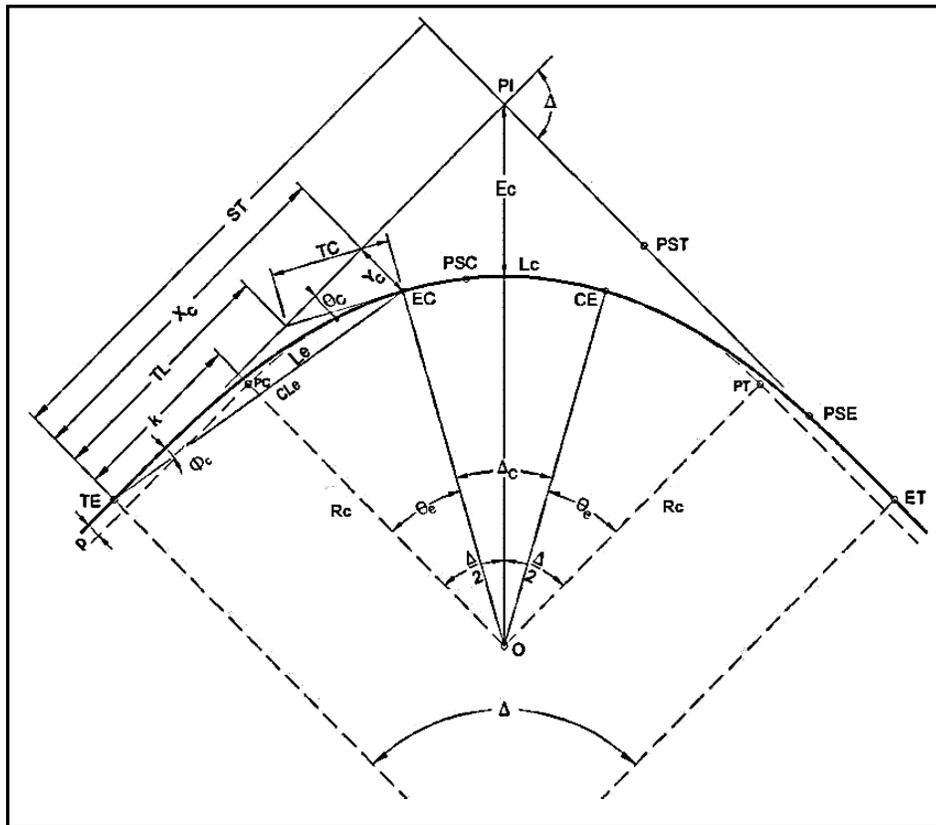
$$\text{EST. PT} = \text{EST. PC} + L_C = (126 + 942.42) + 85.20 = 127 + 027.62$$

#### 4.4.3 Curvas espirales de transición.

Las curvas de transición, son espirales que tienen por objeto evitar las discontinuidades en la curvatura del trazo, por lo que, en su diseño deberán ofrecer las mismas condiciones de seguridad, comodidad y estética que el resto de los elementos del trazo.

Con tal finalidad y a fin de pasar de la sección transversal con bombeo (correspondiente a los tramos en tangente), a la sección de los tramos en curva provistos de peralte y sobreebanco, es necesario intercalar un elemento de diseño, con una longitud en la que se realice el cambio gradual, a la que se conoce con el nombre de longitud de transición.

Figura 13: Componentes de una curva espiral de transición.



Fuente: Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (2018), Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras, 2a Edición, México DF, México. Pág.36.

Se adoptará en todos los casos, la espiral de Euler o Clotoide como curva de transición cuyas ventajas son:

- El crecimiento lineal de su curvatura permite una marcha uniforme y cómoda para el usuario, de tal modo que la fuerza centrífuga aumenta o disminuye en la medida que el vehículo ingresa o abandona la curva horizontal, manteniendo inalterada la velocidad y sin abandonar el eje de su carril.
- La aceleración transversal no compensada, propia de una trayectoria en curva, puede controlarse graduando su incremento a una magnitud que no produzca molestia a los ocupantes del vehículo.
- El desarrollo del peralte se logra en forma también progresiva, consiguiendo que la pendiente transversal de la calzada aumente en la medida que aumenta la curvatura.

- La flexibilidad de la clotoide permite acomodarse al terreno sin romper la continuidad, mejorando la armonía y apariencia de la carretera.

Por las razones expuestas anteriormente, se ha hecho necesario implementar una curva de transición del tipo clotoide que permita un cambio gradual de curvatura entre una recta y una curva circular mejorando de manera ostensible la comodidad, seguridad y estética en una vía.

De las 17 curvas horizontales existentes en el tramo completo de carretera en estudio (7.5 kilómetros), solamente 6 curvas son de del tipo espiral - circular - espiral.

#### **4.4.3.1 Nomenclatura de la curva circular con espirales de transición.**

- PI: Punto de intersección de tangentes principales.
- TE: Tangente-Espiral. Termina tangente de entrada y empieza espiral de entrada.
- EC: Espiral-Circular. Termina espiral de entrada y empieza curva circular.
- CE: Circular-Espiral. Termina curva circular y empieza espiral de salida.
- ET: Espiral-Tangente. Termina espiral de salida y empieza tangente de salida.
- PSC: Punto sobre curva circular.
- PSE: Punto sobre espiral.
- PST: Punto sobre sub tangente.
- A: Parámetro de curva espiral.
- $\Delta$ : Deflexión entre sub tangentes (grados).
- $\theta_e$ : Deflexión de espiral (radianes).
- $\Delta_c$ : Ángulo central de curva circular (grados).
- $\Phi_c$ : Ángulo de cuerda larga de espiral (grados).
- $R_c$ : Radio de curva circular (m).
- $G_c$ : Grado de curvatura del segmento circular (grados).
- ST: Sub tangente. Distancia del PI al TE y del PI al ET (m).
- TL: Tangente larga de espiral (m).

- TC: Tangente corta de espiral (m).
- CL<sub>e</sub>: Cuerda larga de espiral (m).
- L<sub>e</sub>: Longitud de espiral (m).
- p: Disloque o retranqueo (m).
- k: Distancia a lo largo de la sub tangente desde el TE al PC desplazado (m).
- E<sub>C</sub>: Externa (m).
- x<sub>c</sub>, y<sub>c</sub>: Coordenadas de EC.
- k, p: Coordenadas de PC desplazado.
- x<sub>o</sub>, y<sub>o</sub>: Coordenadas de centro de curva circular con transiciones.

#### 4.4.3.2 Ecuaciones de una curva circular con espirales de transición.

$$A = \sqrt{R_c * L_e} \quad (\text{Ec. 19})$$

$$\theta_e = \frac{L_e}{2 * R_c} = \frac{L_e * G_c}{40} \quad (\text{Ec. 20})$$

$$\Delta_c = \Delta - 2 * \theta_e \quad (\text{Ec. 21})$$

$$x_c = L_e * \left( 1 - \frac{\theta_e^2}{10} + \frac{\theta_e^4}{216} - \frac{\theta_e^6}{9360} \right) = \frac{L_e}{100} * (100 - 0.00305 * \theta_e^2) \quad (\text{Ec. 22})$$

$$y_c = L_e * \left( \frac{\theta_e}{3} - \frac{\theta_e^3}{42} + \frac{\theta_e^5}{1320} - \frac{\theta_e^7}{75600} \right) \\ = \frac{L_e}{100} * (0.582 * \theta_e - 0.00001265 * \theta_e^3) \quad (\text{Ec. 23})$$

$$k = x_c - R_c * \text{sen}(\theta_e) \quad (\text{Ec. 24})$$

$$p = y_c - R_c * [1 - \text{cos}(\theta_e)] \quad (\text{Ec. 25})$$

$$ST = k + \left[ (R_c + p) * \tan\left(\frac{\Delta}{2}\right) \right] \quad (\text{Ec. 26})$$

$$E_C = \left[ (R_c + p) * \sec\left(\frac{\Delta}{2}\right) \right] - R_c \quad (\text{Ec. 27})$$

$$TL = x_c - y_c * \cot(\theta_e) \quad (\text{Ec. 28})$$

$$TC = y_c * \csc(\theta_e) \quad (\text{Ec. 29})$$

$$x_o = k = x_c - R_c * \text{sen}(\theta_e) \quad (\text{Ec. 30})$$

$$y_o = y_c + R_c * \cos(\theta_e) \quad (\text{Ec. 31})$$

$$\phi_c = \arctan\left(\frac{y_c}{x_c}\right) \quad (\text{Ec. 32})$$

$$CL_e = \sqrt{x_c^2 + y_c^2} \quad (\text{Ec. 33})$$

$$G_c = \frac{1145.92}{R_c} \quad (\text{Ec. 34})$$

$$L_c = \frac{\pi * R_c * \Delta_c}{180} = \frac{20 * \Delta_c}{G_c} \quad (\text{Ec. 35})$$

#### 4.4.3.3 Estacionamientos de una curva circular con espirales de transición.

$$\text{EST. TE} = \text{EST. PI} - ST \quad (\text{Ec. 36})$$

$$\text{EST. EC} = \text{EST. TE} + L_e \quad (\text{Ec. 37})$$

$$\text{EST. CE} = \text{EST. EC} + L_c \quad (\text{Ec. 38})$$

$$\text{EST. ET} = \text{EST. CE} + L_e \quad (\text{Ec. 39})$$

#### 4.4.3.4 Determinación de la longitud de la curva espiral de transición.

La longitud mínima de una curva espiral de transición ( $L_e$ ) debe satisfacer ciertos parámetros y criterios, principalmente de tipo dinámico, estético y geométrico. Por lo que existen distintos criterios para establecer su valor tales como:

##### 1) Criterio de transición del peralte.

El Manual Centroamericano de Normas Para el Diseño Geométrico de Carreteras con enfoque de Gestión de Riesgo y Seguridad Vial, SIECA, 3ª Edición, 2011, y el Manual “A Policy On Geometric Design of Highways and Streets, AASHTO, 5th Edition. 2004” recomiendan que para curvas del tipo espiral – circular - espiral, la longitud de transición del peralte ( $L_s$ ), deba ser usada como la longitud de la espiral ( $L_e$ ). Este criterio se aborda a detalle en la Sección 4.4.8.

## **2) Criterio de la variación uniforme de la aceleración centrífuga con la fórmula de Shortt.**

Es un criterio recomendado por el Manual “A Policy On Geometric Design of Highways and Streets, AASHTO, 5th Edition. 2004”, basado en la comodidad del conductor que provee una longitud de espiral que permite un incremento cómodo de la aceleración lateral cuando el vehículo recorre la curva a velocidad uniforme.

$$L_e = 0.0214 * \frac{V_d^3}{R_c * C} \quad (\text{Ec. 40})$$

Donde:

$V_d$ : Velocidad de diseño, km/h.

$C$ : Variación de la aceleración centrífuga por unidad de tiempo,  $m/s^3$ . ( $1.2 m/s^3$ ).

$R_c$ : Radio de la curva, m.

## **3) Criterio de la variación uniforme de la aceleración centrífuga con la fórmula de Smirnoff.**

Corresponde a una clotoide calculada para distribuir la aceleración transversal no compensada, a una tasa  $J$  compatible con la seguridad para el usuario y el confort dinámico (comodidad).

$$L_e = \frac{V_d}{46.656 * J} * \left( \frac{V_d^2}{R_c} - 1.27 * e_{\text{máx}} \right) \quad (\text{Ec. 41})$$

Donde:

$V_d$ : Velocidad de diseño, km/h.

$J$ : Variación de la aceleración centrífuga por unidad de tiempo,  $m/s^3$ .

$R_c$ : Radio de la curva, m.

$e_{m\acute{a}x}$ : Tasa de sobreelevación en fracción decimal (%).

Tabla 23: Variación de la aceleración centrífuga por unidad de tiempo ( $J$ ).

$V_d$ (km/h)	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
$J$ ( $m/s^3$ )	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.60	0.60	0.50	0.50	0.40	0.40

Fuente: Cárdenas Grisales, James. Diseño Geométrico de Carreteras, 2a Edición, Bogotá, Ecoe Ediciones. 2013, Pág.251.

#### 4) Criterios de percepción y estética.

Desde el punto de vista de la percepción, la longitud de la curva de transición ha de ser suficiente para que se perciba de forma clara el cambio de curvatura, orientando adecuadamente al conductor. Para tal efecto, se considera que el disloque mínimo a utilizar debe ser de 0.25 metros, con lo cual se obtiene una longitud mínima de la espiral de:

$$L_e = \sqrt{6 * R_c} \quad (\text{Ec. 42})$$

Por razones de estética (confort óptico) y con el objeto de obtener alineamientos armoniosos, el ángulo de deflexión de la espiral  $\theta_e$  debe ser mínimo de  $3^\circ$ .

$$L_e = \frac{R_c}{9} \quad (\text{Ec. 43})$$

## **5) Criterio del tiempo de viaje de un conductor a la velocidad de diseño.**

Según el Manual “A Policy On Geometric Design of Highways and Streets, AASHTO, 5th Edition. 2004”, la longitud mínima de la espiral no debe ser inferior a la distancia recorrida durante dos segundos a la velocidad de diseño.

$$L_e = 0.56 * V_d \quad (\text{Ec. 44})$$

En vista que existen varios métodos de cálculo de la longitud de espiral tipo clotoide cuyos resultados son diferentes, se ha considerado conveniente adoptar las recomendaciones del Manual “A Policy On Geometric Design of Highways and Streets, AASHTO, 5th Edition. 2004”, para valores de este elemento de diseño en las carreteras regionales, dejando siempre a juicio del diseñador su propia elección de acuerdo a situaciones particulares como podrían ser la disponibilidad de espacio y el tipo de vía. Debe tenerse en cuenta además que la longitud de la espiral no difiera demasiado de la circular. Desde el punto de vista estético no es aconsejable emplear longitudes muy largas de espiral con longitudes muy cortas de curva circular o viceversa.

En general se considera que el criterio más empleado por practicidad y uno de los más importantes, es el control de la transición del peralte, ya que implícitamente considera la comodidad y seguridad. Por ende, este criterio será el que se utilice en este documento tal como se muestra en las Secciones 4.4.8.1 y 4.4.8.2.

### **4.4.3.5 Radios que permiten prescindir de la curva espiral de transición.**

A Policy On Geometric Design of Highways and Streets, AASHTO, 5th Edition. 2004 sugiere que puede establecerse un límite superior de radio de curva circular para diferentes velocidades de diseño, tal que sólo los radios por debajo de este máximo es probable que obtengan beneficios de seguridad y operación debido al uso de curvas espirales de transición al inicio y al final de una curva circular como se muestra a continuación:

Tabla 24: Radios límites que permiten prescindir de una curva de transición.

Velocidad de diseño (km/hr)	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
Radio máximo (m)	24	54	95	148	213	290	379	480	592	716	852	1000

Fuente: A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 5th ed. 2004, Pág.187.

En la tabla anterior puede apreciarse que una velocidad de diseño de 50 km/hr se establece un radio límite de 148 metros para el uso de espirales de transición, por lo que para radios de curvas circulares mayores a dicho valor debe prescindirse el uso de espirales.

### Ejemplo de diseño y cálculo de una curva circular con espirales de transición (Curva 3).

Datos:

$$V_d = 50 \text{ km/h.} \quad \Delta = 86.3733^\circ \text{ D.} \quad G_{\text{máx}} = 15^\circ 42'. \quad L_e = 41 \text{ m.}$$

$$PI = 127 + 280.88. \quad R_{\text{mín}} = 73 \text{ m.} \quad R_C \text{ (propuesto)} = 80 \text{ m.} \quad b = 3 \%$$

1) Comparar radio propuesto de diseño de la curva con respecto al radio mínimo.

$$R_C = 80 \text{ m} > R_{\text{mín}} = 73 \text{ m} \text{ (Cumple)}$$

Nota: El radio mínimo de curvatura solo debe ser usado en situaciones extremas, donde sea imposible la aplicación de radios mayores. La selección del radio mínimo se aborda en la Sección 4.4.6.

2) Comparar grado de curvatura de diseño con respecto al grado máximo.

$$G_c = \frac{1145.92}{R_C} = \frac{1145.92}{80} = 14^\circ 18' < G_{\text{máx}} = 15^\circ 42' \text{ (Cumple)}$$

Nota: Este criterio debe tenerse siempre en cuenta, ya que garantiza la estabilidad del vehículo que transita en una curva. El cálculo del grado máximo de curvatura se realiza en la Sección 4.4.7.

3) Revisar si la curva circular amerita espirales de transición en la entrada y la salida.

En la Sección 4.4.3.5, se establece un radio límite de 148 metros para el uso de curvas espirales de transición, por lo que este valor se debe comparar con el radio de diseño de la curva circular analizada tal como sigue:

$$R_c = 80 \text{ m} < R_{\text{límite}} = 148 \text{ m}$$

Dado que el radio de diseño es menor que el radio límite, se concluye que la curva circular requiere espirales de transición al inicio y al final.

4) Calcular los elementos geométricos de la curva circular con espirales de transición.

a) Calcular el valor de la subtangente de entrada y salida.

$$\theta_e = \frac{L_e}{2 * R_c} = \frac{41}{2 * 80} = 0.25625 \text{ rad} = 14^\circ 42'$$

$$\begin{aligned} x_c &= L_e * \left( 1 - \frac{\theta_e^2}{10} + \frac{\theta_e^4}{216} - \frac{\theta_e^6}{9360} \right) \\ &= 41 * \left[ 1 - \left( \frac{0.25625^2}{10} \right) + \left( \frac{0.25625^4}{216} \right) - \left( \frac{0.25625^6}{9360} \right) \right] = 40.73 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} y_c &= L_e * \left( \frac{\theta_e}{3} - \frac{\theta_e^3}{42} + \frac{\theta_e^5}{1320} - \frac{\theta_e^7}{75600} \right) \\ &= 41 * \left[ \left( \frac{0.25625}{3} \right) - \left( \frac{0.25625^3}{42} \right) + \left( \frac{0.25625^5}{1320} \right) - \left( \frac{0.25625^7}{75600} \right) \right] \\ &= 3.49 \text{ m} \end{aligned}$$

$$k = x_c - R_c * \text{sen}(\theta_e) = 40.73 - 80 * \text{sen}\left(0.25625 * \frac{180}{\pi}\right) = 20.46 \text{ m}$$

$$p = y_c - R_c * [1 - \text{cos}(\theta_e)] = 3.49 - 80 * \left[1 - \text{cos}\left(0.25625 * \frac{180}{\pi}\right)\right] = 0.87 \text{ m}$$

$$ST = k + \left[(R_c + p) * \tan\left(\frac{\Delta}{2}\right)\right] = 20.46 + \left[(80 + 0.87) * \tan\left(\frac{86.3733^\circ}{2}\right)\right] = 96.36 \text{ m}$$

b) Calcular el desarrollo de la curva circular con espirales de transición.

$$\Delta_c = \Delta - 2 * \theta_e = 86.3733^\circ - 2 * \left(0.25625 * \frac{180}{\pi}\right) = 57.01^\circ$$

$$L_c = \frac{\pi * R_c * \Delta_c}{180} = \frac{\pi * 80 * 57.01^\circ}{180} = 79.60 \text{ m}$$

c) Calcular el valor de la externa.

$$E_c = \left[(R_c + p) * \sec\left(\frac{\Delta}{2}\right)\right] - R_c = \left[(80 + 0.87) * \sec\left(\frac{86.3733^\circ}{2}\right)\right] - 80 = 30.92 \text{ m}$$

d) Calcular el valor de la tangente corta de la espiral.

$$TC = y_c * \text{csc}(\theta_e) = 3.49 * \text{csc}\left(0.25625 * \frac{180}{\pi}\right) = 13.75 \text{ m}$$

e) Calcular el valor de la tangente larga de la espiral.

$$TL = x_c - y_c * \text{cot}(\theta_e) = 40.73 - 3.49 * \text{cot}\left(0.25625 * \frac{180}{\pi}\right) = 27.43 \text{ m}$$

f) Calcular el valor del parámetro de la espiral.

$$A = \sqrt{R_c * L_e} = \sqrt{80 * 41} = 57.27$$

g) Calcular las estaciones principales.

$$\text{EST. TE} = \text{EST. PI} - ST = 127 + 280.88 - 96.36 = 127 + 184.52$$

$$\text{EST. EC} = \text{EST. TE} + L_e = 127 + 184.52 + 41 = 127 + 225.52$$

$$\text{EST. CE} = \text{EST. EC} + L_C = 127 + 225.52 + 79.60 = 127 + 305.12$$

$$\text{EST. ET} = \text{EST. CE} + L_e = 127 + 305.12 + 41 = 127 + 346.12$$

#### 4.4.4 Sobreelevación o peralte máximo ( $e_{\text{máx}}$ ).

Las tasas máximas de peralte utilizables en las carreteras están controladas por varios factores: condiciones climáticas; condiciones del terreno (plano o montañoso); tipo de zona (rural o urbana) y frecuencia de vehículos que viajan lento y cuya operación puede ser afectada por tasas altas de peralte. Por la consideración conjunta de estos factores se concluye que no hay ninguna tasa única de peralte máxima universalmente aplicable. Sin embargo, es deseable usar un único valor de peralte máximo en una región de clima y uso del suelo similar, porque tal práctica promueve la coherencia de diseño.

De la investigación y experiencias acumuladas, se han establecido cuatro valores límites de superelevación tal como se muestra a continuación:

Tabla 25: Tasas máximas de sobreelevación según tipo de área.

Tasa de sobreelevación "e" en %	Tipo de Area
10	Rural montañosa
8	Rural plana
6	Suburbana
4	Urbana

Fuente: Manual Centroamericano de Normas Para el Diseño Geométrico de Carreteras, SIECA, 2da ed. 2004, Pág.4-36.

Se utilizará una tasa de sobreelevación de 8% como valor máximo razonable recomendado por El Manual Centroamericano de Normas Para el Diseño Geométrico de Carreteras con enfoque de Gestión de Riesgo y Seguridad Vial,

SIECA, 3ª Edición, 2011, para el tramo completo de 7.5 km, el cual está alojado en un terreno ondulado.

#### 4.4.5 Coeficiente de fricción lateral.

El coeficiente de fricción “f” se define como la fuerza de fricción transversal desarrollada entre las llantas y el pavimento dividida entre el componente del peso del vehículo perpendicular al pavimento.

$$f = \frac{V^2}{127 * R} - e \quad (\text{Ec. 45})$$

Donde:

V: Velocidad de diseño, km/h.      e: Tasa de sobreelevación en fracción decimal.

R: Radio de curva, m.      f: Factor de fricción lateral (adimensional).

El coeficiente de fricción transversal máximo “f<sub>máx</sub>”, está determinado por numerosos factores, entre los cuales se encuentran el estado de la superficie de rodadura, la velocidad del vehículo y el tipo y condiciones de las llantas de los vehículos.

A continuación, se muestran los valores del coeficiente de fricción transversal máximo “f<sub>máx</sub>” adoptados por el Manual Centroamericano de Normas Para el Diseño Geométrico de Carreteras con enfoque de Gestión de Riesgo y Seguridad Vial, SIECA, 3ª Edición, 2011 para diferentes velocidades de diseño. Se puede apreciar que para el tramo de carreteras en estudio debe usarse un coeficiente de 0.19.

Tabla 26: Valores del Coeficiente de fricción lateral máximo (f<sub>máx</sub>).

V <sub>d</sub>	15	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
f <sub>máx</sub>	0.40	0.35	0.28	0.23	0.19	0.17	0.15	0.14	0.13	0.12	0.11	0.09	0.08

Fuente: Manual Centroamericano de Normas Para el Diseño Geométrico de Carreteras con enfoque de Gestión de Riesgo y Seguridad Vial, SIECA, 3ª Edición, 2011, Pág.89

#### 4.4.6 Radio mínimo de curvatura.

Los radios mínimos son los valores límites de la curvatura para una velocidad de diseño dada, que se relacionan con la sobreelevación máxima y la máxima fricción lateral escogida para el diseño. El radio mínimo de curvatura solo debe ser usado en situaciones extremas, donde sea imposible la aplicación de radios mayores.

Una vez establecidos la tasa máxima de sobreelevación ( $e_{m\acute{a}x}$ ) y el coeficiente de fricción lateral máximo ( $f_{m\acute{a}x}$ ), el radio mínimo de curvatura horizontal correspondiente a la velocidad de diseño del proyecto en cuestión se puede definir utilizando la Tabla 27 o bien calcularse con la siguiente expresión:

$$R_{\min} = \frac{V_d^2}{127 * (e_{m\acute{a}x} + f_{m\acute{a}x})} \quad (\text{Ec. 46})$$

Donde:  $f_{m\acute{a}x}$ : Factor de fricción lateral (adimensional).

$V_d$ : Velocidad de diseño, km/h.

$e_{m\acute{a}x}$ : Tasa máxima de sobreelevación en fracción decimal.

Tabla 27: Radios mínimos y grados máximos de curvas horizontales para distintas velocidades de diseño, usando valores límites de “e” y “f”.

VELOCIDAD DE DISEÑO (KPH)	FACTOR DE FRICCIÓN MÁXIMA	Peralte Máximo = 4%		GRADO DE CURVATURA (Degree)	Peralte Máximo = 6%		GRADO DE CURVATURA (Degree)
		RADIO (m)			RADIO (m)		
		CALCULADO	RECOMENDADO		CALCULADO	RECOMENDADO	
20	0.35	8.1	8	143°14'	7.7	8	143°14'
30	0.28	22.1	22	52°05'	20.8	21	54°34'
40	0.23	46.7	47	24°23'	43.4	43	26°39'
50	0.19	85.6	86	13°19'	78.7	79	14°30'
60	0.17	135.0	135	08°29'	123.2	123	09°19'
70	0.15	203.1	203	05°39'	183.7	184	06°14'
80	0.14	280.0	280	04°06'	252.0	252	04°33'
90	0.13	375.2	375	03°03'	335.7	336	03°25'
100	0.12	492.1	492	02°20'	437.4	437	02°37'
110	0.11				560.4	560	02°03'
120	0.09				755.9	756	01°31'
VELOCIDAD DE DISEÑO (KPH)	FACTOR DE FRICCIÓN MÁXIMA	Peralte Máximo = 8%		GRADO DE CURVATURA (Degree)	Peralte Máximo = 10%		GRADO DE CURVATURA (Degree)
		RADIO (m)			RADIO (m)		
		CALCULADO	RECOMENDADO		CALCULADO	RECOMENDADO	
20	0.35	7.3	7	163°42'	7.0	7	163°42'
30	0.28	19.7	20	57°18'	18.6	19	60°19'
40	0.23	40.6	41	27°57'	38.2	38	30°09'
50	0.19	72.9	73	15°42'	67.9	68	16°51'
60	0.17	113.4	113	10°08'	105.0	105	10°55'
70	0.15	167.8	168	06°49'	154.3	154	07°26'
80	0.14	229.1	229	05°00'	210.0	210	05°27'
90	0.13	303.7	304	03°46'	277.3	277	04°08'
100	0.12	393.7	394	02°55'	357.9	358	03°12'
110	0.11	501.5	501	02°17'	453.7	454	02°31'
120	0.09	667.0	667	01°43'	596.8	597	01°55'

Fuente: Manual Centroamericano de Normas Para el Diseño Geométrico de Carreteras con enfoque de Gestión de Riesgo y Seguridad Vial, SIECA, 3ª Edición, 2011, Pág.89.

Sustituyendo la velocidad de diseño del proyecto con su respectivo peralte máximo y coeficiente de fricción lateral, en la ecuación anterior, se obtiene el radio mínimo:

$$R_{\text{mín}(50 \text{ km/hr})} = \frac{50^2}{127 * (0.08 + 0.19)} = 73 \text{ m}$$

#### 4.4.7 Grado máximo de curvatura ( $G_{\text{máx}}$ ).

El grado de curvatura es una forma de expresar la “agudeza” de una curva y se expresa, para la definición “arco” como el ángulo central subtendido por un “arco” de 20 metros. A partir de esta definición se obtiene la siguiente expresión:

$$G_c = \frac{20 * \Delta}{L_c} \quad (\text{Ec. 47})$$

Donde:

$G_c$ : Grado de curvatura en grados, minutos y segundos.

$\Delta$ : Angulo de deflexión en grados.

$L_c$ : Longitud de curva, m.

En general se recomienda que el grado de curvatura sea redondeado al inmediato inferior en múltiplos de medios grados. Siempre que sea posible, debe asegurarse que el grado de curvatura de diseño cumpla con el criterio siguiente:

$$G_c \leq \frac{\Delta}{10}, \text{ Cuando } \Delta > 5.00^\circ \quad (\text{Ec. 48})$$

Por estética, si  $\Delta \leq 5.00^\circ$ , se sigue la regla siguiente:

Si  $\Delta = 5.00^\circ$ , la longitud de desarrollo de la curva deberá ser de 150 m, y esta longitud mínima deberá aumentar 30 m, por cada grado de disminución de  $\Delta$ .

En consecuencia, se puede definir como grado máximo de curvatura, el límite superior del grado de curvatura que podrá usarse en el alineamiento horizontal de una carretera con la sobrelevación máxima, a la velocidad de proyecto. Este criterio debe tenerse siempre en cuenta ya que garantiza la estabilidad del vehículo que transita en una curva.

Este valor máximo está dado por la ecuación siguiente:

$$G_{\text{máx}} = \frac{1145.92}{R_{\text{mín}}} \quad (\text{Ec. 49})$$

Donde:

$G_{\text{máx}}$ : Grado máximo de curvatura en grados, minutos y segundos.

$R_{\text{mín}}$ : Radio mínimo de curvatura, m.

Se procede a realizar el cálculo del máximo grado de curvatura de las curvas circulares del tramo en estudio, correspondiente a un radio mínimo de 73 metros, utilizando la expresión anterior, con lo cual se tiene:

$$G_{\text{máx}} = \frac{1145.92}{R_{\text{mín}}} = \frac{1145.92}{73} = 15^{\circ}42'$$

#### **4.4.8 Longitud de transición.**

Longitud de transición o simplemente transición se define como la distancia necesaria para efectuar el cambio desde una sección transversal con bombeo (sección en tangente) a una sección transversal con el peralte requerido en una curva (peralte total), sin peligro de deslizamiento. Las longitudes de transición se consideran a partir del punto donde el borde exterior del pavimento comienza a elevarse partiendo de un bombeo normal, hasta el punto donde se forma el peralte total de la curva.

En general la longitud total de transición " $L_T$ " para curvas circulares simples y curvas circulares con espirales están constituidas por dos tramos principales:

- 1) La distancia " $D_b$ " necesaria para levantar el borde exterior, del bombeo normal a la nivelación con el eje de la vía, llamada transición del bombeo o aplanamiento.
- 2) La distancia " $L_s$ " necesaria para pasar de bombeo nulo al peralte total en la curva circular, denominada transición del peralte.

La longitud de transición se aplica de acuerdo al tipo de curva de enlace que une los dos tramos rectos a como se describe en las Secciones 4.4.8.1 y 4.4.8.2.

#### **4.4.8.1 Longitud de transición para curvas circulares.**

Cuando sólo se dispone de curvas circulares, se acostumbra a realizar una parte de la transición en la recta y la otra parte sobre la curva. Este tipo de transición se conoce como “transición de tangente a curva”. En este caso, la longitud de transición del peralte ( $L_s$ ) se reparte en la tangente de entrada en un rango del 60 al 80 y el rango restante en la curva circular para todas las velocidades y anchos rotados. La transición del peralte puede introducirse dentro de la curva hasta un 50%, siempre que por lo menos la tercera parte central de la longitud de la curva circular quede con el peralte completo.

El Manual Centroamericano de Normas Para el Diseño Geométrico de Carreteras, SIECA, 2da ed. 2004 en el Capítulo 4, página 52 muestra claramente que la distribución de la longitud de transición del peralte debe hacerse 2/3 (66.67%) sobre la tangente y 1/3 (33.33%) sobre la curva circular.

Las expresiones de cálculo de la longitud de transición del peralte y la longitud de transición del bombeo para una curva circular están dadas por las dos ecuaciones siguientes:

$$L_s = \frac{(w * n_1) * e_d}{\Delta} * b_w \quad (\text{Ec. 50})$$

$$D_b = \frac{e_{NC}}{e_d} * L_s \quad (\text{Ec. 51})$$

Donde:

$L_s$ : Longitud de transición del peralte, m.

$\Delta$ : Máxima pendiente relativa, porcentaje.

$n_1$ : Número de carriles a rotar.

$b_w$ : Factor de ajuste por número de carriles rotados.

$w$ : Ancho de un carril de tráfico, m.

$e_d$ : Tasa de peralte de diseño, porcentaje.

$D_b$ : Longitud de transición del bombeo, m.

$e_{NC}$ : Pendiente transversal (bombeo), porcentaje.

El valor “ $\Delta$ ” se obtiene de la Tabla 28, mientras que los valores restantes que forman parte de la ecuación 50, se definen al seleccionar el peralte de diseño (se aborda en la Sección 4.6.1.2.2) y el ancho de calzada en la curva que gira. El ancho de calzada que gira es igual al ancho de los carriles que giran. Cuando el número de carriles que rotan es mayor que uno, es conveniente el uso de un factor de ajuste ( $b_w$ ) para evitar una excesiva longitud de transición y desniveles muy altos entre el borde exterior y el eje de giro. En la Tabla 29, se indican los factores de ajuste recomendados por el Manual “A Policy On Geometric Design of Highways and Streets, AASHTO, 5th Edition. 2004”, y en la Figura 14, los bosquejos que indican los carriles que giran respecto a su eje de giro.

De lo expuesto en el párrafo anterior se tiene que para la velocidad directriz del tramo en estudio debe usarse una pendiente máxima relativa de 0.65 % y dado que la vía está compuesta por una calzada de dos carriles tal como se abordó en la Sección 4.3.1, se selecciona un factor de ajuste “ $b_w$ ” equivalente a uno, ya que solamente rota un carril.

Tabla 28: Máximas pendientes relativas ( $\Delta$ ) de la orilla del pavimento.

Velocidad de diseño (km/hr)	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
Máxima pendiente relativa (%)	0.80	0.75	0.70	0.65	0.60	0.55	0.50	0.47	0.44	0.41	0.38	0.35
Talud Máximo relativo equivalente	1:125	1:133	1:143	1:154	1:167	1:182	1:200	1:213	1:227	1:244	1:263	1:286

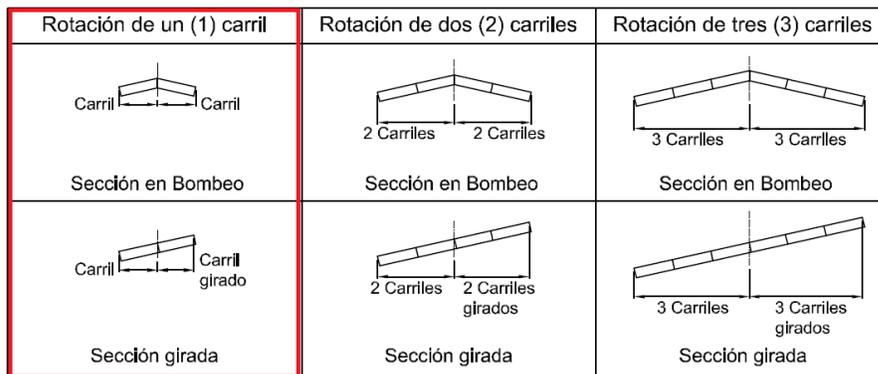
Fuente: A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, AASHTO, 5th ed. 2004, Pág.177.

Tabla 29: Factores de ajuste por el número de carriles rotados ( $b_w$ ).

Número de carriles a rotar ( $n_1$ )	Factor de ajuste por número de carriles rotados ( $b_w$ )	Incremento relativo de la longitud respecto a un carril rotado ( $n_1 * b_w$ )
1.00	1.00	1.00
1.50	0.83	1.25
2.00	0.75	1.50
2.50	0.70	1.75
3.00	0.67	2.00
3.50	0.64	2.25

Fuente: A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, AASHTO, 5th ed. 2004, Pág.178.

Figura 14: Disposición de los carriles que giran respecto a su eje de rotación.



Fuente: A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, AASHTO, 5th ed. 2004, Pág.178.

## Ejemplo de cálculo de longitud de transición y aplanamiento en una curva circular simple (Curva 2).

Datos:

$$w = 3.30 \text{ m} \quad e_d = 5.4 \% \quad e_{NC} = 3.0 \% \quad \text{EST. PC} = 126 + 942.42$$

$$n_1 = 1 \quad \Delta = 0.65 \% \quad b_w = 1 \quad \text{EST. PT} = 127 + 027.62$$

1. Calcular la longitud de transición del peralte.

$$L_S = \frac{(w * n_1) * e_d}{\Delta} * b_w = \frac{(3.30 \text{ m} * 1) * 5.4 \%}{0.65 \%} * 1 = 27.00 \text{ m}$$

2. Calcular la longitud de transición del bombeo (aplanamiento).

$$D_b = \frac{e_{NC}}{e_d} * L_S = \frac{3.0 \%}{5.4 \%} * 27.00 \text{ m} = 15.00 \text{ m}$$

3. Calcular los estacionamientos en puntos de interés de las transiciones de entrada y salida de la curva referidas al PC y PT respectivamente.

a) Calcular los estacionamientos en la entrada y salida de la curva donde inicia la transición del peralte (termina la transición del bombeo).

$$\text{EST. B} = \text{EST. PC} - \frac{2}{3} * L_S = 126 + 942.42 - \frac{2}{3} * 27.00 = 126 + 924.42$$

$$\text{EST. B}' = \text{EST. PT} + \frac{2}{3} * L_S = 127 + 027.62 + \frac{2}{3} * 27.00 = 127 + 045.62$$

b) Calcular los estacionamientos en la entrada y salida de la curva donde inicia la transición del bombeo.

$$\text{EST. A} = \text{EST. B} - D_b = 126 + 924.42 - 15.00 = 126 + 909.42$$

$$\text{EST. A}' = \text{EST. B}' + D_b = 127 + 045.42 + 15.00 = 126 + 060.62$$

c) Calcular los estacionamientos en la entrada y salida de la curva donde termina la transición del peralte.

$$\text{EST. E} = \text{EST. PC} + \frac{1}{3} * L_S = 126 + 942.42 + \frac{1}{3} * 27.00 = 126 + 951.42$$

$$\text{EST. E}' = \text{EST. PT} - \frac{1}{3} * L_S = 127 + 027.62 - \frac{1}{3} * 27.00 = 127 + 018.62$$

#### 4.4.8.2 Longitud de transición para curvas con espirales.

En el diseño del alineamiento con espirales tipo clotoide, el desarrollo del peralte se efectúa sobre toda la curva de transición. La longitud de desarrollo del peralte (LS) debe ser igual a la longitud de la espiral (Le) para la transición tangente a espiral (TE) en el comienzo y la transición espiral a tangente (ET) en el final de la curva circular. El cambio de la pendiente transversal comienza con la remoción de la pendiente transversal adversa del carril o carriles en el lado exterior de la curva, en una longitud de recta justo antes de TE (Longitud de transición del bombeo "Db"). Entre TE y EC, la curva espiral y el desarrollo del peralte coinciden, y la calzada rota hasta alcanzar el peralte total de diseño en EC. Esta disposición se revierte al dejar la curva circular. En este diseño, toda la curva circular posee el peralte de diseño.

#### Ejemplo de cálculo de longitud de transición y aplanamiento en una curva circular con espirales (Curva 3).

Datos:

$$w = 3.30 \text{ m} \quad e_d = 8.0 \% \quad e_{NC} = 3.0 \% \quad \text{EST. EC} = 127 + 225.52$$

$$n_1 = 1 \quad \Delta = 0.65 \% \quad b_w = 1 \quad \text{EST. CE} = 127 + 305.12$$

1. Calcular la longitud de transición del peralte.

$$L_S = \frac{(w * n_1) * e_d}{\Delta} * b_w = \frac{(3.30 \text{ m} * 1) * 8.0 \%}{0.65 \%} * 1 = 41.00 \text{ m}$$

2. Calcular la longitud de transición del bombeo (aplanamiento).

$$D_b = \frac{e_{NC}}{e_d} * L_S = \frac{3.0 \%}{8.0 \%} * 41.00 \text{ m} = 15.00 \text{ m}$$

3. Calcular los estacionamientos en puntos de interés de las transiciones de entrada y salida de la curva referidas al EC y CE respectivamente.

a) Calcular los estacionamientos en la entrada y salida de la curva donde inicia la transición del peralte (termina la transición del bombeo).

$$\text{EST. B} = \text{EST. EC} - L_S = 127 + 225.52 - 41.00 = 126 + 184.52$$

$$\text{EST. B}' = \text{EST. CE} + L_S = 127 + 305.12 + 41.00 = 127 + 346.12$$

b) Calcular los estacionamientos en la entrada y salida de la curva donde inicia la transición del bombeo.

$$\text{EST. A} = \text{EST. B} - D_b = 126 + 184.52 - 15.00 = 126 + 169.52$$

$$\text{EST. A}' = \text{EST. B}' + D_b = 127 + 346.12 + 15.00 = 127 + 361.12$$

c) Calcular los estacionamientos en la entrada y salida de la curva donde termina la transición del peralte.

$$\text{EST. E} = \text{EST. EC} = 127 + 225.52$$

$$\text{EST. E}' = \text{EST. CE} = 127 + 305.12$$

#### 4.4.9 Desarrollo del peralte.

Cuando se presenta en el alineamiento horizontal una curva es necesario modificar la inclinación transversal desde el bombeo hasta el peralte requerido para la curva y luego después de la curva desde el peralte hasta el bombeo nuevamente. Para

realizar esta modificación en la inclinación transversal, pueden utilizarse tres procedimientos:

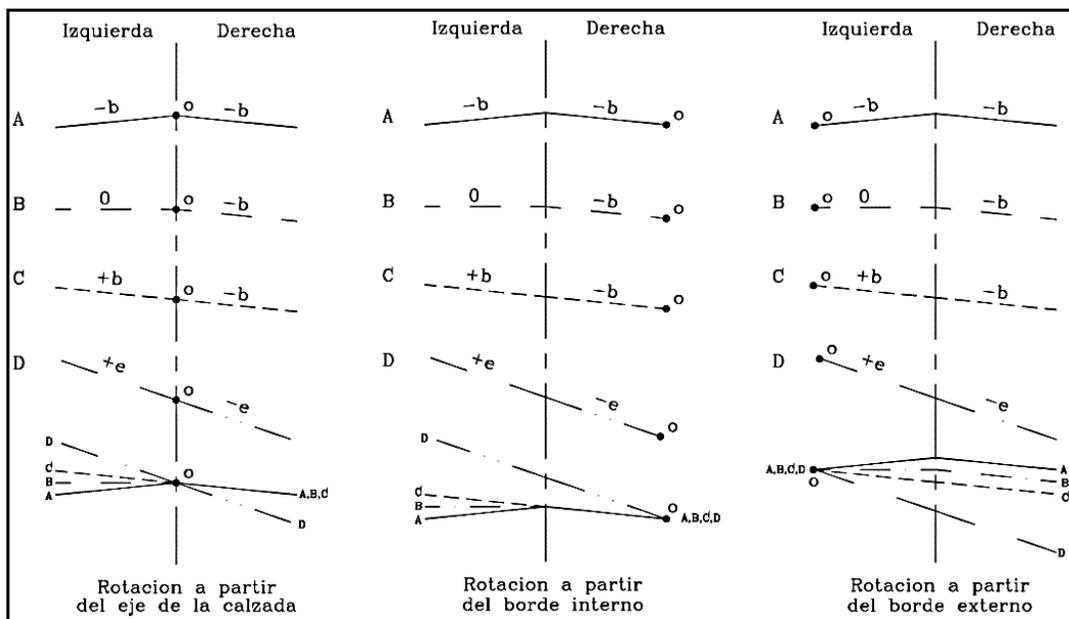
**Desarrollo del peralte por el eje de la vía (Rotando la calzada alrededor de su eje central):** es el más conveniente, ya que los desniveles relativos de los bordes con respecto al eje son uniformes, produciendo un desarrollo más armónico y con menos distorsión de los bordes de la calzada. En general es el procedimiento más utilizado ya que su simetría brinda una mayor comprensión y facilidad para el cálculo. Es conveniente en terraplenes donde se compensa lo que asciende en un borde con lo que baja en el borde opuesto. Es decir que el eje de la vía o eje central de la carretera es la línea base alrededor de la cual va girando la sección transversal de la calzada, o parte de ella hasta alcanzar la inclinación necesaria. Por esta razón es el método o procedimiento que se aplicará en el presente documento.

**Desarrollo del peralte por el borde interior (Rotando la calzada alrededor de su borde interior):** Es el segundo método más utilizado sobre todo en los cortes en los que se facilita el drenaje al mantener el borde interior una pendiente longitudinal uniforme; también disminuye el volumen de excavación por elevarse al resto de la calzada con respecto al borde interior.

**Desarrollo del peralte por el borde exterior (Rotando la calzada alrededor de su borde exterior):** Este procedimiento es poco usado, aunque tiene la ventaja de que puede utilizarse para disminuir los volúmenes de relleno cuando la curva esté en terraplén; además algunos autores les atribuyen una mejor apariencia a las curvas peraltadas de esta forma.

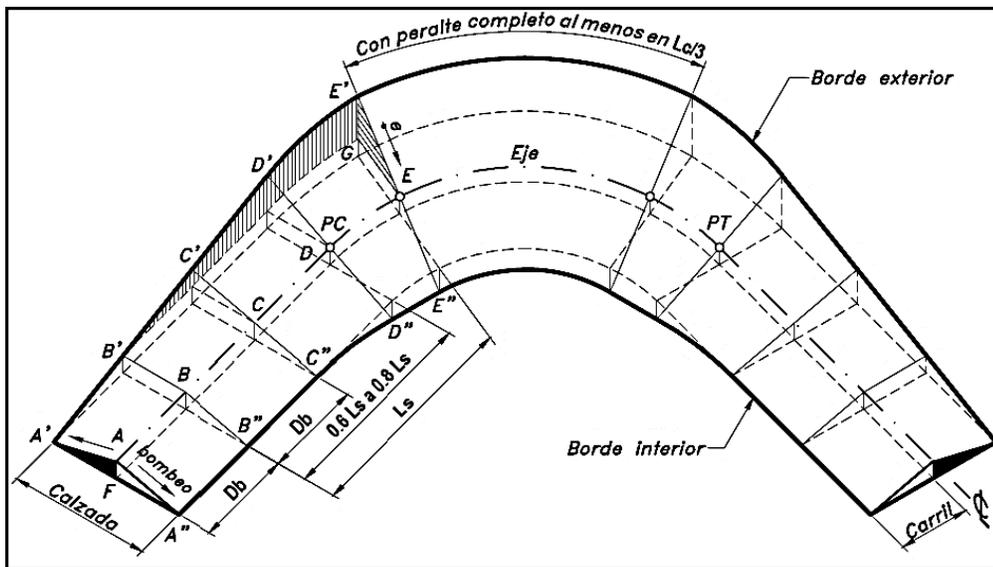
En la Figura 15 se presentan los esquemas, para una curva derecha, con los tres métodos que se utilizan para desarrollar la transición de un peralte. Mientras que en la Figura 16, se muestra en forma esquemática y tridimensional, la transición del peralte de una curva circular, rotando la calzada alrededor de su eje central.

Figura 15: Métodos para desarrollar el peralte.



Fuente: Diseño geométrico de vías, Ajustado al Manual Colombiano John Jairo Agudelo Ospina, Medellín 2002, Pág.294.

Figura 16: Transición del peralte por el método del eje de la vía para una curva circular simple.



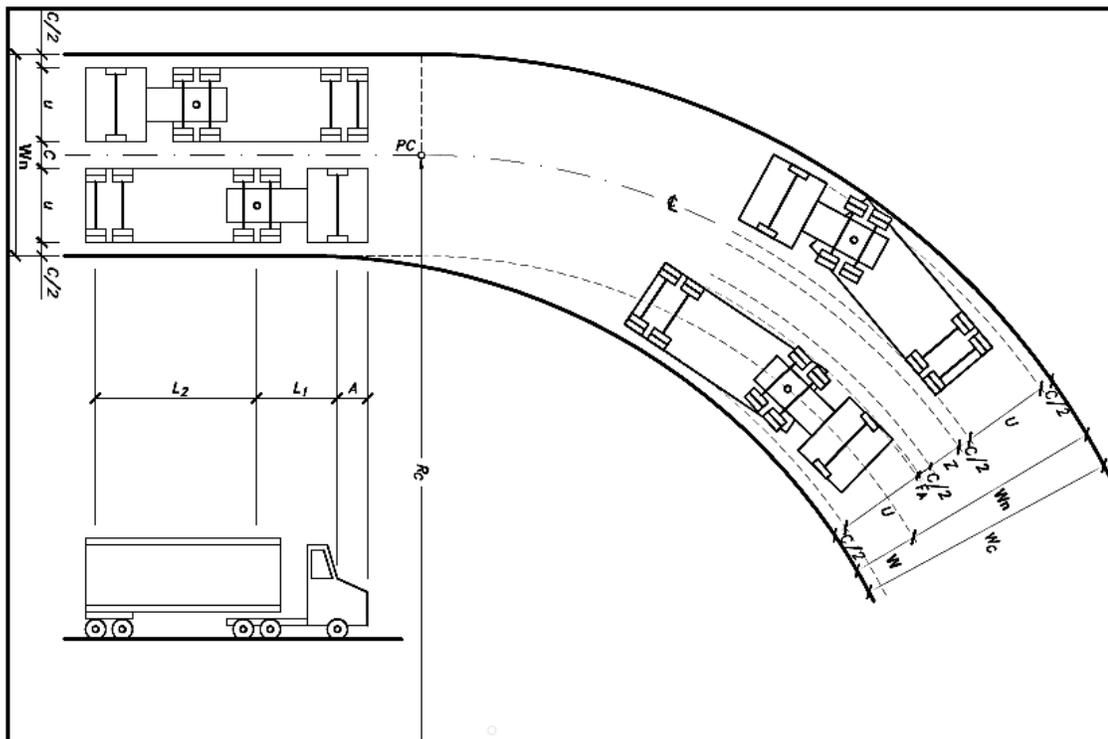
Fuente: Cárdenas Grisales, James. Diseño Geométrico de Carreteras, 2a Edición, Bogotá, Ecoe Ediciones. 2013, Pág.201.

#### 4.4.10 Sobreancho en curvas.

El Sobreancho o Ampliación se define como el ancho adicional de la superficie de rodadura de la vía, en los tramos en curva para compensar el mayor espacio requerido por los vehículos. La necesidad de proporcionar sobreancho en una calzada, se debe a la extensión de la trayectoria de los vehículos y a la mayor dificultad en mantener el vehículo dentro del carril en tramos curvos.

En curvas de radio pequeño y mediano, según sea el tipo de vehículos que circulan habitualmente por la carretera, ésta debe tener un sobreancho con el objeto de asegurar espacios libres adecuados, entre vehículos que se cruzan en calzadas bidireccionales o que se adelantan en calzadas unidireccionales, y entre los vehículos y los bordes de las calzadas. El sobreancho no podrá darse a costa de una disminución del ancho de la berma.

Figura 17: Componentes del sobreancho en curvas.



Fuente: Cárdenas Grisales, James. Diseño Geométrico de Carreteras, 2ª Edición, Bogotá, Ecoe Ediciones. 2013, Pág.414.

#### 4.4.10.1 Determinación del sobreancho en curvas.

Para determinar el Sobreancho en una curva se debe de conocer el vehículo de diseño, ya que depende de las dimensiones que este tenga, los valores mínimos para deducir el ensanchamiento que tendrán las curvas en base al radio y la velocidad de diseño.

Para este proyecto en particular, la selección, dimensiones y radios mínimos de giro del vehículo de diseño se abordaron en la Sección 4.3.3, donde se eligió el vehículo de carga conocido como SU (C2).

El Manual “A Policy On Geometric Design of Highways and Streets, AASHTO, 5th Edition. 2004” presenta el siguiente procedimiento para la determinación del sobreancho requerido en una curva. Las expresiones son las siguientes:

$$W = W_C - W_n \quad (\text{Ec. 52})$$

$$W_C = N * (U + C) + (N - 1) * F_A + Z \quad (\text{Ec. 53})$$

$$U = u + R - \sqrt{R^2 - \sum L_i^2} \quad (\text{Ec. 54})$$

$$F_A = \sqrt{R^2 + A * (2 * L + A)} - R \quad (\text{Ec. 55})$$

$$Z = \frac{0.1 * V}{\sqrt{R}} \quad (\text{Ec. 56})$$

Donde:

W: Sobreancho requerido por la calzada, m.

W<sub>C</sub>: Ancho de la calzada en curva, m.

W<sub>n</sub>: Ancho de la calzada en tangente, m.

N: Número de carriles.

U: Ancho ocupado por el vehículo en la curva (exterior a exterior de llantas), m.

C: Claro lateral (distancia lateral libre entre vehículos, y entre éstos y el borde de la calzada). Para anchos de calzada de 6.00, 6.60 y 7.20 metros, los valores de C son 0.60, 0.75 y 0.90 metros, respectivamente.

F<sub>A</sub>: Ancho de saliente frontal en el carril interior (diferencia radial entre la trayectoria de la esquina exterior del vuelo delantero y la trayectoria de la rueda exterior delantera), m.

Z: Ancho adicional de seguridad, por la dificultad de maniobrar en curva, m.

u: Ancho ocupado por el vehículo en la tangente (exterior a exterior de llantas), m.

R: Radio de la curva o giro, m.

L<sub>j</sub>: Distancia entre ejes consecutivos (ejes en tándem) y puntos de articulación, m.

L: Distancia entre ejes del camión unitario o tractor, m.

A: Vuelo delantero del vehículo en la parte interna del carril, m.

V: Velocidad de diseño de la vía, km/h.

En la Tabla 30, se presentan los sobreanchos para curvas en carreteras de una calzada compuesta dos carriles (un carril por sentido) o carreteras de doble calzada (dos carriles por sentido) para el vehículo de diseño tipo WB-15. Cabe destacar que sobreanchos menores a 0.60 metros no son necesarios en las curvas, dado que generan altos costos de construcción y se gana muy poco con aplicarlo, desde el punto de vista de la seguridad vial.

Tabla 30: Sobreanchos en curvas para carreteras de dos carriles  
(una calzada o dos calzadas).

Radio de Curva	Ancho de Calzada = 7.20 m						Ancho de Calzada = 6.60 m						Ancho de Calzada = 6.00 m					
	Velocidad de Diseño (KPH)						Velocidad de Diseño (KPH)						Velocidad de Diseño (KPH)					
	50	60	70	80	90	100	50	60	70	80	90	100	50	60	70	80	90	100
3000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6
2500	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
2000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.7
1500	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7
1000	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.7	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8
900	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.6	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8	0.9
800	0.1	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7	0.8	0.8	0.8	0.9	0.9
700	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7	0.8	0.8	0.8	0.9	0.9	1.0
600	0.2	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.5	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7	0.8	0.9	0.9	0.9	1.0	1.0
500	0.3	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7	0.7	0.8	0.8	0.9	0.9	1.0	1.0	1.1	1.1
400	0.4	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7	0.7	0.8	0.8	0.9	0.9	1.0	1.0	1.1	1.1	1.2	1.2
300	0.5	0.6	0.6	0.7	0.8	0.8	0.8	0.9	0.9	1.0	1.1	1.1	1.1	1.2	1.2	1.3	1.4	1.4
250	0.6	0.7	0.8	0.8	0.9		0.9	1.0	1.1	1.1	1.2		1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	
200	0.8	0.9	1.0	1.0			1.1	1.2	1.3	1.6			1.4	1.5	1.6	1.6		
150	1.1	1.2	1.3	1.3			1.4	1.5	1.6	1.6			1.7	1.8	1.9	1.9		
140	1.2	1.3					1.5	1.6					1.8	1.9				
130	1.3	1.4					1.6	1.7					1.9	2.0				
120	1.4	1.5					1.7	1.8					2.0	2.1				
110	1.5	1.6					1.8	1.9					2.1	2.2				
100	1.6	1.7					1.9	2.0					2.2	2.3				
90	1.8						2.1						2.4					
80	2.0						2.3						2.6					
70	2.3						2.6						2.9					

Fuente: A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, AASHTO, 5th ed. 2004, Pág.211.

Si se utilizan otros vehículos de diseño tales como SU, WB-12, WB-19, WB-20, W-20D, WB-30T o WB-33D se pueden encontrar los valores de los sobreanchos a aplicarse en las curvas, haciendo uso de los mostrados en la Tabla 30, y posteriormente sumar o restar los valores mostrados en la Tabla 31.

Para carreteras con calzadas de tres y cuatro carriles, independientemente del tipo de vehículo de diseño utilizado se deberá multiplicar los valores de los sobreanchos de diseño obtenidos por un factor de 1.5 y 2 respectivamente.

Tabla 31: Ajuste para sobrecanchos en curvas para carreteras de dos carriles (una calzada o dos calzadas).

Radio de Curva (m)	VEHÍCULO DE DISEÑO						
	SU	WB-12	WB-19	WB-20	WB-20D	WB-30T	WB-30T
3000	-0.3	-0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
2500	-0.3	-0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
2000	0.3	-0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
1500	-0.4	-0.3	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1
1000	-0.4	-0.4	0.1	0.1	0.0	0.0	0.2
900	-0.4	-0.4	0.1	0.1	0.0	0.0	0.2
800	-0.4	-0.4	0.1	0.1	0.0	0.0	0.2
700	-0.4	-0.4	0.1	0.1	0.0	0.0	0.3
600	-0.5	-0.4	0.1	0.1	0.0	0.1	0.3
500	-0.5	-0.4	0.1	0.2	0.0	0.1	0.4
400	-0.5	-0.4	0.2	0.2	0.0	0.1	0.5
300	-0.6	-0.5	0.2	0.3	-0.1	0.1	0.6
250	-0.7	-0.5	0.2	0.3	-0.1	0.1	0.8
200	-0.8	-0.6	0.3	0.4	-0.1	0.2	1.0
150	-0.9	-0.7	0.4	0.6	-0.1	0.2	1.3
140	-0.9	-0.7	0.4	0.6	-0.1	0.2	1.4
130	-1.0	-0.7	0.5	0.6	-0.2	0.2	1.5
120	-1.1	-0.8	0.5	0.7	-0.2	0.3	1.6
110	-1.1	-0.8	0.6	0.8	-0.2	0.3	1.7
100	-1.2	-0.9	0.6	0.8	-0.2	0.3	1.9
90	-1.3	-0.9	0.7	0.9	-0.2	0.3	2.1
80	-1.4	-1.0	0.8	1.1	-0.2	0.4	2.4
70	-1.6	-1.1	0.9	1.2	-0.3	0.5	2.8

Fuente: A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, AASHTO, 5th ed. 2004, Pág.213.

#### 4.4.10.2 Desarrollo del sobrecancho en curvas.

Con el fin de disponer de un alineamiento continuo, suave y curvado en los bordes de la calzada, el sobrecancho debe desarrollarse gradualmente a la entrada y salida de las curvas para inducir su uso por el conductor.

En el caso de curvas circulares simples, por razones de apariencia, el sobrecancho se debe desarrollar linealmente a lo largo del lado interno de la calzada, en la misma longitud utilizada para la transición del peralte. El borde externo y la línea central deben mantenerse como arcos concéntricos.

En las curvas con espiral, el sobrecancho se desarrolla linealmente, en la longitud de la espiral, y se divide igualmente entre el borde interno y externo de la curva, aunque también se puede aplicar totalmente en la parte interna de la calzada.

En ambos casos, la marca de la línea central debe colocarse entre los bordes de la sección de la carretera ensanchada. Los cambios en el ancho normalmente pueden efectuarse en longitudes comprendidas entre 30 y 60 m.

Para la determinación del desarrollo del sobreebancho se utiliza la siguiente ecuación:

$$S_{a_i} = \frac{S_{a_{\text{máx}}}}{L_S} * L_i \quad (\text{Ec. 57})$$

Donde:

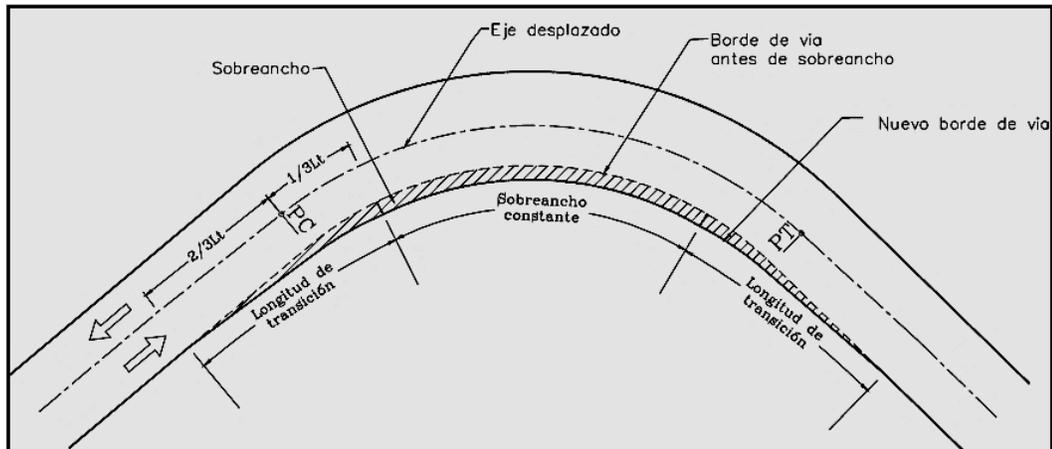
$S_{a_i}$ : Sobreebancho correspondiente a un punto distante  $L_i$  metros desde el origen.

$L_S$ : Longitud total del desarrollo del sobreebancho, equivalente a la longitud de transición del peralte, en metros.

$L_i$ : Longitud en cualquier punto de la longitud de transición, medido desde su origen, en metros.

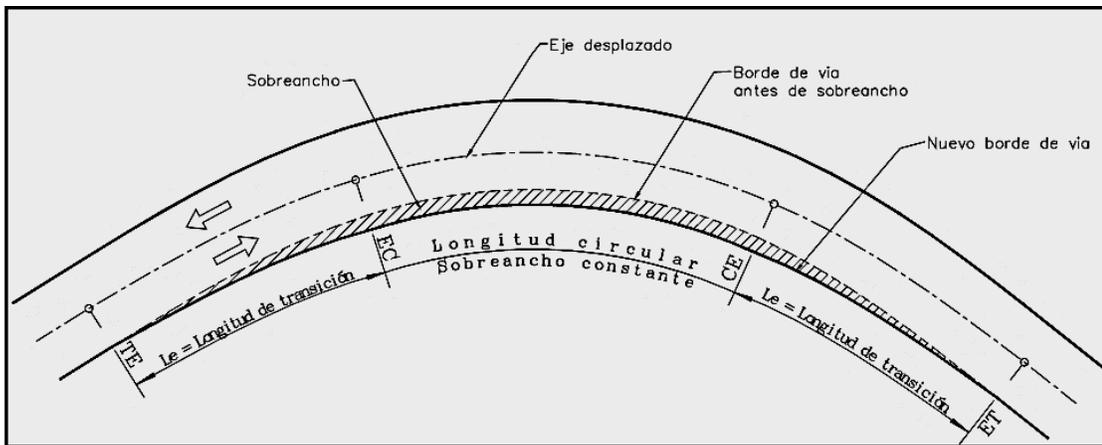
$S_{a_{\text{máx}}}$ : Sobreebancho máximo correspondiente a un punto distante  $L_t$  metros desde el origen.

Figura 18: Transición del sobrancho en curva circular simple.



Fuente: Diseño geométrico de vías, Ajustado al Manual Colombiano John Jairo Agudelo Ospina, Medellín 2002, Pág.469.

Figura 19: Transición del sobrancho en curva espiralizada.



Fuente: Diseño geométrico de vías, Ajustado al Manual Colombiano John Jairo Agudelo Ospina, Medellín 2002, Pág.467.

### Ejemplo de cálculo del sobrancho en una curva circular con espirales (Curva 3).

Datos:

$N = 2$ .                       $R = 80$  m.                       $V = 50$  km/h.                       $L = 6.10$  m.

$W_n = 6.60$  m.                       $A = 1.20$  m.                       $u = 2.40$  m.                       $C = 0.75$  m.

a) Calcular el ancho ocupado por el vehículo en la curva.

$$U = u + R - \sqrt{R^2 - \sum L_i^2} = 2.40 + 80 - \sqrt{80^2 - 6.1^2} = 2.63 \text{ m}$$

b) Calcular el ancho del voladizo delantero.

$$F_A = \sqrt{R^2 + A * (2 * L + A)} - R = \sqrt{80^2 + 1.20 * (2 * 6.10 + 1.20)} - 80 = 0.10 \text{ m}$$

c) Calcular el ancho adicional de seguridad.

$$Z = \frac{0.1 * V}{\sqrt{R}} = \frac{0.1 * 50}{\sqrt{80}} = 0.56 \text{ m}$$

d) Calcular el ancho de la calzada en curva.

$$W_C = N * (U + C) + (N - 1) * F_A + Z = 2 * (2.63 + 0.75) + (2 - 1) * 0.10 + 0.56$$

$$W_C = 7.4 \text{ m}$$

e) Calcular el sobreecho requerido por la calzada en la curva.

$$W = W_C - W_n = 7.4 - 6.60 = 0.80 \text{ m} > 0.60 \text{ m}$$

Debido a que este resultado es mayor que 0.60 metros, se requiere aplicar un sobreecho en el carril izquierdo (borde interior de la curva). Es decir que en la estación del TE (127+184.52) el sobreecho es cero y aumenta de forma lineal hasta la estación del EC (127+225.52) donde alcanza su valor máximo e igual al requerido de 0.80 metros. Este continua constante en toda la curva circular, o sea hasta la estación del CE (127+305.12), y por último se reduce de forma lineal hasta la abscisa del ET (127+346.12) donde su valor es cero. Ver Figura 19.

#### 4.5 Diseño geométrico en perfil.

El diseño geométrico vertical de una carretera, o alineamiento en perfil, es la proyección del eje real o espacial de la vía sobre una superficie vertical paralela al mismo. Debido a este paralelismo, dicha proyección mostrará la longitud real del eje de la vía. En este alineamiento se representan tanto el perfil del terreno natural

como el perfil terminado del eje de la carretera, al cual se le llama rasante, o el perfil del eje terminado de la terracería, también conocido como sub-rasante. El diseño del alineamiento vertical de una vía se presenta en escala deformada, donde las abscisas tienen una escala diez veces menor que la escala de las cotas.

Al igual que el diseño en planta, el eje del alineamiento vertical está constituido por una serie de tramos rectos denominados tangentes verticales, enlazados entre sí por curvas verticales para lograr una transición gradual y cómoda de una pendiente a otra. Las longitudes de todos los elementos del alineamiento vertical se consideran sobre la proyección horizontal, es decir, en ningún momento se consideran distancias inclinadas. La pendiente de las tangentes verticales y la longitud de las curvas dependen principalmente de la topografía de la zona, del alineamiento horizontal, de la visibilidad, de la velocidad del proyecto, de los costos de construcción, de los costos de operación, del porcentaje de vehículos pesados y de su rendimiento en los ascensos.

El alineamiento vertical y el alineamiento horizontal deben ser consistentes y balanceados, en forma tal que los parámetros del primero correspondan y sean congruentes con los del alineamiento horizontal. Por lo tanto, es necesario que los elementos del diseño vertical tengan la misma velocidad de diseño del sector en planta que coincide con el elemento vertical en estudio.

#### **4.5.1 Normas generales para el alineamiento vertical.**

Se sabe que la línea de referencia que define el alineamiento vertical en el perfil longitudinal de una carretera es la sub-rasante y su posición depende de la topografía de la zona.

El Manual “A Policy On Geometric Design of Highways and Streets, AASHTO, 5th Edition. 2004” presenta algunos consejos valiosos en torno al diseño del alineamiento vertical, de donde cabe entresacar algunos por su relevancia para la práctica vial centroamericana:

- Las curvas verticales en columpio deben evitarse en secciones en corte, a menos que existan facilidades para las soluciones de drenaje.
- En pendientes largas, puede ser preferible colocar las pendientes mayores al pie de la pendiente y aliviarlas hacia el final o, alternativamente, intercalar pendientes suaves por cortas distancias para facilitar el ascenso.
- En tangente, deberían generalmente evitarse, particularmente en curvas en columpio donde la visión de la carretera puede ser desagradable al usuario.
- Los alineamientos ondulados, que involucran longitudes sustanciales de pendientes que generan momentum, pueden ser indeseables en el caso de vehículos pesados que pueden incrementar excesivamente su velocidad, sobre todo cuando una pendiente positiva adelante no contribuye a la moderación de dicha velocidad.
- Hay que evitar el “efecto de montaña rusa”, que ocurre en alineamientos relativamente rectos, donde el perfil longitudinal de la rasante se ajusta a las suaves irregularidades de un terreno ligeramente ondulado.

#### **4.5.2 Pendientes longitudinales de control para el diseño.**

##### **4.5.2.1 Pendiente mínima.**

La pendiente mínima es la menor pendiente longitudinal de la rasante que se permite en el proyecto. Su valor se fija para facilitar el escurrimiento longitudinal de las aguas lluvias sobre la superficie de rodadura y en las cunetas, pudiendo variar según se trate de un tramo en terraplén o en corte y de acuerdo al tipo de terreno.

- En los tramos en relleno, la pendiente mínima puede ser nula, efectuándose el drenaje de la carretera mediante el bombeo transversal.

- En los tramos en corte se recomienda usar una pendiente mínima de 0.50%, permitiéndose, excepcionalmente, hasta 0.30%.

Frecuentemente, las cunetas laterales y las que se construyen en medianas centrales, que separan los carriles de carreteras bidireccionales de carriles múltiples, requieren pendientes más fuertes que las propias de la carretera.

Para este proyecto en particular se utilizará una pendiente longitudinal mínima para la rasante de diseño equivalente a 0.3%, tanto para tramos en corte como en relleno.

#### **4.5.2.2 Pendiente máxima.**

La pendiente máxima es la mayor pendiente longitudinal que se permite en el proyecto. Su valor queda determinado por el volumen de tránsito futuro y su composición, por la configuración o tipo de terreno por donde pasará la vía y por la velocidad de diseño. Específicamente, la pendiente máxima de una tangente vertical está en relación directa con la velocidad a la que circulan los vehículos, teniendo en dicha velocidad una alta incidencia el tipo de carretera que se desea diseñar.

En vehículos pesados, la influencia de las pendientes de subida es bastante significativa por el atraso que ocasiona a otros vehículos, especialmente en carreteras con altos volúmenes de tránsito, ya que la velocidad de estos vehículos se reduce tanto en subida como en bajada.

Tabla 32: Pendiente máxima para carreteras colectoras rurales.

TIPO DE TERRENO	Máxima Pendiente (%) para la Velocidad de Diseño Especificada, KPH							
	30	40	50	60	70	80	90	100
Plano	7	7	7	7	7	6	6	5
Lomerío	10	10	9	8	8	7	7	6
Montañoso	12	11	10	10	10	9	9	8

Fuente: A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, AASHTO, 5th ed. 2004, Pág.423.

Como se muestra en la tabla anterior, para una vía clasificada como colector menor rural, se debe utilizar una pendiente longitudinal en la rasante no mayor a 9%. En este proyecto solamente se tienen tres tramos en tangente con pendientes mayores (12%, 11.3%, y 9.4%), pero dado a que la longitud de dichos tramos son bastantes cortos (75, 10 y 5 metros respectivamente), no tendrán influencia significativa sobre los vehículos pesados, por otro lado, si se decidiera reducir las pendientes, habría un incremento relevante en los costos del movimiento de tierras.

#### 4.5.3 Curvas verticales.

Una curva vertical es aquel elemento del diseño en perfil que permite el enlace de dos tangentes verticales consecutivas, tal que a lo largo de su longitud se efectúa el cambio gradual de la pendiente de la tangente de entrada a la pendiente de la tangente de salida, de tal forma que facilite una operación vehicular segura y confortable, que sea de apariencia agradable y que permita un drenaje adecuado.

Las curvas verticales solo se utilizarán cuando la diferencia algebraica entre las pendientes de la rasante, que se interceptan sea mayor de 0.5 %, en el caso que esta diferencia sea menor las curvas verticales son innecesarias. Estas son definidas por su parámetro de curvatura “K”, que equivale a la longitud de la curva en el plano horizontal para cada 1% de variación en la pendiente, así:

$$K = \frac{L}{A} \quad (\text{Ec. 58})$$

Donde:

A: Valor Absoluto de la diferencia algebraica de las pendientes.

K: Parámetro de curvatura.

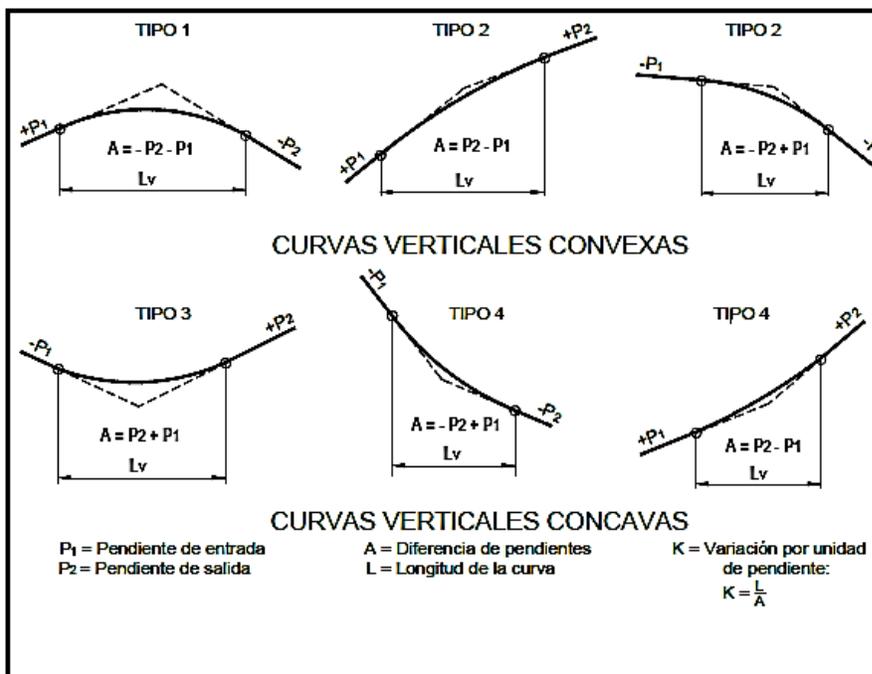
L: Longitud de la curva vertical.

#### 4.5.3.1 Tipos de curvas verticales.

Las curvas verticales se pueden clasificar por su forma como curvas verticales convexas (crestas o cimas) y cóncavas (columpios o vaguadas), y de acuerdo con la proporción entre sus ramas que las forman como simétricas y asimétricas.

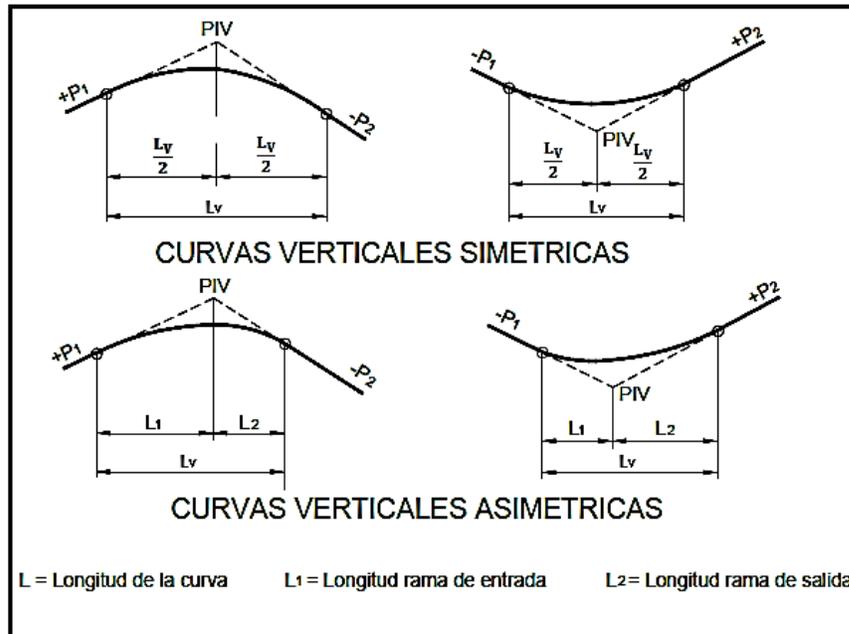
Se cuenta con un total de 47 curvas verticales simétricas a lo largo de los 7.5 kilómetros de carretera entre las cuales 24 son cóncavas (crestas) y las restantes 23 son convexas (columpios).

Figura 20: Tipos de curvas verticales convexas y cóncavas.



Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carreteras DG-2018, Perú, Pág.175.

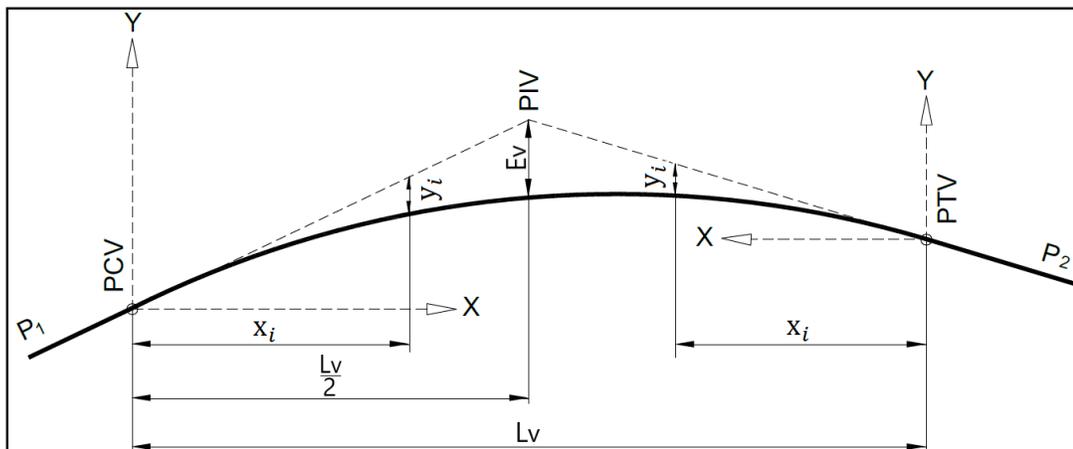
Figura 21: Tipos de curvas verticales simétricas y asimétricas.



Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carreteras DG-2018, Perú, Pág.175.

#### 4.5.3.2 Elementos geométricos de las curvas verticales.

Figura 22: Elementos de una curva vertical simétrica.



Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carreteras DG-2018, Perú, Pág.175.

Donde:

- PIV: Punto de intersección de las tangentes verticales de entrada y salida.
- PCV: Principio de la curva vertical.

- PTV: Término de la curva vertical.
- $L_v$ : Longitud de la curva vertical, medida en proyección horizontal, m.
- $E_v$ : Externa vertical. Es la distancia vertical del PIV a la curva, m.
- $y_i$ : Ordenada vertical o corrección en cualquier punto de la curva, m.
- $x_i$ : Distancia horizontal a cualquier punto de la curva desde PCV o PTV, m.
- $P_1$ : Pendiente de la tangente de entrada, %.
- $P_2$ : Pendiente de la tangente de salida, %.
- $A$ : Diferencia algebraica de pendientes, %.
- $x_{m\acute{a}x}$ : Distancia horizontal al punto más alto (curvas en cresta) o más bajo (curvas en columpio) de la curva desde PCV o PTV, m.
- CT: Cota o elevación de un punto sobre la tangente de entrada o salida, m.
- CR: Cota o elevación de un punto sobre la rasante, m.

$$E_v = \left( \frac{P_2 - P_1}{800} \right) * L_v \quad (\text{Ec. 59})$$

$$y_i = \frac{4 * E_v}{L_v^2} * x_i^2 = \left( \frac{P_2 - P_1}{200 * L_v} \right) * x_i^2 \quad (\text{Ec. 60})$$

$$x_{m\acute{a}x} \text{ (DESDE PCV)} / x_{m\acute{i}n} \text{ (DESDE PCV)} = \frac{P_1 * L_v}{P_2 - P_1} \quad (\text{Ec. 61})$$

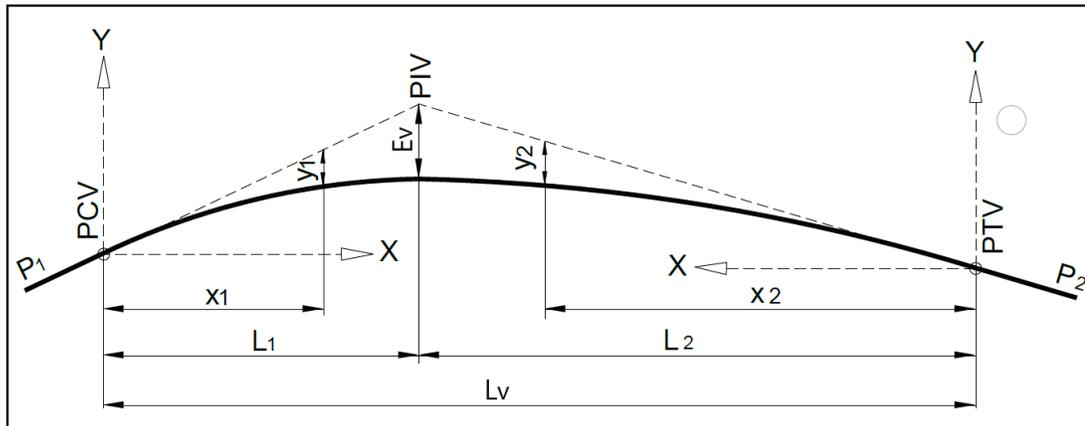
$$x_{m\acute{a}x} \text{ (DESDE PTV)} / x_{m\acute{i}n} \text{ (DESDE PTV)} = \frac{P_2 * L_v}{P_2 - P_1} \quad (\text{Ec. 62})$$

$$CT_i = CT_{PIV} \pm P_{\text{pendiente}} * x_i \quad (\text{Ec. 63})$$

$$CR_i = CT_i \pm y_i \quad (\text{Ec. 64})$$

La curva vertical asimétrica está conformada por dos parábolas de diferente longitud ( $L_1$ ,  $L_2$ ) que se unen en la proyección vertical del PIV.

Figura 23: Elementos de una curva vertical asimétrica.



Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carreteras DG-2018, Perú, Pág.176.

Donde:

- $L_v$ : Longitud de la curva vertical (m), medida por su proyección horizontal, se cumple:  $L_v = L_1 + L_2$  y  $L_1 \neq L_2$ .
- $L_1$ : Longitud de la primera rama, medida por su proyección horizontal, m.
- $L_2$ : Longitud de la segunda rama, medida por su proyección horizontal, m.
- $E_v$ : Externa vertical. Es la distancia vertical del PIV a la curva, m.
- $P_1$ : Pendiente de la tangente de entrada, %.
- $P_2$ : Pendiente de la tangente de salida, %.
- $A$ : Diferencia algebraica de pendientes, %.
- $x_1$ : Distancia horizontal a cualquier punto de la primera rama de la curva medida desde el PCV.
- $x_2$ : Distancia horizontal a cualquier punto de la segunda rama de la curva medida desde el PTV.
- $y_1$ : Ordenada o corrección vertical en cualquier punto de la primera rama de la curva vertical, m.
- $y_2$ : Ordenada o corrección vertical en cualquier punto de la segunda rama de la curva vertical, m.

$$E_v = \frac{P_2 - P_1}{200} * \left( \frac{L_1 * L_2}{L_v} \right) \quad (\text{Ec. 65})$$

$$y_1 = \left(\frac{x_1}{L_1}\right)^2 * E_v \quad (\text{Ec. 66})$$

$$y_2 = \left(\frac{x_2}{L_2}\right)^2 * E_v \quad (\text{Ec. 67})$$

$$CT_i = CT_{PIV} \pm P_{\text{pendiente}} * D_{\text{distancia}} \quad (\text{Ec. 68})$$

$$CR_i = CT_i \pm \text{Ordenada} \quad (\text{Ec. 69})$$

En el proyecto de curvas verticales, es necesario tomar en consideración los siguientes criterios:

- En el diseño del alineamiento vertical, generalmente se proyectan curvas verticales simétricas, es decir, aquellas en las que las tangentes son de igual longitud. Las tangentes desiguales o las curvas verticales no simétricas son curvas parabólicas compuestas. Por lo general, su uso se garantiza sólo donde no puede introducirse una curva simétrica por las condiciones impuestas del alineamiento, por ejemplo, en rampas de intercambiadores o en ramales de intersecciones importantes, en donde no es posible el desarrollo de curvas verticales simétricas debido a restricciones de espacio.
- El criterio de comodidad, se aplica al diseño de curvas verticales cóncavas en donde la fuerza centrífuga que aparece en el vehículo al cambiar de dirección se suma al peso propio del mismo. Generalmente queda englobado siempre por el criterio de seguridad.
- El criterio de operación, se aplica al diseño de curvas verticales con visibilidad completa, para evitar al usuario la impresión de un cambio súbito de pendiente.
- El criterio de drenaje, se aplica al diseño de curvas verticales cóncavas o convexas en zonas de corte, lo cual conlleva a modificar las pendientes longitudinales de las cunetas.

- El criterio de seguridad, se aplica a curvas cóncavas y convexas. La longitud de la curva debe ser tal, que en todo su desarrollo la distancia de visibilidad sea mayor o igual a la de parada. En algunos casos el nivel de servicio deseado puede obligar a diseñar curvas verticales con la distancia de visibilidad de paso.

#### **4.5.3.3 Criterios para la determinación de la longitud de una curva vertical.**

Los criterios para la selección de la longitud de la curva vertical que a continuación se indican son aplicables para curvas simétricas y asimétricas.

##### **4.5.3.3.1 Longitud mínima de las curvas verticales según el criterio de visibilidad de parada.**

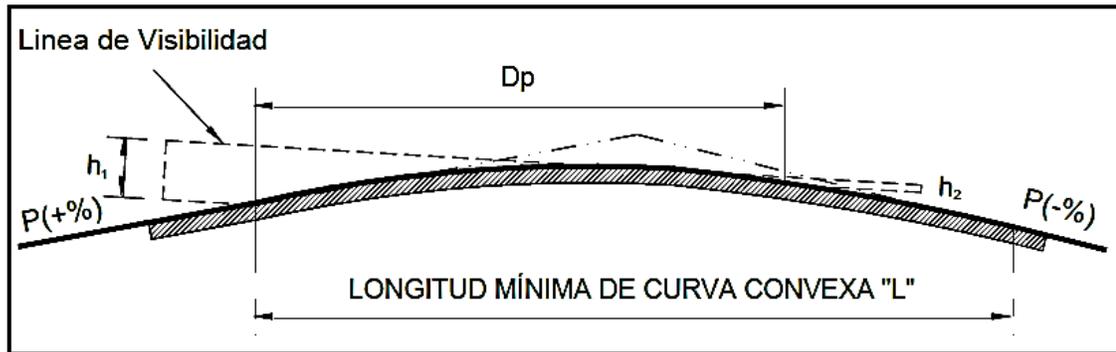
Las longitudes mínimas de las curvas verticales convexas y cóncavas, además de ser suficientes para producir la variación gradual de la pendiente desde su tangente de entrada hasta su tangente de salida sin que se generen cambios bruscos en la curvatura, deberán satisfacer los requisitos de visibilidad de parada.

Este requisito es conocido como el criterio de seguridad. Generalmente, las longitudes mínimas de las curvas que satisfacen la seguridad, también cumplen confortabilidad.

##### **a) Curvas verticales convexas (crestas).**

Se presentan dos casos (situaciones más desfavorables para el diseño); el primero cuando tanto el vehículo como el obstáculo se encuentran por fuera de la curva vertical ( $D_P > L_V$ ) y el segundo cuando ambos se encuentran ubicados dentro de la curva vertical ( $D_P < L_V$ ). Se considera que la altura del ojo de conductor sobre la calzada está a 1.08 metros y que la altura del obstáculo es 0.60 metros.

Figura 24: Longitud mínima de curva vertical convexa con visibilidad de parada.



Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carreteras DG-2018, Perú, Pág.178.

Caso 1:  $D_p > L_v$

$$L_v = 2 * D_p - \frac{658}{A} \quad (\text{Ec. 70})$$

Caso 2:  $D_p < L_v$

$$L_v = \frac{A * D_p^2}{658} \quad (\text{Ec. 71})$$

Se puede observar en la primera expresión que para valores pequeños de "A" y "D<sub>P</sub>" la longitud es negativa mientras que para la segunda siempre serán positivos y si además se realizara una tabla de valores de "L<sub>V</sub>" para las diferentes velocidades y diferentes valores de "A" los resultados obtenidos con la segunda expresión siempre serán mayores. Por lo tanto, se puede concluir que la expresión para  $D_p < L_v$  es la que se debe emplear.

Tabla 33: Control de diseño para curva vertical en cresta para distancia de visibilidad de parada.

VELOCIDAD DE DISEÑO (KPH).	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	
DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA (m).	20	35	50	65	85	105	130	160	185	220	250	285	
TASA DE CURVATURA VERTICAL "K".	CALCULADA.	0.6	1.9	3.8	6.4	11.0	16.8	25.7	38.9	52.0	73.6	95.0	123.4
	DISEÑO.	1	2	4	7	11	17	26	39	52	74	95	124

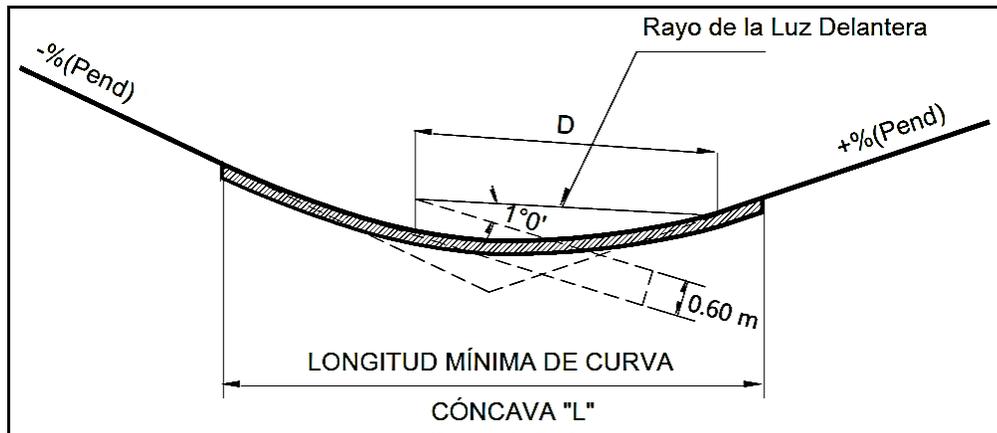
Fuente: A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, AASHTO, 5th ed. 2004, Pág.272.

### b) Curvas verticales cóncavas (columpios).

En términos generales, las curvas verticales cóncavas, por su forma, son de visibilidad completa durante el día, más no así durante la noche. En este sentido, la longitud de carretera iluminada hacia adelante por la luz de los faros delanteros del vehículo deberá ser al menos igual a la distancia de visibilidad de parada.

Esta longitud llamada visibilidad nocturna, depende de la altura de las luces delanteras sobre el pavimento, asumida como 0.60 metros, y del ángulo de divergencia del rayo de luz hacia arriba o respecto al eje longitudinal del vehículo, supuesto en 1°. En curvas cóncavas también se presentan dos casos desfavorables para el diseño.

Figura 25: Longitud mínima de curva vertical cóncava.



Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carreteras DG-2018, Perú, Pág.181.

Caso 1:  $D_P > L_V$

$$L_V = 2 * D_P - \left( \frac{120 + 3.5 * D_P}{A} \right) \quad (\text{Ec. 72})$$

Caso 2:  $D_P < L_V$

$$L_V = \frac{A * D_P^2}{120 + 3.5 * D_P} \quad (\text{Ec. 73})$$

Al igual que en las curvas convexas el segundo caso ( $D_P < L_V$ ) presenta la ecuación con la que se obtienen valores mayores de “ $L_V$ ” para diferentes valores de “ $A$ ” y de “ $D_P$ ”, por lo tanto, es la que se va emplear.

Tabla 34: Control de diseño para curva vertical en columpio para distancia de visibilidad de parada.

VELOCIDAD DE DISEÑO (KPH).	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	
DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA (m).	20	35	50	65	85	105	130	160	185	220	250	285	
TASA DE CURVATURA VERTICAL "K".	CALCULADA.	2.1	5.1	8.5	12.2	17.3	22.6	29.4	37.6	44.6	54.4	62.8	72.7
	DISEÑO.	3	6	9	13	18	23	30	38	45	55	63	73

Fuente: A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, AASHTO, 5th ed. 2004, Pág.277.

#### 4.5.3.3.2 Longitud mínima de las curvas verticales según el criterio de visibilidad de rebase.

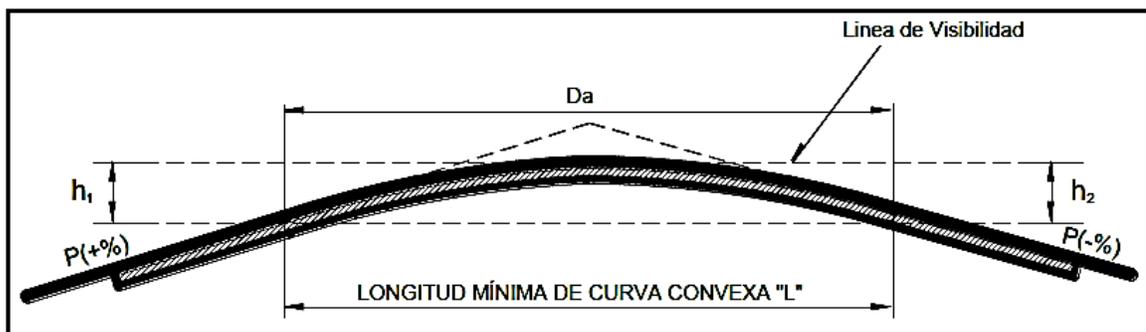
En el presente documento, no se va a considerar la distancia de visibilidad de rebase " $D_a$ " como control para el diseño de las curvas verticales en crestas, dado que generalmente el costo de construcción de la obra se hace muy elevado, además para recomendar estas distancias, debe haber una combinación favorable entre la topografía del terreno, seguridad y volúmenes de tránsito, que dé como resultado su plena justificación.

##### a) Curvas verticales convexas (crestas).

En aquellos casos en que sea económicamente posible, se pueden adoptar longitudes de curvas verticales amplias, incluso hasta obtener distancias de visibilidad de adelantamiento " $D_a$ ".

De manera similar que las curvas convexas con visibilidad de parada se presentan dos casos para curvas convexas, pero esta vez con visibilidad de rebase. La altura del ojo del conductor está a 1.08 metros sobre la calzada, y la altura del objeto es 1.30 metros que corresponde a la altura del vehículo que se desplaza en sentido contrario.

Figura 26: Longitud mínima de curva vertical convexa con visibilidad de rebase.



Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carreteras DG-2018, Perú, Pág.179.

Caso 1:  $D_a > L_v$

$$L_v = 2 * D_a - \frac{864}{A} \quad (\text{Ec. 74})$$

Caso 2:  $D_a < L_v$

$$L_v = \frac{A * D_a^2}{864} \quad (\text{Ec. 75})$$

Tabla 35: Control de diseño para curva vertical en cresta para distancia de visibilidad de adelantamiento o rebase.

VELOCIDAD DE DISEÑO (KPH).	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	
DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE ADELANTAMIENTO (m).	200	270	345	410	485	540	615	670	730	775	815	
TASA DE CURVATURA VERTICAL "K".	DISEÑO.	46	84	138	195	272	338	438	520	617	695	769

Fuente: A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, AASHTO, 5th ed. 2004, Pág.272.

A pesar de que estas longitudes mínimas para las curvas verticales convexas se puedan calcular para los dos casos anteriores, y debido a las grandes longitudes requeridas, es difícil proveer durante la gran parte del diseño las curvas convexas con distancia de visibilidad de adelantamiento.

#### **b) Curvas verticales cóncavas (columpios).**

Para la distancia de visibilidad nocturna de adelantamiento, no se requiere cálculo, ya que es posible observar las luces del vehículo que se desplaza en sentido contrario.

#### **4.5.3.3 Longitud mínima de las curvas verticales cóncavas según el criterio de comodidad en la marcha.**

El efecto de incomodidad producido por los cambios de pendiente, es mayor en las curvas verticales cóncavas que en las convexas, ya que las fuerzas componentes de la gravedad y el peso actúan en el mismo sentido, generando una

mayor fuerza centrífuga vertical. En las curvas convexas las dos fuerzas componentes son opuestas, lo que hace que se compensen, produciendo un menor efecto centrífugo, que las convierte en menos incómodas.

El confort debido a este efecto depende, entre otros factores, de la suspensión del vehículo, la presión en las llantas y la carga transportada. Investigaciones al respecto, indican que no se presenta incomodidad mientras la aceleración centrífuga vertical no exceda el valor de 0.30 m/seg<sup>2</sup>. La longitud mínima  $L_v$  de la curva vertical cóncava, con criterio de comodidad o confort, es igual a:

$$L_v = \frac{A * V_d^2}{395} \quad (\text{Ec. 76})$$

#### **4.5.3.3.4 Longitud mínima de las curvas verticales cóncavas según el criterio de apariencia.**

Las curvas verticales cóncavas, por ser de completa visibilidad diurna, deben presentar al conductor una buena apariencia o estética. Experimentalmente se ha encontrado que la longitud mínima “ $L_v$ ” de estas curvas, con criterio de apariencia o estética es:

$$L_v = 30 * A \quad (\text{Ec. 77})$$

Esta aproximación es un control generalizado para valores pequeños o intermedios de “ $A$ ” si se compara con la distancia de visibilidad de los faros, corresponde a una velocidad de diseño de aproximadamente 80 km/h. En carreteras de altas especificaciones, curvas más largas son idóneas para mejorar la apariencia.

Como resultado de la discusión anterior, es evidente que los controles de diseño para curvas verticales en columpio difieren con respecto a las de curvas en cresta y van a ser necesarios valores de diseño separados.

La distancia de visibilidad de los faros parece ser el criterio más lógico para uso generalizado, y los valores determinados para las distancias de visibilidad para detenerse caen dentro de los límites reconocidos en la práctica actual. Se recomienda la aplicación de este criterio para establecer valores de diseño dentro de un rango de longitudes de curvas verticales en columpio.

#### **4.5.3.3.5 Longitud máxima de las curvas verticales según el criterio de drenaje.**

Las curvas verticales, con pendientes de entrada y salida de signo contrario, tanto convexas como cóncavas, que sean muy amplias, presentan en su parte alta o baja, tramos casi a nivel que podrían ocasionar dificultad en el drenaje de las aguas de lluvias. Se ha encontrado, que no se tendrán problemas de drenaje, si al menos en una distancia de 15 metros desde el vértice de la curva se alcanza una pendiente del 0.3%.

$$L_v = 51 * A \quad (\text{Ec. 78})$$

Ahora, partiendo del principio de que el criterio más importante es de seguridad, el cual prevalecerá sobre el de drenaje, las curvas verticales con valores superiores a  $K = 51$  requerirán de una atención especial para proporcionar condiciones adecuadas de drenaje cerca de su vértice, mediante un conveniente bombeo y con pendientes longitudinales del fondo de las cunetas mayores a la pendiente de la rasante.

#### **4.5.3.3.6 Longitud mínima de las curvas verticales según el criterio de operación.**

Para valores pequeños de "A", en las curvas verticales convexas y cóncavas, para los casos donde  $D_p > L_v$ , la longitud de la curva puede llegar a ser negativa, significando esto que no se necesitaría curva. Sin embargo, de orden práctico, para evitar al usuario la impresión de un cambio súbito de pendiente, se exige una cierta longitud mínima de curva vertical  $L_v$  según la velocidad de diseño de la curva

vertical “ $V_d$ ” expresada en km/h, de acuerdo con la siguiente expresión, denominado criterio de operación:

$$L_v = 0.6 * V_d \quad (\text{Ec. 79})$$

Por otro lado, en el diseño de vías urbanas, algunos ingenieros, para valores de “ $A$ ” menores al 1%, no proyectan curva vertical. Pero, las modificaciones de campo durante la construcción finalmente producen una curva vertical equivalente, aun así, sea corta.

### **Ejemplo de diseño y cálculo de una curva vertical parabólica simétrica en cresta (Curva 40).**

Datos:

$$V_d = 50 \text{ km/h.} \quad CT_{PIV} = 327.86 \text{ m.} \quad EST_{PIV} = 132+420.00 \quad P_2 = -4.2\% \quad P_1 = 7\%$$

1) Comparar la diferencia algebraica de las pendientes de entrada y salida con de las tangentes con respecto al mínimo.

$$A = |P_2 - P_1| = |-4.2\% - 7\%| = |-11.2\%| = 11.2\% > 0.5\% \text{ (Cumple)}$$

Nota: Dado que la diferencia algebraica de las pendientes es mayor que 0.5%, entonces es necesario insertar una curva vertical de tipo convexa (cresta) para realizar un cambio gradual de la pendiente desde su tangente de entrada con pendiente positiva de 7% hasta su tangente de salida con pendiente negativa de 4.2% sin que se generen cambios bruscos en la curvatura.

2) Calcular y analizar la longitud de la curva según los diferentes criterios aplicables a una curva vertical convexa (cresta).

a) Criterio de seguridad: Primeramente, es necesario obtener la distancia de visibilidad de parada ( $D_P$ ) para la velocidad de diseño de 50 km/hr, la cual ha sido seleccionada en la Sección 4.3.5.1, cuyo valor es de 65 m.

Para este criterio solo se va emplear la ecuación del caso más crítico (Caso 2), es decir cuando  $D_P < L_V$ , dado que los resultados obtenidos siempre serán mayores a los del Caso 1, tal como se abordó en curvas verticales convexas de la Sección 4.5.3.3.1.

$$L_V = \frac{A * D_P^2}{658} = \frac{11.20 * (65)^2}{658} = 71.91 \text{ m} \rightarrow L_V = 80 \text{ m}$$

Nota: Por razones prácticas de facilidad de cálculo y localización, se recomienda diseñar curvas verticales con longitudes múltiplo de 10 metros, hasta donde sea posible.

b) Criterio de drenaje: Se debe encontrar la longitud máxima “ $L_V$ ” que puede tener la curva vertical convexa (cresta) para evitar que, por ser muy extensa, en su parte central resulte muy plana dificultándose el drenaje de la calzada.

$$L_V = 51 * A = 51 * 11.2 = 571.20 \text{ m} \rightarrow L_V = 580 \text{ m}$$

Nota: Siempre que la longitud seleccionada de la curva vertical convexa sea inferior a este valor no se tendrán problemas de drenaje.

c) Criterio de operación: Establece una longitud mínima que debe tener la curva vertical convexa para evitar al usuario la impresión de un cambio súbito de pendiente.

$$L_V = 0.6 * V_d = 0.6 * 50 = 30 \text{ m}$$

Haciendo un análisis de los resultados anteriores se puede concluir que cualquier valor comprendido entre 80 metros y 580 metros cumplirá con los criterios de seguridad, drenaje y operación. Por tal razón se selecciona un valor de 90 metros como longitud de diseño de la curva vertical en cresta.

3) Calcular estaciones y cotas del PCV y PTV de la curva vertical.

$$EST_{PCV} = EST_{PIV} - \frac{L_V}{2} = (132 + 420) - \frac{90}{2} = 132 + 375.00$$

$$EST_{PTV} = EST_{PIV} + \frac{L_V}{2} = (132 + 420) + \frac{90}{2} = 132 + 465.00$$

$$CR_{PCV} = CT_{PCV} = CT_{PIV} - P_1 * \frac{L_V}{2} = 327.86 - 0.07 * \frac{90}{2} = 324.71 \text{ m}$$

$$CR_{PTV} = CT_{PTV} = CT_{PIV} - P_2 * \frac{L_V}{2} = 327.86 - 0.042 * \frac{90}{2} = 325.97 \text{ m}$$

4) Calcular las cotas (elevaciones) sobre las tangentes de entrada y salida de la curva vertical.

a) Cotitas sobre la tangente de entrada de la curva vertical (PCV al PIV).

$$CT_i = CT_{PIV} - P_1 * x_i$$

$$CT_{(132+420.00)} = CT_{PIV} = 327.86 \text{ m}$$

$$CT_{(132+410.00)} = 327.86 - 0.07 * 10 = 327.16 \text{ m}$$

$$CT_{(132+400.00)} = 327.86 - 0.07 * 20 = 326.46 \text{ m}$$

$$CT_{(132+390.00)} = 327.86 - 0.07 * 30 = 325.76 \text{ m}$$

$$CT_{(132+380.00)} = 327.86 - 0.07 * 40 = 325.06 \text{ m}$$

$$CT_{(132+375.00)} = CT_{PCV} = 324.71 \text{ m}$$

b) Cotitas sobre la tangente de salida de la curva vertical (PTV al PIV).

$$CT_i = CT_{PIV} - P_2 * x_i$$

$$CT_{(132+420.00)} = CT_{PIV} = 327.86 \text{ m}$$

$$CT_{(132+430.00)} = 327.86 - 0.042 * 10 = 324.29 \text{ m}$$

$$CT_{(132+440.00)} = 327.86 - 0.042 * 20 = 324.71 \text{ m}$$

$$CT_{(132+450.00)} = 327.86 - 0.042 * 30 = 325.13 \text{ m}$$

$$CT_{(132+460.00)} = 327.86 - 0.042 * 40 = 325.55 \text{ m}$$

$$CT_{(132+465.00)} = CT_{PTV} = 325.97 \text{ m}$$

5) Calcular las correcciones u ordenadas sobre las ramas izquierda y derecha de la curva vertical.

Dado que la curva es simétrica, las ordenadas son iguales en las dos ramas de la curva vertical parabólica.

$$y_i = \frac{4 * E_v}{L_v^2} * x_i^2 = \left( \frac{P_2 - P_1}{200 * L_v} \right) * x_i^2$$

$$Y_{(132+420.00)} = Y_{(PIV)} = \left| \frac{-4.2 - 7}{200 * 90} \right| * 45^2 = 1.26 \text{ m}$$

$$Y_{(132+410.00)} = Y_{(132+430.00)} = \left| \frac{-4.2 - 7}{200 * 90} \right| * 35^2 = 0.76 \text{ m}$$

$$Y_{(132+400.00)} = Y_{(132+440.00)} = \left| \frac{-4.2 - 7}{200 * 90} \right| * 25^2 = 0.39 \text{ m}$$

$$Y_{(132+390.00)} = Y_{(132+450.00)} = \left| \frac{-4.2 - 7}{200 * 90} \right| * 15^2 = 0.14 \text{ m}$$

$$Y_{(132+380.00)} = Y_{(132+460.00)} = \left| \frac{-4.2 - 7}{200 * 90} \right| * 5^2 = 0.02 \text{ m}$$

$$Y_{(132+375.00)} = Y_{(PCV)} = Y_{(132+465.00)} = Y_{(PTV)} = 0 \text{ m}$$

6) Calcular las cotas o elevaciones sobre rasante en las ramas izquierda y derecha de la curva vertical.

a) Cotas sobre la rasante de la rama izquierda de la curva vertical (PCV al PIV).

$$CR_i = CT_i \pm y_i$$

$$CR_{(132+420.00)} = CT_{(132+420.00)} - y_{(132+420.00)} = 327.86 - 1.26 = 326.60 \text{ m}$$

$$CR_{(132+410.00)} = CT_{(132+410.00)} - y_{(132+410.00)} = 327.16 - 0.76 = 326.40 \text{ m}$$

$$CR_{(132+400.00)} = CT_{(132+400.00)} - y_{(132+400.00)} = 326.46 - 0.39 = 326.07 \text{ m}$$

$$CR_{(132+390.00)} = CT_{(132+390.00)} - y_{(132+390.00)} = 325.76 - 0.14 = 325.62 \text{ m}$$

$$CR_{(132+380.00)} = CT_{(132+380.00)} - y_{(132+380.00)} = 325.06 - 0.02 = 325.04 \text{ m}$$

$$CR_{(132+375.00)} = CT_{(132+375.00)} - y_{(132+375.00)} = 324.71 - 0 = 324.71 \text{ m}$$

b) Cotas sobre la rasante de la rama derecha de la curva vertical (PTV al PIV).

$$CR_{(132+420.00)} = CT_{(132+420.00)} - y_{(132+420.00)} = 327.86 - 1.26 = 326.60 \text{ m}$$

$$CR_{(132+430.00)} = CT_{(132+430.00)} - y_{(132+430.00)} = 324.29 - 0.76 = 323.53 \text{ m}$$

$$CR_{(132+440.00)} = CT_{(132+440.00)} - y_{(132+440.00)} = 324.71 - 0.39 = 324.32 \text{ m}$$

$$CR_{(132+450.00)} = CT_{(132+450.00)} - y_{(132+450.00)} = 325.13 - 0.14 = 324.99 \text{ m}$$

$$CR_{(132+460.00)} = CT_{(132+460.00)} - y_{(132+460.00)} = 325.55 - 0.02 = 325.53 \text{ m}$$

$$CR_{(132+465.00)} = CT_{(132+465.00)} - y_{(132+465.00)} = 325.97 - 0 = 325.97 \text{ m}$$

7) Calcular el valor de la externa (flecha), abcisa y ordenada del punto más alto de la curva vertical.

$$E_v = \left( \frac{P_2 - P_1}{800} \right) * L_v = \left| \frac{-4.2 - 7}{800} \right| * 90 = 1.26 \text{ m}$$

$$x_{\text{máx (DESDE PTV)}} = \frac{P_2 * L_v}{P_2 - P_1} = \left| \frac{-4.2 * 90}{-4.2 - 7} \right| = 33.75 \text{ m}$$

$$y_{\text{máx}} = \left( \frac{P_2 - P_1}{200 * L_v} \right) * x_i^2 = \left| \frac{-4.2 - 7}{200 * 90} \right| * (33.75)^2 = 0.71 \text{ m}$$

$$CT_{(132+431.25)} = CT_{PIV} - P_2 * x_i = 327.86 - 0.042 * 11.25 = 327.39 \text{ m}$$

$$CR_{(132+431.25)} = CT_{(132+431.25)} - y_{132+431.25} = 327.39 - 0.71 = 326.68 \text{ m}$$

### **Ejemplo de diseño y cálculo de una curva vertical parabólica simétrica en columpio (Curva 36).**

Datos:

$$V_d = 50 \text{ km/h.} \quad CT_{PIV} = 306.68 \text{ m.} \quad EST_{PIV} = 131+960.00 \quad P_2 = 9.4\% \quad P_1 = -3\%$$

1) Comparar la diferencia algebraica de las pendientes de entrada y salida con de las tangentes con respecto al mínimo.

$$A = |P_2 - P_1| = |9.4\% - (-3\%)| = |12.4\%| = 12.4\% > 0.5\% \text{ (Cumple)}$$

Nota: Dado que la diferencia algebraica de las pendientes es mayor que 0.5%, entonces es necesario insertar una curva vertical de tipo cóncava (columpio) para realizar un cambio gradual de la pendiente desde su tangente de entrada con pendiente negativa de 3% hasta su tangente de salida con pendiente positiva de 9.4% sin que se generen cambios bruscos en la curvatura.

2) Calcular y analizar la longitud de la curva según los diferentes criterios aplicables a una curva vertical convexa (cresta).

a) Criterio de seguridad: Primeramente, es necesario obtener la distancia de visibilidad de parada ( $D_P$ ) para la velocidad de diseño de 50 km/hr, la cual ha sido seleccionada en la Sección 4.3.5.1, cuyo valor es de 65 m.

Para este criterio solo se va emplear la ecuación del caso más crítico (Caso 2), es decir cuando  $D_P < L_V$ , dado que los resultados obtenidos siempre serán mayores a los del Caso 1, tal como se abordó en curvas verticales cóncavas de la Sección 4.5.3.3.1.

$$L_V = \frac{A * D_P^2}{120 + 3.5 * D_P} = \frac{12.40 * (65)^2}{120 + 3.5 * (65)} = 150.76 \text{ m} \rightarrow L_V = 160 \text{ m}$$

Nota: Por razones prácticas de facilidad de cálculo y localización, se recomienda diseñar curvas verticales con longitudes múltiplo de 10 metros, hasta donde sea posible.

b) Criterio de drenaje: Se debe encontrar la longitud máxima " $L_V$ " que puede tener la curva vertical cóncava (columpio) para evitar que, por ser muy extensa, en su parte central resulte muy plana dificultándose el drenaje de la calzada.

$$L_V = 51 * A = 51 * 12.4 = 632.40 \text{ m} \rightarrow L_V = 640 \text{ m}$$

Nota: Siempre que la longitud seleccionada de la curva vertical cóncava sea inferior a este valor no se tendrán problemas de drenaje.

c) Criterio de operación: Establece una longitud mínima que debe tener la curva vertical cóncava para evitar al usuario la impresión de un cambio súbito de pendiente.

$$L_V = 0.6 * V_d = 0.6 * 50 = 30 \text{ m}$$

d) Criterio de comodidad: La longitud de la curva vertical cóncava encontrada por la aplicación de este criterio evita el efecto de incomodidad del pasajero derivado del cambio en la dirección vertical.

$$L_V = \frac{A * V_d^2}{395} = \frac{12.40 * (50)^2}{395} = 78.48 \text{ m} \rightarrow L_V = 80 \text{ m}$$

e) Criterio de apariencia: No será utilizado debido a que la velocidad de diseño de esta vía (50 km/hr), es baja en comparación con el uso correcto del criterio, el cual es para vías diseñadas para velocidades de 70 a 80 kilómetros por hora).

Haciendo un análisis de los resultados anteriores se puede concluir que cualquier valor comprendido entre 160 metros y 640 metros cumplirá con los criterios de seguridad, drenaje, operación y comodidad. Por tal razón se selecciona un valor de 170 metros como longitud de diseño de la curva vertical en columpio.

1) Calcular estaciones y cotas del PCV y PTV de la curva vertical.

$$EST_{PCV} = EST_{PIV} - \frac{L_V}{2} = (131 + 960) - \frac{170}{2} = 131 + 875.00$$

$$EST_{PTV} = EST_{PIV} + \frac{L_V}{2} = (131 + 960) + \frac{170}{2} = 132 + 045.00$$

$$CR_{PCV} = CT_{PCV} = CT_{PIV} + P_1 * \frac{L_V}{2} = 306.68 + 0.03 * \frac{170}{2} = 309.23 \text{ m}$$

$$CR_{PTV} = CT_{PTV} = CT_{PIV} + P_2 * \frac{L_V}{2} = 306.68 + 0.094 * \frac{170}{2} = 314.67 \text{ m}$$

2) Calcular las cotas (elevaciones) sobre las tangentes de entrada y salida de la curva vertical.

c) Cotitas sobre la tangente de entrada de la curva vertical (PCV al PIV).

$$CT_i = CT_{PIV} + P_1 * x_i$$

$$CT_{(131+960.00)} = CT_{PIV} = 306.68 \text{ m}$$

$$CT_{(131+940.00)} = 306.68 + 0.03 * 20 = 307.28 \text{ m}$$

$$CT_{(131+920.00)} = 306.68 + 0.03 * 40 = 307.88 \text{ m}$$

$$CT_{(131+900.00)} = 306.68 + 0.03 * 60 = 308.48 \text{ m}$$

$$CT_{(131+880.00)} = 306.68 + 0.03 * 80 = 309.08 \text{ m}$$

$$CT_{(131+875.00)} = CT_{PCV} = 309.23 \text{ m}$$

d) Cotas sobre la tangente de salida de la curva vertical (PTV al PIV).

$$CT_i = CT_{PIV} + P_2 * x_i$$

$$CT_{(131+960.00)} = CT_{PIV} = 306.68 \text{ m}$$

$$CT_{(131+980.00)} = 306.68 + 0.094 * 20 = 308.56 \text{ m}$$

$$CT_{(132+000.00)} = 306.68 + 0.094 * 40 = 310.44 \text{ m}$$

$$CT_{(132+020.00)} = 306.68 + 0.094 * 60 = 312.32 \text{ m}$$

$$CT_{(132+040.00)} = 306.68 + 0.094 * 80 = 314.20 \text{ m}$$

$$CT_{(132+045.00)} = CT_{PTV} = 314.67 \text{ m}$$

3) Calcular las correcciones u ordenadas sobre las ramas izquierda y derecha de la curva vertical.

Dado que la curva es simétrica, las ordenadas son iguales en las dos ramas de la curva vertical parabólica.

$$y_i = \frac{4 * E_v}{L_v^2} * x_i^2 = \left( \frac{P_2 - P_1}{200 * L_v} \right) * x_i^2$$

$$Y_{(131+960.00)} = Y_{(PIV)} = \left| \frac{9.4 - (-3)}{200 * 170} \right| * 85^2 = 2.64 \text{ m}$$

$$Y_{(131+940.00)} = Y_{(131+980.00)} = \left| \frac{9.4 - (-3)}{200 * 170} \right| * 65^2 = 1.54 \text{ m}$$

$$Y_{(131+920.00)} = Y_{(132+000.00)} = \left| \frac{9.4 - (-3)}{200 * 170} \right| * 45^2 = 0.74 \text{ m}$$

$$Y_{(131+900.00)} = Y_{(132+020.00)} = \left| \frac{9.4 - (-3)}{200 * 170} \right| * 25^2 = 0.23 \text{ m}$$

$$Y_{(131+880.00)} = Y_{(132+040.00)} = \left| \frac{9.4 - (-3)}{200 * 170} \right| * 5^2 = 0.01 \text{ m}$$

$$Y_{(131+875.00)} = Y_{(PCV)} = Y_{(132+045.00)} = Y_{(PTV)} = 0 \text{ m}$$

4) Calcular las cotas o elevaciones sobre rasante en las ramas izquierda y derecha de la curva vertical.

c) Cotas sobre la rasante de la rama izquierda de la curva vertical (PCV al PIV).

$$CR_i = CT_i \pm y_i$$

$$CR_{(131+960.00)} = CT_{(131+960.00)} + y_{(131+960.00)} = 306.68 + 2.64 = 309.32 \text{ m}$$

$$CR_{(131+940.00)} = CT_{(131+940.00)} + y_{(131+940.00)} = 307.28 + 1.54 = 308.82 \text{ m}$$

$$CR_{(131+920.00)} = CT_{(131+920.00)} + y_{(131+920.00)} = 307.88 + 0.74 = 308.62 \text{ m}$$

$$CR_{(131+900.00)} = CT_{(131+900.00)} + y_{(131+900.00)} = 308.48 + 0.23 = 308.71 \text{ m}$$

$$CR_{(131+880.00)} = CT_{(131+880.00)} + y_{(131+880.00)} = 309.08 + 0.01 = 309.09 \text{ m}$$

$$CR_{(131+875.00)} = CT_{(131+875.00)} + y_{(131+875.00)} = 309.23 + 0 = 309.23 \text{ m}$$

d) Cotas sobre la rasante de la rama derecha de la curva vertical (PTV al PIV).

$$CR_{(131+960.00)} = CT_{(131+960.00)} + y_{(131+960.00)} = 306.68 + 2.64 = 309.32 \text{ m}$$

$$CR_{(131+980.00)} = CT_{(131+980.00)} + y_{(131+980.00)} = 308.56 + 1.54 = 310.10 \text{ m}$$

$$CR_{(132+000.00)} = CT_{(132+000.00)} + y_{(132+000.00)} = 310.44 + 0.74 = 311.18 \text{ m}$$

$$CR_{(132+020.00)} = CT_{(132+020.00)} + y_{(132+020.00)} = 312.32 + 0.23 = 312.55 \text{ m}$$

$$CR_{(132+040.00)} = CT_{(132+040.00)} + y_{(132+040.00)} = 314.20 + 0.01 = 314.21 \text{ m}$$

$$CR_{(132+045.00)} = CT_{(132+045.00)} + y_{(132+045.00)} = 314.67 + 0 = 314.67 \text{ m}$$

5) Calcular el valor de la externa (flecha), abcisa y ordenada del punto más bajo de la curva vertical.

$$E_v = \left( \frac{P_2 - P_1}{800} \right) * L_v = \left| \frac{9.4 \% - (-3.0\%)}{800} \right| * 170 = 2.64 \text{ m}$$

$$x_{\min} (\text{DESDE PCV}) = \frac{P_1 * L_v}{P_2 - P_1} = \left| \frac{-3.0 * 170}{9.4 \% - (-3.0 \%)} \right| = 41.13 \text{ m}$$

$$y_{\min} = \left( \frac{P_2 - P_1}{200 * L_v} \right) * x_i^2 = \left| \frac{9.4 \% - (-3.0 \%)}{200 * 170} \right| * (41.13)^2 = 0.62 \text{ m}$$

$$CT_{(132+916.13)} = CT_{PIV} + P_1 * x_i = 306.68 + 0.03 * (43.87) = 307.99 \text{ m}$$

$$CR_{(132+916.13)} = CT_{(132+916.13)} + y_{(132+916.13)} = 307.99 + 0.62 = 308.61 \text{ m}$$

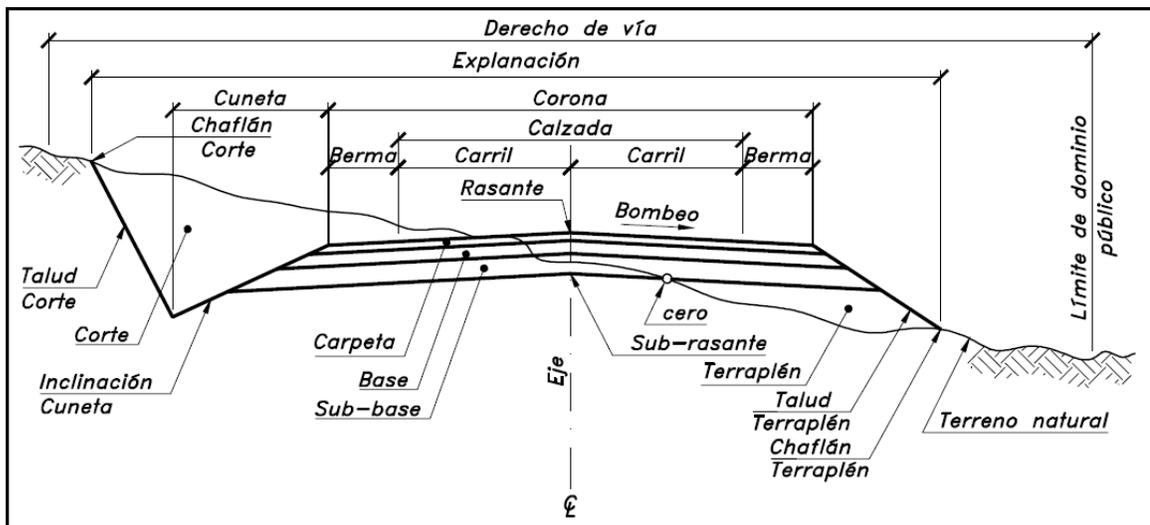
#### 4.6 Diseño geométrico en sección transversal.

El diseño geométrico transversal de una carretera consiste en la definición de la ubicación y dimensiones de los elementos que forman la carretera, y su relación con el terreno natural, en cada punto de ella sobre una sección normal al alineamiento horizontal.

#### 4.6.1 Elementos geométricos que integran la sección transversal.

Geoméricamente, la sección transversal de una carretera está compuesta por el ancho de zona o derecho de vía, el ancho de explanación, el ancho de banca o plataforma, la corona, la calzada, los carriles, las bermas, las cunetas, los taludes laterales y otros elementos complementarios. En la Figura 27, se detallan estos elementos, para el caso de una vía pavimentada de sección transversal mixta, corte y terraplén, ubicada en tangente.

Figura 27: Sección transversal típica mixta, pavimentada en recta.



Fuente: Cárdenas Grisales, James. Diseño Geométrico de Carreteras, 2ª Edición, Bogotá, Ecoe Ediciones. 2013, Pág.406.

##### 4.6.1.1 Derecho de vía.

Corresponde a la franja de terreno destinada a la construcción, mantenimiento, futuras ampliaciones de la vía, servicios de seguridad, servicios auxiliares y desarrollo paisajístico. En la práctica dicha franja es variable y determinada apropiadamente en función de cada proyecto en particular.

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 por el dueño del proyecto (Estado) para la obra vial y sus detalles conexos. En casos extremos, se llega en ocasiones a sacrificar el diseño y optar por soluciones de dimensiones restringidas a un mínimo funcional y de sentido práctico, donde lo primero que se limita son los anchos de hombros y las dimensiones de la mediana o franja divisoria central.

Para las carreteras colectoras, ubicadas en el rango inferior de la clasificación funcional de la red de carreteras, se considera suficiente disponer de un derecho de vía de 20 metros de ancho, que puede ampliarse hasta un ancho recomendable de 30 metros ó 40 metros para disponer de una solución más holgada.

En la presente tesis, la franja del derecho de vía representada por los cercos (límites de propiedad) se estableció en un ancho equivalente a 40 metros a lo largo de los 7.5 kilómetros.

#### **4.6.1.2 Corona.**

Se llama “Plataforma” o “Corona” a la superficie visible de una carretera o calle que queda comprendida entre las aristas interiores de las cunetas de un corte y/o entre las aristas superiores de los taludes de un terraplén. Los elementos que definen principalmente la corona son: rasante, pendiente transversal, calzada, bermas, sobre ancho del hombro en relleno, aceras y mediana. La plataforma puede contener elementos auxiliares como bordillos, barreras de contención, señalización e iluminación.

##### **4.6.1.2.1 Rasante.**

Es la elevación del pavimento en el eje central en carreteras bidireccionales; al proyectar sobre un plano vertical sus distintas elevaciones, se obtendrá el desarrollo de la plataforma o corona del camino, el cual estará formado por pendientes, ascendentes o descendentes y curvas verticales que las enlazan. En la sección transversal está representada por un punto.

#### **4.6.1.2.2 Pendiente transversal.**

Es la pendiente que se le da a la corona en dirección perpendicular al eje de la carretera. Según su ubicación con respecto a los elementos del alineamiento horizontal se pueden presentar tres tipos de pendiente transversal:

##### **a) Bombeo normal:**

Es la pendiente transversal de la corona en los tramos rectos del alineamiento horizontal hacia uno u otro lado del eje para evacuar las aguas lluvias de la vía y evitar el fenómeno de hidroplaneo.

El bombeo apropiado debe permitir un drenaje correcto de la corona con la mínima pendiente, a fin de que el conductor no tenga sensaciones de incomodidad e inseguridad. Su valor depende del tipo de superficie de rodamiento y sus valores recomendados se dan en la Tabla 36.

Para las bermas se debe mantener la misma pendiente si estas están al mismo nivel de la calzada. Si las bermas están a un nivel más bajo que la calzada la pendiente transversal recomendada será la pendiente adoptada para la calzada más un 2%.

Los pavimentos de tipo alto son aquellos que mantienen superficies lisas y propiedades antideslizantes en todo tipo de clima, y que, sometidos a cargas de altos volúmenes de tráfico pesado, requieren poco mantenimiento.

Los pavimentos de tipo bajo son los que están formados por superficies de terracería, sin tratar o tratadas mediante la inclusión de agregados pétreos.

Tabla 36: Bombeo normal de la calzada.

Tipo de Superficie	Rango de Pendiente Transversal
Alto	1.5-2.0
Bajo	2.0-6.0

Fuente: Manual Centroamericano de Normas Para el Diseño Geométrico de Carreteras con enfoque de Gestión de Riesgo y Seguridad Vial, SIECA, 3ª Edición, 2011, Pág.139.

Según la norma se debería elegir una pendiente transversal mínima de entre 1.5% y 2% para carreteras con superficies lisas, pero se seleccionará un bombeo del 3%, para garantizar un mejor drenaje de la calzada (carpeta de concreto asfáltico), y de esta forma evitar el empozamiento de las aguas que puedan producir hidroplaneo.

**b) Sobreelevación o peralte:**

Es la inclinación transversal de la carretera en los tramos de curva, destinada a contrarrestar la fuerza centrífuga del vehículo y el efecto adverso de la fricción que se produce entre la llanta y el pavimento, con el fin de facilitar el desplazamiento seguro de los vehículos sin peligros de deslizamientos y volteos.

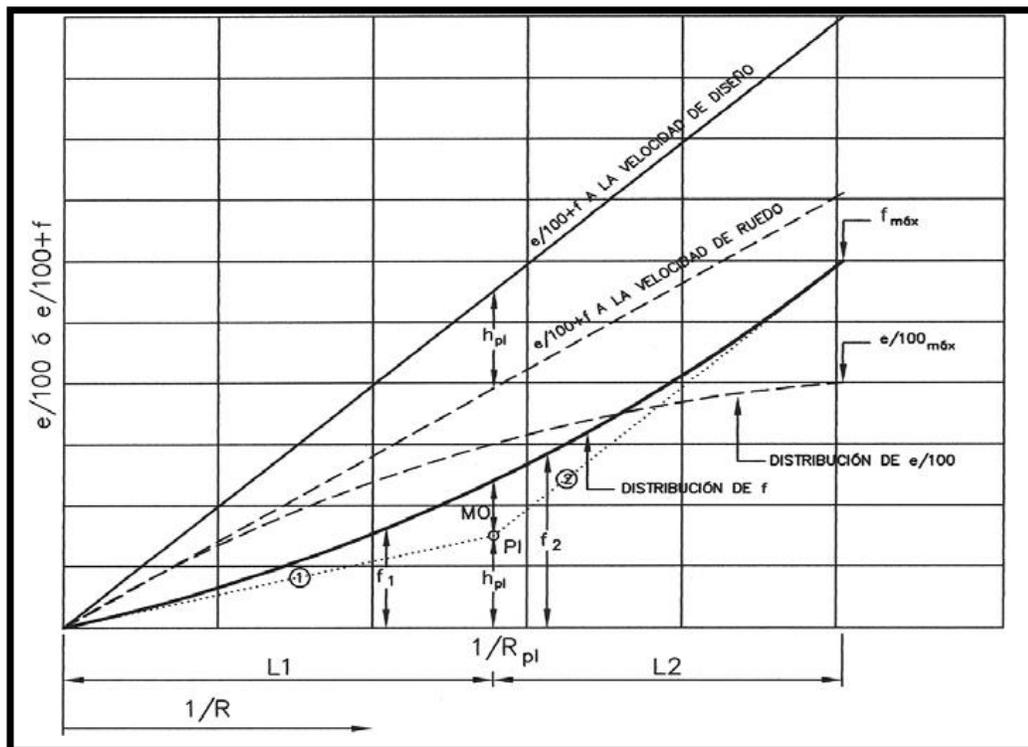
El Manual “A Policy On Geometric Design of Highways and Streets, AASHTO, 5th Edition. 2004” presenta cinco métodos de distribución de la sobreelevación o peralte (e) y el factor de fricción lateral (f) para contrarrestar la fuerza centrífuga en curvas con una determinada velocidad de diseño.

En este documento se utilizará el recomendado Método 5 para el diseño por representar una distribución más racional y práctica sobre el rango usual de curvaturas, ya que involucra el principio fundamental de que cuando un vehículo recorre una trayectoria curva, la compensación de la fuerza centrífuga es realizada fundamentalmente por el peralte de la calzada y cuando el peralte ya resulta insuficiente, completa lo requerido, demandando fricción transversal.

Lo anterior implica que, para curvas de radios superiores al mínimo, la fricción transversal demandada no es la fricción transversal máxima, sino que su valor es

establecido en el Método 5 mediante una función parabólica. Entonces, a aquellas curvas con radios mayores que el radio mínimo, se les debe asignar un peralte menor en forma tal que la circulación sea cómoda, tanto para los vehículos lentos como para los rápidos.

Figura 28: Distribución de la superelevación “e” por el método 5.



Fuente: A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, AASHTO, 5th ed. 2004, Pág.154.

Las distribuciones de e y f por el Método 5 pueden deducirse utilizando la secuencia siguiente de ecuaciones:

$$R_{PI} = \frac{V_R^2}{1.27 * e_{m\acute{a}x}} \quad (\text{Ec. 80})$$

$$h_{PI} = \frac{0.01 * e_{m\acute{a}x} * V_D^2}{V_R^2} - 0.01 * e_{m\acute{a}x} \quad (\text{Ec. 81})$$

$$S_1 = h_{PI} * R_{PI} \quad (\text{Ec. 82})$$

$$S_2 = \frac{f_{\text{máx}} - h_{\text{PI}}}{\frac{1}{R_{\text{mín}}} - \frac{1}{R_{\text{PI}}}} \quad (\text{Ec. 83})$$

$$MO = \frac{1}{R_{\text{PI}}} * \left( \frac{1}{R_{\text{mín}}} - \frac{1}{R_{\text{PI}}} \right) * \left( \frac{S_2 - S_1}{2} \right) * R_{\text{mín}} \quad (\text{Ec. 84})$$

$$(0.01 * e + f)_D = \frac{(0.01 * e_{\text{máx}} + f_{\text{máx}}) * R_{\text{mín}}}{R} \quad (\text{Ec. 85})$$

Para  $\frac{1}{R} \leq \frac{1}{R_{\text{PI}}}$

$$f_1 = MO * \left( \frac{R_{\text{PI}}}{R} \right)^2 + \frac{S_1}{R} \quad (\text{Ec. 86})$$

$$0.01 * e_1 = (0.01 * e + f)_D - f_1 \quad (\text{Ec. 87})$$

Para  $\frac{1}{R} > \frac{1}{R_{\text{PI}}}$

$$f_2 = MO * \left( \frac{\frac{1}{R_{\text{mín}}} - \frac{1}{R}}{\frac{1}{R_{\text{mín}}} - \frac{1}{R_{\text{PI}}}} \right)^2 + h_{\text{PI}} + S_2 * \left( \frac{1}{R} - \frac{1}{R_{\text{PI}}} \right) \quad (\text{Ec. 88})$$

$$0.01 * e_2 = (0.01 * e + f)_D - f_2 \quad (\text{Ec. 89})$$

Donde:

$V_R$ : Velocidad de marcha, km/h.

$R_{\text{PI}}$ : Radio en el punto de intersección de la curva parabólica de distribución  $f$ , m.

$e_{\text{máx}}$ : Tasa de sobreelevación máxima, %.

$V_d$ : Velocidad de diseño, km/h.

$h_{PI}$ : Ordenada al punto de intersección de la curva parabólica de distribución  $f$ , desde el eje horizontal  $1/R$ .

$S_1$ : Pendiente de la pierna izquierda de la curva parabólica de distribución  $f$ .

$S_2$ : Pendiente de la pierna derecha de la curva parabólica de distribución  $f$ .

$L_1$ : Abscisa al punto de intersección de la curva parabólica de distribución  $f$ .

$L_2$ : Diferencia entre la abscisa al punto final de la curva parabólica de distribución  $f$  y la abscisa punto de intersección de la misma.

$MO$ : Ordenada media de la curva parabólica de distribución  $f$ .

$R$ : Radio en algún punto.

$f_1$ : Valor de  $f$  en algún punto de la pierna izquierda de la curva parabólica de distribución  $f$ , es decir que se cumple la condición  $1/R \leq 1/R_{PI}$ .

$e_1$ : Sobreelevación en algún punto para la condición  $1/R \leq 1/R_{PI}$ .

$f_2$ : Valor de  $f$  en algún punto de la pierna derecha de la curva parabólica de distribución  $f$ , es decir que se cumple la condición  $1/R > 1/R_{PI}$ .

$e_2$ : Sobreelevación en algún punto para la condición  $1/R > 1/R_{PI}$ .

### **Ejemplo de cálculo de peralte y factor de fricción lateral para una curva circular simple (Curva 2).**

1. Calcular el radio en el punto de intersección de la curva de distribución  $f$ .

$$R_{PI} = \frac{V_R^2}{1.27 * e_{m\acute{a}x}} = \frac{(47)^2}{1.27 * 8} = 217.42 \text{ m}$$

2. Calcular la ordenada al punto de intersección de la curva de distribución  $f$ .

$$h_{PI} = \frac{0.01 * e_{m\acute{a}x} * V_d^2}{V_R^2} - 0.01 * e_{m\acute{a}x} = \frac{0.01 * 8 * (50)^2}{(47)^2} - 0.01 * 8 = 0.010539$$

3. Calcular la pendiente de la pierna izquierda de la curva de distribución f.

$$S_1 = h_{PI} * R_{PI} = 0.010539 * 217.42 = 2.291179$$

4. Calcular la pendiente de la pierna derecha de la curva de distribución f.

$$S_2 = \frac{f_{m\acute{a}x} - h_{PI}}{\frac{1}{R_{m\acute{i}n}} - \frac{1}{R_{PI}}} = \frac{0.19 - 0.010539}{\frac{1}{73} - \frac{1}{217.42}} = 19.723559$$

5. Calcular la ordenada media de la curva de distribución f.

$$\begin{aligned} MO &= \frac{1}{R_{PI}} * \left( \frac{1}{R_{m\acute{i}n}} - \frac{1}{R_{PI}} \right) * \left( \frac{S_2 - S_1}{2} \right) * R_{m\acute{i}n} \\ &= \frac{1}{217.42} * \left( \frac{1}{73} - \frac{1}{217.42} \right) * \left( \frac{19.723559 - 2.291179}{2} \right) * 73 \\ &= 0.026630 \end{aligned}$$

6. Calcular el valor totalizado “e+f” y el valor “f<sub>1</sub>” en algún punto de la pierna izquierda de la curva parabólica de distribución f (Condición 1/R ≤ 1/R<sub>PI</sub>).

$$(0.01 * e + f)_D = \frac{(0.01 * e_{m\acute{a}x} + f_{m\acute{a}x}) * R_{m\acute{i}n}}{R} = \frac{(0.01 * 8 + 0.19) * 73}{225} = 0.0876$$

Dado que  $\frac{1}{R} \leq \frac{1}{R_{PI}} = \frac{1}{225} \leq \frac{1}{217.4}$  entonces:

$$f_1 = MO * \left( \frac{R_{PI}}{R} \right)^2 + \frac{S_1}{R} = 0.026630 * \left( \frac{217.42}{225} \right)^2 + \frac{2.291179}{225} = 0.035044$$

7. Calcular la sobreelevación en algún punto para la condición 1/R ≤ 1/R<sub>PI</sub>.

$$0.01 * e_d = (0.01 * e + f)_d - f_1 = 0.0876 - 0.035044 = 0.0525$$

$$e_d = 0.0525 * 100 = 5.25\% \sim 5.4\%$$

### **c) Transición del bombeo al peralte:**

Es el tramo del alineamiento horizontal requerido para pasar de una sección en tramo recto, con pendiente transversal equivalente al bombeo, a otra en tramo curvo, donde se requiere una pendiente transversal equivalente al peralte. Este cambio se debe realizar en una longitud tal que sea cómoda y segura. Para mayor detalle de este tema ver Sección 4.4.8.

#### **4.6.1.2.3 Calzada.**

La calzada es la parte de la corona destinada a la circulación de vehículos y compuesta por dos o más carriles y uno o dos sentidos de circulación. Se entiende por carril a la faja de ancho suficiente para la circulación de una fila de vehículos.

El ancho de calzada definido en un proyecto se refiere al ancho en tramo recto del alineamiento horizontal. Cuando se trata de tramos curvos el ancho puede aumentar y el exceso requerido se denomina sobreancho. Los valores mínimos recomendados están en función del tipo de carretera, del tipo de terreno y de la velocidad de diseño.

El ancho de la calzada en tramo recto lo determina el nivel de servicio deseado al finalizar el período de diseño o en un determinado año de la vida de la carretera. Tanto el ancho como el número de carriles se definen por medio de un análisis de capacidad y niveles de servicio. Los anchos de carril más usuales son: 3.00 m, 3.30 m, y 3.60 m y normalmente se proyectan dos, tres o cuatro carriles por calzada. En este proyecto en particular se usará un carril de ancho mínimo de 3.3 metros tal como recomienda el Manual Centroamericano de Normas Para el Diseño Geométrico de Carreteras, SIECA, 2da ed. 2004 en su Tabla Resumen (Elementos de Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales) de la página 13 para carreteras colectoras rurales, y por lo tanto se tendrá una calzada de 6.6 metros en tangente.

#### **4.6.1.2.4 Hombros.**

Los hombros, espaldones o bermas, son las áreas de la carretera contigua a los carriles de circulación. Cumplen las siguientes funciones básicas:

- La necesidad de proveer espacios para acomodar los vehículos que ocasionalmente sufren desperfectos durante su recorrido, ya que, sin los hombros, los vehículos en problemas se ven obligados a invadir los carriles de circulación, con riesgos para la seguridad del tránsito.
- Proporcionan estabilidad estructural al pavimento de los carriles de circulación vehicular, mediante el confinamiento y protección adicional contra la humedad y posibles erosiones.
- Para permitir los movimientos peatonales y de bicicletas en ciertas áreas donde la demanda lo justifique.
- Proporcionan espacio libre para la instalación de señales verticales de tránsito.
- Proporcionan seguridad al usuario de la carretera al tener a su disposición un ancho adicional, fuera de la calzada, para eludir accidentes potenciales o reducir su severidad.

Para que estas funciones se cumplan, los hombros deben tener ancho constante, estar libres de obstáculos y estar compactadas homogéneamente en toda su sección, y acorde a la evaluación técnica y económica del proyecto, está constituida por materiales similares a la capa de rodadura de la calzada.

Las bermas deben tener la misma pendiente transversal que el carril de circulación adyacente, bien sea en entretangencia o en curva. Adicionalmente, no debe existir desnivel entre la berma y el carril de circulación adyacente, separándose éstas dos franjas mediante líneas de demarcación. Por la necesidad de alcanzar el nivel de compactación especificado en las capas de sub-base y base, en la orilla exterior del hombro, la plataforma en relleno tendrá un ancho adicional mínimo de 0.50 m. Esta área también es conveniente para redondear el vértice entre la terracería y el

talud de relleno, para la colocación de defensas laterales y señales. A esta banda o ancho adicional se le denomina sobreecho de compactación (s.a.c.).

Tabla 37: Anchos mínimos de hombros y aceras.

Tipo de Carretera		Acceso	Tipo de Superficie	Ancho de Hombros (m)		Ancho de Aceras (m)
				Internos	Externos	
AA	Autopista	Controlado	Alto	1.0 – 1.5	2.5 - 3.0	
AR	Arterial Rural	Controlado	Alto	1.0 - 1.5	2.5 – 3.0	2.0
AU	Arterial Urbana	Controlado	Alto	1.0 - 1.5	2.5 – 3.0	2.0
AMR	Arterial Menor Rural	-	Alto	-	1.2 - 1.6	1.0 – 1.2
AMU	Arterial Menor Urbana	-	Alto	-	1.2 - 1.6	1.0 – 1.2
CMR	Colector Mayor Rural	Controlado	Alto	1.0 -1.5	2.5 – 3.0	1.2 – 2.0
CMU	Colector Mayor Urbana	-	Alto	0.5 – 1.0*	1.2 - 1.8	1.2 – 1.5
CR	Colectoras Menor Rural	-	Intermedio	-	1.2 - 1.6	1.0 – 1.2
CS	Colectoras Menor Urbana	-	Intermedio	-	1.2 – 1.6	1.0 – 1.2
LR	Local Rural	-	Intermedio	-	0.75-1.6	1.0 – 1.2
LU	Local Urbano	-	Intermedio	-	0.75-1.6	1.0 – 1.2
R	Rural	-	Bajo	-	-	-

Fuente: Manual Centroamericano de Normas Para el Diseño Geométrico de Carreteras con enfoque de Gestión de Riesgo y Seguridad Vial, SIECA, 3ª Edición, 2011, Pág.142.

Para las carreteras de la red centroamericana, donde no se han reconocido suficientemente las ventajas de la provisión de hombros de anchos adecuados, por una economía en costos de inversión mal entendida, se propone la adopción de los anchos mínimos que se señalan en la tabla anterior. Tal como se muestra en la tabla anterior para una carretera colectoras menor rural se debe usar un valor para el hombro exterior comprendido entre 1.20 metros y 1.60 metros, para lo cual se seleccionará el valor mínimo de 1.20 metros por factores económicos.

#### 4.6.1.3 Aceras.

Donde hay abundancia de peatones, los volúmenes de tránsito son elevados y las velocidades permitidas son significativas (mayores de 60 kilómetros por hora), especialmente en sitios de circunvalación de poblados y ciudades, se recomienda que, al lado de los carriles exteriores, se construyan aceras o banquetas para la circulación peatonal. Como una recomendación general de aplicación en Centroamérica, se deben construir aceras en las calles y en las carreteras que carezcan de hombros, procurándose en este último caso que las aceras estén

fuera de la pista de rodaje y, posiblemente, en los límites del derecho de vía. Los datos de tránsito confirman que las aceras ofrecen un medio efectivo para reducir accidentes peatonales. Los sitios donde generalmente se deben localizar las aceras o andenes son zonas escolares, áreas de servicio, áreas de estacionamiento de buses, etc.

La vía en estudio al ser una Colectora Menor Rural, no tendrá andenes como elementos de la sección transversal debido a que estos son de uso restringido en áreas rurales, por el escaso número de peatones.

#### **4.6.1.4 Mediana.**

La mediana o franja separadora central, es la franja de terreno localizada al centro de la carretera, que separa los carriles de sentido contrario en carreteras divididas, que puede construirse al nivel de la pista principal o tener su sección transversal elevada o deprimida, siendo preferible esta última solución por su contribución al drenaje longitudinal en las autopistas y carreteras divididas. Sus principales funciones son:

- Evitar las interferencias con el tránsito que circula en sentido contrario.
- Crear zonas de parqueo momentáneo, al reducirles su tamaño, de vehículos con giro a la izquierda (bahías).
- Minimizar el encandilamiento de las luces de los vehículos en sentido opuesto.
- Crear zonas para futuros ensanches.
- Crear zonas para la recuperación de vehículos que han perdido momentáneamente el control.
- Construir retornos.
- Brindar mayor seguridad.
- Desarrollar proyectos paisajísticos brindando una mejor estética.
- Ubicación de señalización y alumbrado público.

En carreteras con mediana central, generalmente se usa un drenaje al centro, en un área deprimida de poca profundidad y con pendientes sumamente suaves, que evacúan las aguas hacia tragantes conectados a tubos instalados debajo de las calzadas, para alejar el agua fuera de la obra vial. Pendientes construidas de esa forma son muy útiles en caso de accidentes, evitando que éstos sean de mayores consecuencias.

Tabla 38: Anchos recomendables de medianas.

Tipo	Clasificación	Ancho de Mediana (m)
AA	Autopista	12 o mas
AR y AU	Arterial Rural y Arterial Urbana	4 – 12
CMR Y CMU	Colector Mayor Rural y Colector Mayor Urbana	2 – 6
AMR Y AMU	Arterial Menor Rural y Arterial Menor Urbana	Sin mediana
CR, CS	Colectoras Menor Rural y Colectora Menor Urbana	Sin mediana

Fuente: Manual Centroamericano de Normas Para el Diseño Geométrico de Carreteras con enfoque de Gestión de Riesgo y Seguridad Vial, SIECA, 3ª Edición, 2011, Pág.144.

Tal como muestra esta tabla, no se requiere el uso de mediana central, para una carretera clasificada como Colectora Menor Rural.

#### 4.6.1.5 Cunetas.

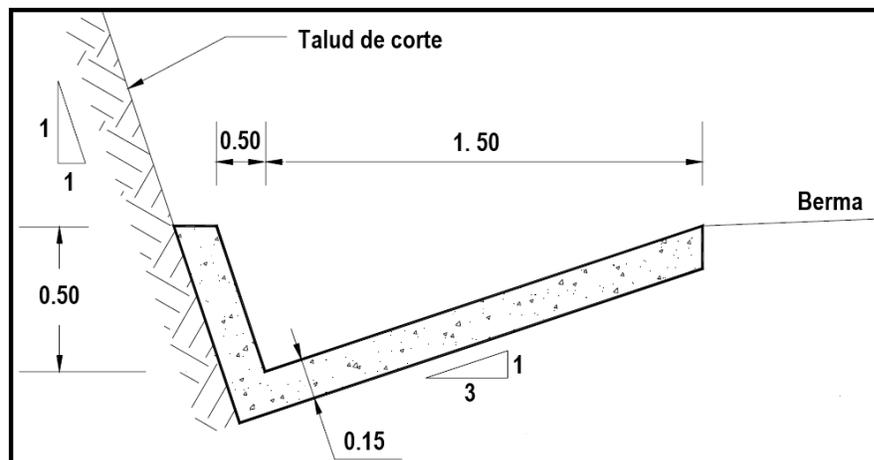
Son zanjas construidas lateralmente a lo largo de la carretera en los tramos en corte, con el propósito de conducir los escurrimientos superficiales y subsuperficiales, procedentes de la plataforma vial, taludes y áreas adyacentes, a fin de proteger la estructura del pavimento. Sus elementos constitutivos son su talud interior, su fondo y su talud exterior. Este último, por lo general coincide con el talud de corte.

La sección transversal puede ser triangular, trapezoidal, rectangular o de otra geometría que se adapte mejor a la sección transversal de la vía y que prevea la seguridad vial; revestidas o sin revestir; abiertas o cerradas, de acuerdo a los requerimientos del proyecto; en zonas urbanas o dónde exista limitaciones de espacio, las cunetas cerradas pueden ser diseñadas formando parte de la berma.

Las dimensiones de las cunetas se deducen a partir de cálculos hidráulicos, teniendo en cuenta su pendiente longitudinal, intensidad de precipitaciones pluviales, área de drenaje y naturaleza del terreno, entre otros. Se limitará la longitud de estas, conduciéndolas hacia los cauces naturales del terreno, obras de drenaje transversal o proyectando desagües dónde no existan.

La pendiente longitudinal de las cunetas generalmente es la misma que la de la subrasante, pero puede variar si las condiciones de drenaje así lo requieren. Como referencia las pendientes longitudinales mínimas absolutas serán 0.2%, para cunetas revestidas y 0.5% para cunetas sin revestir. La cuneta lateral más usada es la que tiene forma trapezoidal con un ancho de fondo entre 2.0 y 3.0 metros y profundidad variable, prefiriéndose las de poca profundidad para que ayuden a disminuir la velocidad de la corriente y la erosión del suelo del fondo, cuando no son revestidas. También existen secciones triangulares para este tipo de obra, con cierto grado de tradición en su uso. Este tipo de drenajes debe revestirse cuando la velocidad de las corrientes sea alta, en suelos erosionables situados en pendientes fuertes. Los pendientes de las paredes de las cunetas, del lado de la calzada, no deben superar la relación 4: 1.

Figura 29: Sección típica de una cuneta triangular.



Fuente: Elaboración propia.

Este documento monográfico está enfocado directamente al diseño geométrico del tramo de carreteras, por lo que realizar un estudio hidrológico para determinar caudales de diseño con los cuales dimensionar las obras de drenaje (cunetas), no se aborda. Se tomarán como referencia las dimensiones de las cunetas utilizadas en un tramo de carretera contiguo que posee una topografía similar, tal como se aprecia en la Figura 29.

#### 4.6.1.6 Taludes.

El talud es la inclinación de diseño dada al terreno lateral de la carretera, tanto en zonas de corte como en terraplenes. Dicha inclinación es la tangente del ángulo formado por el plano de la superficie del terreno y la línea teórica horizontal. La inclinación de un talud está en función del tipo de suelo (características y propiedades) y de la altura del talud (se requiere menor inclinación a mayor altura del corte o terraplén).

En este documento monográfico, la relación de taludes utilizada para los tramos en corte es 1:1, mientras que, para los tramos con taludes en relleno se aplican varias inclinaciones dependiendo de las alturas que estos posean. Ver Tabla 39.

Tabla 39: Taludes de relleno recomendables.

<b>Altura "h" (cm)</b>	<b>Relación de taludes (H : V)</b>
<b><math>0 \leq h \leq 60</math></b>	<b>4:1</b>
<b><math>60 \leq h \leq 120</math></b>	<b>3:1</b>
<b><math>120 \leq h \leq 200</math></b>	<b>2:1</b>
<b><math>h \geq 200</math></b>	<b>1.5:1</b>

Fuente: Elaboración propia.

## **5.1 Introducción.**

En el modelado de una obra vial con el software AutoCAD Civil 3D se combina la geometría horizontal y vertical con componentes personalizables de sección transversal para crear un modelo 3D paramétrico y dinámico denominado “Obra Lineal” o “Corredor”.

Para definir la sección transversal, se puede aprovechar los sub-ensamblajes incluidos, que abarcan desde carriles de circulación, aceras y cunetas hasta complejos componentes de carril, o bien crear los suyos propios conforme a una norma de diseño. Es muy fácil modificar el modelo mediante interacción visual o cambiando los parámetros de entrada que definen la sección vial típica. Las características exclusivas de cada sub-ensamblaje permiten enfocar el modelo 3D a funciones específicas.

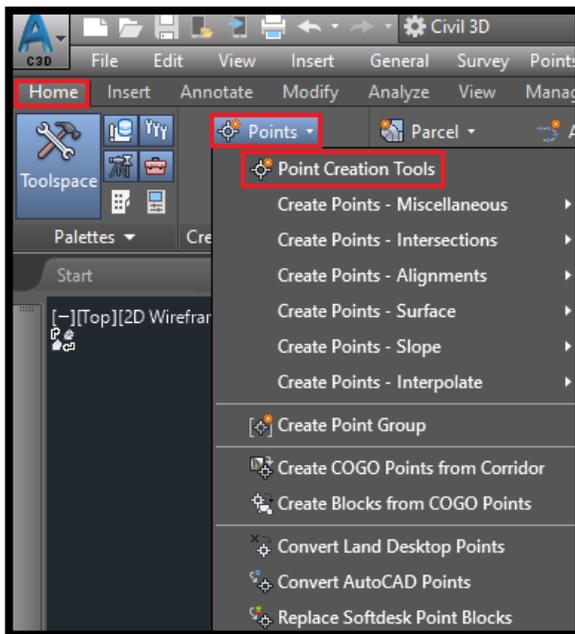
En este software se realiza el diseño geométrico según normas, es decir que aprovecha la composición más veloz de geometría de alineación de planta y perfil con criterios de diseño basados en normas oficiales o adaptadas a las necesidades específicas de los clientes. Las restricciones de diseño avisan a los usuarios cuando se infringen las normas, con información inmediata para poder efectuar las modificaciones necesarias.

En este capítulo no se pretende realizar un manual paso a paso del modelado de la vía en civil 3d, sino presentar los aspectos más esenciales para la inserción de los elementos propios del diseño, por lo que se partirá de una plantilla de diseño con estilos y etiquetas personalizadas para su fácil aplicación.

## 5.2 Importación de puntos.

En el proceso de generación de modelos digitales de terreno, se debe cargar un archivo de nube de puntos tomados y procesados bajo diferentes métodos. Inicialmente se debe chequear los formatos por defecto para importación de puntos que acepta el programa. Para efectos del desarrollo del proceso de diseño se trabajará con un archivo de extensión “.txt” con formato: punto (P), norte (N), este (E), elevación (Z), descripción (D).

Figura 30: Herramientas de creación de puntos.



Para acceder a la ventana de creación de puntos se debe dar click sobre la pestaña “Home”, ir al panel “Create Ground Data”, ir al comando desplegable “Points”, y seleccionar “Point creation tools”.

Automáticamente se abre la ventana flotante de creación de puntos “Create Points”, en la que se selecciona el ultimo icono de la derecha “Import Points”.

Figura 31: Ventana de creación de puntos.

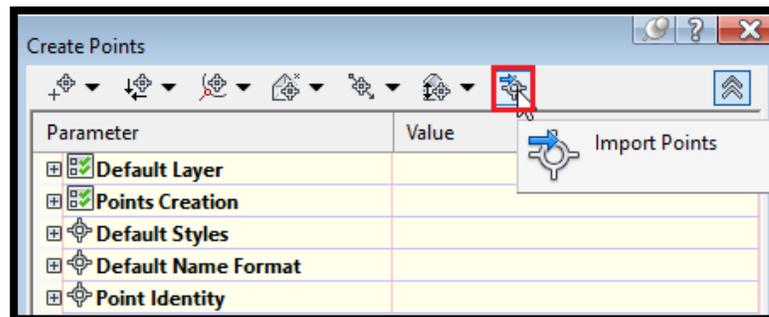
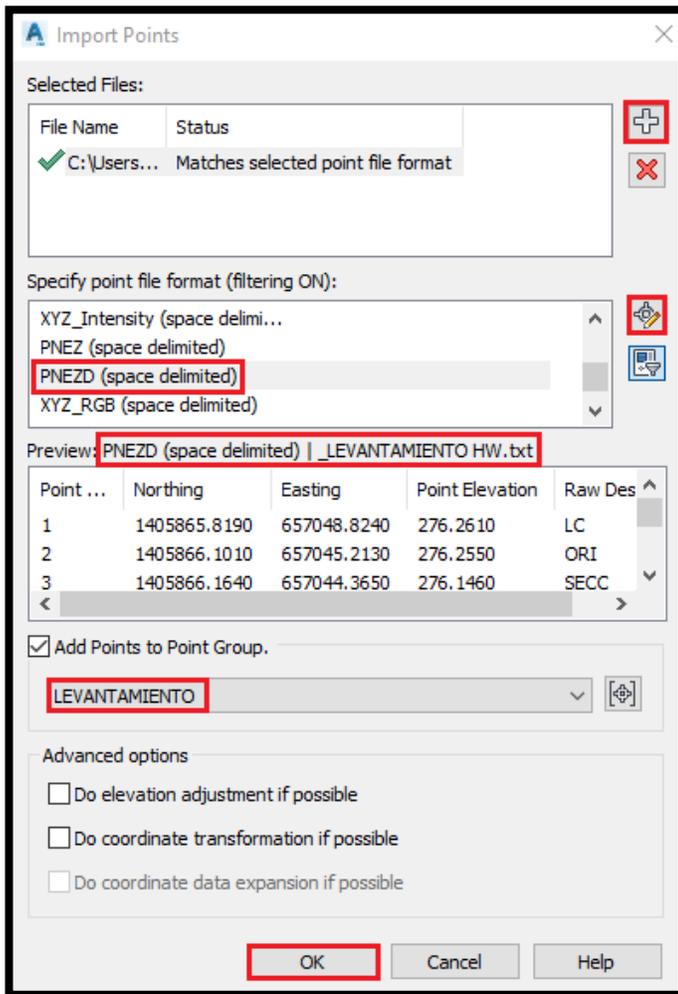


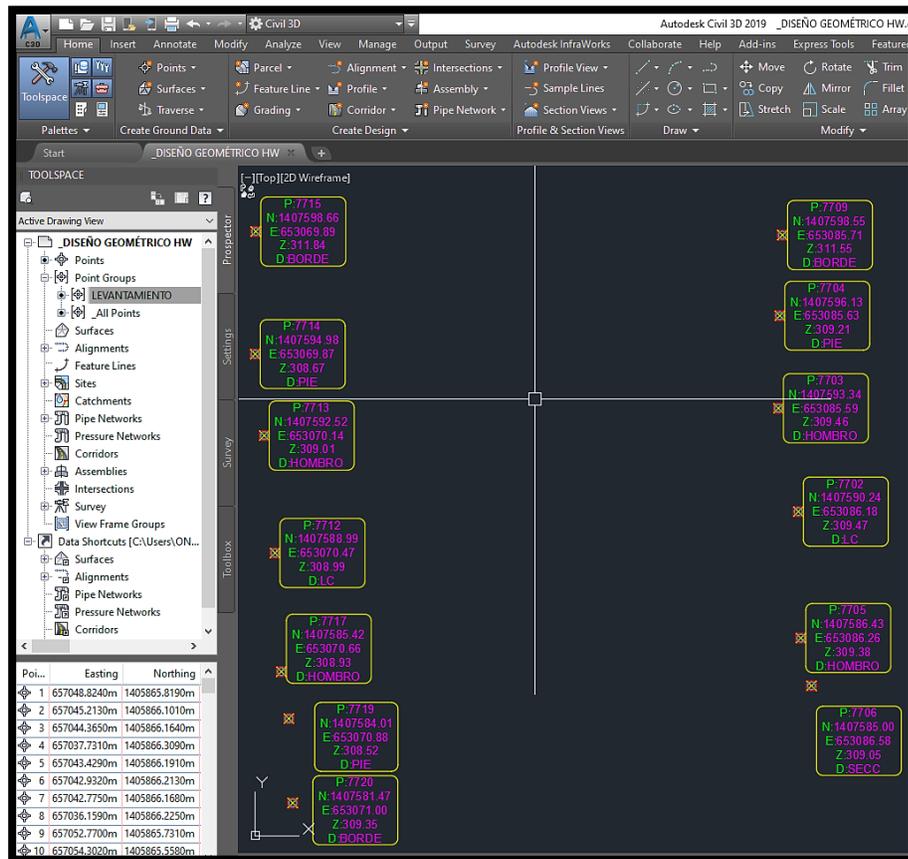
Figura 32: Ventana de importación de puntos.



Posteriormente aparece la ventana “Import Points”. En la sección “Selected Files” se da click en el icono marcado en color rojo para buscar la ruta del archivo “.txt” y poder agregar el levantamiento del proyecto objeto de estudio. En la sección “Specify point file format”, se selecciona el icono marcado en la figura para especificar el formato del archivo del levantamiento. En la sección “Add Points to Point Group” se pica en el icono de la derecha para agregar la nube de puntos a un grupo. Finalmente, click en “OK”.

Para visualizar los puntos previamente insertados en el espacio modelo, simplemente se digita el comando “Zoom Extend” (ZE) y se presiona “Enter”.

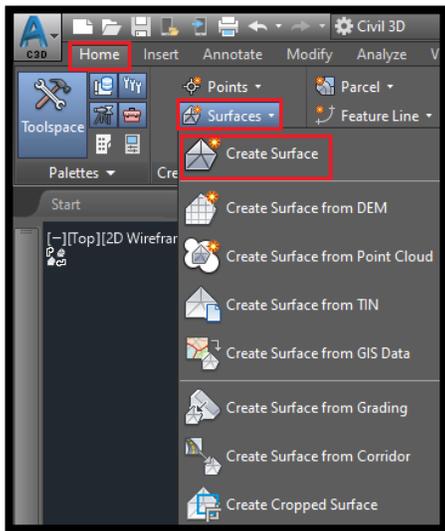
Figura 33: Visualización de puntos en el espacio modelo.



### 5.3 Creación de superficie.

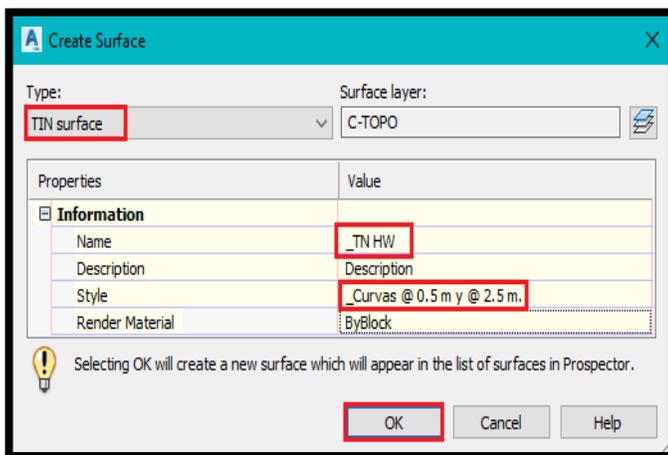
El proceso de creación de modelos digitales de terreno se ha automatizado con el avance de la tecnología y creación de software como Autodesk AutoCAD Civil 3D que permite trabajar grandes extensiones de superficie, con una gran cantidad de puntos topográficos, que interactúan entre sí, obteniendo de esta manera, una superficie dinámica que se puede adaptar a cualquier proceso de edición de puntos. La administración correcta de esta superficie permite trabajar con datos fiables a la hora de hacer cualquier trabajo de diseño, replanteo, cubicaciones, etc., en casi la mayoría de proyectos de ingeniería.

Figura 34: Herramientas de creación de superficies.



Para ingresar a la ventana de creación de superficies se debe dar click sobre la pestaña “Home”, ir al panel “Create Ground Data”, ir al comando desplegable “Surfaces”, y seleccionar “Create Surface”. Enseguida se abre la ventana flotante de creación de superficies “Create Surface” como se muestra en la figura siguiente:

Figura 35: Ventana de creación de superficies.



En la opción “Type” se selecciona la opción “Tin Surface”. En el campo “Name” se asigna el nombre de la superficie del proyecto vial. En “Style” se elige el estilo con el que se visualizarán las curvas. Por último dar click en “OK”.

Una vez creada la superficie de terreno, desplegar la opción “Surface” de la ventana lateral izquierda “ToolSpace”, en primer orden se encuentra la superficie creada “\_TN HW”, al desplegar esta opción, también hay tres ítems de segundo orden “Masks”, “Watersheds” y “Definition”. En este caso se utiliza sólo este último, donde se agrega el grupo de puntos denominado “Levantamiento”, usando la opción “Point Groups”, dar click derecho y elegir la opción “Add”. Aparece la ventana flotante “Point Groups”, en la cual se elige el grupo de puntos mencionado y al dar click en los botones “Apply” y “OK” se visualiza la superficie.

Figura 36: Ventana de creación de superficies.

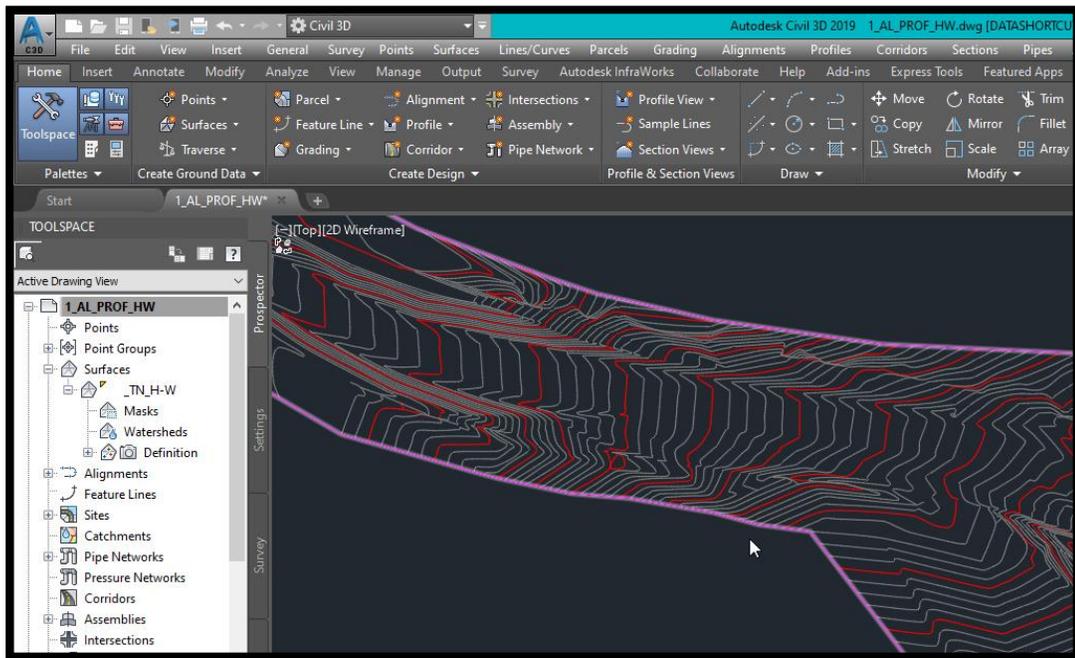
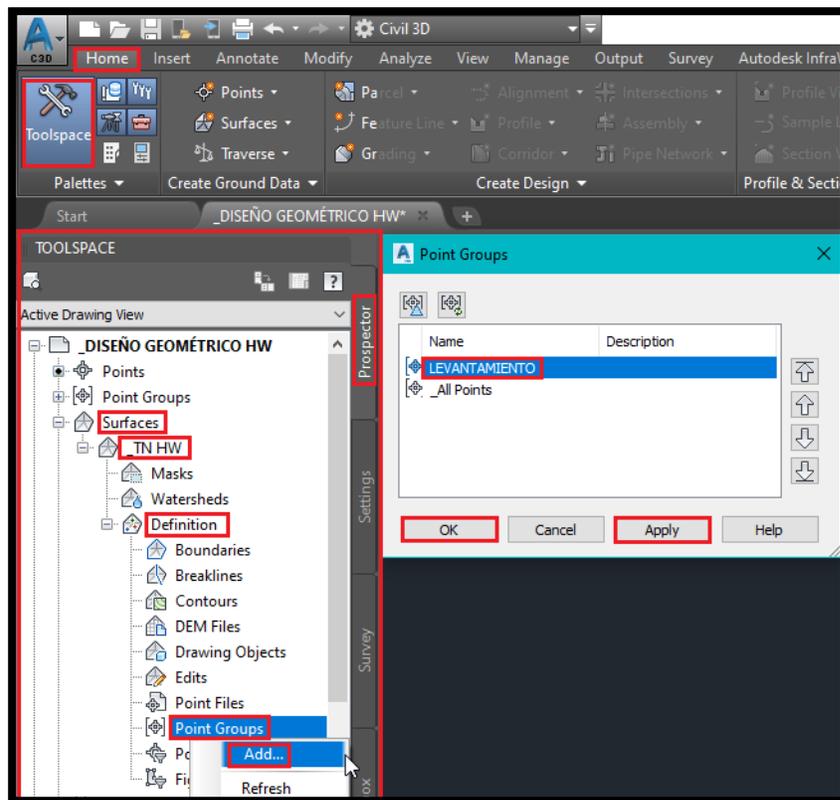


Figura 37: Visualización de la superficie en el espacio modelo.



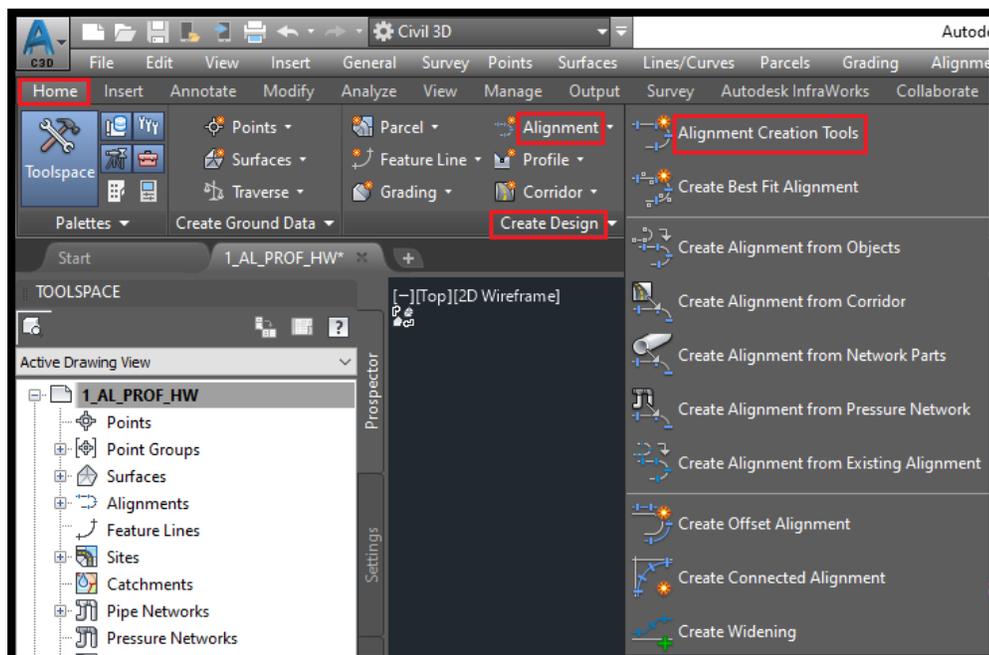
## 5.4 Alineamiento horizontal.

Los alineamientos horizontales en AutoCAD Civil 3D, son la base para el modelamiento y desarrollo de proyectos viales. El programa ofrece diversas maneras para crear alineamientos horizontales, en este documento se tratará la forma de crear un alineamiento de manera asistida (semiautomática) mediante la herramienta “Alignment Creation Tools”.

Una de las maneras más sencillas de trabajar con alineaciones y poder comprender mejor el funcionamiento del programa es partir de una polilínea de apoyo (poligonal abierta del proyecto definitivo o línea preliminar) que ayudará a realizar el trazo del alineamiento horizontal de la vía en estudio.

Para esto se debe ir al panel “Create Design” de la pestaña “Home”, click en el comando desplegable “Alignment” y seleccionar la opción “Alignment Creation Tools”.

Figura 38: Herramientas de creación de alineamientos.



Enseguida se inicia la ventana “Create Alignment - Layout” como se muestra en las figuras 39 y 40.

Figura 39: Creación de alineamiento por composición, pestaña “General”.

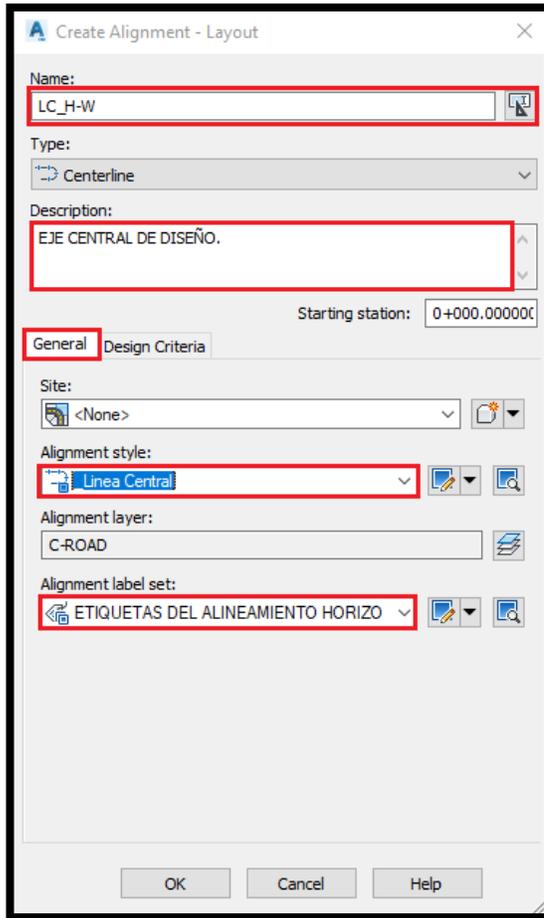
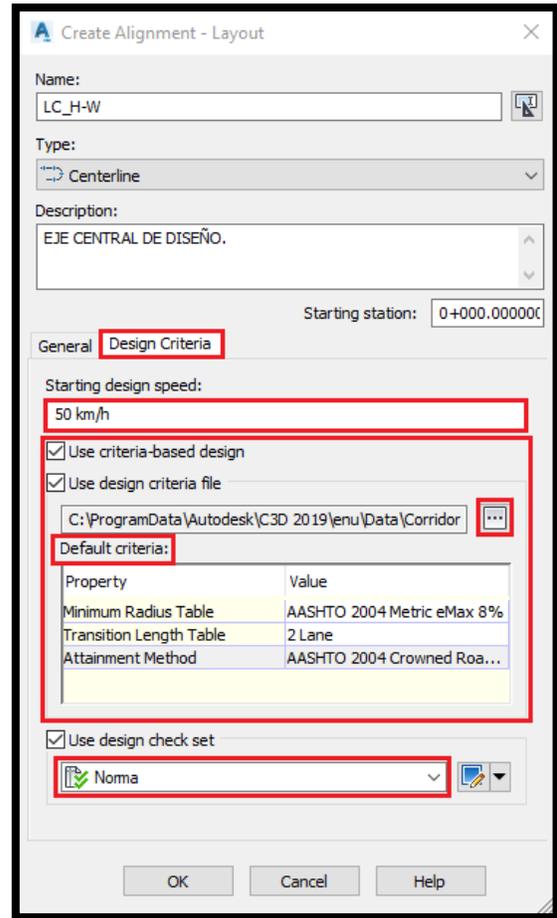


Figura 40: Creación de alineamiento por composición, pestaña “Design Criteria”.



En la opción “Name” se digita el nombre del alineamiento y opcionalmente en “Description” se puede escribir una reseña acerca del eje. En la pestaña “General” sólo se configuran las opciones “Alignment style” y “Alignment label set”, en la primera se asigna el estilo de visualización de la línea del eje denominado “Linea Central” y en la segunda se elige el conjunto de etiquetas que se van aplicar al eje de la vía denominado “ETIQUETAS DEL ALINEAMIENTO HORIZONTAL”.

Así mismo se configura la pestaña “Design Criteria”, donde en el campo “Starting design speed” se establece la velocidad de diseño del tramo analizado que en este caso corresponde a un valor de 50 km/hr. En la parte inferior al valor de velocidad de diseño se activan las opciones “Use criteria - based design” y “Use design criteria file” para poder seleccionar en el botón derecho con puntos la norma de diseño “Autodesk Civil 3D Metric (2004) Roadway Design Standards” que corresponde a la norma “A Policy On Geometric Design of Highways and Streets, AASHTO, 5th Edition”. En la sección “Default Criteria”, campo “Minimum Radius Table” se elige el peralte máximo a ser usado en el proyecto, seleccionando la opción “AASHTO 2004 Metric eMax 8%”, de la misma manera en el campo “Transition Length Table” se selecciona el número de carriles que tendrá la calzada que para este estudio es de dos carriles por lo que se elige la opción “2 Lane”. También se debe marcar la cajita de la sección “Use design check set” y en el desplegable que se activa debe elegirse el estilo personalizado “Norma”, donde está configurado el radio mínimo de una curva circular según la velocidad de diseño y el parámetro “A” de la espiral. Por último se da click en “OK” y aparece la ventana flotante de las herramientas de creación de alineamientos “Alignment Layout Tools”.

En esta ventana (figura 41) se despliega la flecha junto al primer icono y se elige la opción “Tangente – Tangente (No curves)” y luego se debe ir redibujando sobre la polilínea de apoyo dando click en cada uno de los 19 PI’s partiendo de la estación 0+000.00 (Punto 1), hasta finalizar en el otro extremo (Punto 19). El resultado se muestra en la figura 42.

Figura 41: Herramientas de creación de alineamientos (trazo sin curvas).

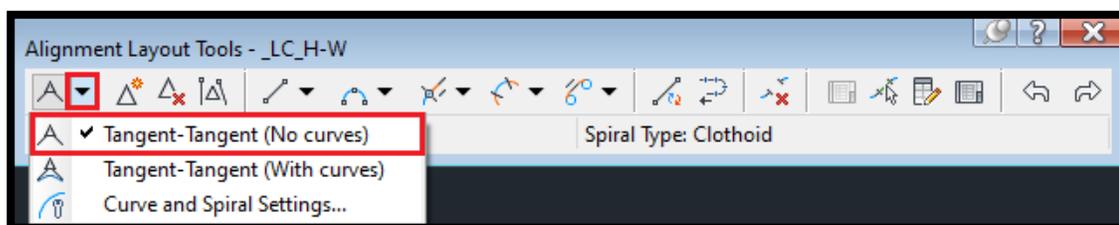


Figura 42: Trazo del alineamiento horizontal sin curvas.

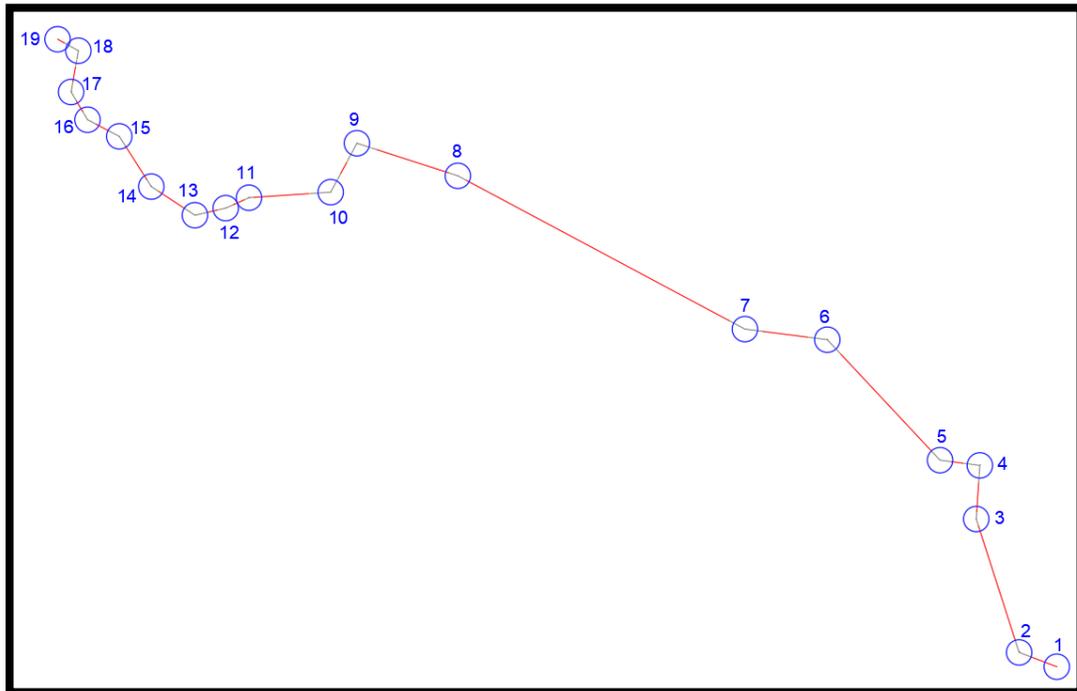
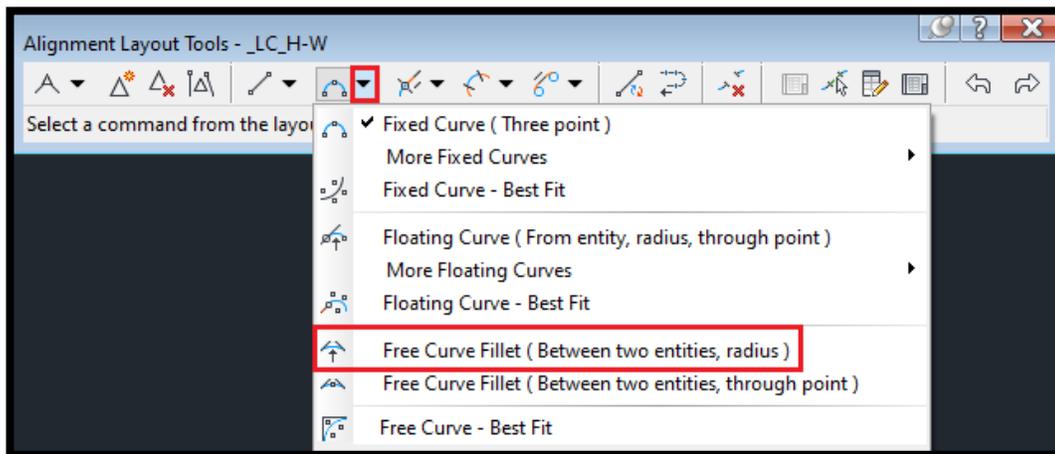


Figura 43: Herramientas de creación de alineamientos (inserción de curvas circulares).



Para insertar las curvas circulares es necesario desplegar la flecha junto al icono marcado en la ventana flotante (figura 43) y elegir la opción “Free Curve Fillet (Between two entities, radius)”. Enseguida se seleccionan las entidades o tangentes (en el orden acorde con la dirección del alineamiento), el software

pregunta si el ángulo de deflexión es menor o mayor que 180 grados, por lo que se elige la opción “Less than 180”. Por último se solicita el ingreso del radio de diseño con el que se trazará la curva circular simple y se da enter para que finalmente se dibuje dicha curva, tal como se muestra en la siguiente figura:

Figura 44: Inserción de curva circular simple.

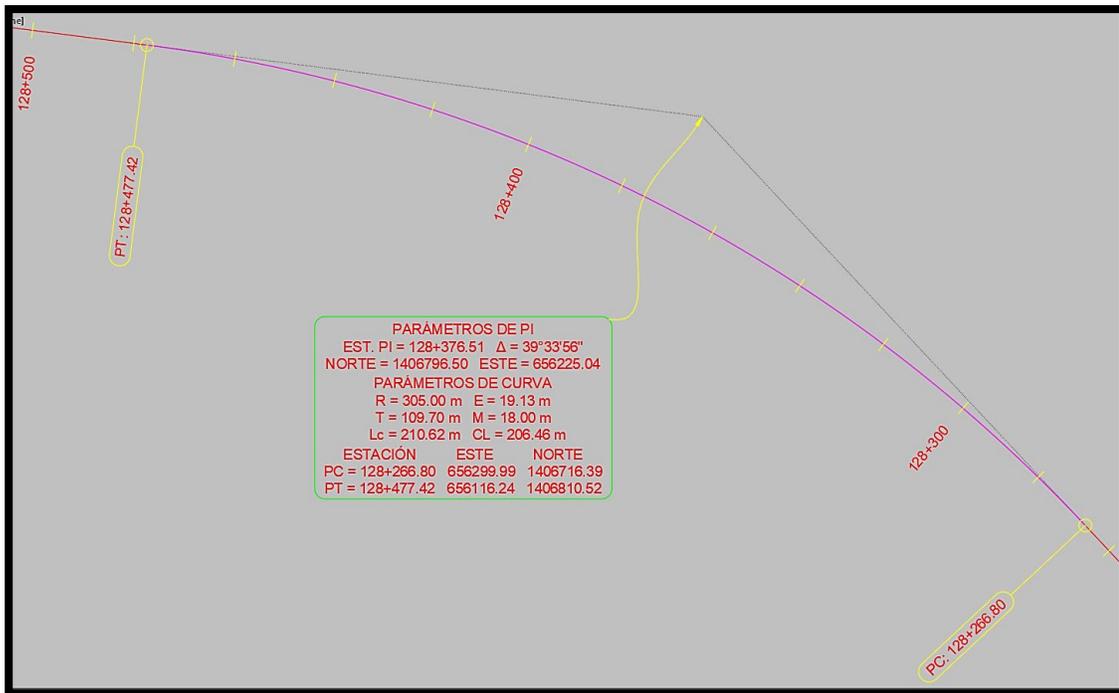
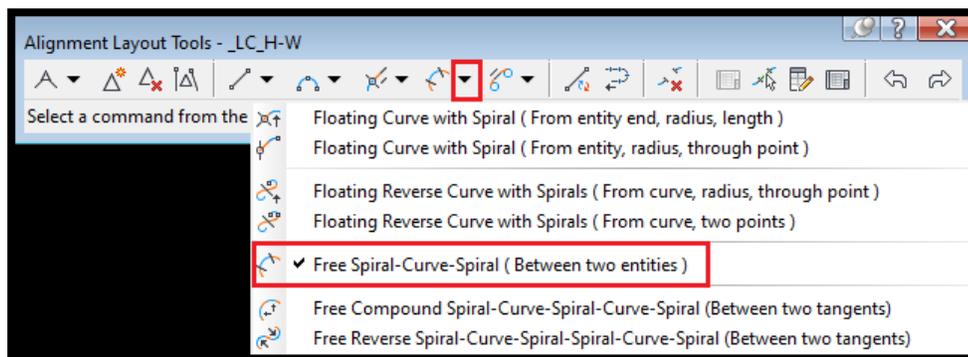


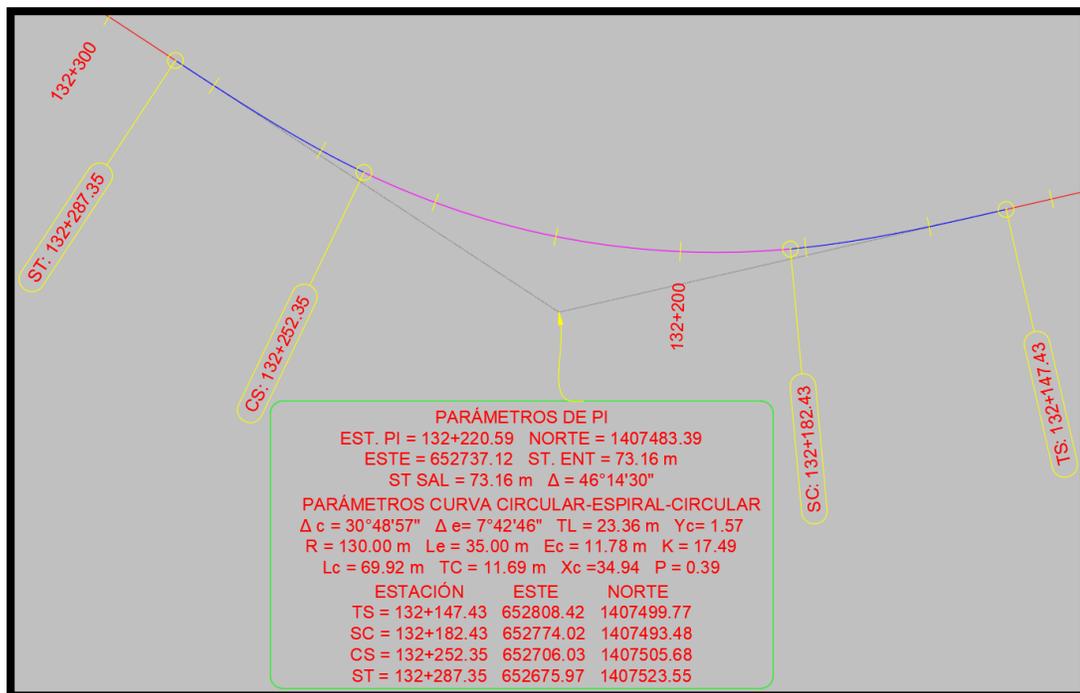
Figura 45: Herramientas de creación de alineamientos (inserción de espirales).



Para insertar las curvas espirales es necesario desplegar la flecha junto icono marcado en la ventana flotante y elegir la opción "Free Spiral - Curve - Spiral (Between two entities)".

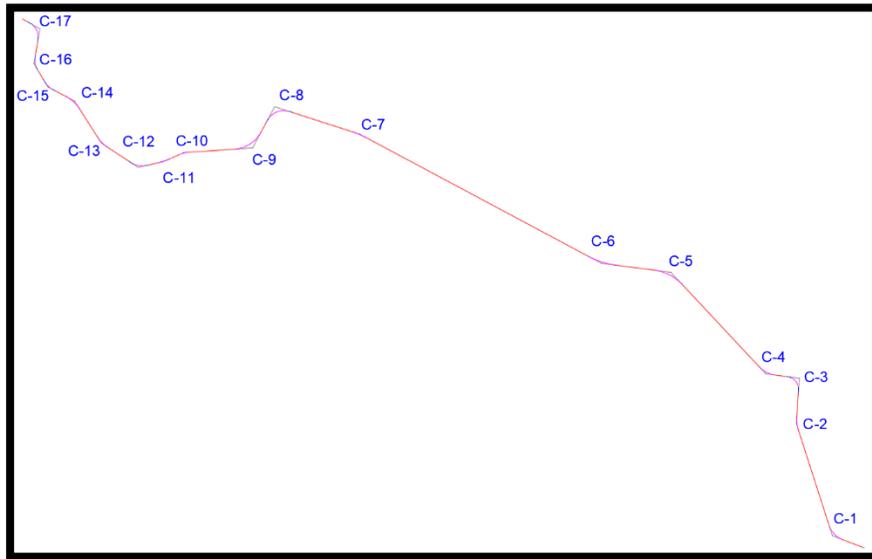
Posteriormente se seleccionan las entidades o tangentes (en el orden acorde con la dirección del alineamiento), el software pregunta si el ángulo de deflexión es menor o mayor que 180 grados, por lo que se elige la opción "Lessthan 180". Después se solicita la digitación del radio de diseño del segmento central circular. Del mismo modo el software solicita el ingreso de la longitud de la espiral de entrada y el ingreso de la longitud de la espiral de salida y finalmente enter para que sea dibujada toda la entidad, tal como se muestra en la siguiente figura.

Figura 46: Inserción de curva espiral - circular - espiral.



El resultado final del alineamiento horizontal con 17 curvas horizontales de las cuales once son curvas circulares simples y 6 son curvas ciculares con espirales de transición tal como se muestra en la figura 47.

Figura 47: Trazo del alineamiento horizontal con curvas circulares simples y curvas circulares con espirales de transición.



## 5.5 Alineamiento vertical.

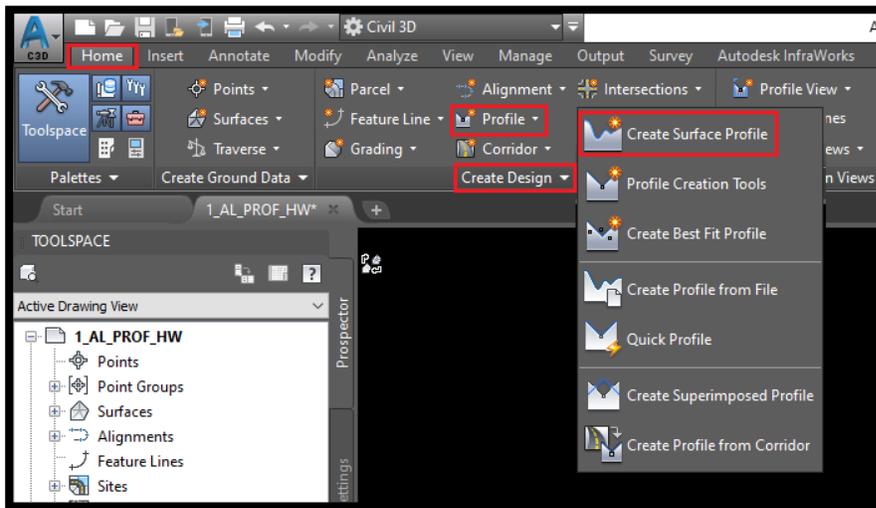
La proyección, manejo y edición de perfiles longitudinales al igual que para el caso de un alineamiento horizontal, se basa en la correcta interpretación de entidades de alineación vertical, en donde, una viene a ser un corte longitudinal del terreno y otra la entidad a proyectarse tal como es la rasante que debe ser anexada al perfil de superficie creado previamente, para que ambas entidades trabajen de manera dinámica.

### 5.5.1 Creación de vista de perfil longitudinal.

Una vez que se tiene el alineamiento horizontal, se procede a obtener el alineamiento vertical; para empezar a realizar este análisis, el primer paso es generar una vista del perfil topográfico de la zona por donde va pasar la vía en cuestión, y a partir de este, se hace una propuesta de la rasante.

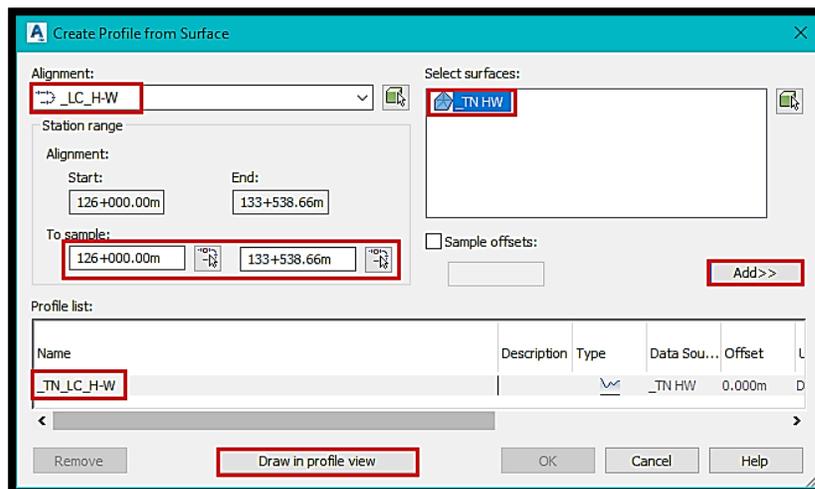
Para generar la vista de perfil longitudinal, dirigirse al panel "Create Design" de la pestaña "Home", click en el comando desplegable "Profile" y seleccionar la opción "Create Surface Profile" tal como se muestra en la figura 48.

Figura 48: Herramienta de creación de perfil de superficie.



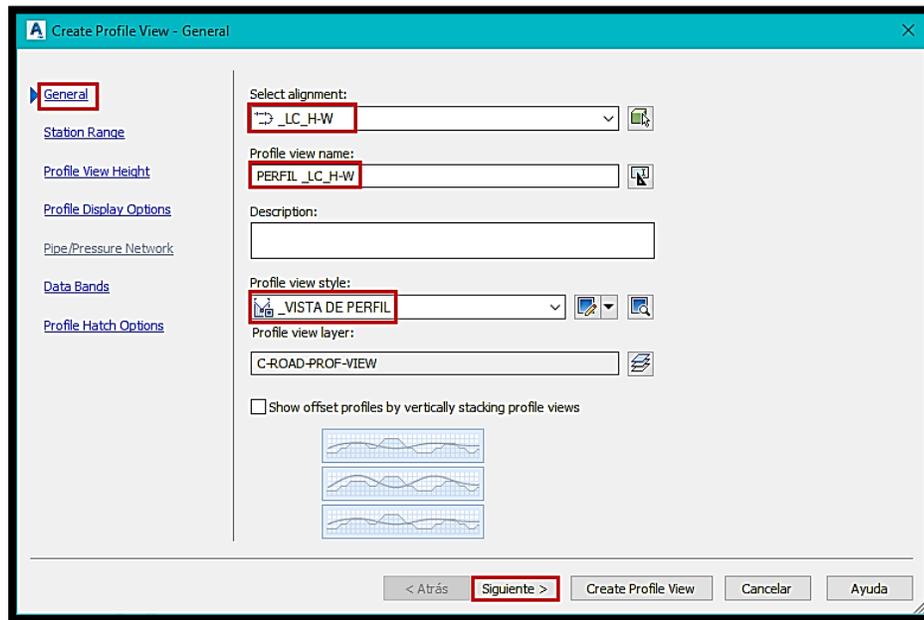
En seguida aparece la ventana “Create Profile from Surface” (figura 49), donde se selecciona el eje de diseño del cual se quiere obtener el perfil del terreno y la zona de visualización de la vista de perfil (tramo completo). De la misma manera, en la sección “Select Surface”, aparece la superficie del terreno previamente creada “\_TN HW”, por lo que esta se debe seleccionar y dar click en “Add” con el fin de agregarla a la sección “Profile list”. Finalmente para continuar con la creación de la vista de perfil, se da click en el botón “Draw in profile view”, para abrir una nueva ventana denominada “Create Profile View” (figura 50).

Figura 49: Creación de perfil desde superficie.



En la sección “General” de la ventana “Create Profile View” se debe configurar lo siguiente: En la primera opción “Select Alignment”, se debe seleccionar el eje al cual se le va generar el perfil del terreno que es “\_LC\_H-W”, en la siguiente opción “Profile view name” asignar el nombre a la vista de perfil que es “PERFIL\_LC\_H-W”, en la cuarta opción “Profile view style” se establece el estilo personalizado “\_VISTA DE PERFIL”, después, dar click en el botón “Siguiente”. Ver figura 50.

Figura 50: Creación de vista de perfil (sección general).



En la sección “Station Range” de la ventana “Create Profile View”, se puede configurar el tramo de visualización de la vista de perfil en creación, en este caso se deja por defecto en “Automatic” para que se visualice el proyecto completo, a continuación, dar click en el botón “Siguiente”. Ver figura 51.

Figura 51: Creación de vista de perfil (sección intervalo de estaciones).

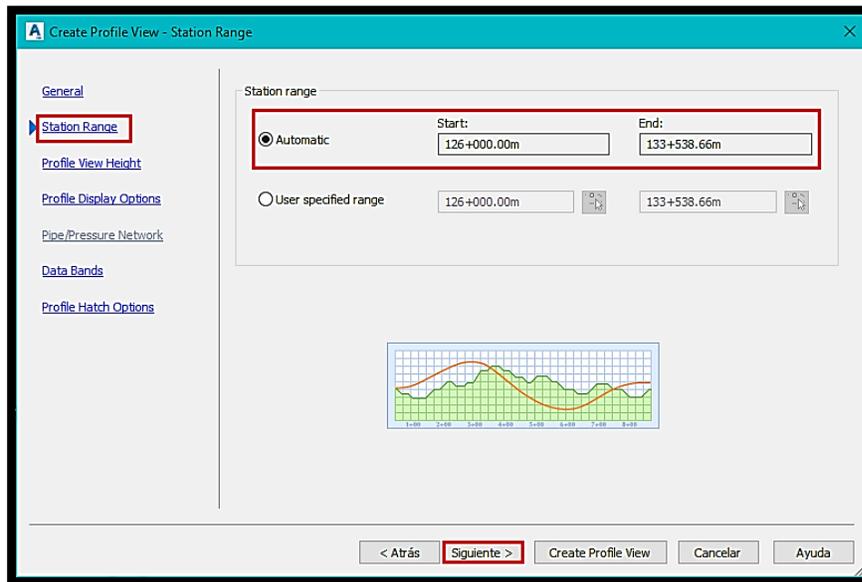
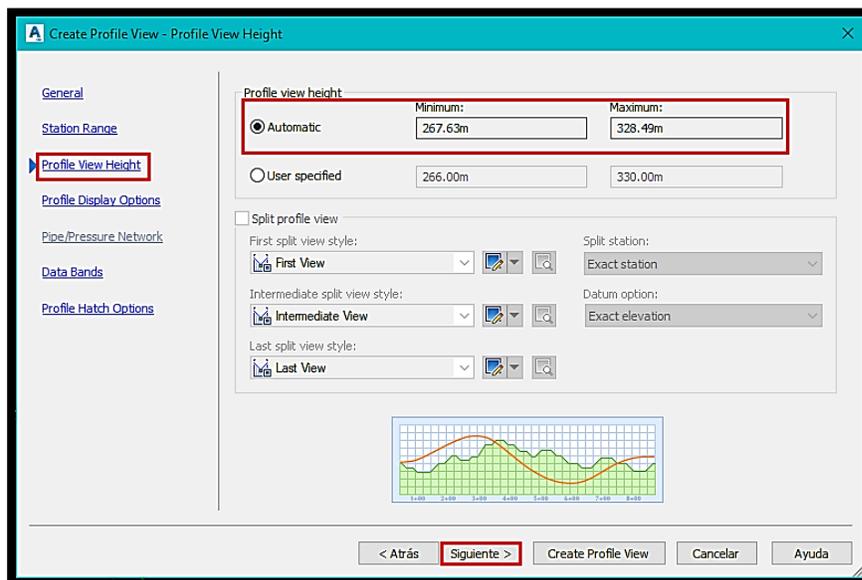


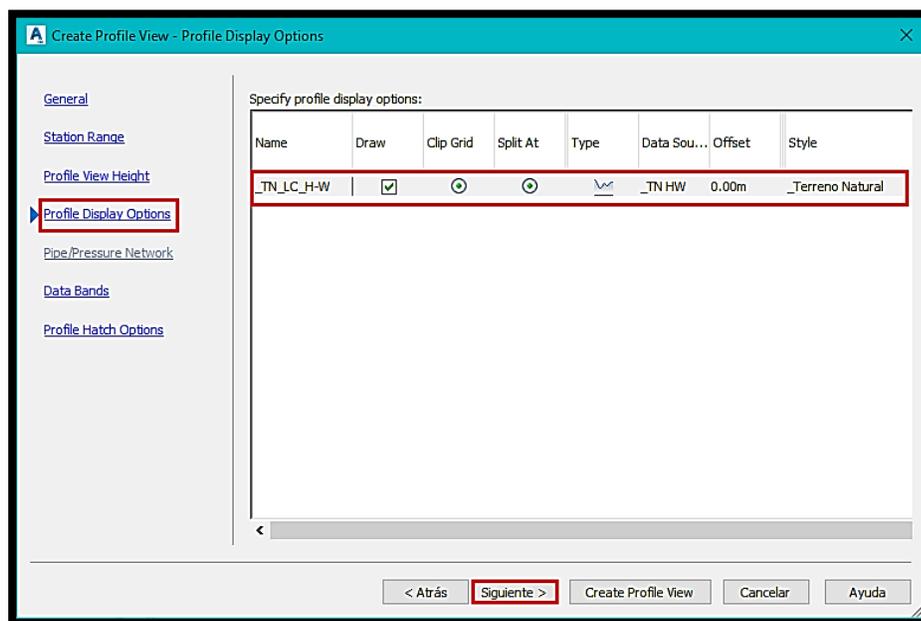
Figura 52: Creación de vista de perfil (sección altura de visualización del perfil).



En la sección “Profile View Height” de la ventana “Create Profile View”, se puede configurar el intervalo de elevaciones de referencia entre las cuales se dibujará la visualización de la vista de perfil en creación, en este caso se deja por defecto en “Automatic”, posteriormente, dar click en el botón “Siguiete”. Ver figura 52.

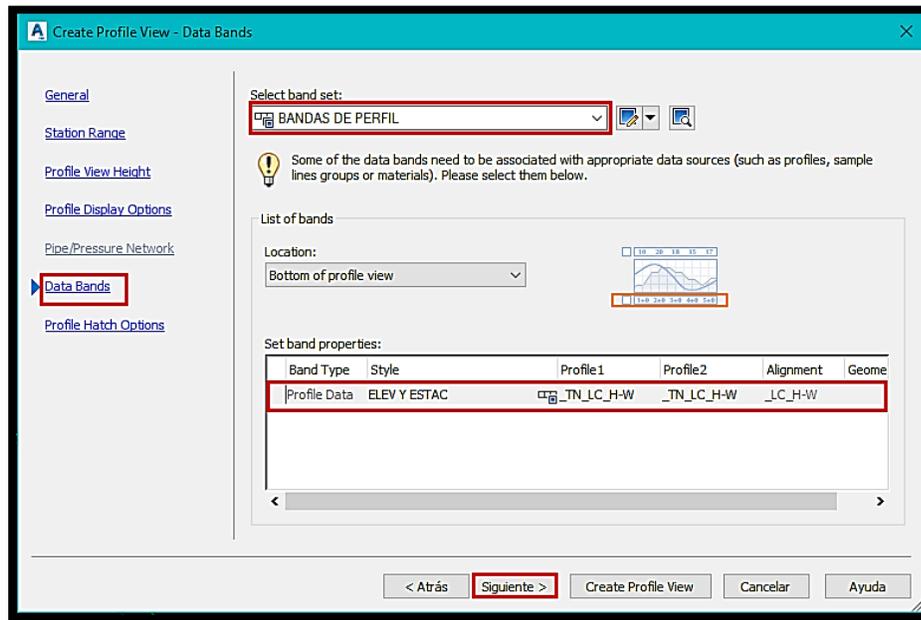
En la sección “Profile Display Options” de la ventana “Create Profile View”, se pueden configurar los estilos de visualización de los perfiles agregados (terreno y/o rasante), además de agregar etiquetas a cada perfil si así se requiere. Estos estilos y etiquetas han sido precargados previamente desde la plantilla personalizada por lo que no es necesario crearlos sino solo asignarlos, por último, dar click en el botón “Siguiete”. Ver figura 53.

Figura 53: Creación de vista de perfil (sección opciones de visualización del perfil).



En la sección “Data Bands” o conocida como “Guitarras” de la ventana “Create Profile View” es la sección principal de cualquier vista de perfil, pues permite agregar a la vista de perfil información importante como puede ser: cotas de terreno, cotas de rasante, datos principales de geometría de rasante, estaciones, vista de diagrama de peraltes, etc.

Figura 54: Creación de vista de perfil (sección bandas del perfil).



Para este proyecto en particular se asigna en la opción “Select band set”, el estilo personalizado “BANDAS DE PERFIL” que incluye etiquetas de estaciones, cotas de terreno y cotas de rasante; En la opción “Location” dejar por defecto “Bottom of profile view” ya que solo se utilizará banda en la parte inferior de la vista de perfil. En la opción “Set band properties” ya estaría configurado al haber sido asignado previamente “BANDAS DE PERFIL”, solo sería seleccionar el terreno natural para “Profile 1” y rasante (su creación se aborda más adelante) para “Profile 2”.

En la sección “Profile Hatch Options” se puede dar un estilo especial a la vista de perfil con ayuda de sombreados que permitan visualizar zonas de corte o relleno todo en base al perfil del terreno y la rasante proyectada. Por lo que se da un click en “Cut Area” y un click en “Fill Area” y se configura tal como se muestra en la figura 55. Finalmente, para crear la vista de perfil, dar click en el botón “Create Profile View” y picar en algún punto del espacio modelo para que aparezca la vista de perfil tal como se muestra en la figura 56 (tramo de 300 metros).

Figura 55: Creación de vista de perfil (sección opciones de sombreado del perfil).

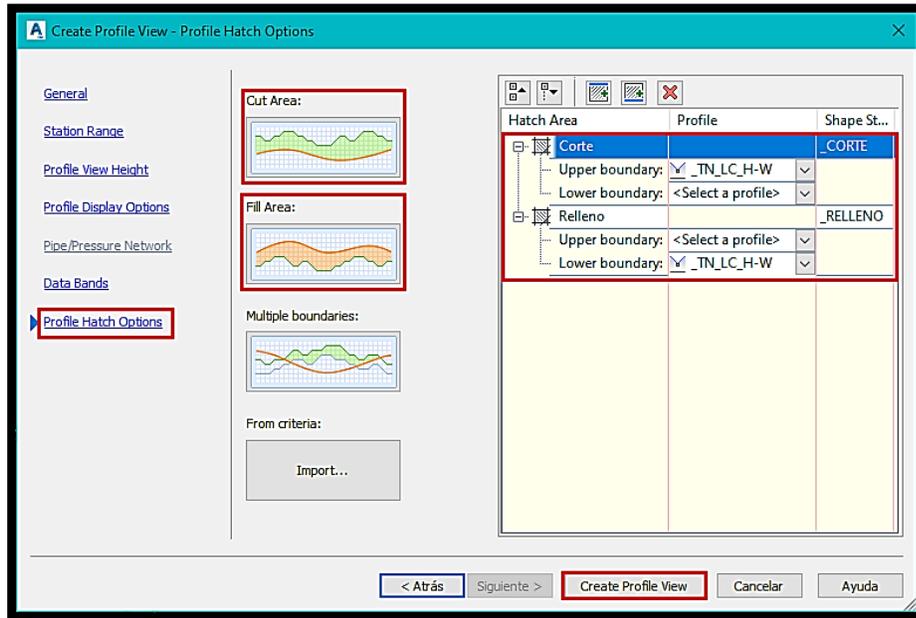
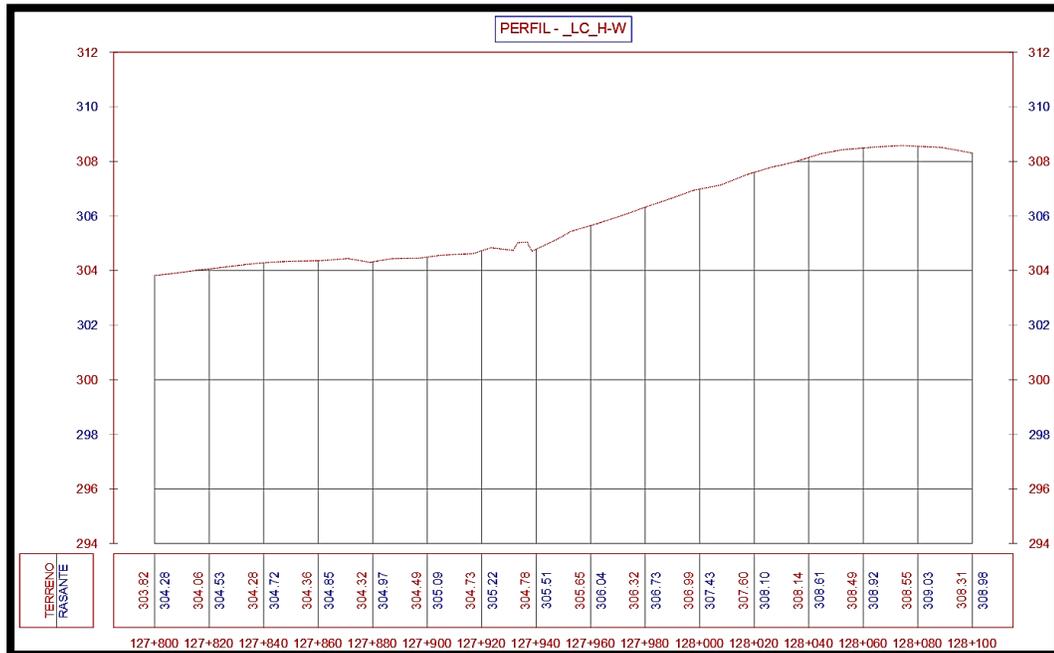


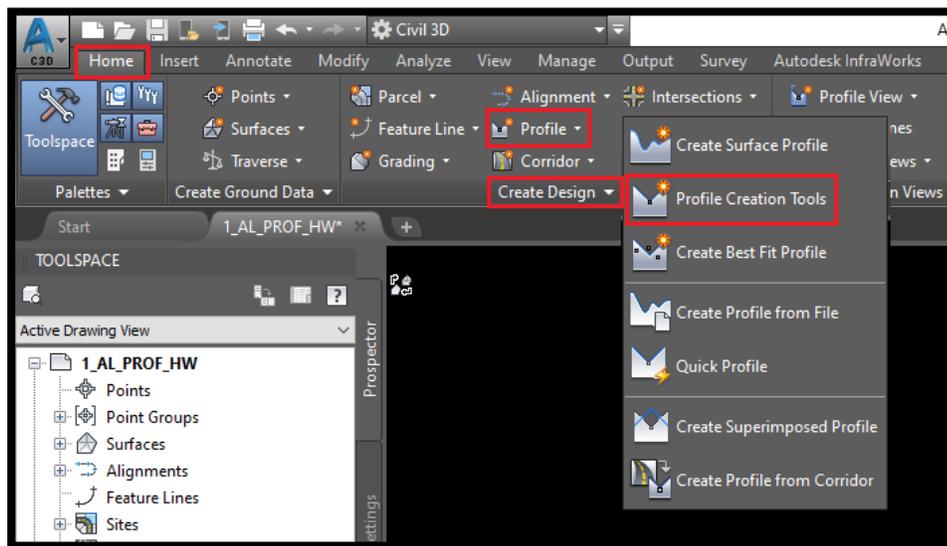
Figura 56: Vista de perfil (sin rasante).



## 5.5.2 Creación de rasante de diseño.

Una vez obtenida la vista de perfil longitudinal del terreno, se prosigue con el trazado de la rasante. Para crear este elemento, dirigirse al panel “Create Design” de la pestaña “Home”, click en el comando desplegable “Profile” y elegir la opción “Profile Creation Tools”, A continuación, se debe seleccionar la vista de perfil sobre la cual se va a agregar la rasante. Ver figura 57.

Figura 57: Herramientas de creación de perfil (rasante).



Enseguida aparece la ventana “Create Profile – Draw New” como se muestra en las figuras 58 y 59, donde ya estaría vinculado el eje de diseño en planta “\_LC\_H-W”. En la opción “Name” se asigna el nombre “RAS\_LC\_H-W”. En la pestaña “General” sólo se configuran las opciones “Profile style” y “Profile label set”, en la primera se asigna el estilo de visualización denominado “\_Rasante final” y en la segunda se elige el conjunto de etiquetas que se van a aplicar a la rasante denominado “ETIQUETAS DE PERFIL”.

Figura 58: Creación de perfil por composición, Pestaña “General”.

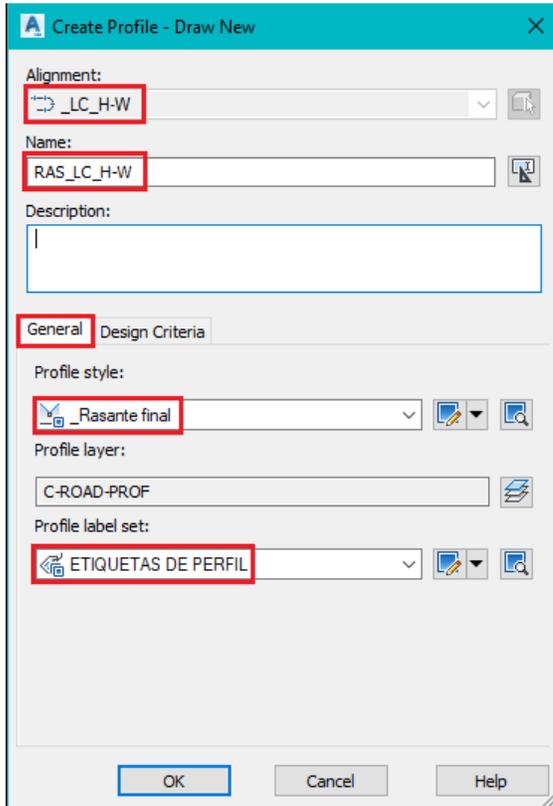
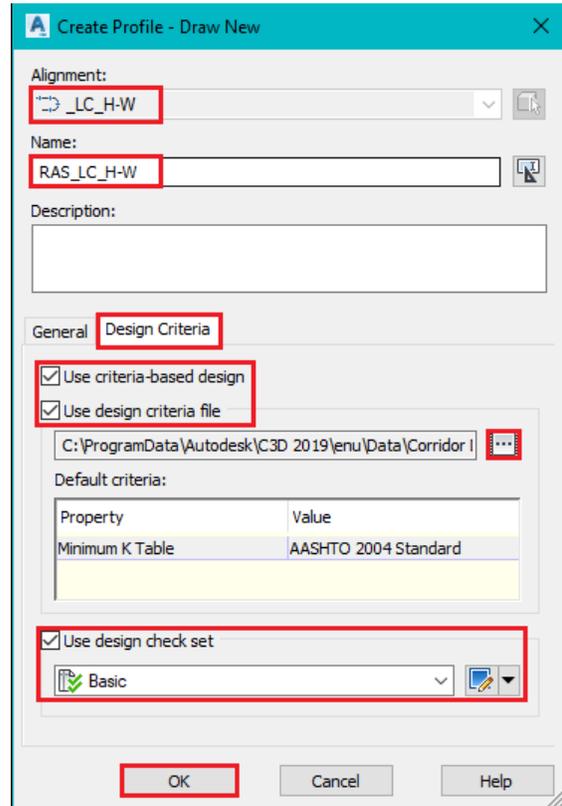


Figura 59: Creación de perfil por composición, Pestaña “Design Criteria”.



Así mismo se configura la pestaña “Design Criteria”. En esta parte se activan las opciones “Use criteria - based design” y “Use design criteria file” para poder seleccionar en el botón derecho con puntos la norma de diseño “Autodesk Civil 3D Metric (2004) Roadway Design Standards” que corresponde a la norma “A Policy On Geometric Design of Highways and Streets, AASHTO, 5th Edition”. También se debe marcar la cajita de la sección “Use design check set” y en el desplegable que se activa deja por defecto “Basic”. Por último se da click en “OK” y aparece la ventana flotante de las herramientas de creación de perfiles “Profile Layout Tools”.

Como primer paso y siendo el mismo opcional, se trazarán tangentes verticales que asimilen una posible rasante, desplegando la flecha junto al primer icono de la izquierda y eligiendo la opción resaltada en rojo de la figura 60, para luego añadir curvas verticales de acuerdo al Manual Centroamericano de Normas Para el

Diseño Geométrico de Carreteras con enfoque de Gestión de Riesgo y Seguridad Vial, SIECA, 3ª Edición, 2011 y al Manual Estadounidense, A Policy On Geometric Design of Highways and Streets, AASHTO, 5th Edition. 2004.

Figura 60: Herramientas de creación de perfiles (trazo sin curvas).

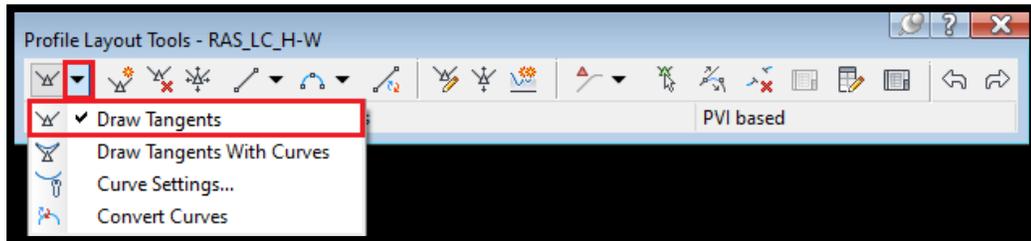
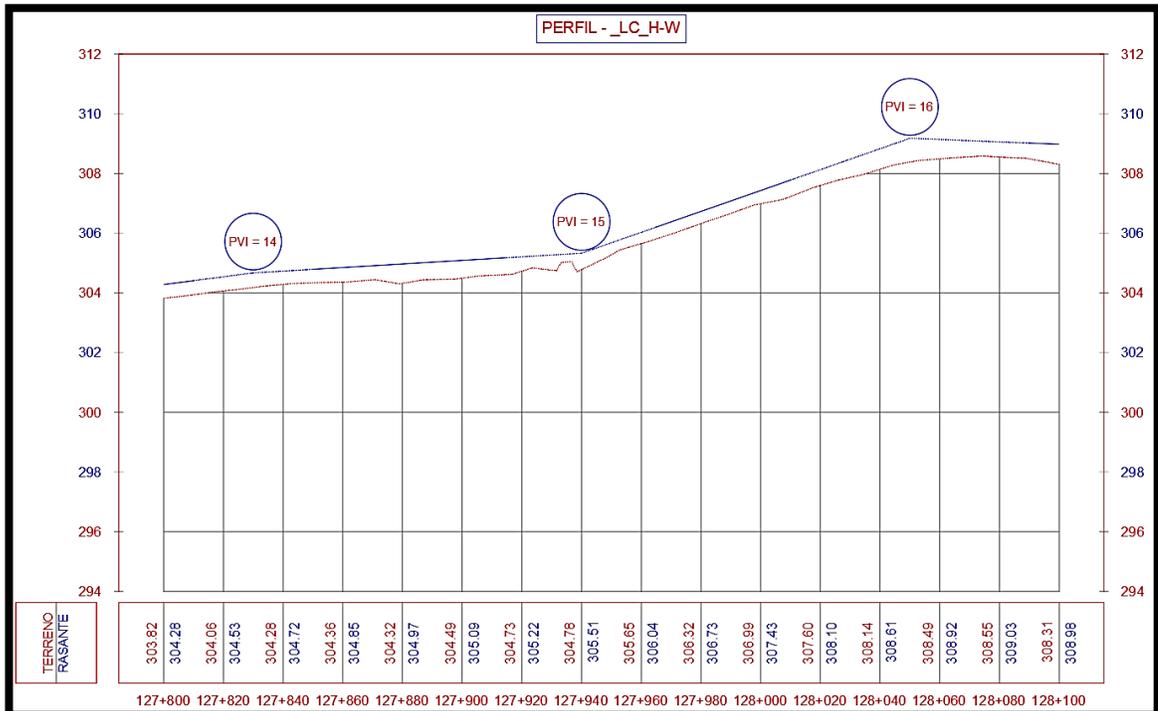


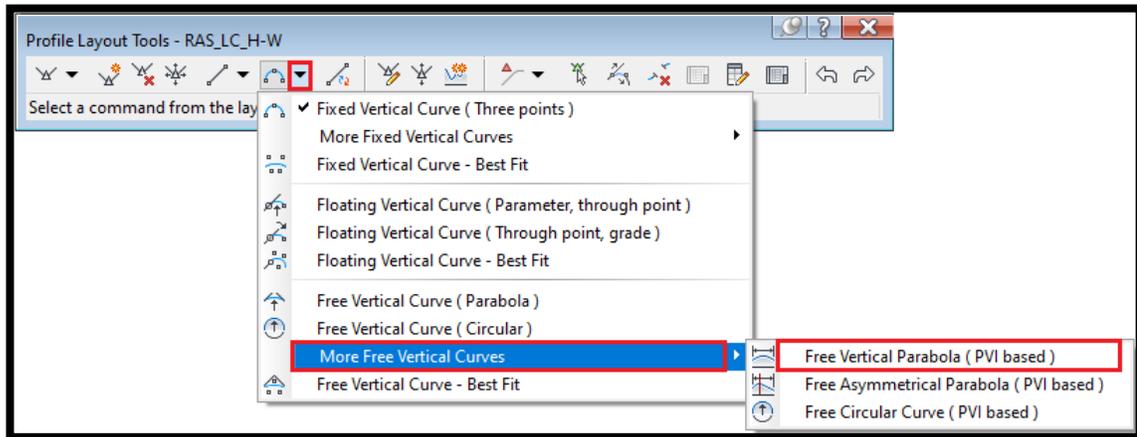
Figura 61: Vista de perfil (rasante sin curvas).



Al hacer click en la opción “Draw Tangents”, se pedirá especificar el punto inicial de la alineación vertical, que para este caso en particular, será el punto inicial del perfil de superficie, luego se va identificando una tentativa de rasante dando click en los puntos considerables de cambios de pendiente, hasta hacer coincidir la

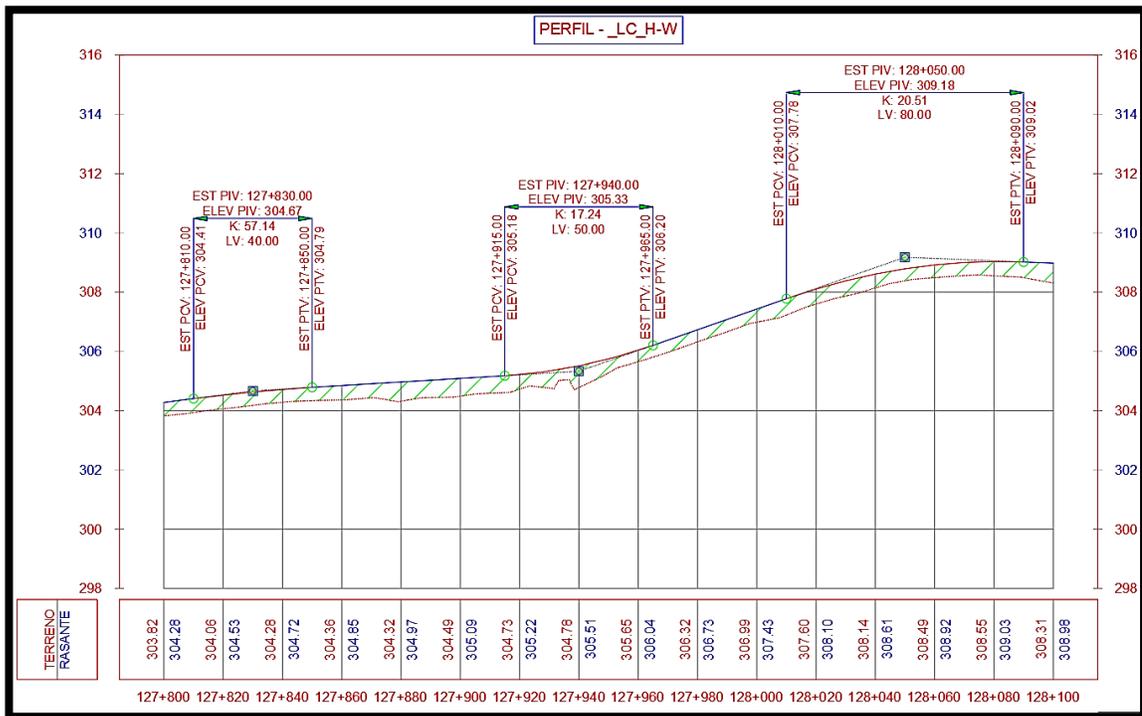
rasante con el final del perfil de superficie, quedando tal como se muestra en la figura 61 (tramo de 300 metros).

Figura 62: Herramientas de creación de perfiles (trazo con curvas).



Con las tangentes iniciales, se procede a insertar curvas verticales simétricas entre ellas, para ello se despliega el sexto icono de izquierda a derecha de la parte superior, luego expandir “More Free Vertical Curves”, y por ultimo click en la opción “Free Vertical Parabola (PVI based)”, tal como se muestra en la figura 62. Con esta opción se puede elegir entre tres formas de inserción de la curva (longitud de curva, punto de paso de curva y el valor numérico de K). Como ejemplo para insertar una curva de tipo cresta en el “PVI -14”, se da click cerca de dicho PVI, y dado que está activo la opción para insertar curva por longitud, solamente se teclea un valor de 40 metros. De igual forma, se insertan todas las curvas sin importar si es curva simétrica en cresta o curva simétrica en columpio en los restantes PVI’s. En la figura siguiente se muestra como queda la rasante final de un tramo de 300 metros.

Figura 63: Vista de perfil (rasante con curvas).



## 5.6 Obras lineales.

Las obras lineales o corredores son modelos tridimensionales que se crean a partir de la interacción de superficies, líneas características, alineamientos horizontales, alineamientos verticales y secciones típicas simples o compuestas (ensamblajes y sub ensamblajes). Se utilizan obras lineales para proyectar carreteras, intercambios viales e intersecciones, canales, vías férreas, túneles, etc.

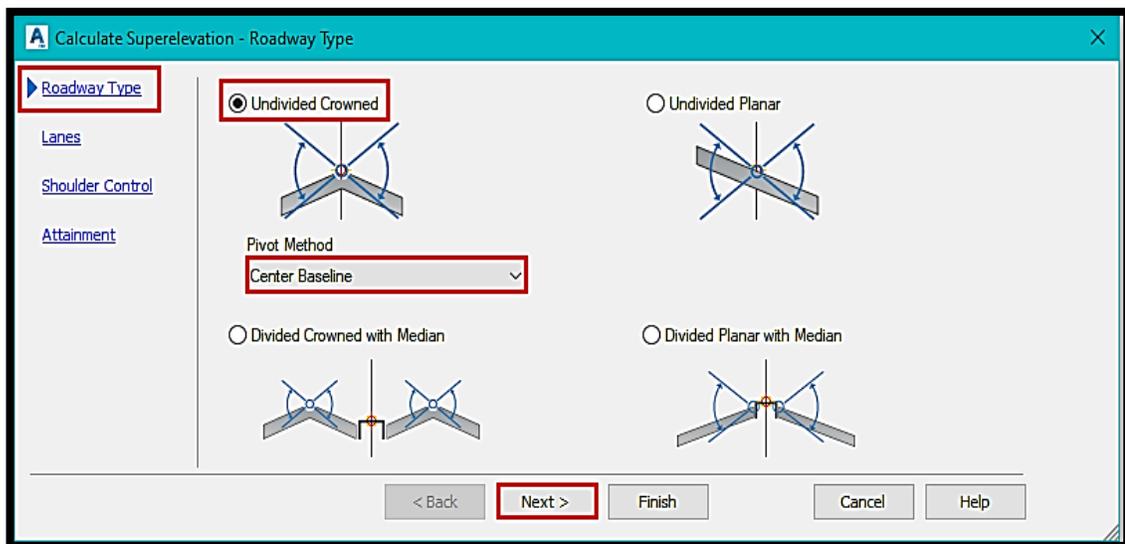
En este caso en particular se usarán corredores para crear el modelo tridimensional dinámico del proyecto vial objeto de estudio, donde se deberán incorporar elementos adicionales de diseño tales como peraltes, sobrecanchos, derecho de vía, obras de drenaje longitudinal (cunetas), banquetas de estabilidad.

### 5.6.1 Bombeos y peraltes.

Para calcular y configurar el peralte y bombeo en AutoCAD Civil 3D se selecciona el eje central en planta (alineamiento horizontal), para este caso “\_LC\_H-W”, luego en los botones de grupo se despliega el icono “Superelevation” y click en “Calculate/Edit Superelevation”, y aparecerá la ventana emergente “Edit Superelevation – No Data Exists” que tiene dos opciones, pero al dar click en la primera de la lista “Calculate superelevation now”, se tendrá la ventana del cálculo de los peraltes “Calculate Superelevation – Roadway Type”, donde harán configuraciones en las secciones “Roadway Type”, “Lanes”, “Shoulder Control” y “Attainment”.

En la sección “Roadway Type” se debe escoger una vía de una sola calzada, dando click en “Undivided Crowned” y seleccionar en “Pivot Method” la opción “Center Baseline”, posteriormente dar en “Next”. Ver figura 64.

Figura 64: Cálculo de peralte (sección tipo de carretera).



En la sección “Lanes” se define el ancho normal de la calzada y bombeo. Dado que hay simetría a ambos lados del eje en planta se marcará la opción “Symmetric Roadway” para definir solo valores al lado derecho. Entonces en la opción “Normal

lane width” se digita 3.30 metros y en la opción “Normal lane slope” un valor de 3% negativo, después solo dar en “Next”. tal como se muestra en la figura 65.

Figura 65: Cálculo de peralte (sección carriles).

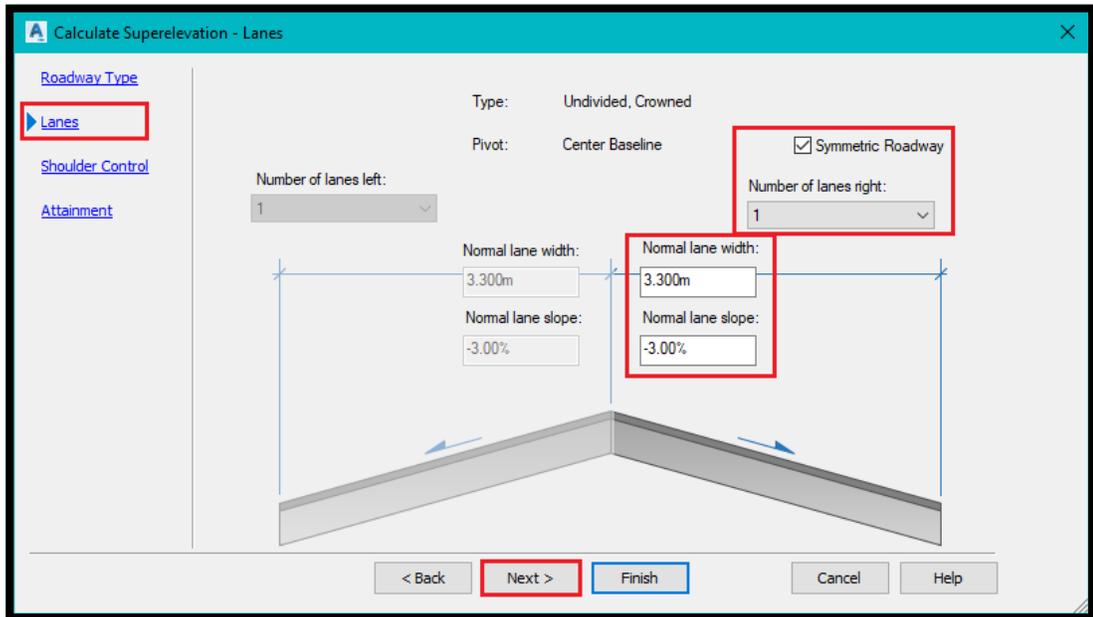
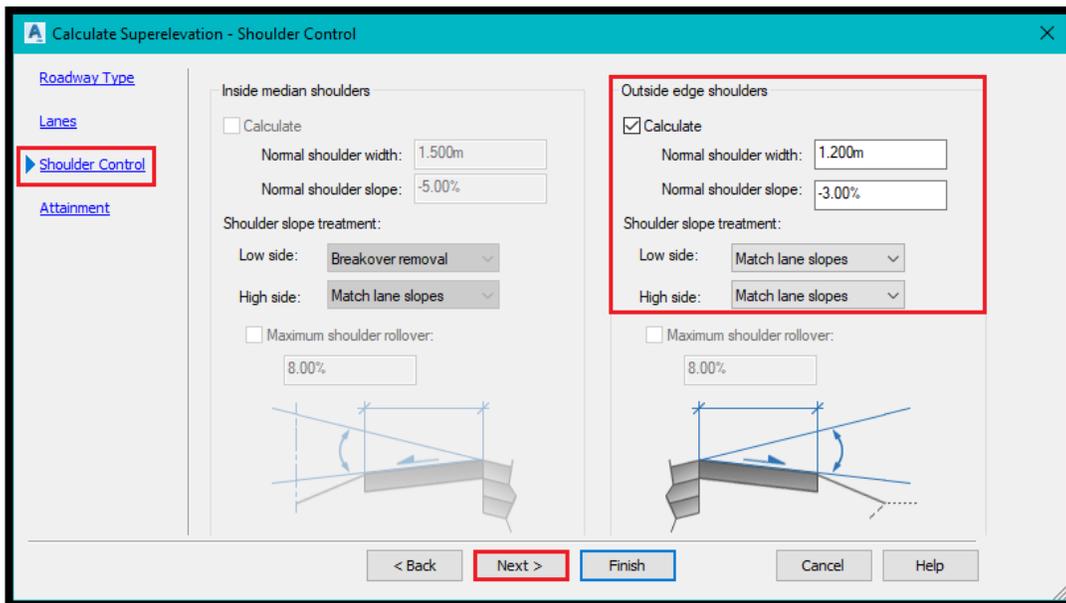


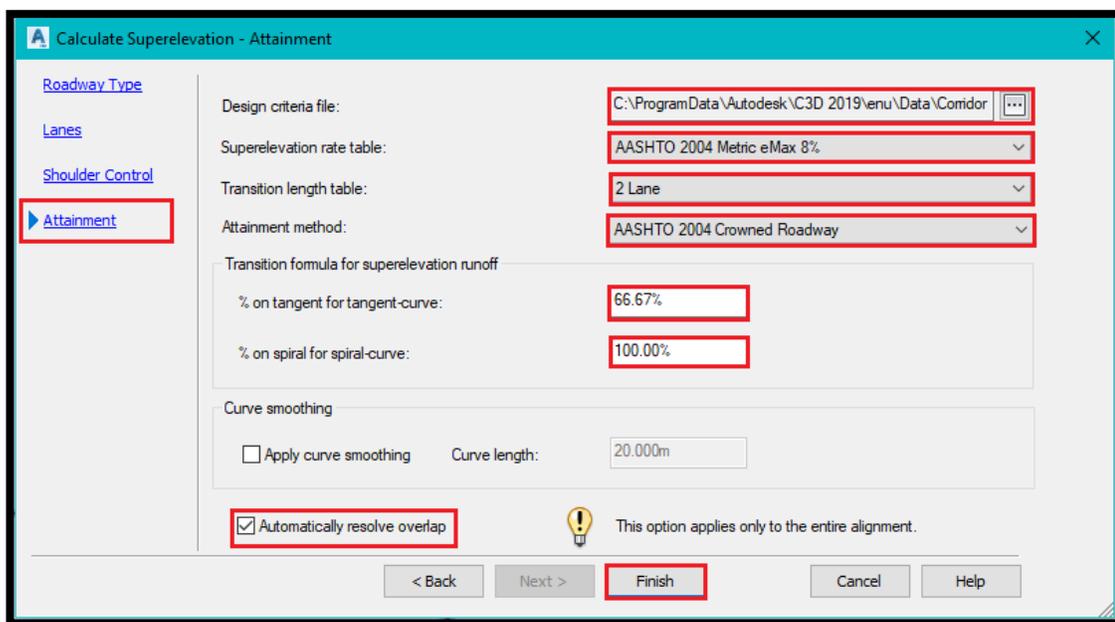
Figura 66: Cálculo de peralte (sección control de hombros).



En la sección “Shoulder control” se define el ancho del hombro externo y su bombeo. Por lo que se debe marcar la opción “Calculate” para habilitar la entrada de datos y definir en la opción “Normal shoulder width” un valor de 1.20 metros y en la opción “Normal shoulder slope” un valor de 3% negativo, en seguida dar click en “Next”. tal como se muestra en la figura 66.

En la sección “Attainment” se define la normativa de cálculo, peralte máximo y porcentajes de transición del peralte según el tipo de curva horizontal. Por tanto, en la opción “Design criteria file” se recomienda escoger la norma de diseño “Autodesk Civil 3D Metric (2004) Roadway Design Standards” que corresponde al manual “A Policy On Geometric Design of Highways and Streets, AASHTO, 5th Edition” y en base a esta misma hacerle ciertos ajustes y llevarlos a parámetros del Manual Centroamericano de Normas Para el Diseño Geométrico de Carreteras con enfoque de Gestión de Riesgo y Seguridad Vial, SIECA, 3ª Edición, 2011.

Figura 67: Cálculo de peralte (sección definición de peraltes).



En las opciones “Superelevation rate table” y “Transition length table” se deben elegir un peralte máximo de 8% y 2 carriles respectivamente.

Para indicar al programa que el peralte en la entrada y salida de las curvas circulares simples se desarrolle 2/3 sobre la tangente y 1/3 sobre la curva se debe introducir un valor 2/3 en la opción “% on tangent for tangent - curve”. De manera similar para que se aplique el 100 % de la transición del peralte sobre la espiral tanto de entrada como de la salida se tiene que digitar un valor de 1 en la opción “% on spiral for spiral - curve”.

Figura 68: Reporte de peraltes y longitudes de transición.

Superelevation Curve	Start Station	End Station	Length	Left Outside Shoulder	Left Outside Lane	Right Outside Lane	Right Outside Shoulder
Curve.7							
Transition In Region	126+113.59m	126+160.59m	47.000m				
Runout	126+113.59m	126+128.59m	15.000m				
End Normal Shoulder	126+113.59m			-3.00%	-3.00%	-3.00%	-3.00%
End Normal Crown	126+113.59m			-3.00%	-3.00%	-3.00%	-3.00%
Level Crown	126+128.59m			0.00%	0.00%	-3.00%	-3.00%
Runoff	126+128.59m	126+160.59m	32.000m				
Level Crown	126+128.59m			0.00%	0.00%	-3.00%	-3.00%
Reverse Crown	126+143.59m			3.00%	3.00%	-3.00%	-3.00%
Begin Curve	126+149.93m						
Begin Full Super	126+160.59m			6.40%	6.40%	-6.40%	-6.40%
Transition Out Region	126+273.79m	126+320.79m	47.000m				
Runoff	126+273.79m	126+305.79m	32.000m				
End Full Super	126+273.79m			6.40%	6.40%	-6.40%	-6.40%
End Curve	126+284.47m						
Reverse Crown	126+290.79m			3.00%	3.00%	-3.00%	-3.00%
Level Crown	126+305.79m			0.00%	0.00%	-3.00%	-3.00%
Runout	126+305.79m	126+320.79m	15.000m				
Level Crown	126+305.79m			0.00%	0.00%	-3.00%	-3.00%
Begin Normal Crown	126+320.79m			-3.00%	-3.00%	-3.00%	-3.00%

### 5.6.2 Offsets y sobrecanchos.

El término offset o también conocido como “desfase de alineación”, se empleará principalmente para definir un ancho fijo de alineación horizontal, a un lado del eje de la vía proyectada. Dichos desfases son capaces de acoplarse a la geometría a la geometría horizontal que sigue la alineación en todo su recorrido o en parte del mismo si se decidiera sectorizarlo.

En este proyecto en particular se crearán Offsets teniendo en cuenta el ancho total de la calzada (6.60 metros, con 3.30 metros de desfase incremental a cada lado). Además, para todos los tramos en curva o espiral será necesario agregar un

sobreancho para poder compensar el ancho adicional requerido por los vehículos que le permitan maniobrar de manera adecuada.

Para esto se debe ir al panel “Create Design” de la pestaña “Home”, click en el comando desplegable “Alignment” y seleccionar la opción “Create Offset Alignment” tal como se muestra en la figura 69. A continuación, se debe seleccionar el eje “\_LC\_H-W” que es al cual se le va generar los desfases.

Posteriormente a las acciones ejecutadas anteriormente, se visualizará la ventana “Create Offset Alignments”. donde se deben configurar las pestañas “General” y “Widening criteria”.

Figura 69: Herramienta de creación de alineamientos desfase.

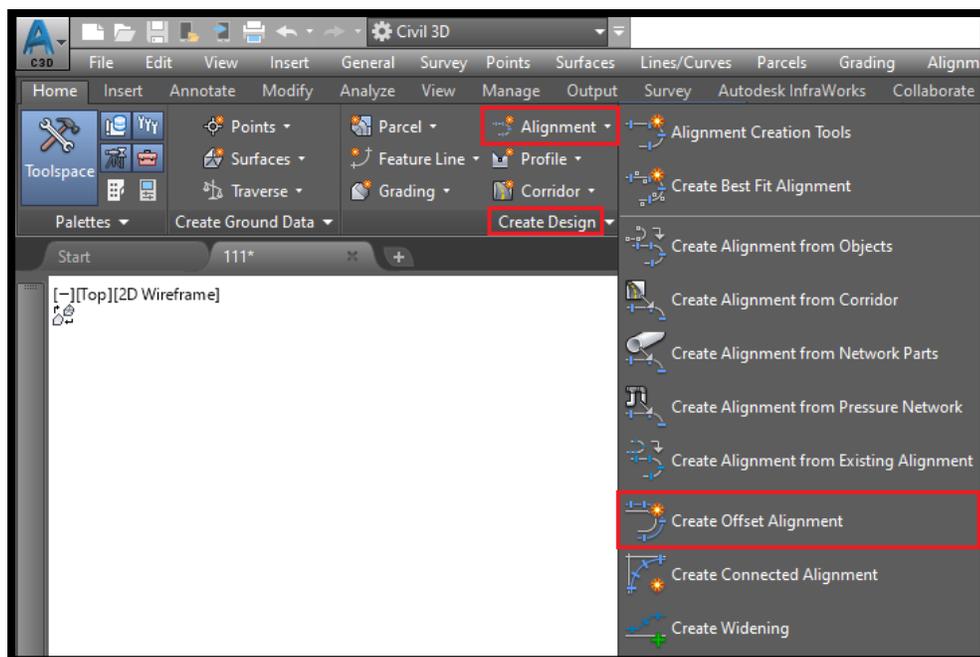
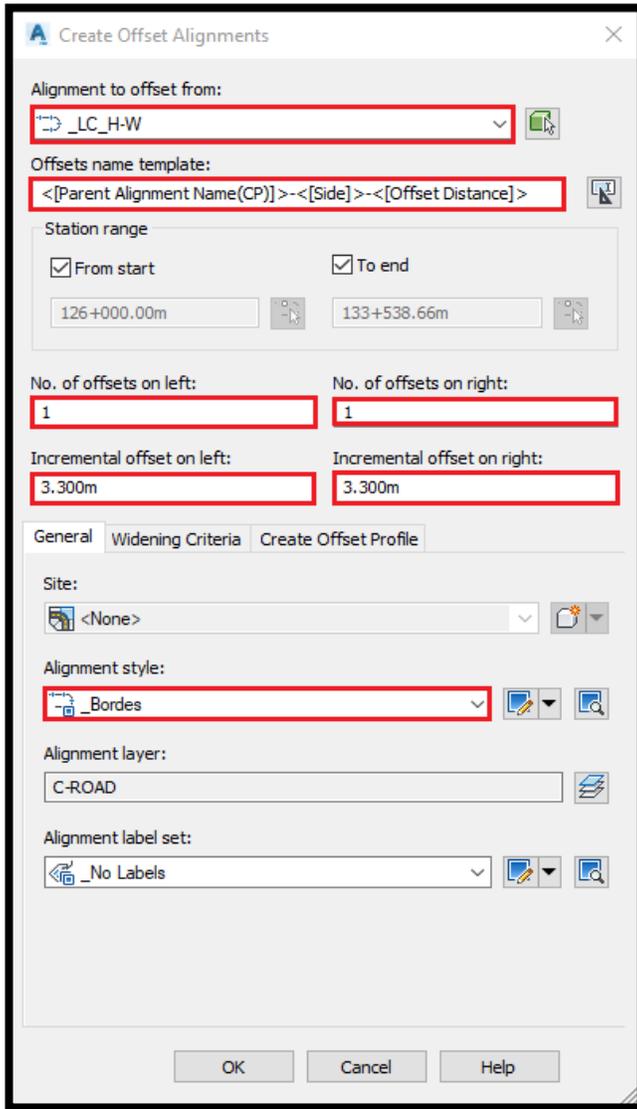


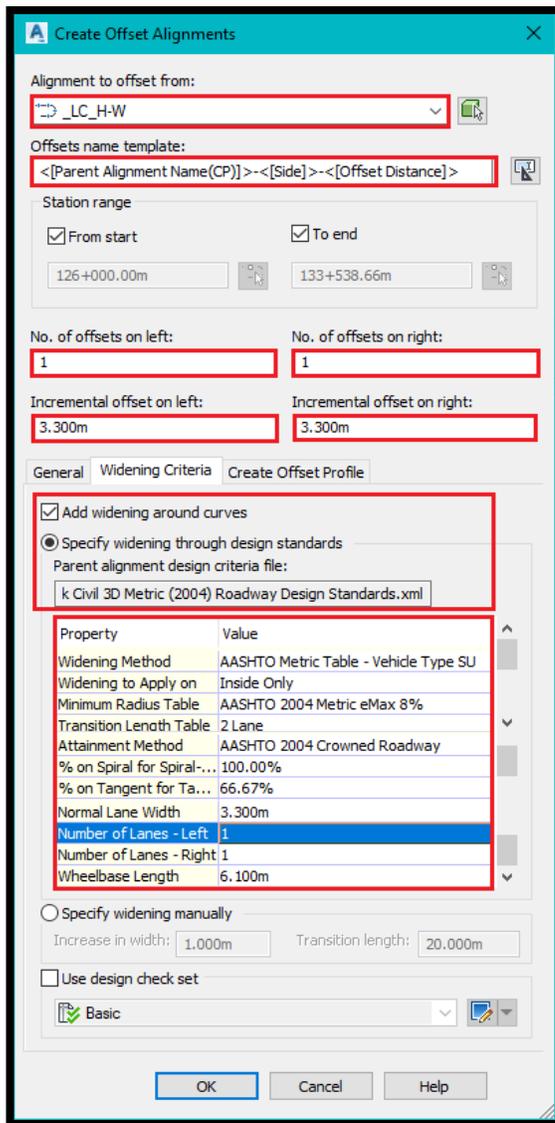
Figura 70: Creación de alineamientos de desfase, pestaña “General”.



En la opción “Alignment to offset from” se elige el eje de diseño “\_LC\_H-W” desde el cual se van a vincular los desfases a ser creados. Mientras que la opción “Offsets name template” se deja por defecto los nombres que asigna el programa a los desfases izquierdo y derecho. En las opciones “No. of offsets on left” y “No. of offsets on right” se debe indicar que es un solo carril a cada lado del eje por lo que se digita “1” en ambas opciones. De manera similar se indica el ancho de ambos carriles al introducir un valor de 3.30 metros en las opciones “Incremental offset on left” e “Incremental offset on right”.

En la opción “Alignment style” de la pestaña general se asigna el estilo “\_Bordes”, mientras que en la pestaña “Widening Criteria” es donde se indica al software que agregue sobrecanchos en las curvas circulares simples y curvas circulares con espirales si fuese necesario acorde la normativa seleccionada.

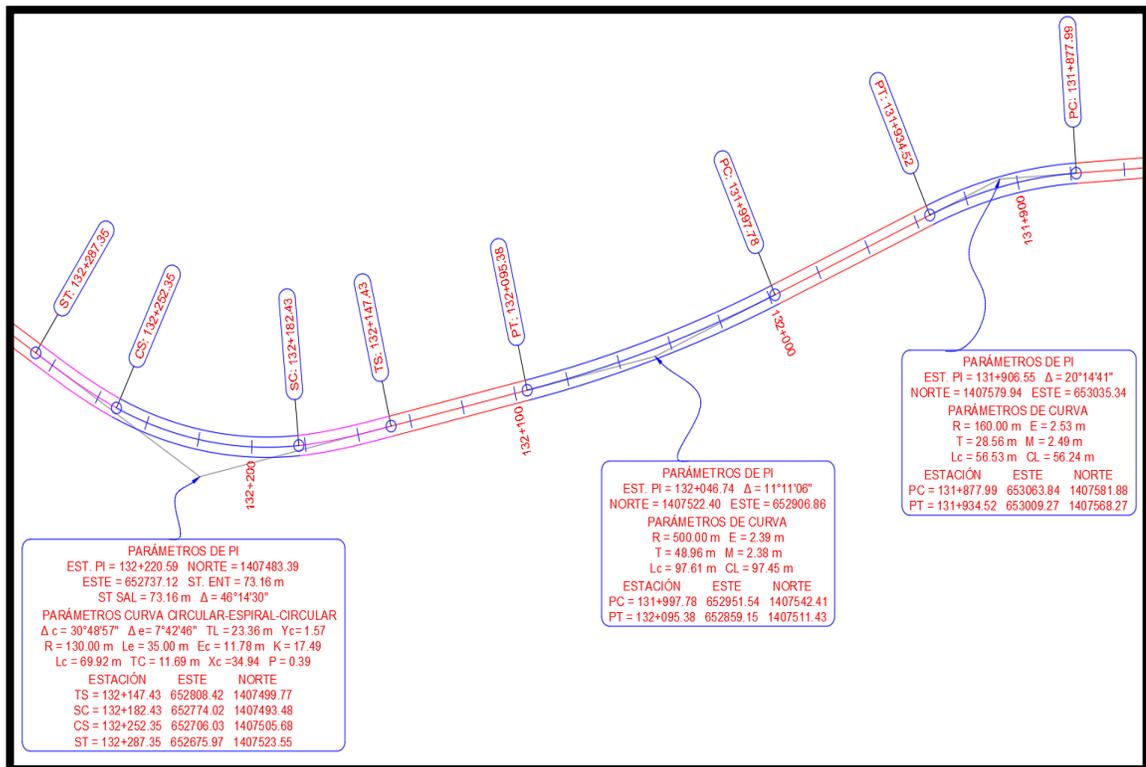
Figura 71: Creación de alineamientos de desfase, pestaña “Widening Criteria”.



Para esto será necesario activar la opción “Add Widening around curves” y configurar las opciones tal como sigue: En la opción “Widening Method” se especifica el vehículo de diseño que en este caso es el SU (C2), en “Widening to Apply on” se especifica el lado de la curva donde se aplicará el sobrecosto que es solamente en la parte interior, en “Minimum Radius Table” se asigna la tabla de radios mínimos para un peralte máximo de 8%, en “Transition Length Table” se asignan dos carriles, en “Attainment Method” se asigna la norma de cálculo de peraltes. En las opciones “% on tangent for tangent - curve” y “% on spiral for spiral - curve” asignar 2/3 y 1 respectivamente. En “Normal Lane Width” un ancho de carril de 3.30 metros.

En las opciones “Number of Lanes - Left” y “Number of Lanes - Right” digitar un carril por sentido y en la opción “Wheelbase Length” que es la distancia entre las ruedas delanteras y traseras del vehículo de diseño, un valor de 6.10 metros. Por ultimo dar click en el botón “Ok” y se visualizarán los desfases en el modelo.

Figura 72: Alineamiento horizontal principal y sus desfases.

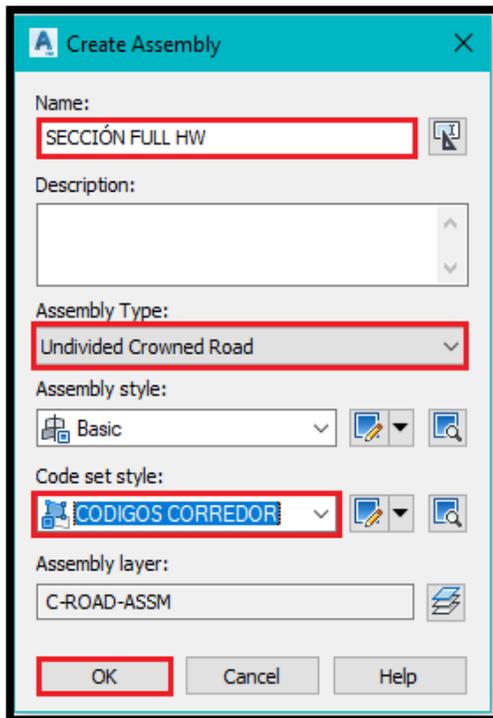


### 5.6.3 Ensamblajes de secciones para carreteras.

Un ensamblaje es un objeto de dibujo de Civil 3D que administra un conjunto de sub ensamblajes que interactuando juntos logran formar una estructura básica en 3D para el modelamiento de una obra lineal. La definición de ensamblaje y sub ensamblaje asemeja la adopción de secciones típicas a lo largo de una obra lineal por tramos o en su totalidad.

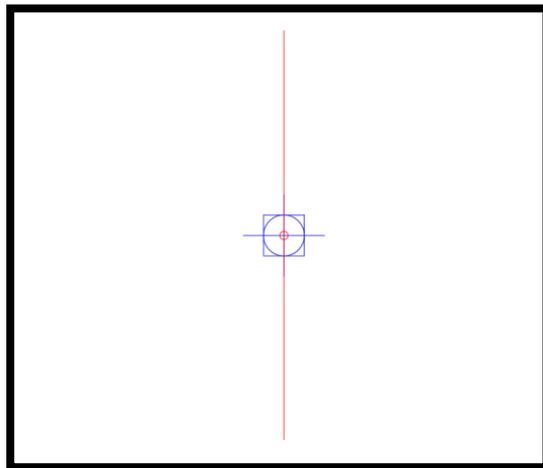
Para crear el ensamblaje, dirigirse al panel "Create Design" de la pestaña "Home", click en el comando desplegable "Assembly" y seleccionar la opción "Create Assembly".

Figura 73: Creación de ensamblajes.



Se inicia la ventana “Create Assembly, en donde se realizan las siguientes configuraciones: En la opción “Name” digitamos el nombre de la sección típica “SECCION FULL HW”, en la opción “Assembly Type” indicamos que es una vía de una sola calzada escogiendo “Undivided Crowned Road”, en opción “Code set style” se selecciona el estilo CODIGOS CORREDOR. Se finaliza dando click en “OK” y picando en un punto en el espacio de trabajo se inserta la línea base del ensamblaje. Ver figura 74.

Figura 74: Creación de ensamblajes.



Una vez creado el ensamblaje, se deben agregar los sub ensamblajes (carriles y bermas con su estructura de pavimento, cunetas, taludes de corte y relleno, entre otros elementos de acuerdo al tipo de proyecto) para completar la creación de la sección de diseño o sección típica. Para agregarlos se digita “Ctrl + 3” y se

despliega la barra flotante “Subassembly Tool Palettes”, que posee diferentes ensamblajes, sub ensamblajes y objetos para crear secciones compuestas y que están distribuidas en varias pestañas tal como se muestra en la figura 75.

En la paleta e herramientas, se da click en la pestaña “Lanes”, elegir la opción “LaneSuperelevationAOR”, y aparecerá la ventana de edición de propiedades del sub ensamblaje que se configura como se muestra en la figura 76, enseguida se selecciona el centro del eje del ensamblaje, para finalmente poder visualizar el carril derecho con ancho de 3.30 metros, bombeo del 3%, espesor de pavimento asfáltico de 6 cm, espesor de base de 15 cm y espesor de sub base de 20 cm.

Figura 75: Paleta de creación de sub-ensamblajes.

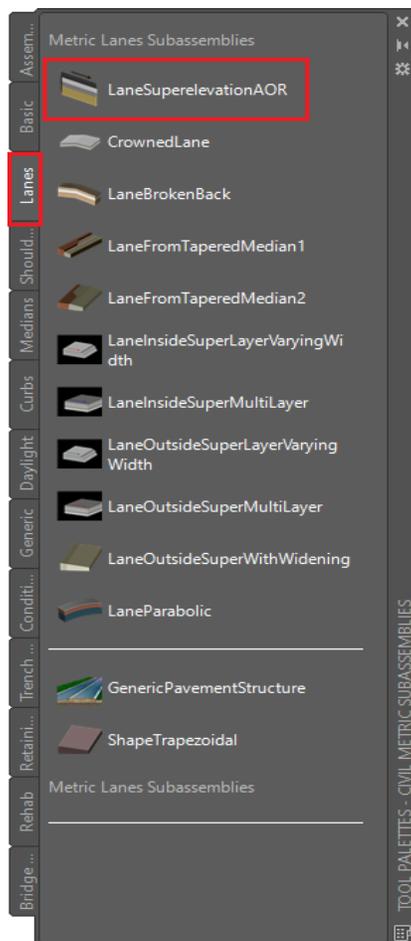
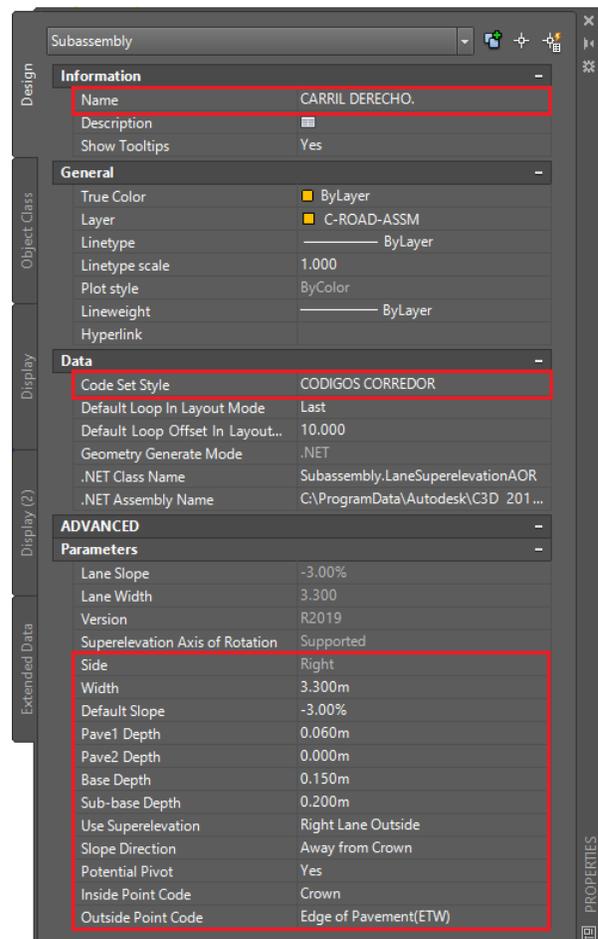


Figura 76: Ventana propiedades “CARRIL DERECHO”.



Debido a que la inclinación de los taludes en cada una de las capas de la berma (pavimento, base, sub base y terracería mejorada) son diferentes, se utilizará la primera opción de la pestaña “Shoulders” denominada “ShoulderExtendAll”, por cada capa de la berma derecha. Una vez que se tenga configurado el sub ensamblaje de la capa pavimento del hombro (figura 77), se selecciona el punto superior derecho de la capa pavimento del carril. De igual manera para hacer la inserción del sub ensamblaje de la capa base del hombro (figura 78), dar click en el punto superior derecho de la capa base del carril. Para insertar las dos capas restantes (figuras 79 y 80) se procede de forma similar.

Figura 77: Ventana propiedades “HOMBRO DERECHO”.

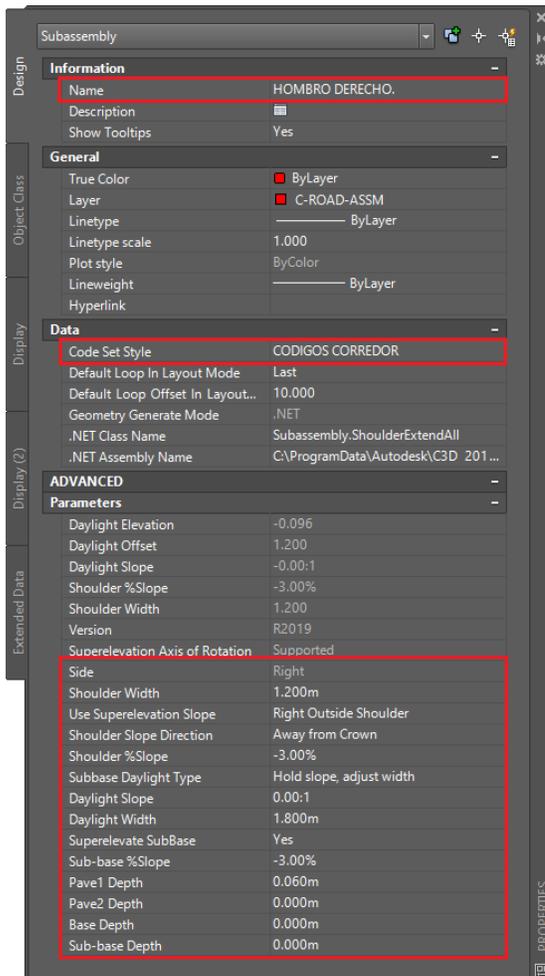


Figura 78: Ventana propiedades “CUÑA BASE DERECHA”.

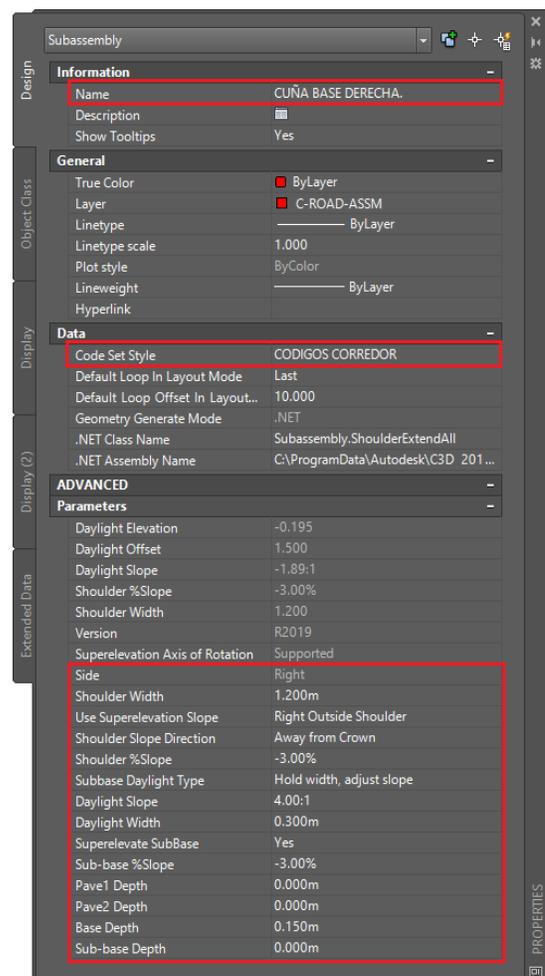


Figura 79: Ventana propiedades “CUÑA SUB BASE DERECHA”.

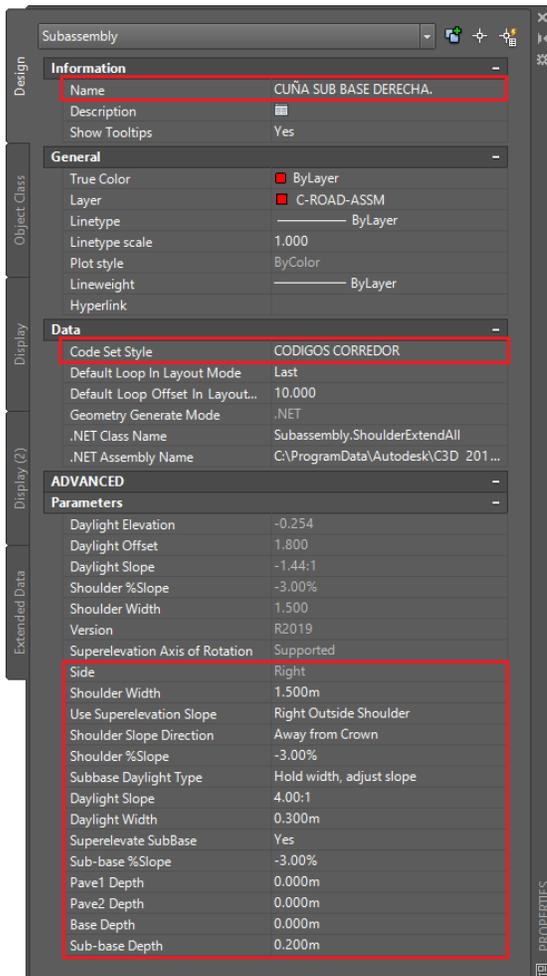
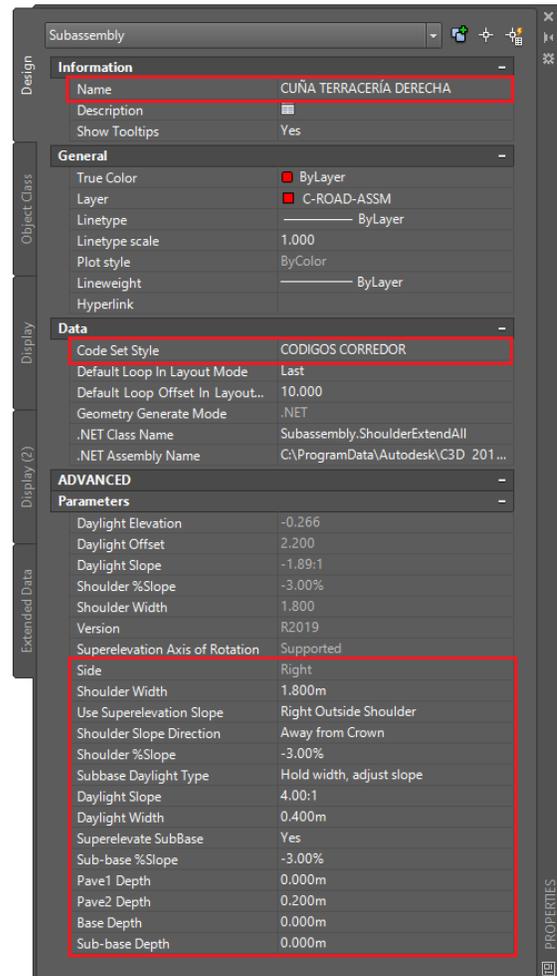


Figura 80: Ventana propiedades “CUÑA TERRACERÍA DERECHA”.



Después de crear el carril derecho y la berma derecha se deben insertar 4 condiciones de relleno al lado derecho de esta última. Dichas condiciones se configuran, dependiendo de la altura del terraplén (ver figuras 81, 82, 83 y 84) y solamente una condición de corte al lado derecho (figura 85) para cualquier talud en desmonte. Para hacer la inserción de cualquiera de estas condiciones, ir a la ventana “Subassembly Tool Palettes”, abrir la pestaña “Conditional” y seleccionar la opción “ConditionalCutOrFill” para que aparezcan las propiedades del sub ensamblaje, que una vez configuradas se debe dar click en el punto inferior derecho de la capa terracería mejorada de la berma.

Figura 81: Ventana propiedades “CONDICIÓN RELLENO 1”.

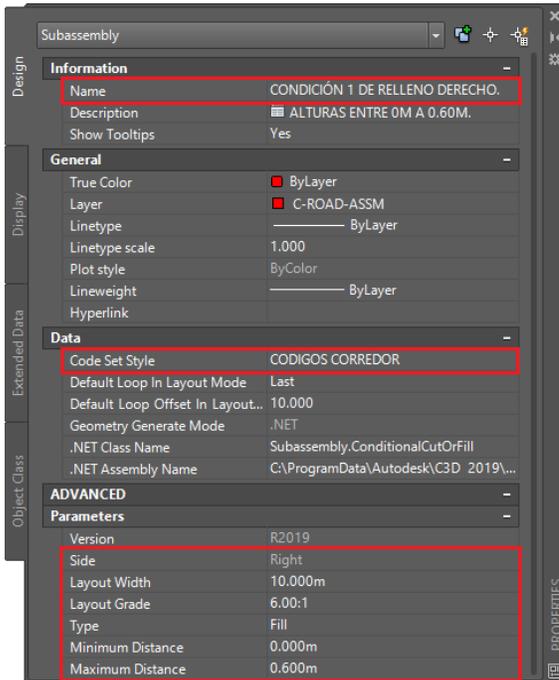


Figura 82: Ventana propiedades “CONDICIÓN RELLENO 2”.

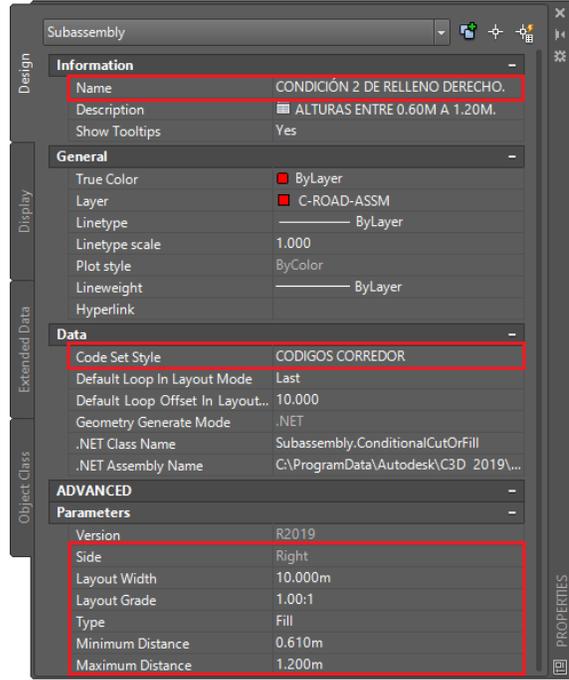


Figura 83: Ventana propiedades “CONDICIÓN RELLENO 3”.

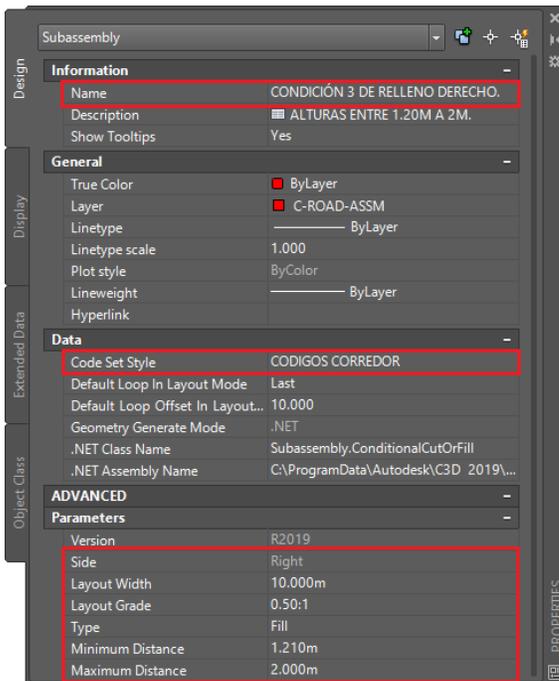


Figura 84: Ventana propiedades “CONDICIÓN RELLENO 4”.

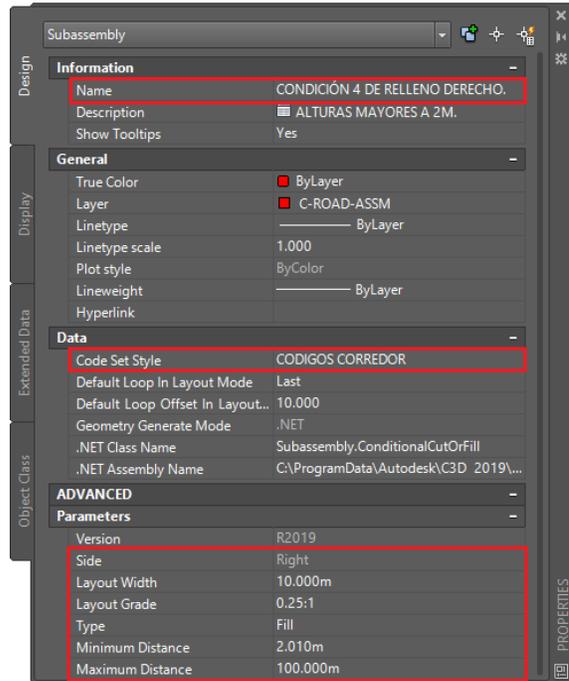


Figura 85: Ventana propiedades  
“CONDICIÓN CORTE”.

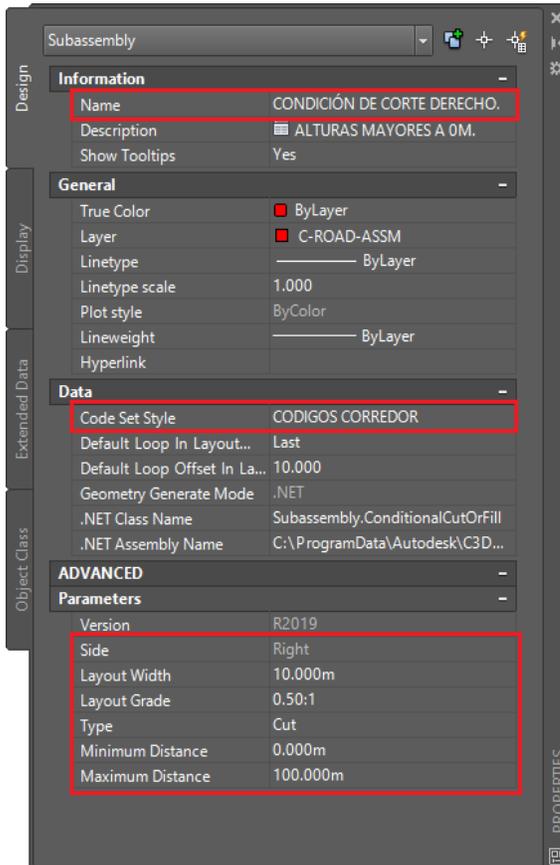
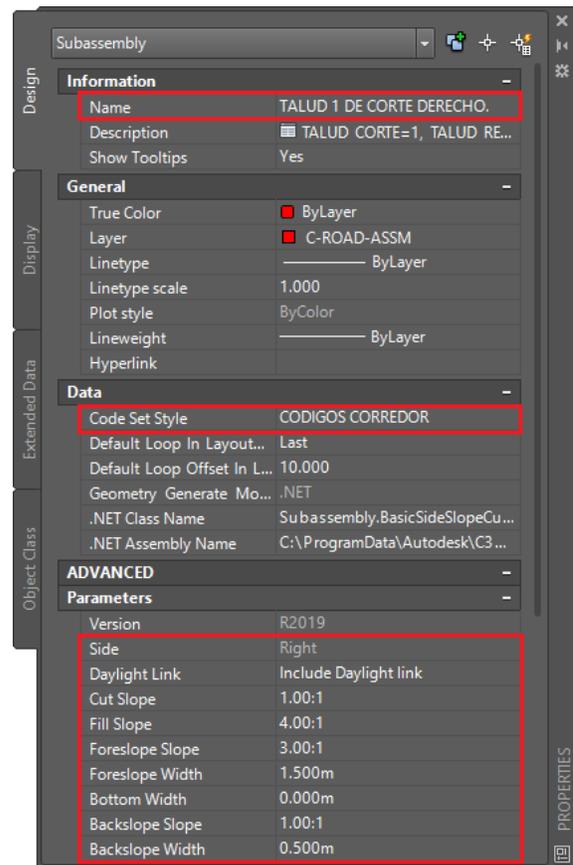


Figura 86: Ventana propiedades  
“TALUD DE CORTE”.



Para adicionar los cuatro taludes de relleno al lado derecho se utilizará la octava opción de la pestaña “Basic” denominada “BasicSideSlopeCutDitch”. Al picar en esta opción aparecerán las propiedades del sub ensamblaje a configurar tal como se observa en las figuras 87, 88, 89 y 90. Por último para visualizar cada uno de estos elementos se debe dar click en el punto superior de la condición de relleno derecha correspondiente al talud que se desea insertar. De manera similar se procede con la configuración e inserción del talud de corte derecho que incluye una cuneta triangular (ver figura 86), al dar un click en el punto superior de la única condición de corte derecha.

Figura 87: Ventana propiedades “TALUD DE RELLENO 1”.

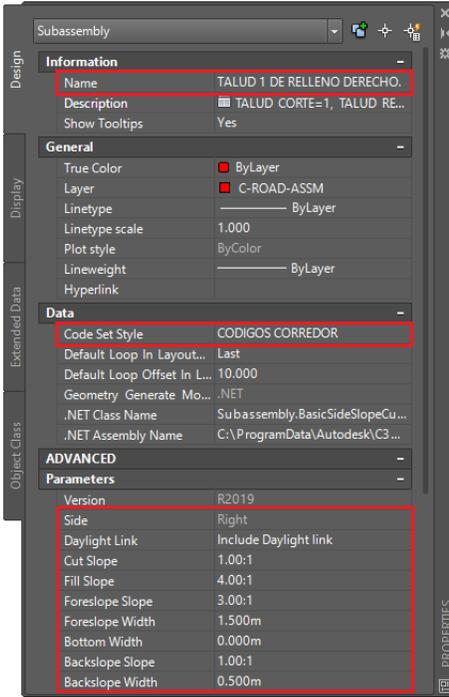


Figura 88: Ventana propiedades “TALUD DE RELLENO 2”.

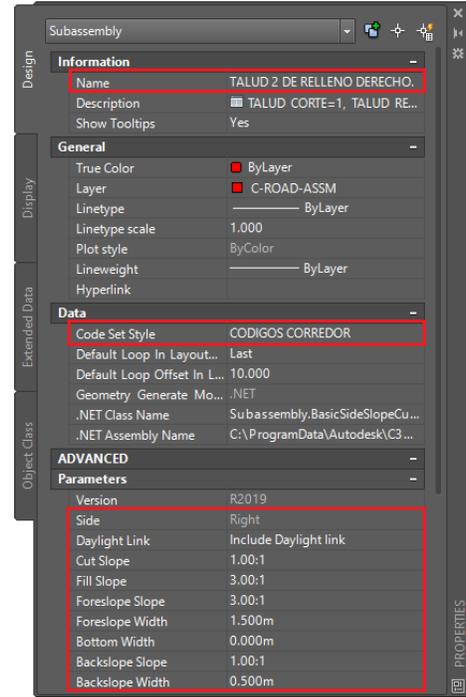


Figura 89: Ventana propiedades “TALUD DE RELLENO 3”.

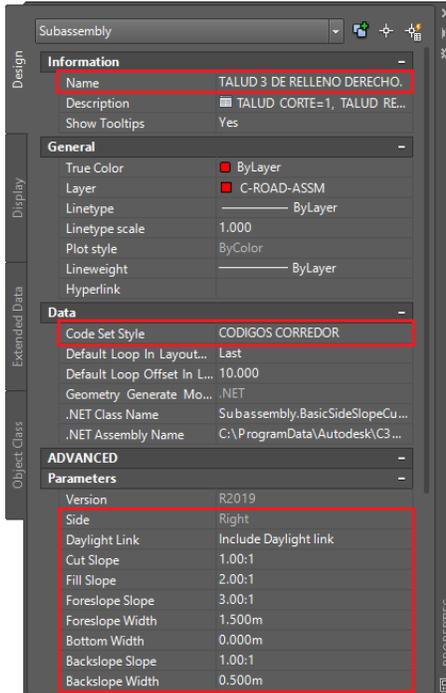
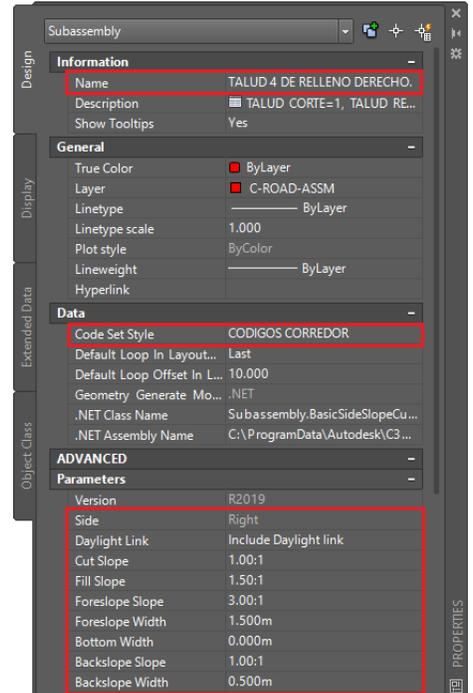
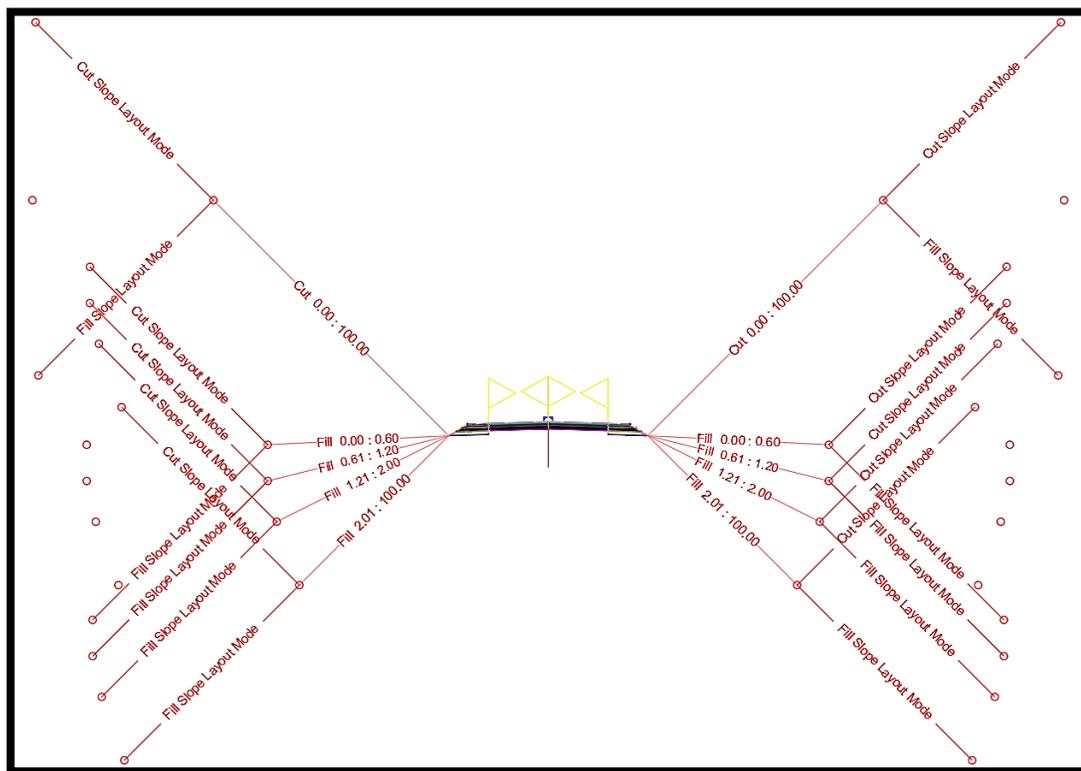


Figura 90: Ventana propiedades “TALUD DE RELLENO 4”.



Para completar la creación de la sección típica, se procede con la inserción de los elementos de la parte izquierda del ensamblaje. Para esto se deben seleccionar uno por uno los sub ensamblajes creados previamente, dar click derecho, elegir la opción “Mirror” y completar la visualización al seleccionar el eje del ensamblaje. A estos sub ensamblajes de la izquierda, será necesario reemplazarles en la opción “Name” de sus propiedades la palabra “DERECHO” por la palabra “IZQUIERDO”.

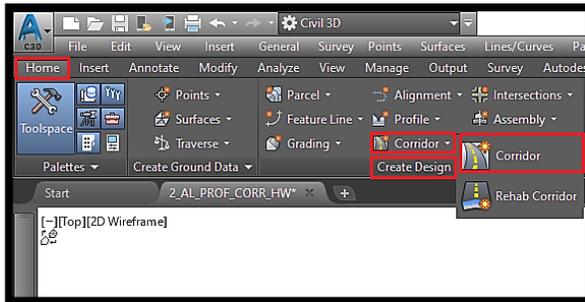
Figura 91: Sección típica completa.



#### 5.6.4 Creación de la obra lineal.

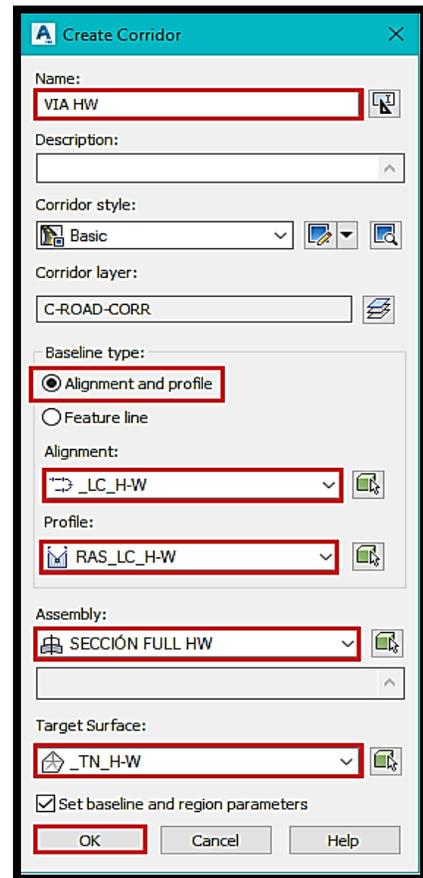
Una vez que se cuenta con el ensamblaje (sección típica del proyecto) necesario para generar la obra lineal (corredor), se tienen que definir los procesos necesarios para su creación y visualización. Para ello, se debe ir al panel “Create Design” de la pestaña “Home”, click en el comando desplegable “Corredor” y seleccionar la primera opción tal como se indica en la figura 92. A continuación, se inicia la ventana “Create Corridor” tal como se aprecia en la figura 93.

Figura 92: Herramientas de creación de corredores.



Una vez abierta la ventana “Create Corridor”, ir a la opción “Name” y digitar “VIA HW”. Al corredor es necesario asignarle un alineamiento (“\_LC\_H-W”) y una rasante (“RAS\_LC\_H-W”), por lo que se activa la opción “Alignment and Profile”. En la opción “Assembly” se elige la sección típica (“SECCIÓN FULL HW”). También hay que definir una superficie hacia donde se van a proyectar los taludes. Por último, dar click en “OK”.

Figura 93: Creación del corredor.



Al aceptar los datos, se abre otra ventana (figura 94) de nombre “Baseline and Region Parameters” que confirma los elementos seleccionados previamente, también se pueden hacer cambios a las frecuencias para una mejor definición del corredor por lo que se da click en el botón “Set all Frequencies” para configurar la ventana que aparece como se muestra en la figura 95. De igual manera se pueden fijar una superficie objetivo y los límites de los carriles que incluyen los sobrecanchos, para ello dar click en “Set all Targets” y modificar la ventana desplegada como se aprecia en la figura 96. Finalmente dar click en “Aplicar”, opción que despliega la ventana “Corridor Properties - Rebuild”, donde solo falta elegir la primera opción “Rebuild the corridor” para generar los cambios y luego click en “Aceptar” para visualizar la obra lineal como se muestra en la figura 97.

Figura 94: Parámetros de línea base y región.

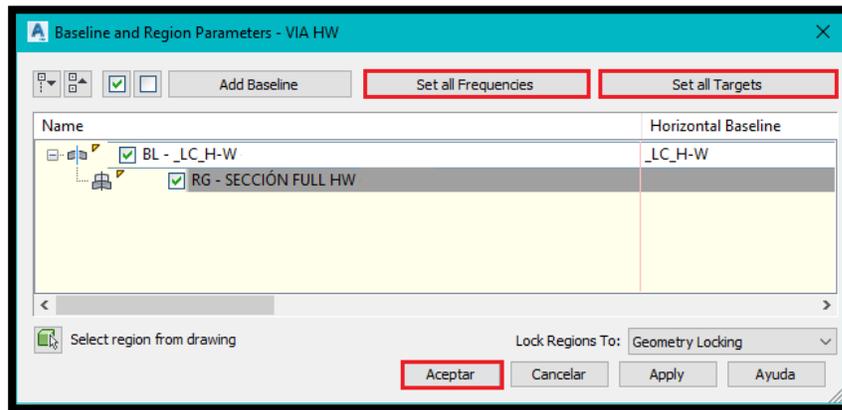


Figura 95: Frecuencia para aplicar en sub ensamblajes.

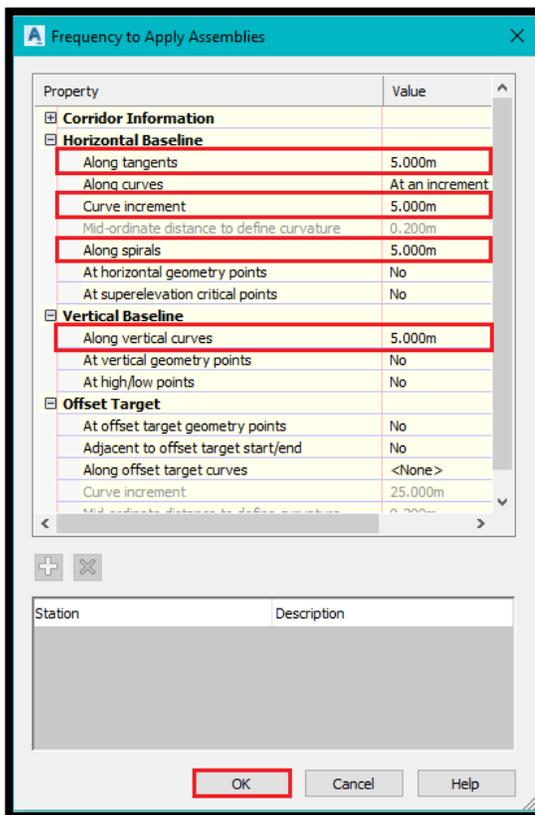


Figura 96: Asignación de objetivos en sub ensamblajes.

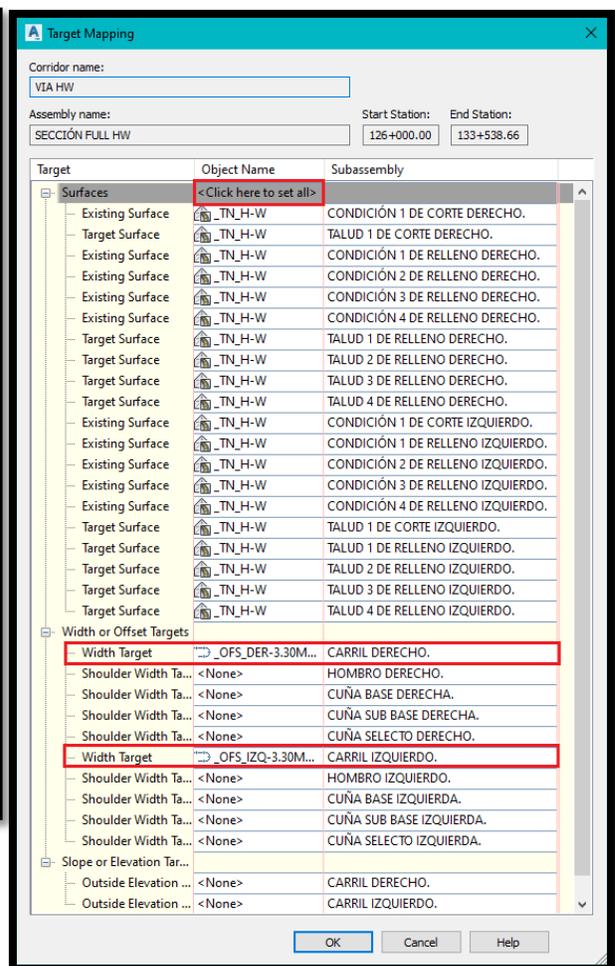
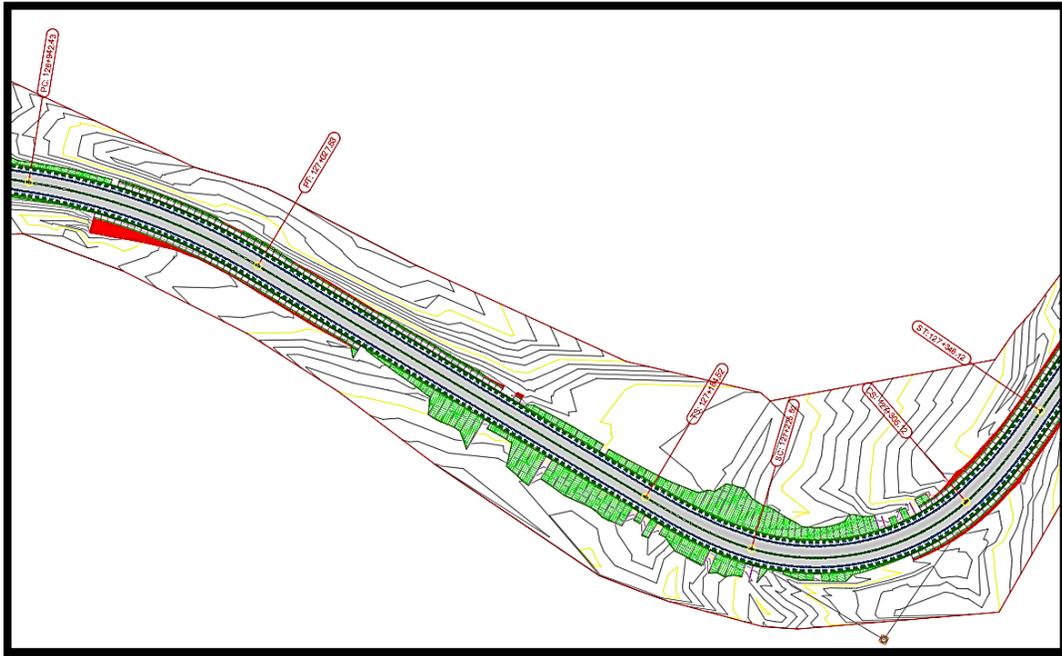


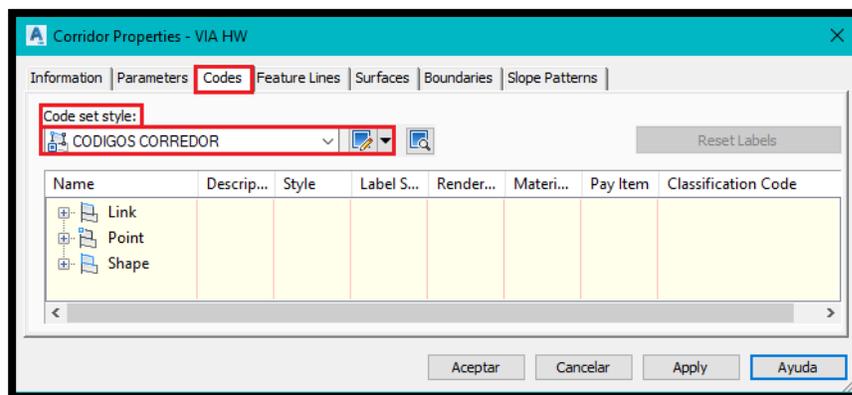
Figura 97: Corredor del proyecto.



Adicionalmente, se selecciona el corredor para dar click derecho sobre este y elegir la opción “Corridor Properties”, desplegando así la ventana del mismo nombre y realizar los siguientes ajustes y configuraciones adicionales:

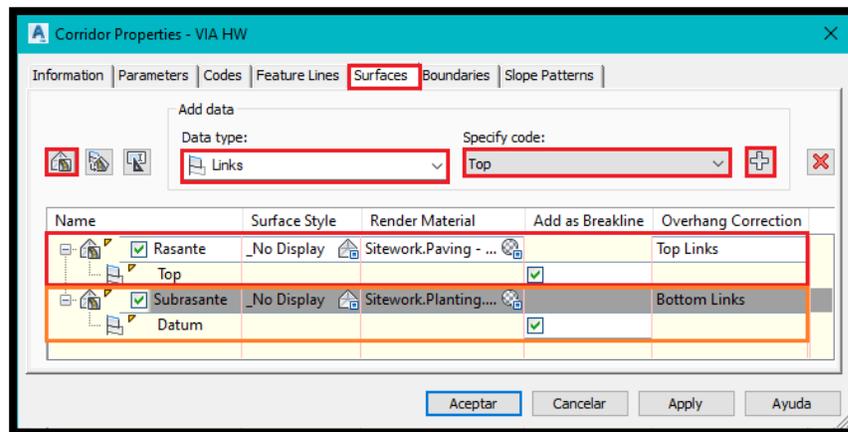
En la opción “Code set style” de la pestaña “Codes” se elige el estilo visual denominado “CODIGOS CORREDOR”, como se indica en la figura 98.

Figura 98: Propiedades del corredor, pestaña “Codes”.



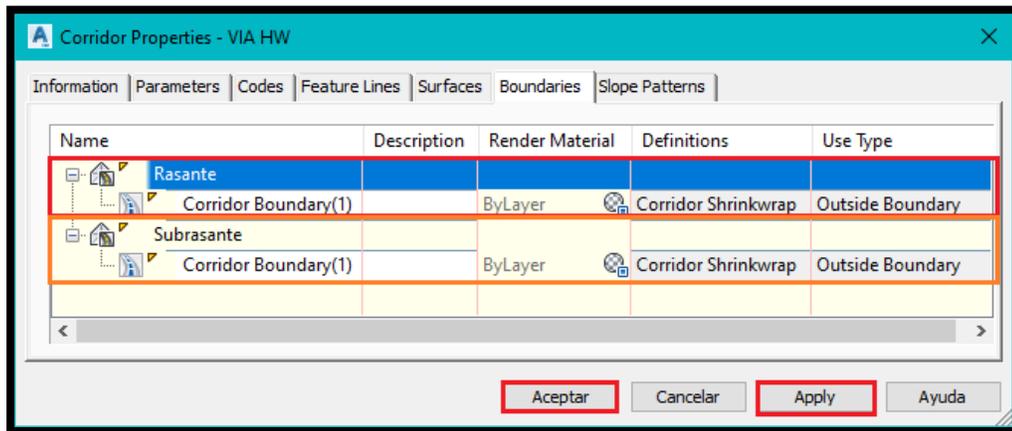
En la pestaña “Surfaces”, se da click en el icono marcado que está ubicado en la parte media izquierda de nombre “Create a corridor surface” para crear una superficie de obra lineal que se renombrará como “Rasante”, una vez hecho esto, se debe agregar como línea de ruptura al marcar la cajita de la columna “Add as Breakline” y se hace una corrección de alero al elegir la opción “Top Links” de la columna “Overhang Correction”, enseguida se deben asignar los vínculos superiores al seleccionar “Links” y “Top” en las opciones “Data type” y “Specify code” respectivamente y dar click en icono en forma de cruz de nombre “Add surface items”. De manera similar se crea y se configura una segunda superficie de obra lineal de nombre “Subrasante”, con la diferencia que en la corrección de alero se elige la opción “Bottom Links”, y se asignan vínculos inferiores en vez de superiores al seleccionar “Datum” en la opción “Specify code”. Estas configuraciones se pueden apreciar en la figura 99.

Figura 99: Propiedades del corredor, pestaña “Surfaces”.



En la pestaña “Boundaries”, aparecen las dos superficies de obra lineal creadas previamente que deben ser forzadas a que se generen hasta los límites exteriores de los taludes de la obra lineal. Este procedimiento se realiza al seleccionar cada superficie y al dar click derecho se elige la opción “Corridor extents as outer boundary”, quedando las configuraciones como se muestran en la figura 100. Para finalizar solo dar click en “Apply” y luego en “Aceptar”.

Figura 100: Propiedades del corredor, pestaña "Boundaries".



## CONCLUSIONES

- Para la elaboración y creación de archivo del diseño geométrico de la vía, se generó la superficie digital del terreno a partir de los puntos del levantamiento topográfico, también se realizó un aforo vehicular, donde se obtuvo un TPDA equivalente a 1649 vpd y se determinó como vehículo de diseño el tipo C2. El período de diseño se definió a 20 años, tomando como año base el año 2019, año en que fueron realizados los conteos vehiculares, siendo el año horizonte 2039. Para el tramo estudiado no se consideró tránsito atraído ya que no se presenta alguna ruta alterna.
- El diseño geométrico tomó como base parámetros esenciales para definir los alineamientos horizontales y verticales, tales como Tránsito Promedio Anual (1649 vpd), clasificación del tipo de carretera (Colectora Menor Rural), tipo de terreno en que se emplaza la vía (Ondulado), velocidad de diseño del tramo (50 km/hr), vehículo de diseño establecido como el camión de carga C2, pendiente máxima dada las condiciones del terreno (9%), pendiente mínima igual a 0.3%. Todas las curvas verticales fueron diseñadas a partir de la distancia de visibilidad de parada de 65 metros debido que la distancia de visibilidad de adelantamiento requiere mayores longitudes de curvas y las características topográficas del tramo obligaría a realizar cortes excesivos que encarecerían la obra.
- En el diseño del alineamiento horizontal se determinó el radio mínimo para el tramo completo de 7.5 km, es cual es de 73 metros, en el diseño del alineamiento vertical se determinó la longitud mínima ( $L_{\text{mín}}$ ) que es igual a 30 metros, datos definidos según el criterio de operación que recomienda el Manual Centroamericano de Normas Para el Diseño Geométrico de Carreteras con enfoque de Gestión de Riesgo y Seguridad Vial, SIECA, 3ª Edición, 2011.

- Para la elaboración de planos del diseño geométrico de la vía en el software Autodesk AutoCAD Civil 3D se tomaron en cuenta las normas de diseño de documentos tales como: Manual Centroamericano de Normas Para el Diseño Geométrico de Carreteras con enfoque de Gestión de Riesgo y Seguridad Vial, SIECA, 3ª Edición, 2011, Manual Estadounidense, A Policy On Geometric Design of Highways and Streets, AASHTO, 5th Edition. 2004, Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos, Calles y Puentes (NIC-2000), y Especificaciones de Diseño, obteniéndose de esta manera un diseño vial adaptado lo más próximo posible, a la geometría existente del camino.

## RECOMENDACIONES

- Es de suma importancia recolectar la mayor cantidad de información posible en campo considerando que cada punto levantado aporta información valiosa respecto a su elevación y curvas de nivel, mismas que son las responsables de definir los alineamientos verticales y los cortes y rellenos para conformarlos, por lo tanto, eso se refleja directamente con los costos de la ejecución de un proyecto y viabilidad del mismo, durante el desarrollo del alineamiento horizontal es necesario tener información relevante a puntos obligados de paso con información detallada para librar cualquier obstáculo que se presente y así prevenir un rediseño debido al replanteo que estos obstáculos puedan generar.
- Durante el proceso de diseño geométrico de carreteras y todas las etapas del desarrollo de la vía, es importante identificar los potenciales impactos ambientales que causará el proyecto y con ello adoptar un plan de contingencia que logre mitigar los efectos negativos causados al medio ambiente en todo lo que sea posible. El mejor diseño geométrico de una carretera puede llegar a considerarse inviable por la razón de afectación en el medio ambiente natural y social que perjudique el equilibrio existente en el mismo antes de la ejecución del proyecto.
- Se recomienda apegarse a las normas y reglamentos que proporciona el Ministerio de Transporte e Infraestructura, así como al Manual Centroamericano de Normas Para el Diseño Geométrico de Carreteras con enfoque de Gestión de Riesgo y Seguridad Vial, SIECA, 3ª Edición, 2011, para garantizar la seguridad y efectividad de la aplicación de la ingeniería para tales fines. Es de suma importancia que, que una vez llevado a cabo un proyecto se trabaje en conjunto con las áreas implícitas en la construcción de la carretera, ya que los estudios de geotecnia, hidrotecnia y medio ambiente podrán ser parteaguas entre ejecutar el proyecto vial tal y como se diseñó y modificarlos parcial o totalmente.

- Para trabajos de diseño geométrico de carreteras, se recomienda la aplicación del Software Civil 3D, dado que su modelo de ingeniería facilita completar más rápido los proyectos de obras viales. El vínculo dinámico que posee este software entre superficies, alineamientos, perfiles y secciones transversales agiliza y facilita la evaluación de múltiples alternativas, la toma de mejores decisiones y la producción de planos actualizados.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- 1) Cal y Mayor. (1994). Ingeniería de Tránsito. Ciudad de México, México: Ediciones Alfaomega.
- 2) Ministerio de Transporte e Infraestructura “MTI”. (2018). Anuario de Aforos de Tráfico 2018. Managua, Nicaragua.
- 3) Ministerio de Transporte e Infraestructura “MTI”. (2008), Manual para la Revisión de Diseños Geométricos. Managua, Nicaragua.

4) Sistema de Integración Económica Centroamericana “SIECA”. (2004). Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales. Ciudad de Guatemala, Guatemala.

5) SIECA, CEPREDENAC, AECID. (2011). Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras con enfoque de Gestión de Riesgo y Seguridad Vial. Ciudad de Guatemala, Guatemala.

6) American Association of State Highway and Transportation Officials “AASHTO”. (2004). A Policy on Geometric Design of Highways and Streets. Washington D.C, USA.

7) Cárdenas Grisales. James. (2013). Diseño Geométrico de Carreteras. Bogotá, Colombia: Ecoe Ediciones.

8) Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2018). Manual de Diseño Geométrico de Carreteras DG-2018. Lima, Perú.

9) Agudelo Ospina, John. (2002). Diseño geométrico de vías, Ajustado al Manual Colombiano. Medellín, Colombia.

## **ANEXOS**

