

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ**

**“PROPUESTA DE DISEÑO GEOMÉTRICO Y SEÑALIZACIÓN
DEL TRAMO 5 DE LA RED VIAL VECINAL EMPALME RUTA
AN-111 – TINGO CHICO, PROVINCIAS DE HUAMALÍES Y DOS
DE MAYO, DEPARTAMENTO DE HUÁNUCO”**

Tesis para optar por el Título de **Ingeniero Civil**, que presenta el Bachiller:

Franco Daniel Delzo Cuyubamba

Asesor: Ing. Fernando José Campos De La Cruz

Lima, agosto del 2018



A mi madre, mi mayor motivación y admiración desde pequeño, a quien amo y respeto por su apoyo incondicional, por su esfuerzo y dedicación en este, todavía, largo camino. A mi padre, quien amo y valoro, que con sus consejos y enseñanzas inculcó virtudes importantes en logro de mis objetivos. A mi abuelo David, quien desde el cielo ilumina mi camino de éxitos personales y profesionales. Agradezco a mi asesor, Fernando Campos, por su tiempo, paciencia y orientación.

RESUMEN

Gran parte del crecimiento económico de las regiones del Perú se ve influenciado por las adecuadas condiciones de conexión entre sus centros económicos más relevantes. Este es el caso de la región Huánuco, cuyo desarrollo económico se ve favorecido por las actividades de agricultura y turismo. Estas actividades económicas son posibles por la infraestructura vial existente. Sin embargo, existen aún deficiencias, por ejemplo, en la carretera que sirve como vía de paso entre la provincia de Huánuco, Ancash, y la mina Antamina. Por ello, la presente tesis es una propuesta de mejora del transporte en el Tramo 5 de la vía mencionada, partiendo del centro poblado de Nuevas Flores, en la provincia huanuqueña de Huamalíes, hasta el poblado de Tingo Chico, en la provincia de Dos de Mayo, Huánuco.

El objetivo principal es mejorar el transporte de carga y pasajeros a partir de una propuesta de diseño geométrico de la vía (como alternativa a la existente). Así mismo, es diseñar la señalización pertinente a modo de otorgarle la seguridad que toda carretera debe tener. Ambos diseños a partir del Manual de Diseño Geométrico de Carreteras DG-2014 y el Manual de Dispositivos de Control del Tránsito Automotor para Calles y Carreteras 2016, respectivamente.

A partir de estudios básicos de ingeniería, como son la topografía, geología y geotecnia, ha sido posible definir los mejores criterios y soluciones de diseño geométrico. La vía, actualmente trocha carrozable, sería una carretera de tercera clase a nivel de asfaltado diseñada en 40 Kph, aumentando en 15 Kph la velocidad con la se movilizan los usuarios actualmente. Se ha definido un ancho de calzada de 6.0 m y pendientes longitudinales en el orden de 3.5%. Y respecto a la seguridad vial, se ha optado por usar los más adecuados dispositivos de seguridad, así como las señales reglamentarias, preventivas e informativas. Se han definido, también, demarcaciones en el pavimento a manera de complementar información y prevenir accidentes en la carretera diseñada. Por último, se ha desarrollado una rutina de cálculo (macro) en Microsoft Excel que permite el cálculo automático de ciertos parámetros de diseño basados en la norma DG-2014, la cual permite automatizar el diseño.

Finalmente, a partir del diseño geométrico y la señalización planteada, se logra una mejora en el transporte de carga y pasajeros, pues se reducirían tiempos y costos de viaje. Y esto es lo parte importante en lo que se refiere a rentabilidad del proyecto y el posterior crecimiento económico de la región.

TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

Título : "Propuesta de diseño geométrico y señalización del Tramo 5 de la Red Vial vecinal Empalme Ruta AN-111 – Tingo Chico, Provincias de Huamalíes y Dos de Mayo, Departamento de Huánuco"

Área : Movilidad y Transporte

Asesor : Ing. Fernando José Campos De la Cruz

Alumno : FRANCO DANIEL DELZO CUYUBAMBA

Código : 2012.1753.3.412

Tema N° : # 77

Fecha : Lima, 06 de noviembre del 2017

INTRODUCCIÓN

El Perú es un país en el cual se necesita de más proyectos de infraestructura vial y de mejoras en los ya existentes. Estos propósitos son principalmente impulsados por las entidades estatales y en menor medida por el sector privado. Para ejecutarlos es necesario contar con propuestas de proyectos viales idóneos, eficaces, eficientes, económicos, y seguros, de modo que se logren los objetivos de desarrollo y crecimiento. De esta manera, la presente tesis propone el diseño geométrico y la señalización del tramo en cuestión con la finalidad de alentar el desarrollo de los centros urbanos involucrados a través de la mejora del transporte de pasajeros y de carga.

ANTECEDENTES

En la actualidad, el tramo en cuestión es una vía en afirmado de, en promedio, 4.40 m de ancho de calzada. Si bien no se encuentra en malas condiciones, ha ido deteriorándose por el alto tránsito de vehículos pesados, y por la ausencia de mantenimiento periódico. Los usuarios se transportan con cierta dificultad, a velocidades entre 20 y 25 Km/h. El clima también es un factor negativo en el desempeño de la carretera, pues, en épocas de lluvia, la carpeta de rodadura, de contextura arcillosa, se ve afectada por la erosión.

El rediseño de este tramo beneficiará a la provincia de Huánuco, con 860 548 habitantes (2015), los distritos de Chuquis (5125 habitantes), Marías (7656 habitantes) y Quivilla (2088 habitantes), los cuales son centros urbanos relevantes que se ven involucrados en el desarrollo de la infraestructura de esta carretera.

Como antecedentes se tienen a los proyectos de mejoramiento de la carretera Chamaya – Río Canchis (Cajamarca), y el mejoramiento de la carretera Huancavelica – Lircay (Huancavelica). Estos proyectos tienen como objetivo mejorar la integración económica a centros dinámicos locales, y mejorar la accesibilidad del transporte de pasajeros y carga en dichas zonas.

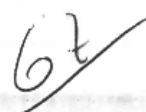
OBJETIVOS

Objetivo general

Mejorar el transporte de pasajeros y de carga de los poblados de Nuevas Flores, Marías, Quivilla, Tingo Chico y Chuquis con la capital de la provincia de Huánuco, a partir del diseño geométrico y de señalización de la vía que los conecta.

Objetivos específicos

- Justificar la necesidad de realizar el diseño del mejoramiento de la vía en cuestión.



- Elaborar el diseño geométrico horizontal y vertical de la carretera, de acuerdo a la norma vigente de diseño de carreteras del Ministerio de Transporte y Comunicaciones (DG 2014), y tomando en cuenta criterios, métodos y /o principios internacionales, de manera que resulte cómoda y segura para los usuarios.
- Elaborar la señalización del trazo de diseño geométrico.
- Elaborar los planos de diseño geométrico y de señalización de la vía.
- Optimizar los costos de movimiento de tierra a partir de contabilizar los volúmenes de corte y relleno, de modo que sean valores reducidos.

PROGRAMA DE TRABAJO

El presente proyecto de tesis propone los siguientes temas:

- Justificación del proyecto y planteamiento de objetivos y alcances.
- Recopilación y selección de diversos criterios y parámetros de diseño de manuales peruanos u otros.
- Análisis del estado actual de la carretera: oferta - demanda, orografía, geometría, pavimento, etc.
- Diseño geométrico de la carretera
- Diseño de la señalización de la carretera
- Elaboración de planos de ambos diseños
- Conclusiones y recomendaciones

METODOLOGÍA DE TRABAJO

La metodología de trabajo para el presente proyecto se define en tres fases:

Fase 1: Evaluación de la carretera existente. En esta fase se debe analizar debidamente el estado actual de la vía. Se busca conocer la oferta y la demanda actual de la carretera, la orografía por la que recorre, las características geométricas que presenta, el estado de la capa de rodadura y diversos problemas existentes.

Fase 2: Recopilación de parámetros y criterios de diseño. A partir de manuales nacionales o internacionales, se busca definir las pautas o métodos sugeridos, de modo que resulte el diseño más adecuado.

Fase 3: Diseño a detalle. Hecha la evaluación de la vía, y definidos los criterios de diseño, se procede al diseño geométrico y de la señalización de la carretera. En lo posible, se propondrán métodos simplificados en el proceso de diseño.

REVISIONES

Primera Revisión:

- Justificación, objetivos y alcances
- Antecedentes y marco teórico

Segunda Revisión

- Evaluación y análisis de la situación actual
- Recopilación de pautas, criterios, métodos y parámetros de diseño.

Tercera Revisión:

- Diseño geométrico y señalización de la vía
- Conclusiones y recomendaciones

NOTA: Extensión máxima: 100 páginas.



ii



ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS	vi
ÍNDICE DE CUADRO	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS	x
INTRODUCCIÓN.....	1
I. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	3
1.1. JUSTIFICACIÓN	3
1.2. OBJETIVOS:	5
1.2.1. OBJETIVO GENERAL:	5
1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:	5
1.3. ALCANCE:	5
II. MARCO TEÓRICO	7
2.1. ANTECEDENTES	7
2.2. COMPONENTES PRINCIPALES DEL DISEÑO GEOMÉTRICO DE UNA CARRETERA.....	10
2.2.1. Clasificación de la carretera	12
2.2.2. Vehículo de Diseño	14
2.2.3. Velocidad de Diseño	15
2.2.4. Distancias de Visibilidad.....	15
2.2.4.1. Distancia de Visibilidad de Parada:	15
2.2.4.2. Distancia de Visibilidad de Adelantamiento:	17
2.2.5. Alineamiento Horizontal	17
2.2.5.1. Radio mínimo	17
2.2.5.2. Coordinación entre curvas circulares.....	18
2.2.5.3. Peralte de curvas.....	20
2.2.5.4. Curva de transición.....	26
2.2.5.5. Sobrecanchos	31
2.2.6. Alineamiento Vertical.....	33
2.2.6.1. Pendiente mínima y máxima	33

2.2.6.2.	Curvas verticales	34
2.2.7.	Sección Transversal.....	36
2.3.	SEÑALIZACIÓN Y SEGURIDAD VIAL	37
2.3.1.	Señales de Tránsito Verticales.....	38
2.3.1.1.	Señales reglamentarias:.....	38
2.3.1.2.	Señales preventivas:	38
2.3.1.3.	Señales informativas:	38
2.3.2.	Señales de Tránsito Horizontales.....	38
III.	LUGAR DE ESTUDIO.....	39
3.1.	UBICACIÓN DEL LUGAR.....	39
3.2.	TERRENO NATURAL	40
3.3.	SUPERFICIE	40
IV.	DISEÑO GEOMÉTRICO DE LA CARRETERA	41
4.1.	EVALUACIÓN DE LA VÍA EXISTENTE	41
4.2.	CRITERIOS Y PARÁMETROS BÁSICOS DE DISEÑO	43
4.2.1.	Clasificación de la carretera	44
4.2.1.1.	Por su demanda:	44
4.2.1.2.	Por su orografía:.....	47
4.2.2.	Vehículo de Diseño	47
4.2.3.	Velocidad de Diseño	48
4.2.4.	Radio mínimo	50
4.3.	DISEÑO DEL ALINEAMIENTO HORIZONTAL.....	51
4.3.1.	Diseño de Radios Mayores al Mínimo	51
4.3.2.	Distancias de Visibilidad.....	52
4.3.2.1.	Distancia de visibilidad de parada:	52
4.3.2.2.	Distancia de visibilidad de adelantamiento:	52
4.3.3.	Trazo.....	53
4.3.3.1.	Longitud de tramos rectos:	54
4.3.3.2.	Coordinación entre curvas.....	55
4.3.3.3.	Correspondencia entre curvas.....	56
4.3.4.	Peraltes y transición de peraltes.....	58
4.3.5.	Sobreanchos	62

4.4.	DISEÑO DEL ALINEAMIENTO VERTICAL	63
4.4.1.	Rasante, pendiente mínima y máxima.....	63
4.4.2.	Curvas Verticales	66
4.5.	DISEÑO DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL	69
4.5.1.	Pavimento	70
4.5.2.	Calzada.....	74
4.5.3.	Bermas.....	75
4.5.4.	Cunetas.....	76
4.5.5.	Derecho de vía.....	77
4.5.6.	Taludes	78
V.	MOVIMIENTO DE TIERRAS	80
VI.	SEÑALIZACIÓN DE LA VÍA.....	85
6.1.	SEÑALIZACIÓN EXISTENTE.....	85
6.2.	ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA VÍA.....	85
6.3.	RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN DE ACCIDENTES.....	85
6.4.	SEÑALIZACIÓN VERTICAL	86
6.4.1.	Señales reguladoras o reglamentarias	86
6.4.2.	Señales preventivas	86
6.4.3.	Señales informativas	88
6.5.	SEÑALIZACIÓN HORIZONTAL	88
6.5.1.	Demarcaciones en el pavimento	88
6.5.2.	Marcas elevadas en el pavimento	89
6.5.3.	Estoperoles	89
6.5.4.	Barreras de Seguridad	90
VII.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	91
7.1.	CONCLUSIONES.....	91
7.2.	COMENTARIOS Y RECOMENDACIONES	93
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	95

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Centros Poblados a lo largo del trazo original de la red vial vecinal	9
Tabla N° 2: Fricción transversal máxima en curvas	18
Tabla N° 3: Valores de Peralte Máximo	18
Tabla N° 4: Proporción del peralte (p) a desarrollar en tangente.....	23
Tabla N° 5: Variación lineal del sobreebanco de 80 cm, en 20 m de desarrollo.	32
Tabla N° 6: IMDA calculado a 20 años para el tramo Quivilla – Puente Tingo Chico	46
Tabla N° 7: Diseño de curvas circulares	51
Tabla N° 8: Longitud de tramos rectos correspondientes al diseño.....	54
Tabla N° 9: Verificación de coordinación entre curvas	55
Tabla N° 10: Correspondencia entre curvas consecutivas	57
Tabla N° 11: Valores de peralte asignado a las curvas diseñadas.....	58
Tabla N° 12: Longitud de transición de peralte	62
Tabla N° 13: Valores de sobreebanco adaptados a las curvas diseñadas y sus respectivas longitudes de transición.	62
Tabla N° 14: Rectas en pendiente del alineamiento horizontal.	64
Tabla N° 15: Longitudes en pendiente del diseño vertical.....	65
Tabla N° 16: Longitud mínima de curvas verticales en el diseño	68
Tabla N° 17: Longitudes en curvas verticales	69
Tabla N° 18: Parámetros de diseño del pavimento	72
Tabla N° 19: Espesores del pavimento flexible	74
Tabla N° 20: Taludes de corte por adoptar en el diseño	78
Tabla N° 21: Valores de índice de compactación para cada sector en la vía	81
Tabla N° 22: Resumen de cálculo de volúmenes de corte y relleno.....	84

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro N° 1: Criterios de Clasificación de una carretera peruana en función de la demanda	13
Cuadro N° 2: Criterios de Clasificación de una carretera peruana en función de la orografía predominante del terreno.....	13
Cuadro N° 3: Diferencias en la clasificación colombiana y chilena de las carreteras	14
Cuadro N° 4: Señales reguladoras empleadas en la vía	86
Cuadro N° 5: Señales preventivas empleadas en la vía	86
Cuadro N° 6: Señales informativas empleadas en la vía	88
Cuadro N° 7: Marcas en el pavimento de la vía	88
Cuadro N° 8: Marcas elevadas en el pavimento de la vía	89



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Localización del Tramo de Diseño del Proyecto. Se observa las áreas urbanas más relevantes del ámbito del proyecto: Quivilla, Marías y Chuquis	4
Figura N° 2: Distancia de visibilidad de Parada (en metros)	16
Figura N° 3: Fórmula para determinar la distancia de parada	16
Figura N° 4: Coeficientes de parada en pavimento húmedo y a nivel	16
Figura N° 5: Distancia de visibilidad de paso o adelantamiento (en metros)	17
Figura N° 6: Coordinación entre curvas circulares para autopistas y carreteras de 1ra clase.....	19
Figura N° 7: Coordinación entre curvas circulares para carreteras de 2da y 3ra clase.....	19
Figura N° 8: Curva peraltada que contrarresta la fuerza centrípeta	20
Figura N° 9: Peralte para zona rural (Tipo 3 o 4)	20
Figura N° 10: Fin de Berma Normal.....	21
Figura N° 11: Fin de Bombeo Normal	22
Figura N° 12: Bombeo Nivelado.....	22
Figura N° 13: Bombeo al revés	22
Figura N° 14: Berma al Revés	23
Figura N° 15: Inicio de Curva Circular (PC).....	24
Figura N° 16: Inicio de Peralte Máximo	24
Figura N° 17: Vista tridimensional de la transición de peralte	25
Figura N° 18: Proyección de perfil de la transición de peralte	25
Figura N° 19: Fórmula para calcular la longitud de transición de peralte.....	26
Figura N° 20: Configuración de curva circular con curvas de transición.....	27
Figura N° 21: Valores de radio mínimo para poder prescindir de curvas de transición	28
Figura N° 22: Variación de la aceleración transversal.....	29
Figura N° 23: Proyección de perfil de la transición de peralte en curva con espirales	31
Figura N° 24: Desarrollo del sobreebanco para una curva sin espirales	33
Figura N° 25: Pendientes máximas.....	34
Figura N° 26: Longitud mínima de curva vertical para contar con D_p	35
Figura N° 27: Longitud mínima de curva vertical para contar con D_a	35
Figura N° 28: Longitud mínima de curva vertical cóncava.....	36
Figura N° 29: Sección Transversal típica de una carretera de 3ra clase	37
Figura N° 30: Ámbito del proyecto	39

Figura N° 31: Superficie proyectada tridimensionalmente.....	40
Figura N° 32: Radio mínimo de curva circular de la vía existente	43
Figura N° 33: IMDA en el tramo a diseñar	44
Figura N° 34: Tasas de crecimiento y PBI usadas en el Estudio.....	45
Figura N° 35: IMDA proyectado a 10 años en el tramo de interés.....	46
Figura N° 36: Pendiente transversal al eje de la vía más crítica.....	47
Figura N° 37: Tipos de Camiones	48
Figura N° 38: Radio mínimo aproximado a partir de las curvas de nivel	49
Figura N° 39: Rango de velocidades en función a la clasificación de la carretera por demanda y orografía.....	50
Figura N° 40: Distancia de visibilidad de parada de diseño.....	52
Figura N° 41: Distancia de visibilidad de paso o adelantamiento (en metros)	53
Figura N° 42: Porcentaje de la carretera con visibilidad adecuada para adelantar ..	53
Figura N° 43: Longitudes de tramos en tangente.....	54
Figura N° 44: Pestaña LISTADO DE CURVAS con datos introducidos.....	59
Figura N° 45: Cálculo de longitud de transición	60
Figura N° 46: Cálculo de la transición de peralte	61
Figura N° 47: Base de datos a importar al software de diseño.....	61
Figura N° 48: Longitud crítica en pendiente	65
Figura N° 49: Valores de CBR a lo largo de la vía	70
Figura N° 50: Promedio de CBR	70
Figura N° 51: Cálculo del número estructural SN.....	73
Figura N° 52: Espesores calculados	73
Figura N° 53: Anchos mínimos de calzada	74
Figura N° 54: Valores de bombeo de la calzada	75
Figura N° 55: Anchos mínimos de calzada	75
Figura N° 56: Inclinación de bermas	76
Figura N° 57: Dimensiones mínimas de cunetas	76
Figura N° 58: Cuneta triangular tipo proyectada en el diseño	77
Figura N° 59: Anchos mínimos de Derecho de Vía.....	77
Figura N° 60: Diagramas de masas de la vía diseñada	81

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía N° 1: Estado actual de la rodadura del tramo 5 de la carretera.....	41
Fotografía N° 2: Baches y deterioros en la superficie de rodadura	42
Fotografía N° 3: Ancho de Ancho de calzada muy angosto para el tránsito en doble sentido.....	42



INTRODUCCIÓN

Según el último informe del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), el crecimiento económico del Perú (PBI), en el primer trimestre del 2018, fue de 3.2% respecto del mismo periodo del año 2016. Parte de este crecimiento corresponde al sector Transporte, Almacenamiento, Correo y Mensajería, cuyo crecimiento fue de 5.0%, siendo la cuarta actividad económica que mayor crecimiento tuvo. Esto refleja el acertado balance entre la oferta y la demanda en lo que se refiere a transporte de carga y pasajeros por las vías terrestres existentes (INEI, 2018:9).

Por consiguiente, el Perú es un país donde se necesitan de más proyectos de infraestructura vial, y mejoras en los ya existentes. Estos propósitos son principalmente impulsados por las entidades estatales y en menor medida por las privadas. Y para ejecutarlos es necesario contar con propuestas de proyectos viales idóneos, eficaces, eficientes, económicos, y seguros, de modo que se logren los objetivos de desarrollo y crecimiento mencionados.

Dentro del marco del proyecto global de infraestructura vial, es el diseño geométrico la fase más predominante, pues, es a partir de este que se establecen las características geométricas representadas tridimensionalmente, de modo que resulte funcional, segura, cómoda, estética, económica y compatible con el medio ambiente (Cárdenas 2015:1)

En particular, el Gobierno Provincial de Huamalíes, en su trabajo por el crecimiento económico de su jurisdicción, plantea el mejoramiento de una de las carreteras de bajo tránsito dentro de su territorio, el cual generaría grandes beneficios a los habitantes de los poblados dentro del ámbito y a los usuarios de la vía.

El presente proyecto tiene como objetivo diseñar el trazo geométrico y la señalización de la carretera de tercera clase Nuevas Flores – Quivilla – Tingo Chico a nivel de asfaltado. Esta vía es actualmente un camino de bajo tránsito de 10 Km, en afirmado. Se encuentra entre las provincias de Huamalíes y Dos de Mayo, dentro de la región Huánuco, y viene a ser el quinto tramo de la Red Vecinal Empalme AN-111 – Huamanín – Progreso – Poque – Llata – Cochapata – Nuevas Flores – Quivilla – Tingo Chico – Emp. R3N.

El diseño satisface los criterios del Manual de Diseño Geométrico 2014 (DG 2014) del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, no obstante, se tomaron en cuenta las recomendaciones y criterios de normas o manuales internacionales. La

señalización del diseño se basa en el Manual de Dispositivos de Control del Tránsito Automotor para Calles y Carreteras.

Se obtuvo la información topográfica del lugar a partir de la generación de curvas de nivel mediante el software Global Mapper. Con el terreno plasmado tridimensionalmente en el software de diseño AutoCAD Civil 3D, se procede a realizar el alineamiento horizontal de la carretera. Posteriormente se realizó el alineamiento vertical, y finalmente se realizó un análisis de los volúmenes de corte y relleno con el diseño final.



I. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

1.1. JUSTIFICACIÓN

Una deficiente infraestructura vial no hace posible el adecuado desarrollo de la región de un país. Este déficit podría generar el lento crecimiento económico de la región, debido a la falta de integración de los mercados locales (distritos, provincias o centros poblados) con los centros económicos más relevantes, como las capitales departamentales. (VÁSQUEZ Y BENDEZÚ, 2008: 14)

Una parte del crecimiento comercial de cualquier región del país y del potencial económico corresponde al adecuado desarrollo de la infraestructura vial. Como consecuencia, incrementa el transporte de carga y pasajeros dentro de la región y hacia las demás. De esta manera, el mejoramiento del tramo vial Nuevas Flores – Quivilla – Tingo Chico beneficiaría a los habitantes de los poblados involucrados y a los usuarios de vía.

La carretera en estudio es una vía de paso que conecta las provincias de Huaraz y Huánuco, como alternativa a la carretera Huaraz – La Unión – Huánuco, la cual es altamente peligrosa por su sinuosidad y lo angosto de la calzada. También permite el transporte de vehículos pesados cuyo origen y destino es la mina de Antamina, ubicada a 50 Km al norte del tramo 5 en mención.

La provincia de Huánuco, con 304,487 habitantes (Censo 2017), se vería beneficiada por el incremento de las actividades económicas a partir del mejoramiento en el trazo de la vía actual en cuestión. En particular, los distritos de Jacas Grande (5,916 habitantes), Chuquis (5,894 habitantes), Marías (9,538 habitantes) y Quivilla (3,035 habitantes), áreas urbanas importantes dentro del ámbito del proyecto, también se verían beneficiadas. Estos distritos tienen como principal actividad económica el comercio al por mayor y menor, y en menor medida, la actividad de alojamiento y servicio. De modo que, la propuesta de mejoramiento de la vía principal entre estas tres áreas urbanas facilitaría el traslado de productos y mejoraría el intercambio comercial.

Figura N° 1: Localización del Tramo de Diseño del Proyecto. Se observa las áreas urbanas más relevantes del ámbito del proyecto: Quivilla, Marías y Chuquis



Fuente: Propia

Así también, la reducción del tiempo de viaje, el menor costo de pasajes y la comodidad, serían los principales beneficios para los usuarios de esta vía.

El tramo en cuestión es una vía en afirmado de, en promedio, 4.40 m de ancho de calzada. Si bien no se encuentra en malas condiciones, ha ido deteriorándose por el alto tránsito de vehículos pesados, y ante la falta de mantenimiento, los usuarios se transportan con cierta dificultad, a velocidades entre 20 y 25 Km/h. El clima también es un factor negativo en el desempeño de la carretera, pues, en épocas de lluvia, la carpeta de rodadura, de textura arcillosa, se ve afectada por la erosión. (CONSORCIO GEODATA - ANTAMINA, 2015: 56)

Es por ello que el diseño geométrico a nivel de asfaltado y la señalización del quinto tramo de la Red Vecinal Empalme Ruta AN-111 – Tingo Chico se justifica por los beneficios sociales y económicos que se generan por el desarrollo vial del lugar. Estos a partir de la adecuada interconexión o comunicación con los mercados más relevantes mencionados anteriormente.

Y, desde otro punto de vista, el proyecto es una referencia útil para trabajos académicos de diseño geométrico y señalización de vías que empleen el software de diseño apropiado, en los cuales se apliquen métodos, técnicas y herramientas propuestas en el presente.

1.2. OBJETIVOS:

1.2.1. OBJETIVO GENERAL:

Proponer el **diseño geométrico de 10 Km a nivel de asfaltado y la señalización del Tramo 5 (Nuevas Flores – Quivilla – Tingo Chico, Emp. R3N)** de la red vial vecinal Empalme Ruta AN-111 – Huamanín – Progreso – Poque – Llata – Cochapata - Nuevas Flores, Provincias de Huamalíes y Dos de Mayo, Departamento de Huánuco.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Justificar la necesidad de realizar el diseño del mejoramiento de la vía en cuestión.
- Elaborar el diseño geométrico horizontal y vertical de la carretera, de acuerdo con la norma vigente de diseño de carreteras del Ministerio de Transporte y Comunicaciones (DG 2014), y tomando en cuenta criterios, métodos y/o principios de manuales internacionales, de manera que resulte cómoda y segura para los usuarios.
- Elaborar los planos de diseño geométrico y se señalización de la vía.
- Optimizar los costos de movimiento de tierra a partir de contabilizar los volúmenes de corte y relleno, de modo que sean valores reducidos.
- Elaborar la señalización del trazo de diseño geométrico.

1.3. ALCANCE:

El presente proyecto comprende el diseño geométrico y señalización del quinto tramo de la red vecinal mencionada anteriormente, a partir de la topografía del sitio.

La topografía se obtiene en base a la generación automática de curvas de nivel que realiza el software Global Mapper mediante la información contenida en las imágenes satelitales de distintos servidores.

Por otro lado, se desarrolla rutinas (macros) en Microsoft Excel que permitan realizar los cálculos de diseño de manera rápida y automática, que satisfagan los requerimientos del manual DG 2014.

El diseño abarca los siguientes entregables:

- Plano del alineamiento horizontal de la vía: Tramos rectos, curvas circulares y curvas de transición (espirales), a una escala adecuada.
- Diagrama de Transición de Peralte.
- Plano del alineamiento vertical de la vía: Perfil del terreno, de la rasante, tramos en pendiente, y curvas verticales, a una escala adecuada.
- Plano de la sección transversal típica de la carretera.
- Plano con secciones transversales de la carretera: Cada 20 m en tramos rectos, y 10 m en curvas circulares y espirales.
- Plano de señalización de la vía.
- Reporte de volúmenes de corte y relleno.



II. MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES

Consorcio Quillabamba realizó el estudio definitivo para la construcción y mejoramiento de la carretera Cusco – Quillabamba Tramo Alfamayo – Chaullay - Quillabamba.

El objetivo del proyecto es el de establecer una solución que permita el transporte rápido y masivo por una vía más adecuada y con las debidas seguridades al usuario entre Alfamayo y Quillabamba.y de esta manera contribuir al mayor desarrollo de la zona.

La carretera diseñada es de 55 Km de longitud y transcurre por topografía accidentada y muy accidentada. El trazo es una variante a la vía existente; sin embargo, se adecúa a la vía existente en algunos sectores donde existan estructuras como son los puentes y badenes.

Debido a que la topografía es accidentada y con muchas quebradas, el trazo presenta numerosas curvas y contracurvas, así como curvas de volteo. Además, para evitar el uso excesivo de muros de contención, el eje se ubica al borde interior del talud de corte de la vía existente. Por parte del estudio geológico, se proyectan gaviones en zonas críticas de estabilidad de taludes.

Bustamante, Williams Consultores y Constructores S.A.C. (2010) realizó el estudio definitivo para la construcción y/o mejoramiento de la carretera Chamaya – Jaen – San Ignacio – Río Canchis, tramo: San Ignacio – Puente Integración.

El objetivo central del proyecto es el de mejorar la accesibilidad del transporte de pasajeros y carga en la zona de influencia, garantizando la transitabilidad de los vehículos en condiciones de eficiencia y seguridad, reduciendo los costos operativos y el tiempo de viaje a los mercados locales y regionales. Además, que este eje vial es de integración internacional con el país del ecuador y forma parte del eje vial N°4 del Plan Binacional – Ecuador.

La justificación es similar a la misma que se plantea en la presente tesis: la de unir dos o más puntos poblacionales que permita la integración de los mismos, su desarrollo comercial y, por consiguiente, su crecimiento económico.

Dentro del área técnica del diseño geométrico, la carretera se desarrolla tanto por la divisoria de agua, a media ladera, por cortes cerrados. El trazo ha respetado en gran porcentaje la plataforma de la carretera existente, habiéndose proyectado algunas modificaciones en sectores que lo han requerido. Se han generado cortes altos para rectificar la geometría vial existente. La vía tiene pendientes del orden de 7% y 8% en casos puntuales llega a 10%. La velocidad máxima que se indique en la señalización de la vía es de 30 Km/h.

Luego de la aprobación del estudio por parte del cliente, las autoridades locales del lugar del proyecto proponen que se realice una vía de evitamiento a fin de evitar el cruce de vehículos pesados por el centro de la ciudad de Namballe.

Consortio Río Mantaro (CRM) realizó el estudio de seguridad vial del estudio definitivo de la rehabilitación y mejoramiento de la carretera Dv. Imperial – Pampas.

El objetivo central del estudio consiste en la proyección de los elementos de señalización y seguridad vial necesarios en la vía a fin de brindar seguridad al usuario y un óptimo desempeño de la misma teniendo en cuenta la normativa vigente (CRM, 2013:4).

Este proyecto realiza el estudio de seguridad vial de la vía a través de encuestas, registro de accidentes, y un análisis de la siniestralidad de las carreteras peruanas. Y con esta recopilación de datos, evalúa y propone los distintos elementos de seguridad y señalización más adecuados en base a las características geométricas de la carretera en intervención.

Geodata Engineering S.p.A en el Perú (2014) realizó el estudio de pre inversión a nivel de perfil del proyecto de rehabilitación y mejoramiento de la carretera Emplame Ruta An-111- Huamanín – Progreso – Poque – Llata – Cochapata (túnel Anlay) – Nuevas Flores.

La red vial vecinal Emplame AN-111 – Red Nacional P-3N, en su totalidad, se encuentra ubicada entre los departamentos de Ancash y Huánuco, atravesando las provincias de Huari, en Ancash; Huamalíes y Dos de Mayo, Huánuco. Es una carretera de bajo tránsito de trocha carrozable y afirmado en ciertos tramos, de 68.63 Km de longitud. Actualmente se encuentra dividida en 5 tramos bajo la jurisdicción de cada provincia.

Desde de su construcción hasta el momento, la carretera ha ido deteriorándose debido al aumento del tránsito vehicular y a las grandes cargas de los vehículos pesados que transitan sobre ella. Es por ello, que las autoridades de la Región Huánuco, en particular, la Municipalidad Provincial de Huamalés - Llata, ha promovido y formulado el proyecto de rehabilitación y mejoramiento de esta carretera, cuyo objetivo es el de brindar mejores condiciones de transporte de carga y pasajeros.

El mejoramiento de la carretera ha sido de interés de la empresa minera Antamina, la cual está muy próxima y la utiliza para ejercer sus actividades económicas. Es así que, junto a la Municipalidad Provincial de Huamalés – Llata encargaron, bajo una licitación pública, a la empresa consultora Geodata Engineering en el Perú, realizar el Estudio de Pre-inversión a Nivel de Perfil de dicho proyecto.

La empresa consultora elaboró el estudio, y a partir de este, se decidía a intervenir tres de los cinco tramos existentes de la carretera, ya que son los que no se encuentran bajo ninguna concesión. Los dos restantes se intervendrían una vez que culmine la concesión.

La mejora que la consultora planteó fue que se realice una superficie de tratamiento superficial a penetración directa de líquido asfáltico a los tramos 1, 2 y 4. Sin embargo, la carretera seguiría siendo de bajo tránsito, por lo que se continuaría con 4.40 m de ancho promedio de calzada.

Según el informe de Trazo y Diseño Vial del estudio, no se modificaría el trazo original de la carretera, pero sí se modificarían las curvas que tienen radios menores al mínimo. Finalmente, el estudio lista los centros poblados que se encuentran en el trazo de la carretera.

Tabla N° 1: Centros Poblados a lo largo del trazo original de la red vial vecinal

CENTRO POBLADO	PROGRESIVA (KM)	M.S.N.M.
Huamanín	9+920	4,389
Corazón de Jesús	22+800	4,035
Poque	25+100	3,875
Ballabamba	29+200	3,722
Progreso	34+650	3,750
Llata	38+850	3,449
Surria	47+200	3,259
Cochapata	47+800	3,318

CENTRO POBLADO	PROGRESIVA (KM)	M.S.N.M.
Morca	54+450	2,856
Nuevas Flores	58+450	2,958
Sogo Cucho	59+000	2,956
Quivilla	62+400	2,946
Tingo Chico	68+500	2,980

Fuente: Geodata Engineering

Los cuatro últimos centros poblados de la tabla pertenecen al quinto tramo de la red vial vecinal, de 10.3 Km de longitud. Este tramo está aún en buen estado, y el mejoramiento se realizaría cuando termine de ser intervenida por el Gobierno Regional de Huánuco por Niveles de Servicio, pero se ve afectado por el aumento del tránsito y los vehículos pesados, además de las lluvias intensas en el lugar.

Además de los 4 centros poblados, se encuentran 2 distritos cercanos a la vía, cuyos pobladores también usan la carretera. Estos son los distritos de Chuquis, con 5,125 habitantes, y Marías con 7,656 habitantes.

Es por ello, que quinto tramo, en particular, es parte importante de la red vial vecinal, ya que conecta los tramos restantes con la Red Nacional-P3N, conocida como la carretera “La Unión”. Además, permite la adecuada comunicación de los distintos centros poblados cercanos, así como las buenas condiciones de comercio entre ellas.

El presente proyecto propone la mejora de este tramo, diseñándola como una vía de 3era clase, asfaltada, que cumpla las normativas del Manual de Diseño Geométrico DG-2014, e incorporando criterios de normas internacionales.

2.2. COMPONENTES PRINCIPALES DEL DISEÑO GEOMÉTRICO DE UNA CARRETERA

James Cárdenas, Máster en Ciencia en Ingeniería de Tránsito y Transporte, en su libro “*Diseño geométrico de carreteras, 2013*”, nos dice que el diseño de una carretera debe ser tal que la misma resulte ser funcional, segura, cómoda, estética, económica y compatible con el medio ambiente.

Lo funcional se mide en cuanto:

- La carretera cumple con la finalidad de unir las localidades involucradas de acuerdo a las especificaciones que el cliente establece
- Si durante el tiempo de vida útil de la carretera, ésta no deje de ser utilizada.

La seguridad se mide en cuanto:

- La carretera presenta un trazo sencillo.
- La carretera esté muy bien señalizada.
- Se ubiquen diversos implementos de seguridad a lo largo del recorrido de la carretera.
- Se observe una disminución de accidentes de tránsito a lo largo del tiempo de vida útil de la carretera.

La comodidad se mide en cuanto:

- El conductor no se ve forzado a realizar giros muy complicados.
- No sea necesario que el conductor disminuya constantemente la velocidad de marcha
- Resulte fácil obtener información al ver las señales de tránsito.

La estética se mide en cuanto:

- En el recorrido de la carretera se encuentren atractivos paisajes
- El mismo trazo de la carretera permita que el conductor se sienta cómodo en su recorrido.

Lo económico se mide en cuanto:

- Los costos por la construcción, operación y mantenimiento de la carretera son considerablemente bajos.
- Los costos de viaje entre dos puntos son menores a comparación de la situación anterior sin carretera o con carretera en mal estado.

Es compatible con el medio ambiente en cuanto:

- El trazo de la vía respete el paisaje, tal que no sea considerable el daño al hábitat natural de las especies animales y vegetales
- El trazo respete también las áreas de patrimonio natural.
- El trazo permita tener menores tiempo de viaje, evitando así mayores emisiones de monóxido por parte de los vehículos

Para realizar el diseño geométrico tridimensional se procede al análisis y diseño bidimensional, con una proyección en un plano que es el diseño geométrico horizontal o trazado en planta, con una proyección en un plano que es diseño geométrico vertical o trazado en perfil longitudinal y complementándose con el

diseño en un plano perpendicular el eje de la carretera, que viene hacer el diseño de la sección transversal. (BWC&C, 2010:8)

Dentro de la metodología del diseño geométrico, se deben considerar características tales como el volumen de tránsito y topografía de la zona. Siendo esto importante para poder establecer los parámetros de diseño, acordes a la normativa vigente.

Recopilación de Información

Consiste en la obtención de todo tipo de información de fuentes confiables que aporten directa e indirectamente en la elección de parámetros de diseño. Se puede considerar, por ejemplo:

- Estudio de Tráfico y Demanda, del cual se obtiene el Índice Medio Diario Anual (IMDA) para los 20 años de vida útil de la carretera y el vehículo de diseño.
- Estudio de Geología y Geotecnia, del cual se obtiene características del lugar que podrían influir en el trazo de la vía. Si, por ejemplo, existen zonas con peligro de inestabilidad de taludes, se podría cambiar el trazado.
- Estudio de Hidrología.

2.2.1. Clasificación de la carretera

Uno de los factores determinantes en el diseño de carreteras es, sin duda, la clasificación que obtienen de acuerdo con el máximo volumen vehicular que puedan contener en un periodo de tiempo en una sección de la carretera. Es decir, la cantidad máxima de vehículos que pasan por una sección de la carretera, en un periodo de tiempo, determinan indicadores que permiten clasificarla.

Dentro de los índices determinantes en la clasificación de la carretera, el más común y más usado es el Índice Medio Diario Anual (IMDA). El IMDA Es la cantidad promedio de vehículos que pasan por cierta sección de una carretera durante una hora, promediada en todos los días de un año, previsible al año fin de la vida útil de la carretera.

Por ejemplo, si el diseño de una carretera se realiza en el año 2015, el IMDA debe ser tal que muestre la realidad más probable a los 20 años de vida útil de la carretera, es decir, en el año 2035.

El Manual DG-2014 considera que la clasificación de las carreteras está también en función de la demanda existente, así como se presenta en la **Tabla 2**.

Cuadro N° 1: Criterios de Clasificación de una carretera peruana en función de la demanda

CLASIFICACIÓN	ÍNDICE MEDIO DIARIO ANUAL (IMDA) EN VEHÍCULOS/DÍA	CARACTERÍSTICAS
Autopistas de Primera Clase	Mayor a 6000	Calzadas divididas por un separador central de 6.00 m como mínimo
Autopistas de Segunda Clase	Entre 6000 y 4001	Calzadas divididas por un separador central de entre 6.00m y 1.00 m
Carreteras de Primera Clase	Entre 400 y 2001	Una calzada de dos carriles de 3.60 m de ancho como mínimo
Carreteras de Segunda Clase	Entre 200 y 400	Una calzada de dos carriles de 3.30 m de ancho como mínimo.
Carreteras de Tercera Clase	Menores a 400	Una calzada de dos carriles de 3.00 m de ancho como mínimo
Trochas Carrozables	Menores a 200	Una calzada de 4.00 m de ancho como mínimo

Fuente: Manual DG-2014

Cabe recalcar que el Índice Medio Diario Anual (IMDA) viene a ser el promedio aritmético de los volúmenes diarios para todos los días del año previsible en 20 años, tiempo considerado como vida útil de la carretera proyectada. (Manual DG-2014, 2014:95)

Por otro lado, la clasificación de las carreteras en el Perú en función de la orografía predominante del terreno es de la siguiente manera:

Cuadro N° 2: Criterios de Clasificación de una carretera peruana en función de la orografía predominante del terreno

CLASIFICACIÓN	CARACTERÍSTICAS
Terreno Plano (Tipo 1)	Tiene pendientes transversales al eje de la vía, menores o iguales al 10%. Las pendientes longitudinales son menores al 3%
Terreno Ondulado (Tipo 2)	Tiene pendientes transversales al eje de la vía entre 11% y 50%. Las pendientes longitudinales están entre 3% y 6%.
Terreno Accidentado (Tipo 3)	Tiene pendientes transversales al eje de la vía entre 51% y 100%. Las pendientes longitudinales están entre 6% y 8%.
Terreno Escarpado (Tipo 4)	Tiene pendientes transversales al eje de la vía superiores al 100%. Las pendientes longitudinales son mayores al 8%

Fuente: Manual DG-2014

Es necesario especificar que el valor de la pendiente transversal al eje de vía es aquel valor más crítico entre todas las pendientes transversales significativas en el recorrido del eje de la carretera.

Así mismo, los manuales extranjeros que se mencionaron anteriormente tienen sus propios criterios para clasificar a las carreteras. La siguiente tabla muestra un resumen de sus respectivos criterios:

Cuadro N° 3: Diferencias en la clasificación colombiana y chilena de las carreteras

	Por su funcionalidad	Características	Por su orografía	Características
Manual Colombiano	Primarias	Troncales transversales y accesos a capitales de Departamento	Terreno Plano	Pendiente transversal al eje menor a 5°
	Secundarias Terciarias	Vías que unen cabeceras municipales. Conectan con una carretera primaria	Terreno Ondulado	Pendiente transversal al eje entre 6° y 13°
			Terreno Montañoso	Pendiente transversal al eje entre 13° y 40°
	Terciarias	Vías que unen cabeceras municipales con veredas o veredas entre sí	Terreno Escarpado	Pendiente transversal al eje mayor a 40°
Manual Chileno	Autopistas	Asocian longitudes de viaje considerables	Terreno Llano	Amplias extensiones libres de obstáculos naturales
	Autorrutas	Sirven de tránsito interurbano		
	Carreteras Primarias	Recorridos de corta distancia con importante porcentaje de tránsito	Terreno Ondulado	Terreno con frecuentes cambios de cota
	Caminos Colectores	Tránsito de mediana y corta distancia		
	Caminos Locales	Conectan a los caminos colectores	Terreno Montañoso	Constituido por cordones montañosos o "cuestas". Existen desniveles considerables
	Caminos de Desarrollo	Conectan zonas aisladas		

Fuente: Propia

2.2.2. Vehículo de Diseño

Las características físicas de los vehículos que transitan o que transitarán por la carretera a diseñar, así como sus dimensiones, serán parámetros influyentes en la construcción geométrica de los diversos elementos de la carretera. Las características de los vehículos inciden de cierta forma en el diseño de curvas, sobreelevaciones, curvas de transición, pendientes longitudinales de la rasante, etc.

Es necesario conocer que vehículo servirá como parámetro de diseño. No se toma en consideración todos los vehículos que transiten en una determinada vía, solo se toma en cuenta el vehículo más grande que vaya a usar la carretera proyectada.

El vehículo de diseño o de proyecto es aquel vehículo hipotético, cuyo peso, dimensiones y características de operación son utilizados para establecer los lineamientos que guiarán el proyecto geométrico de las carreteras, calles e intersecciones tal que éstas puedan acomodar vehículos de este tipo. (BWC&C, 2010:9)

2.2.3. Velocidad de Diseño

Se define como la máxima velocidad con la que un tramo determinado de la carretera se puede mantener segura y cómoda, cuando prevalezcan las condiciones de diseño. Además, permite definir las características geométricas mínimas de todos los elementos del trazado en condiciones de comodidad y seguridad (Manual DG, 2014: 100).

Todos aquellos elementos geométricos de los alineamientos horizontal, de perfil y transversal, tales como radios mínimos, pendientes máximas, distancias de visibilidad, peraltes, anchos de carriles y bermas, sobreanchos, etc. dependen de la velocidad de diseño y varían con un cambio de ella. (BWC&C, 2010:8)

2.2.4. Distancias de Visibilidad

En cualquier lugar de la carretera el usuario tiene una visibilidad que depende de la forma, dimensiones y la disposición de los elementos del trazado. Para que las distintas maniobras puedan efectuarse de una forma se precisa de una visibilidad mínima que depende de la velocidad del vehículo y del tipo de maniobra. Se considera la visibilidad de parada y de adelantamiento. (BWC&C, 2010:10)

2.2.4.1. Distancia de Visibilidad de Parada:

Es la distancia mínima requerida para que se detenga un vehículo que viaja a la velocidad de diseño, antes de que alcance un objeto inmóvil que se encuentra en su trayectoria.

Se considera obstáculo aquel de una altura igual o mayor a 0.15 m, estando situados los ojos del conductor a 1.15 m, sobre la rasante del eje de su pista de circulación. (BWC&C, 2010:10)

De acuerdo al Manual DG_2014, la distancia de visibilidad de parada se obtiene de dos maneras, de manera gráfica o empleando la ecuación mostrada más adelante.

Figura N° 2: Distancia de visibilidad de Parada (en metros)

Velocidad de diseño (km/h)	Pendiente nula o en bajada				Pendiente en subida		
	0%	3%	6%	9%	3%	6%	9%
20	20	20	20	20	19	18	18
30	35	35	35	35	31	30	29
40	50	50	50	53	45	44	43
50	65	66	70	74	61	59	58
60	85	87	92	97	80	77	75
70	105	110	116	124	100	97	93
80	130	136	144	154	123	118	114
90	160	164	174	187	148	141	136
100	185	194	207	223	174	167	160
110	220	227	243	262	203	194	186
120	250	283	293	304	234	223	214
130	287	310	338	375	267	252	238

Fuente: Manual DG-2014

Es recomendable calcular la distancia de visibilidad de parada a partir de la fórmula presentada en el Manual, de modo que, al tener estos dos valores de longitud, con seguridad se escoge dicha distancia mínima. La fórmula es la siguiente:

Figura N° 3: Fórmula para determinar la distancia de parada

$$D_p = \frac{V t_p}{3,6} + \frac{V^2}{254(f \pm i)}$$

Dónde:

- D_p : Distancia de parada (m)
- V : Velocidad de diseño
- t_p : Tiempo de percepción + reacción (s)
- f : Coeficiente de fricción, pavimento húmedo
- i : Pendiente longitudinal (tanto por uno)
- +i : Subidas respecto al sentido de circulación
- i : Bajadas respecto al sentido de circulación.

Fuente: Manual DG-2014

Figura N° 4: Coeficientes de parada en pavimento húmedo y a nivel

Design Speed (km/h)	Assumed Speed for Condition (km/h)	Brake Reaction		Coefficient of Friction ^a f	Breaking Distance on Level (m)	Stopping Sight Distance for Design (m)
		Time (s)	Distance (m)			
30	30-30	2.5	20.8-20.8	0.40	8.8-8.8	29.6-29.6
40	40-40	2.5	27.8-27.8	0.38	16.6-16.6	44.4-44.4
50	47-50	2.5	32.6-34.7	0.35	24.8-28.1	57.4-62.8
60	55-60	2.5	38.2-41.7	0.33	36.1-42.9	74.3-84.6
70	63-70	2.5	43.7-48.6	0.31	50.4-62.2	94.1-110.8
80	70-80	2.5	48.6-55.5	0.30	64.2-83.9	112.8-139.4
90	77-90	2.5	53.5-62.5	0.30	77.7-106.2	131.2-168.7
100	85-100	2.5	59.0-69.4	0.29	98.0-135.6	157.0-205.0
110	91-110	2.5	63.2-76.4	0.28	116.3-170.0	179.5-246.4
120	98-120	2.5	68.0-83.3	0.28	134.9-202.3	202.9-285.6

Fuente: AASHTO

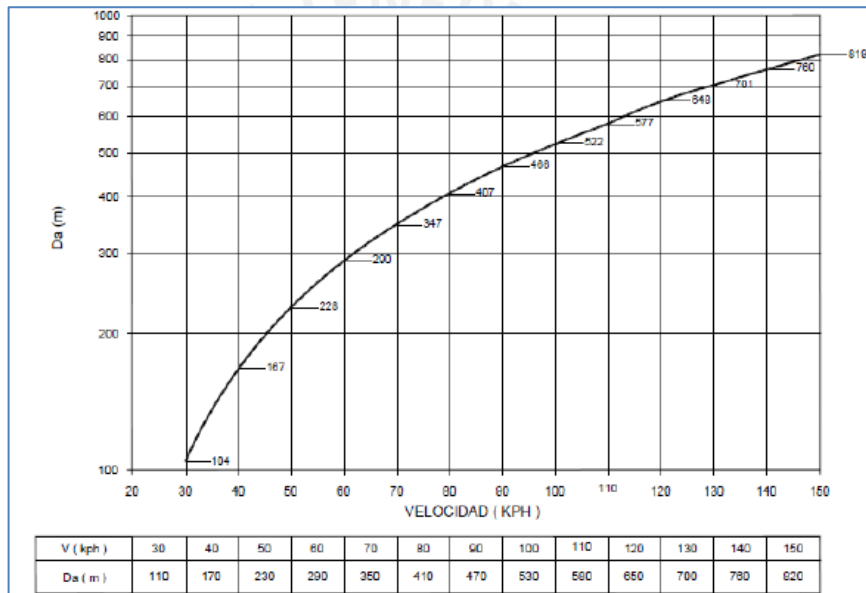
El tiempo de percepción/reacción se asume de 2s de acuerdo a las tendencias vigentes a la fecha.

2.2.4.2. Distancia de Visibilidad de Adelantamiento:

Es la distancia mínima que debe estar disponible a fin de facultar al conductor del vehículo a sobrepasar a otro que se supone viaja a una velocidad 15 Kph menor, con comodidad y seguridad sin causar alteración en la velocidad de un tercer vehículo que viaja en sentido contrario a la velocidad directriz, y que se hace visible cuando se ha iniciado la maniobra de sobrepaso. (BWC&C, 2010:10)

El Manual peruano sugiere mínimas distancias de visibilidad que se obtienen del siguiente gráfico, de acuerdo con la velocidad de diseño.

Figura N° 5: Distancia de visibilidad de paso o adelantamiento (en metros)



Fuente: Manual DG-2014

2.2.5. Alineamiento Horizontal

Un punto importante que considerar en relación con el alineamiento horizontal está en minimizar el impacto ambiental que pudiera generarse, preservando la flora, fauna y la geografía de la zona que atraviesa, así como también las propiedades privadas (Manual DG, 2014: 134).

2.2.5.1. Radio mínimo

Son los menores radios que pueden recorrerse a la velocidad de diseño y a la tasa máxima de peralte, en condiciones aceptables de seguridad y comodidad.

De acuerdo al Manual DG-2014, el valor del radio mínimo debe ser tal que:

$$R_{\min} = \frac{V^2}{127(P_{\max} + f_{\max})}$$

Donde:

R_{\min} = Radio mínimo absoluto (m)

V = Velocidad de diseño (Kph)

P_{\max} = Peralte máximo asociado a V (en decimal)

f_{\max} = Coeficiente de fricción transversal asociado a V

Coeficientes de fricción:

Tabla N° 2: Fricción transversal máxima en curvas

Velocidad de Diseño Km/h	f_{\max}
20	0.18
30	0.17
40	0.17
50	0.16
60	0.15

Fuente: Manual DG-2014

Peralte máximo:

Tabla N° 3: Valores de Peralte Máximo

Ubicación de la vía	Peralte Máximo
Área Urbana	4%
Área Rural (con peligro de hielo)	6%
Área Rural (plano u ondulado)	8%
Área Rural (accidentado o escarpado)	12%

Fuente: Manual DG-2014

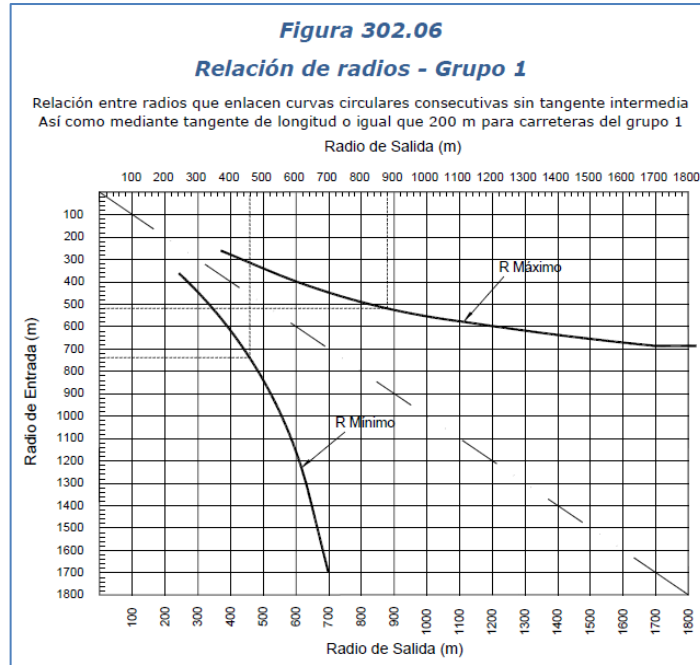
De la ecuación anterior, se observa que el radio mínimo tomará valores pequeños cuando el valor de la fricción máxima transversal sea bajo (implica que la velocidad de diseño sea baja), y cuando la vía se ubique en zonas accidentadas o escarpadas. Se permite radios mínimos con valores altos cuando la velocidad de diseño es alta y cuando la vía se ubique en zonas más planas o urbanas.

2.2.5.2. Coordinación entre curvas circulares

De acuerdo con el Manual DG-2014, la coordinación entre curvas circulares trata de que entre dos curvas consecutivas sin tangente intermedia o con tangente menor a 200 m de longitud, no puede existir una diferencia abrupta en los radios correspondientes. La relación de radios de las curvas no sobrepasará los valores

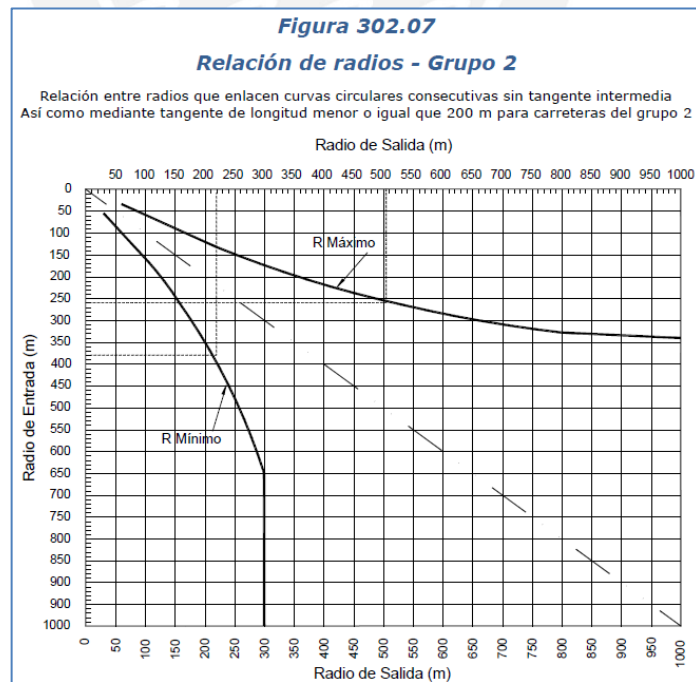
obtenidos a partir de las Figuras 302.06 y 302.07 del Manual. (Manual DG-2014, 2014:145)

Figura N° 6: Coordinación entre curvas circulares para autopistas y carreteras de 1ra clase



Fuente: Manual DG-2014

Figura N° 7: Coordinación entre curvas circulares para carreteras de 2da y 3ra clase.



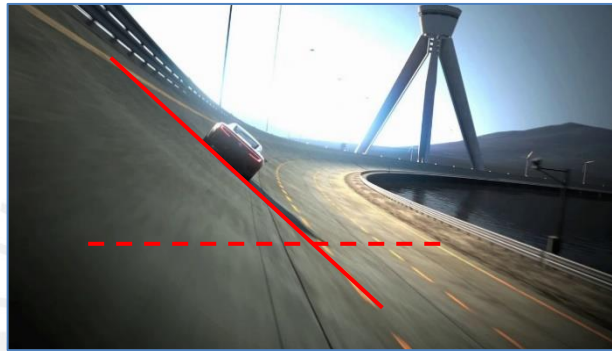
Fuente: Manual DG-2014

Las figuras anteriores muestran que, por ejemplo, para una carretera de tercera clase, con un radio de entrada de 300 m, el mínimo radio de la siguiente curva debe ser 175m, y como máximo 650 m. Esto sólo se aplica si no existe tangente entre ambas curvas o si la tangente tiene longitud menor a 200 m.

2.2.5.3. Peralte de curvas

Se denomina peralte a la pendiente transversal de la plataforma que ocurre en las curvas de una carretera. Esto con el fin de contrarrestar la fuerza centrífuga que impele al vehículo hacia el exterior de la curva. (CIVIL CONSULTING & CADEXPRESS, 2016:1)

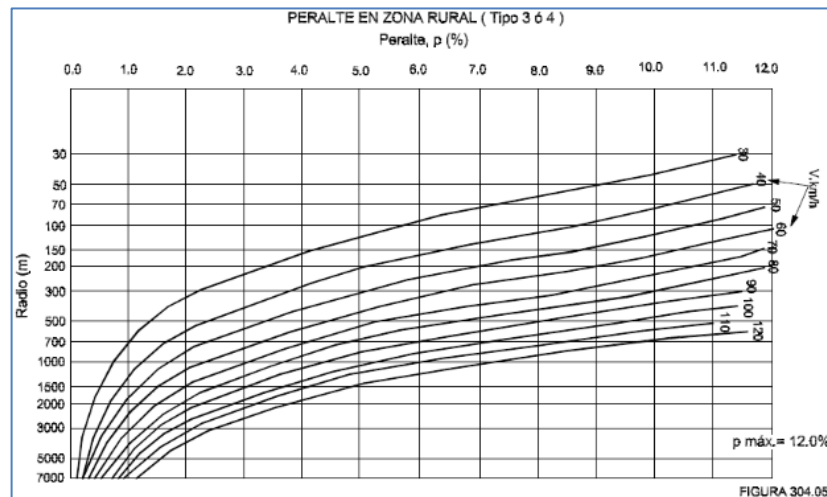
Figura N° 8: Curva peraltada que contrarresta la fuerza centrípeta



Fuente: gtplanet – www.gtplanet.net

La norma peruana presenta, en diversos gráficos, la variación del peralte respecto al radio asignado a las curvas del trazo diseñado. En cada caso se establece valores de peralte máximo dependen de la orografía o de las características climatológicas.

Figura N° 9: Peralte para zona rural (Tipo 3 o 4)



Fuente: Manual DG-2014

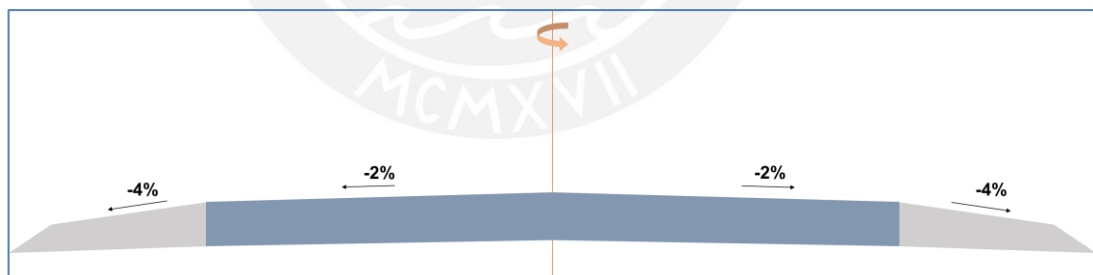
En la figura mostrada, se observa una variación no lineal del peralte con respecto al radio de la curva para cada velocidad de diseño. El valor de peralte máximo vendría a ser 12%, al tratarse de una zona rural (con orografía accidentada o escarpada). Se aprecia que a medida que los radios de las curvas circulares toman valores más grandes, el peralte correspondiente se va haciendo más pequeño. Esto se explica por la relación entre el radio de giro y la fuerza centrípeta; mientras mayor sea el radio, menor será la fuerza que impulsa al vehículo a salir de la curva, y esto se traduce en reducir la inclinación transversal de la calzada.

Por otro lado, la inclinación transversal de la calzada se da en forma gradual a medida que se recorre la curva circular. Es decir, el peralte va incrementándose desde un punto en el tramo tangente hasta el punto donde toma su valor máximo. A este desarrollo gradual se le conoce como transición de peralte.

La longitud de transición del peralte **L_{tp}** en una curva circular, empieza a desarrollarse antes del inicio de curva y llega a su máximo valor un poco después del inicio de curva. Según la norma una vez alcanzado el peralte total, este debe mantenerse en la curva en una extensión $V/3.6$ metros. De preferencia evitar este valor que es demasiado pequeño. (CIVIL CONSULTING & CADEXPRESS, 2016:7)

A continuación, se muestra gráficamente la transición de peralte.

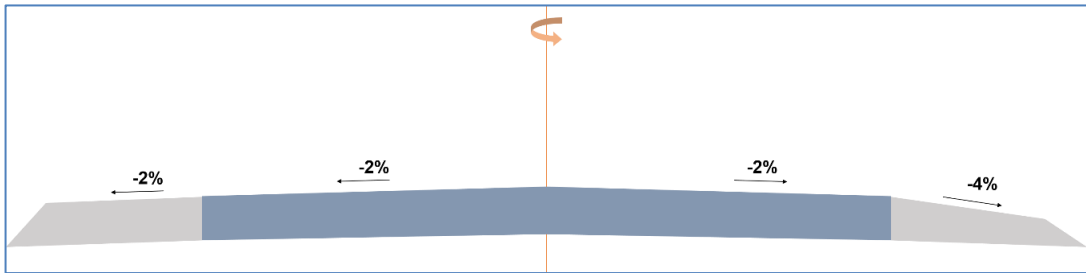
Figura N° 10: Fin de Berma Normal



Fuente: Propia

La figura muestra la sección transversal de la vía en tangente, justo en el momento en que se inicia la disminución de la inclinación de la berma. La disminución será en el lado exterior de la curva. La pendiente de la berma para este ejemplo es de 4%. A este punto se le llama **Fin de Berma Normal (Punto F)**.

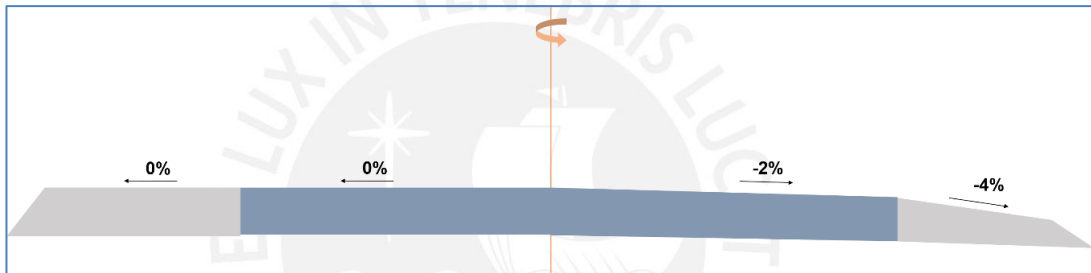
Figura N° 11: Fin de Bombeo Normal



Fuente: Propia

La figura muestra la sección transversal de la vía en tangente, justo en el momento en que se inicia el desvanecimiento del bombeo. El desvanecimiento será en el lado exterior de la curva. El bombeo para este ejemplo es de 2%. A este punto se le llama **Fin de Bombeo Normal (Punto A)**.

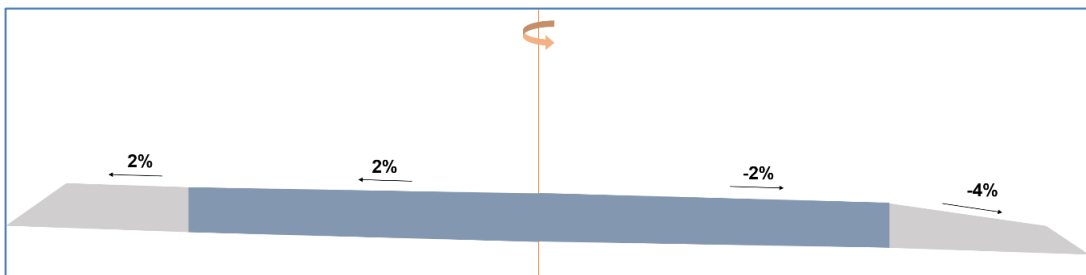
Figura N° 12: Bombeo Nivelado



Fuente: Propia

El siguiente punto es cuando el carril exterior se nivela a cero grados. A este punto se le denomina **Bombeo Nivelado (Punto B)**.

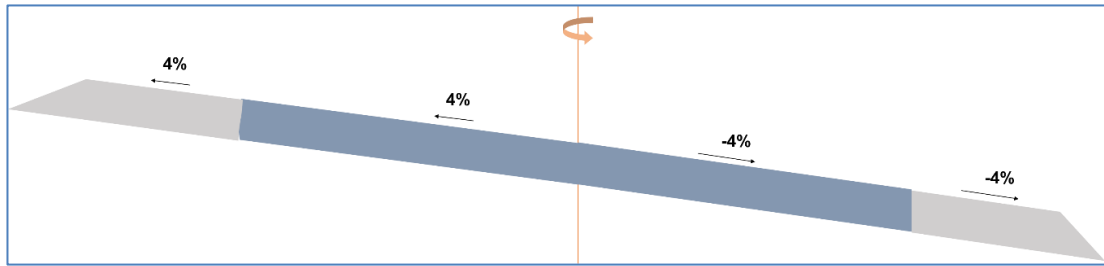
Figura N° 13: Bombeo al revés



Fuente: Propia

El siguiente punto notable de la transición de peralte es cuando el carril exterior de la calzada se alinea con el carril interior de la calzada. Ambos carriles tienen el mismo valor de inclinación, en este caso 2%, pero con signo cambiado. Es negativo cuando está en bombeo y es positivo en el carril exterior, porque el carril se ha elevado hacia arriba. A este punto se le denomina **Bombeo al Revés (Punto C)**.

Figura N° 14: Berma al Revés



Fuente: Propia

El punto notable de la figura es el que se da cuando, tanto la calzada y las bermas, llegan a inclinarse conjuntamente, obteniendo una pendiente igual a la que tenían en un inicio las bermas. Para este ejemplo, la pendiente de las bermas es 4%. A este punto se le conoce como **Berma al Revés (Punto G)**.

Hasta aquí, todos los puntos notables ocurren antes del inicio de la curva circular. El momento en el que se inicie la curva circular, el peralte ya debe haber superado el 50% de su desarrollo. Esto quiere decir que una parte del desarrollo del peralte ocurre en el tramo tangente. El Manual DG-2014 establece qué proporción de peralte es la que se debe dar en el tramo recto.

Tabla N° 4: Proporción del peralte (p) a desarrollar en tangente

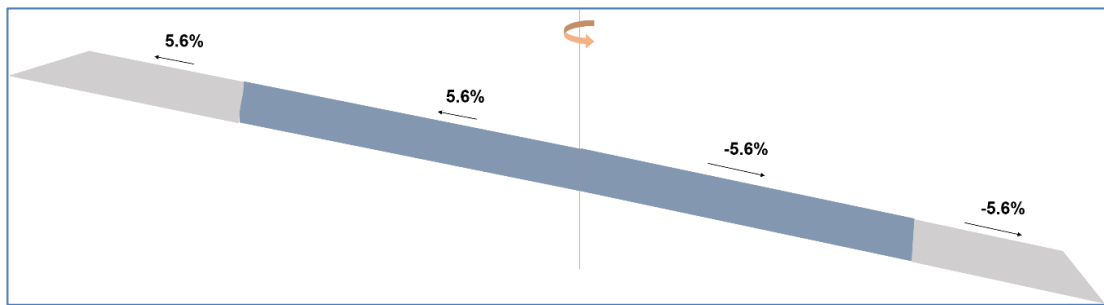
$p \leq 4.5 \%$	$4.5 \% < p \leq 7 \%$	$p > 7 \%$
0.5p	0.7p	0.8p

Fuente: Manual DG-2014

La tabla anterior indica, por ejemplo, que si el peralte asignado a la curva es menor o igual a 4.5%, el 50% del peralte debe desarrollarse en el tramo tangente. A estos valores de 0.5, 0.7 y 0.8 se les conoce como factores "K", y dependen del valor de peralte asignado a la curva.

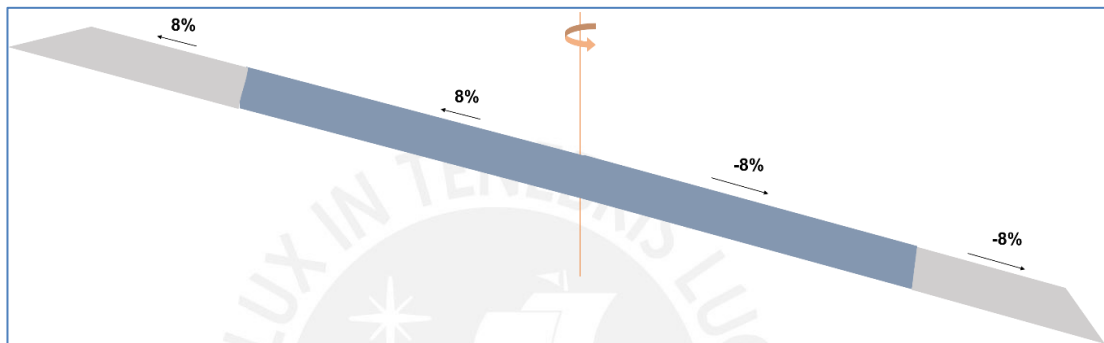
A manera de ejemplo, si el peralte de una curva circular es de 8%, corresponde que el 70% (K=0.7) del peralte se desarrolle en el tramo tangente. Esto implica que el valor del peralte en el inicio de la curva sea el 70% del 8%, y esto es 5.6%. Entonces, en el inicio de la curva (PC), la calzada, juntamente con las bermas, ya tiene 5.6% de inclinación (Ver Figura N°15).

Figura N° 15: Inicio de Curva Circular (PC)



Fuente: Propia

Figura N° 16: Inicio de Peralte Máximo

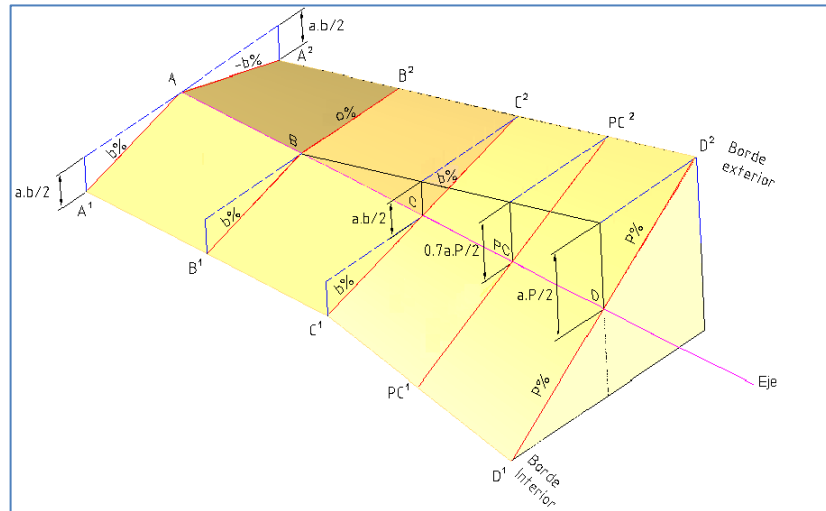


Fuente: Propia

Finalmente, se llega al punto de peralte máximo (Ver Figura N°16), donde la pendiente en el carril interior será negativa, y en el exterior, positiva. A este punto se le llama **Inicio de Peralte Máximo (Punto D)**.

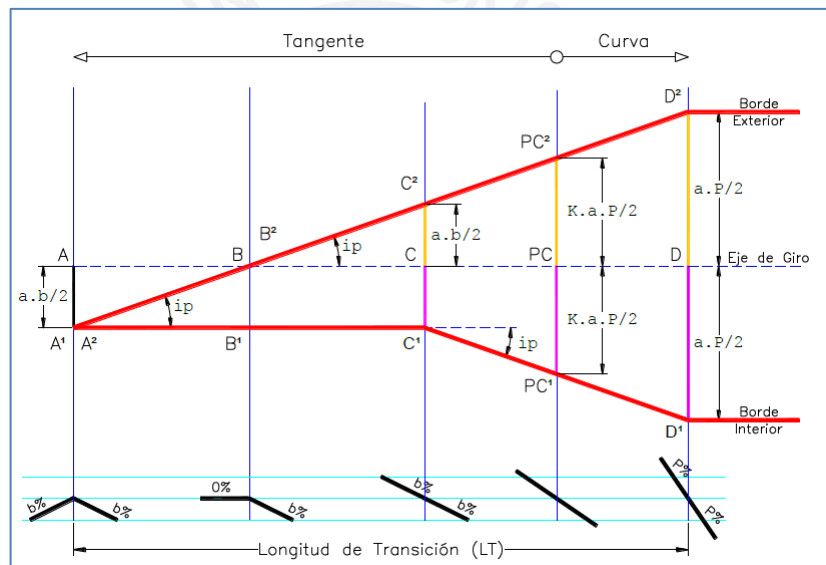
Como ilustración, se muestra la Figura N°17 en la cual se aprecia la transición del peralte en cada punto notable tridimensionalmente. La Figura N°18 es una proyección de una vista de perfil, en cual se observa la variación de dos puntos a cada extremo de la calzada durante el desarrollo del peralte.

Figura N° 17: Vista tridimensional de la transición de peralte



Fuente: Civil Consulting & CAD Express

Figura N° 18: Proyección de perfil de la transición de peralte



Fuente: Civil Consulting & CAD Express

La Figura N°18 muestra distancias y medidas que serán necesarias para el cálculo de proporción de peralte en cada punto notable.

a = Ancho de calzada

b = Bombeo (%)

P = Peralte asignado a la curva

K = Factor de proporción de peralte (Manual DG-2014)

Las distancias AB, BC, CPC, PCD, etc., se calculan por semejanza de triángulos. Todos los cálculos serán de necesidad al momento de diseñar la transición de peraltes de la carretera.

Sin bien los valores e ilustraciones corresponden a la transición de peralte en la entrada a la curva, para la transición de salida solo es necesario tomarlo de manera inversa.

No obstante, la longitud de transición de peralte no siempre se da en el mismo orden anteriormente presentado. Suele existir algunas condiciones que modifiquen el orden de los puntos notables. Las condiciones son las siguientes:

- Existe la posibilidad de que el Punto G se encuentre antes o después del inicio de la curva circular (PC), esto dependerá del factor K, presentado líneas arriba.
- Si la inclinación de la berma inicial o por diseño es mayor al peralte máximo de la curva, el Punto G no existe y no se considera en la transición.

La longitud de transición de peralte desde el punto de bombeo normal hasta el punto de inicio de peralte máximo se desarrolla de acuerdo a la siguiente fórmula:

Figura N° 19: Fórmula para calcular la longitud de transición de peralte

**FORMULA PARA EL CALCULO DE
LONGITUD DE TRANSICIÓN DEL PERALTE**

$$L_{tp \text{ min}} = \frac{(p_f - p_i)}{i_{p \text{ max}}} \times B$$

Donde :

pf : peralte que requiere la curva
 pi : peralte inicial, que generalmente corresponde al valor de bombeo
 B : distancia del borde de la calzada a la zona donde se realiza el giro
 ip_{max} : pendiente longitudinal del desarrollo del peralte, borde exterior

$$i_{p \text{ max}} = 1.8 - 0.01Vd$$

Fuente: Civil Consulting & CAD Express

2.2.5.4. Curva de transición

En presencia de curvas de radios pequeños, resulta un peligro que los conductores se vean forzados a realizar maniobras incómodas. Esto se debe a que el vehículo no describe una trayectoria circular adecuada y resulta en que este invade el carril contrario.

Se sugiere que el paso de un tramo recto a una curva circular se haga de forma gradual, de manera que no se presenten dichos inconvenientes. Para ello, es necesario emplear curvas de transición que permitan un cambio gradual de dirección, inclinación transversal y la ampliación de la calzada (sobreeanchos y anchos de visibilidad). (Cárdenas, 2015: 242)

En el ámbito local, una curva de transición por defecto corresponde a la ecuación de la Clotoide o Espiral de Euler. Dicha ecuación es sencilla e involucra tres parámetros determinantes para su diseño.

$$A^2 = RL$$

Donde:

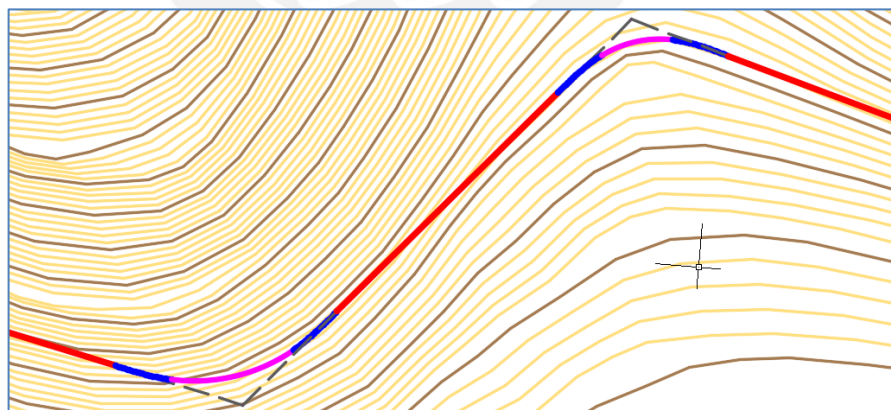
A = Parámetro de la Espiral

R = Radio de curvatura de la espiral en un punto de la espiral

L = Longitud desde el origen hasta dicho punto.

Esta característica geométrica de la espiral permite una adecuada transición desde un tramo tangente ($R = \infty$) hasta el inicio de la curva circular ($R = R_c$). La siguiente imagen muestra la configuración de una curva circular con espirales de transición a la entrada y a la salida. Las líneas rojas representan tramos tangentes, las azules vienen a ser las espirales, y las curvas lilas son curvas circulares.

Figura N° 20: Configuración de curva circular con curvas de transición



Fuente: Propia

Si bien las curvas de transición permiten una mejor transición entre tramo recto y curvo, no es muy necesario emplearlas en curvas de radios grandes, pues al ser curvas amplias, permiten al vehículo tener una trayectoria circular y que no experimente cambios bruscos de dirección. Es así, que la Norma peruana ha establecido los radios mínimos para que una curva pueda prescindir de espirales.

Figura N° 21: Valores de radio mínimo para poder prescindir de curvas de transición

<i>Radios circulares límites que permiten prescindir de la curva de transición</i>											
V (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
R (m)	80	150	225	325	450	600	750	900	1200	1500	1800

<i>Radios que permiten prescindir de la curva de transición en carreteras de Tercera Clase</i>	
Velocidad de diseño Km/h	Radio M
20	24
30	55
40	95
50	150
60	210
70	290
80	380
90	480

Fuente: Manual DG-2014

A manera de ejemplo, para una carretera de tercera clase con 40Kph de velocidad de diseño, si alguna de sus curvas tiene un radio menor a 95 m, entonces es necesario e obligatorio emplear curvas de transición a la entrada y a la salida en dicha curva.

De otro lado, por parte del diseño de estas curvas de transición, el parámetro más influyente a calcular es la longitud mínima de la curva espiral ($L_{mín}$), que resulta de determinar el parámetro de la espiral mínimo ($A_{mín}$) de modo que la curva de transición distribuya la aceleración transversal no compensada, a una tasa J , compatible con la seguridad y comodidad (Manual DG-2014, 2104: 151). La ecuación es la siguiente:

$$A_{mín} = \sqrt{\frac{VR}{46.656J} \left(\frac{V^2}{R} - 1.27p \right)}$$

Donde:

V = Velocidad de diseño (Kph)

R = Radio de la curva circular asociada (m)

J = Variación uniforme de la aceleración (m/s^3)

p = peralte correspondiente a V y R (%)

A partir de la ecuación de la espiral y del $A_{mín}$, se puede determinar el valor de $L_{mín}$:

$$L_{\min} = \frac{V}{46.656J} \left(\frac{V^2}{R} - 1.27p \right)$$

Se puede apreciar que mientras más pequeño sea el radio de la curva, la longitud de la espiral aumenta. El valor de J es un parámetro influenciado por la velocidad de diseño, mientras mayor velocidad haya, menor será la variación de la aceleración transversal. El Manual DG-2014 establece valores de J para rangos de velocidades de diseño.

Figura N° 22: Variación de la aceleración transversal

V (km/h)	V < 80	80 < V < 100	100 < V < 120	V > 120
J (m/s ³)	0,5	0,4	0,4	0,4
Jmáx (m/s ³)	0,7	0,8	0,5	0,4

Fuente: Manual DG-2014

Los valores de Jmáx se emplean cuando el proyecto tiene la finalidad de ser principalmente económico, de tal modo que al usar valores grandes de J, la longitud de la espiral se reduce. Como consecuencia de Lmín pequeños, los costos de construcción resultan, en parte, cómodos.

Una vez calculada la longitud mínima de la espiral, es necesario verificar que cumpla ciertos criterios de diseño según el Manual DG-2014. Los criterios son los siguientes:

1. En ningún caso, la longitud de la espiral debe ser menor a 30 m.
2. La longitud de la espiral mínima debe ser la calculada con la ecuación de Amín.
3. Para que la presencia de la espiral sea fácilmente perceptible por el conductor, se debe cumplir:

$$\frac{R}{3} \leq Amín \leq R$$

En caso no se cumpliera dicha condición, el valor de Amín debe ser R/3, por lo que el valor de Lmín debe ser igual a R/9.

4. Por la condición del desarrollo de peralte, Lmín se calcula de la siguiente manera:

$$L_{\min} = \frac{\frac{a}{2}p}{ip_{\max}}$$

Donde:

a = Ancho de la calzada (m)

p = Peralte de la curva (%)

5. En el caso de que se trate de una carretera de tercera clase:

$$L_{\text{mín}} = 0.0178 \frac{V^3}{R}$$

$$L_{\text{máx}} = \sqrt{(24R)}$$

6. Una vez que la longitud mínima escogida cumpla con los criterios anteriores, se calcula la longitud máxima:

$$L_{\text{máx}} = 1.5 L_{\text{mín}}$$

A partir del $L_{\text{mín}}$ y $L_{\text{máx}}$, ya se tiene un rango de valores de longitudes de espiral que se pueden asignar en el diseño.

Por otro lado, así como se da el desarrollo del peralte en una curva sin espirales, también es necesario analizar lo que ocurre en una que contenga curvas de transición. El valor de L asignada a la espiral viene a ser la composición de una longitud L_2 y otra L_3 . Es decir, $L = L_2 + L_3$, mientras que L_1 es el complemento para que la suma de estas tres longitudes resulte ser la longitud de transición de peralte (**L_{tp}**).

$$L_{tp} = L_1 + L_2 + L_3$$

Donde:

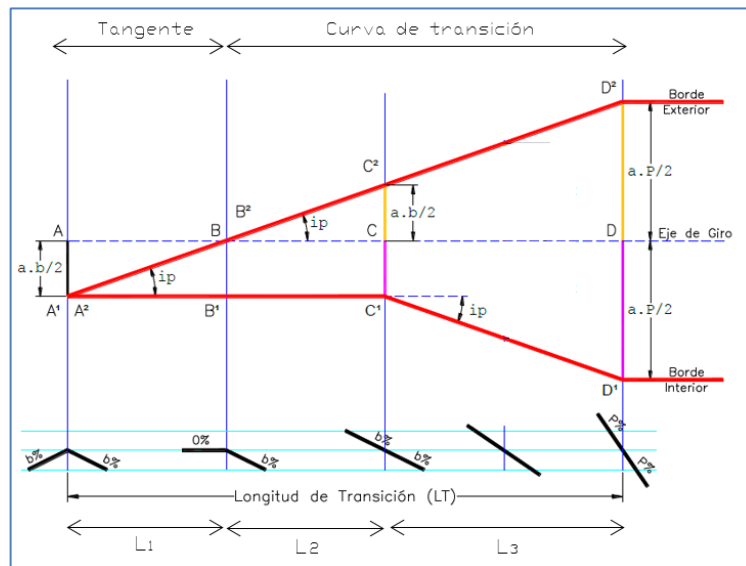
L_1 = longitud del desarrollo de una proporción del peralte en el tramo tangente (m)

L_2 = longitud del desarrollo de otra proporción del peralte en la curva de transición (m)

L_3 = longitud del desarrollo de la última proporción del peralte en la curva de transición (m)

Al igual que en curvas sin espirales, los puntos notables en la transición del peralte son los mismos, con la diferencia de que, en este caso, el Punto D y el de inicio de la curva circular (PC) coinciden. La siguiente imagen ilustra mejor la transición de peralte en una curva con espirales.

Figura N° 23: Proyección de perfil de la transición de peralte en curva con espirales



Fuente: Civil Consulting & CAD Express

De la imagen anterior, se puede apreciar que $L_1 = L_2$, por lo que, si se define una longitud de la curva de transición, es posible, mediante propiedades geométricas, determinar los valores de L_1 , L_2 y L_3 .

2.2.5.5. Sobreanchos

Cuando un vehículo circula por una curva horizontal, ocupa un ancho de calzada mayor que en recta. Debido a la rigidez y dimensiones del vehículo, sus ruedas traseras siguen una trayectoria distinta a la de las ruedas delanteras, ocasionando dificultad a los conductores para mantener su vehículo en el eje del carril de circulación que sigue. Es por ello que la calzada en las curvas debe ensancharse para compensar el mayor espacio que ocupa el vehículo al girar por ella. (BWC&C, 2010:20)

El cálculo del sobreancho se realiza mediante la siguiente fórmula:

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

Donde:

Sa = Sobreancho (m)

n = Número de carriles

R = Radio de la curva (m)

L = Longitud del vehículo de diseño medido entre el último eje y la parte frontal del vehículo (m)

V = Velocidad de diseño (Kph)

Es recomendable redondear los resultados a múltiplos de 10 cm.

El sobreebancho se ubica en el borde interior de la curva circular o espiralada, aumentando el ancho de la calzada progresivamente a lo largo de la longitud de transición de peralte, mediante una variación lineal.

La variación lineal del sobreebancho se da de dos maneras diferentes. Si la curva no presenta curvas de transición, el desarrollo del ensanchamiento se da en la longitud de transición de peralte. Si la curva tiene espirales, el desarrollo del sobreebancho se da en la longitud de la espiral.

La variación lineal del sobreebancho se expresa con la siguiente fórmula:

$$Sa_n = \frac{Sa}{L} L_n$$

Donde:

Sa_n = Sobreebancho a calcular en un punto determinado (m)

Sa = Sobreebancho calculado para una curva (m)

L_n = Longitud en un punto en el cual se requiere calcular el sobreebancho (m)

L = Longitud total del desarrollo del sobreebancho (m)

Por ejemplo, si la longitud de transición de peralte de una curva es de 20 metros y el sobreebancho calculado es de 80 cm, y tratándose de una curva circular sin espirales, entonces se toma la longitud del desarrollo la misma longitud de la transición de peralte.

Entonces:

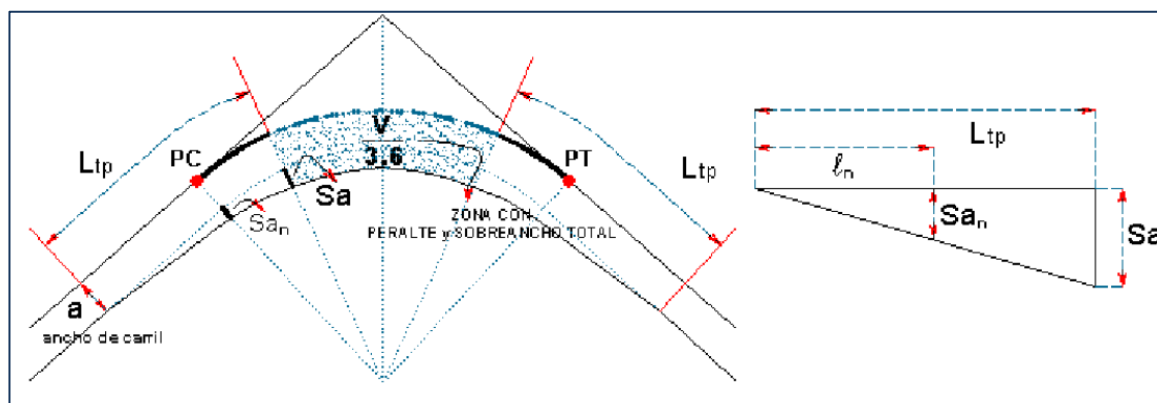
$$Sa_n = \frac{0.8}{20} L_n = 0.04L_n$$

Tabla N° 5: Variación lineal del sobreebancho de 80 cm, en 20 m de desarrollo.

L_n (m)	Sa_n (m)
0	0.0
5	0.2
10	0.4
15	0.6
20	0.8

Fuente: Propia

Figura N° 24: Desarrollo del sobreancho para una curva sin espirales



Fuente: Civil Consulting & CAD Express SAC

2.2.6. Alineamiento Vertical

Para el diseño del alineamiento vertical se toma en cuenta la velocidad de diseño, la topografía de la zona, condiciones de seguridad, condiciones de drenaje, costos de construcción y valores estéticos.

El principal criterio que se utiliza para definir la rasante es la orografía de la zona y garantizar el correcto drenaje longitudinal y transversal. En tramos llanos u ondulados la rasante se proyecta sobre las inflexiones del terreno, teniendo en cuenta consideraciones de estética, visibilidad y seguridad. En tramos de cruce urbano, se uniformiza la rasante existente tratando de conservar los niveles existentes. (Manual DG, 2014: 188)

2.2.6.1. Pendiente mínima y máxima

Como menciona la norma DG-2014, para un adecuado drenaje superficial del agua de las lluvias, se debe procurar proveer una pendiente mínima de aproximadamente 0.5%. Sin embargo, se pueden presentar los siguientes casos:

- Si la calzada posee un bombeo de 2% y no existen bermas y/o cunetas, se puede adoptar sectores con hasta 0.2% de pendiente.
- Si el bombeo es de 2.5%, se puede adoptar pendientes igual a cero (0).
- Si existen bermas, la pendiente mínima deseada es de 0.5% y la mínima es de 0.35%.
- En zonas de transición de peralte, la pendiente mínima debe ser 0.5%.

Por otro lado, de acuerdo con la Tabla 303.01 del Manual, se admiten como máximas las siguientes pendientes:

Figura N° 25: Pendientes máximas

Demanda	Autopistas								Carretera				Carretera				Carretera			
Vehículos/día	> 6.000				6.000 - 4001				4.000-2.001				2.000-400				< 400			
Características	Primera clase				Segunda clase				Primera clase				Segunda clase				Tercera clase			
Tipo de orografía	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Velocidad de diseño: 30 km/h																			10,00	10,0
40 km/h															9,00	8,00	9,00	10,00		
50 km/h										7,00	7,00			8,00	9,00	8,00	8,00	8,00	8,00	
60 km/h					6,00	6,00	7,00	7,00	6,00	6,00	7,00	7,00	6,00	7,00	8,00	9,00	8,00	8,00		
70 km/h			5,00	5,00	6,00	6,00	6,00	7,00	6,00	6,00	7,00	7,00	6,00	6,00	7,00		7,00	7,00		
80 km/h	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00		6,00	6,00			7,00	7,00		
90km/h	4,50	4,50	5,00		5,00	5,00	6,00		5,00	5,00			6,00				6,00	6,00		
100km/h	4,50	4,50	4,50		5,00	5,00	6,00		5,00				6,00							
110 km/h	4,00	4,00			4,00															
120 km/h	4,00	4,00			4,00															
130 km/h	3,50																			

Fuente: Manual DG-2014

2.2.6.2. Curvas verticales

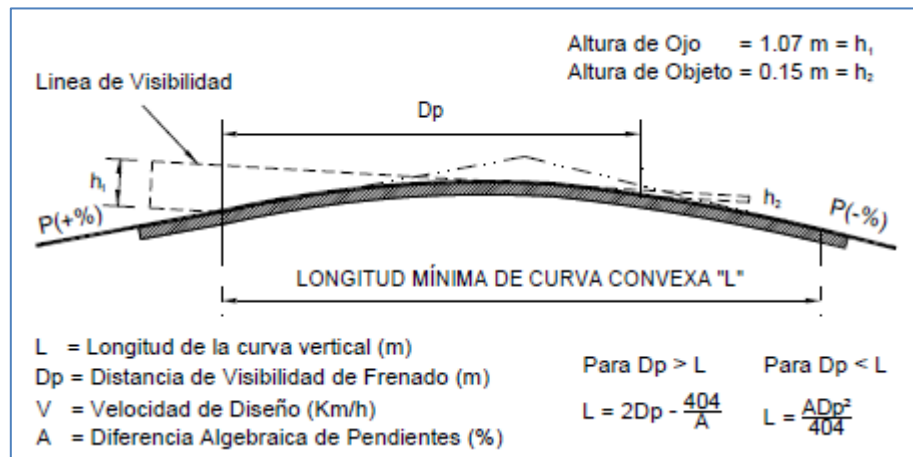
En el diseño vertical, las curvas son parábolas definidas por el parámetro de curvatura K, el cual viene a ser la relación entre la longitud de la curva vertical y el valor absoluto de la diferencia algebraica de pendientes de entrada y salida. Las curvas pueden ser de forma cóncava o convexa.

En el caso de la norma peruana, el diseño de las curvas verticales convexas se basa en calcular la longitud de la curva de modo que cuente con una adecuada visibilidad de parada o de adelantamiento. Mientras que, para las curvas cóncavas, es necesario que cuente con la distancia de visibilidad de parada.

En el caso de curvas convexas, las ecuaciones vienen a ser las siguientes:

- Si se desea contar con visibilidad de parada (D_p)

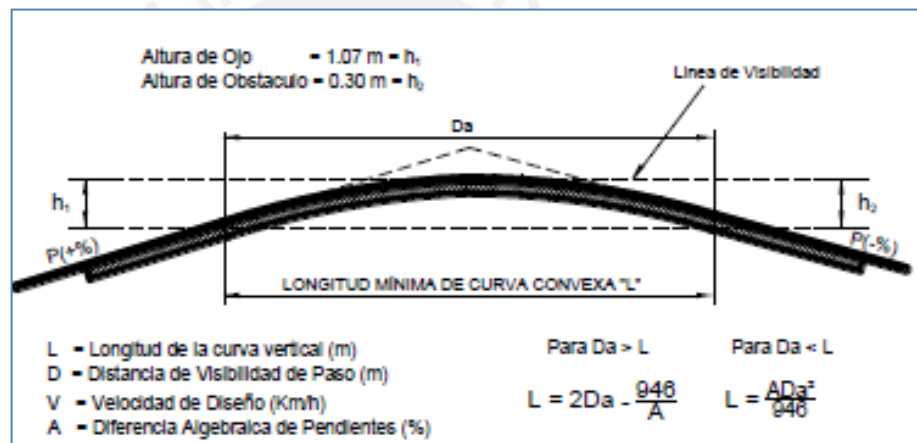
Figura N° 26: Longitud mínima de curva vertical para contar con D_p



Fuente: Manual DG-2014

- Si se desea contar con visibilidad de adelantamiento (D_a)

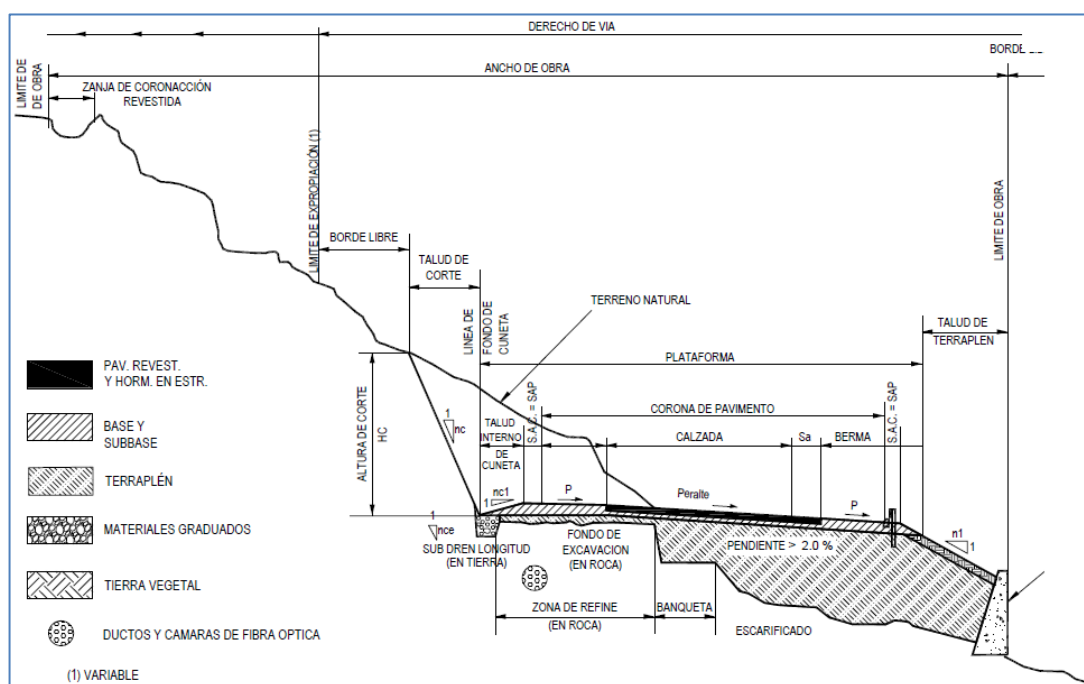
Figura N° 27: Longitud mínima de curva vertical para contar con D_a



Fuente: Manual DG-2014

En el caso de curvas cóncavas, las ecuaciones vienen a ser las siguientes:

Figura N° 29: Sección Transversal típica de una carretera de 3ra clase



Fuente: Manual DG-2014

En el acápite 4.5. se diseñan los elementos de la sección transversal del presente proyecto.

2.3. SEÑALIZACIÓN Y SEGURIDAD VIAL

Bertotti indica que la seguridad vial se define como “la disciplina que estudia y aplica las acciones y mecanismos tendientes a garantizar el buen funcionamiento de la circulación en la vía pública, previniendo los accidentes de tránsito” (Bertotti, 2008:6). Se espera que una vía sea segura desde el diseño horizontal, vertical y transversal, para luego regular el comportamiento de los usuarios (conductores y pasajeros) en la vía.

Dentro del criterio de seguridad de una carretera, se encuentran diversos elementos y dispositivos de señalización y seguridad vial que hacen de esta, una vía segura en todo su recorrido. Estos se rigen a las exigencias del Manual de Dispositivos de Control del Tránsito Automotor para Calles y Carreteras (MDCTACC) del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

2.3.1. Señales de Tránsito Verticales

Las señales existentes en todo el recorrido de una carretera tienen tres principales propósitos: regular, prevenir, informar.

2.3.1.1. Señales reglamentarias:

Tienen por objeto notificar a los usuarios, las limitaciones, restricciones, prohibiciones y/o autorizaciones existentes que gobiernan el uso de la vía y cuyo incumplimiento constituye una violación a las disposiciones contenidas en el reglamento vigente. (MDCTACC, 2016: 25)

2.3.1.2. Señales preventivas:

Su propósito es advertir a los usuarios sobre la existencia y naturaleza de riesgos y/o situaciones imprevistas presentes en la vía o en sus zonas adyacentes, ya sea en forma permanente o temporal. Estas señales ayudan a los conductores a tomar las precauciones del caso, por ejemplo, reduciendo la velocidad o realizando maniobras necesarias para su propia seguridad, la de otros vehículos y de los peatones. (MDCTACC, 2016: 32)

2.3.1.3. Señales informativas:

Tienen la función de informar a los usuarios, sobre los principales puntos notables, lugares de interés turístico, arqueológicos e históricos existentes en la vía y su área de influencia y orientarlos y/o guiarlos para llegar a sus destinos y a los principales servicios generales, en la forma más directa posible. De ser necesario las indicadas señales se complementarán con señales preventivas y/o reguladoras. (MDCTACC, 2016: 41)

2.3.2. Señales de Tránsito Horizontales

De acuerdo al MDCTACC 2016, los dispositivos que se emplean como señalización horizontal se clasifican en 3 grupos. El primer grupo corresponde a las marcas en el pavimento. El segundo corresponde a los dispositivos o marcas elevadas en el pavimento, que son señales complementarias al primer grupo. Y el tercero, correspondiente a las barreras de seguridad, cuyo uso se basa en la Directiva N° 007-2008-MTC/02 – Sistema de Contención de Vehículos tipo Barreras de Seguridad.

III. LUGAR DE ESTUDIO

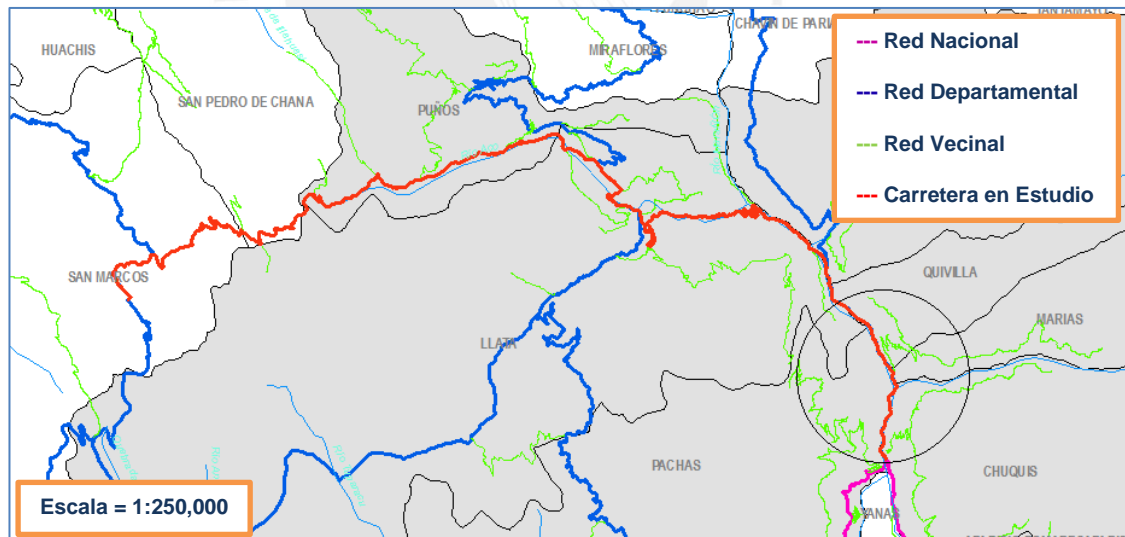
3.1. UBICACIÓN DEL LUGAR

El área de estudio que comprende el emplazamiento de la carretera a diseñar (Tramo: Nuevas Flores – Tingo Chico) y sus accesos se encuentra ubicada sobre las quebradas Chalhuacocho y Huashpay, al margen derecho del Río Marañón.

Políticamente la vía se encuentra ubicada en:

- Departamento / Región : Huánuco
- Provincia : Huamalíes y Dos de Mayo
- Distrito : Llata, Jacas Grande, Quivilla, Marías, Chuquis y Pachas
- Región Geográfica : Sierra
- Centros Poblados : Nuevas Flores, Quivilla y Tingo Chico
- Ruta : Empalme Ruta AN-111 – Huamanín- Progreso – Poque – Llata – Cochapata (Túnel Anlay) – Nuevas Flores – Quivilla – Puente Tingo Chico

Figura N° 30: Ámbito del proyecto



Fuente: Propia

La figura anterior muestra la ubicación y el ámbito por donde recorre la vía a diseñar. La línea roja es la ruta original completa y el tramo encerrado en el círculo corresponde al Tramo 5 de esta.

3.2. TERRENO NATURAL

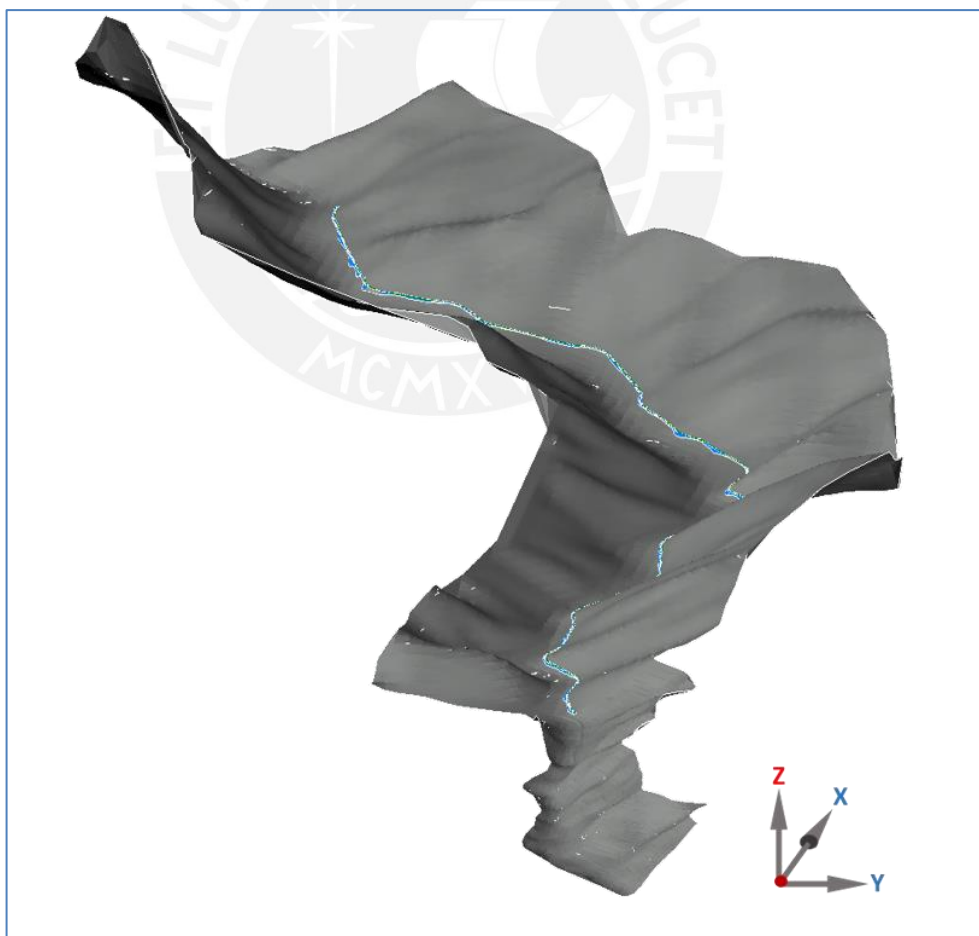
El Plano de Topografía y Evaluación de la Vía Existente muestra la topografía brindada por la empresa encargada del estudio topográfico. Sin embargo, resulta no ser adecuada para realizar el diseño geométrico, ya que la proyección o la extensión del levantamiento topográfico es muy angosta. Es por ello que se recurre al software Global Mapper, el cual permite obtener las curvas de nivel interpoladas a partir de la elevación de imágenes satelitales.

El **Anexo N°1** muestra un breve procedimiento sobre cómo obtener curvas de nivel desde imágenes de Google Earth empleando el software Global Mapper.

3.3. SUPERFICIE

La siguiente imagen muestra una proyección tridimensional del terreno natural sobre el cual se desplaza la carretera diseñada.

Figura N° 31: Superficie proyectada tridimensionalmente



Fuente: Propia

IV. DISEÑO GEOMÉTRICO DE LA CARRETERA

4.1. EVALUACIÓN DE LA VÍA EXISTENTE

Se han observado las siguientes características en el recorrido de la vía existente:

- Clasificación: trocha carrozable
- Ancho de calzada: 4 m
- Tipo de pavimento: en afirmado
- Radio mínimo: 20 m

Fotografía N° 1: Estado actual de la rodadura del tramo 5 de la carretera



Fuente: Propia

Se observa en la **Fotografía N°1 y N°2** el mal estado de la superficie de rodadura que presenta la vía existente. Estas irregularidades no permiten el adecuado tránsito de los vehículos, prolongan el tiempo de viaje y por consecuencia elevan el costo de viaje.

Fotografía N° 2: Baches y deterioros en la superficie de rodadura



Fuente: Propia

Fotografía N° 3: Ancho de calzada muy angosto para el tránsito en doble sentido



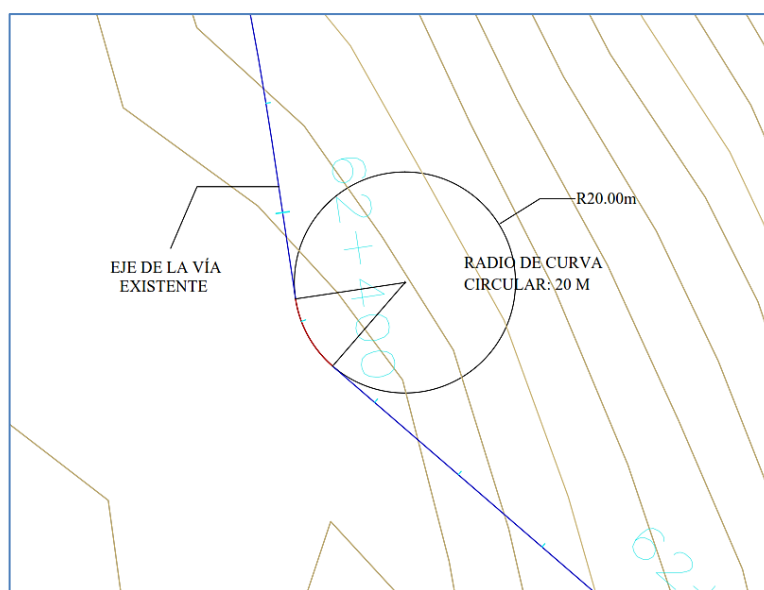
Fuente: Propia

En la **Fotografía N°3** se aprecia lo angosto que resulta la vía para el tránsito vehicular en doble sentido. Así mismo, se observa la acumulación del agua en la

superficie producto del deterioro del afirmado y del inadecuado mantenimiento de la vía.

En los kilómetros 61+400, 64+250 y 67+900 de la vía existente se observan 3 accesos que conectan a diferentes centros poblados. En la etapa de diseño, estos se deben acoplar a la geometría del nuevo eje. En esta etapa se considera que el trazo vertical de la vía sea tal que no genere realizar cortes ni relleno de material en la modificación de los accesos.

Figura N° 32: Radio mínimo de curva circular de la vía existente



Fuente: Propia

En la **Figura N°32** se aprecia que el radio de la curva más cerrada en el trazo de la vía existente es de 20 m. Este valor es muy pequeño a comparación del radio mínimo para una carretera de tercera clase, que va desde 50 m a más.

El Plano de Topografía y Evaluación de la Vía Existente muestra algunas observaciones más al trazo de la vía existente.

4.2. CRITERIOS Y PARÁMETROS BÁSICOS DE DISEÑO

El presente ítem abarca todos los criterios, pautas, recomendaciones y requisitos mínimos que el diseño geométrico debe cumplir de acuerdo con el Manual de Diseño Geométrico DG – 2014 del Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Complementariamente, se compara ciertas consideraciones con manuales o normas extranjeras.

Figura N° 34: Tasas de crecimiento y PBI usadas en el Estudio

TASA DE CRECIMIENTO DE HUANUCO		
Años	Valor	Crec %
1940	229,300	
1961	323,200	1.6%
1972	409,500	2.2%
1981	477,900	1.7%
1993	654,500	2.7%
2007	762,200	1.09%
Fuente : INEI		1.9%

TASA DE CRECIMIENTO DEL PBI ANCASH		
Años	Valor	Crec %
2001	4,264,848.0	
2002	5,002,200.0	17.3%
2003	5,108,579.0	2.1%
2004	5,253,291.0	2.8%
2005	5,419,565.0	3.2%
2006	5,550,260.0	2.4%
2007	5,932,921.0	6.9%
2008	6,457,790.0	8.8%
2009	6,450,628.0	-0.1%
2010	6,633,789.0	2.8%
2011	6,697,992.0	1.0%
Fuente : INEI		4.7%

Fuente: Estudio de Tráfico y Demanda, Estudio de Pre Inversión Llata (Geodata Perú)

A partir del IMDA actual medido, y empleando las tasas de crecimiento, se calcula el IMDA proyectado a futuro mediante la fórmula siguiente:

$$T_n = T_o (1+r)^n$$

Donde:

T_n = Tráfico en el año n

T_o = Tráfico actual o en el año base

r = Tasa de crecimiento

n = Año para el cual se calcula el volumen de tráfico

Fuente: Estudio de Tráfico y Demanda, Estudio de Pre Inversión Llata (Geodata Perú)

El **Anexo N°2** muestra segmentos del estudio de tráfico realizado en lugar del tramo de diseño.

Figura N° 35: IMDA proyectado a 10 años en el tramo de interés

TRAFICO NORMAL PROYECTADO TRAMO: QUIVILLA – PUENTE TINGO																											
Año	Auto	SW	Camionetas			Micro	Omnibus			Camion			Semitrailers					Trailers				Total Veh. Livianos	Total Veh. Pesados	TOTAL			
			Pick Up	Panel	C.R.		2E	3E	4E	2E	3E	4E	2S1	2S2	2S3	3S1	3S2	>=3S3	2T2	2T3	3T2				>=3T3		
	1.9%	1.9%	1.9%	1.9%	1.9%	1.9%	1.9%	1.9%	1.9%	4.7%	4.7%	4.7%	4.7%	4.7%	4.7%	4.7%	4.7%	4.7%	4.7%	4.7%	4.7%	4.7%	4.7%	4.7%	1.9%	4.7%	
2014	28	46	26	0	18	0	0	0	0	12	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	118	21	139
2015	29	47	26	0	18	0	0	0	0	12	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	120	21	142
2016	29	48	27	0	19	0	0	0	0	12	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	123	21	144
2017	30	49	28	0	19	0	0	0	0	12	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	125	21	147
2018	30	50	28	0	20	0	0	0	0	12	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	128	22	149
2019	31	51	29	0	20	0	0	0	0	13	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	130	22	152
2020	31	52	29	0	20	0	0	0	0	13	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	132	23	155
2021	32	53	30	0	21	0	0	0	0	13	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	135	23	158
2022	32	54	30	0	21	0	0	0	0	13	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	137	23	161
2023	33	55	31	0	22	0	0	0	0	14	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	140	24	164
2024	34	56	31	0	22	0	0	0	0	14	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	143	24	167

Tasa de Crecimiento: Vehículos de pasajeros (Ligeros) 1.9% y de carga (Pesados) 4.2%.

Fuente: Estudio de Tráfico y Demanda, Estudio de Pre Inversión Llata (Geodata Perú)

De la imagen anterior, se puede observar que el IMDA en el año 2024 (en 10 años de proyección) es de 167 veh/día. Para la presente tesis, es necesario conocer el IMDA en 20 años contados a partir de la elaboración de ésta (2017), es decir, para el año 2037. Es posible calcularlo empleando la fórmula presentada en el Estudio de Tráfico de referencia.

Considerando una tasa de crecimiento de 1.9% para livianos y de 4.7 % para vehículos pesados, se procede a realizar los cálculos. Los resultados se muestran en la siguiente tabla:

Tabla N° 6: IMDA calculado a 20 años para el tramo Quivilla – Puente Tingo Chico

AÑO	Auto	SW	Camionetas			Micro	Omnibus			Camion					Semitrailers					Trailers				Total Veh. Livianos	Total Veh. Pesados	TOTAL	
			Pick Up	Panel	C.R.		2E	3E	4E	2E	3E	4E	2S1	2S2	2S3	3S1	3S2	>=3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3					
	1.9%	1.9%	1.9%	1.9%	1.9%	1.9%	1.9%	1.9%	1.9%	4.7%	4.7%	4.7%	4.7%	4.7%	4.7%	4.7%	4.7%	4.7%	4.7%	4.7%	4.7%	4.7%	4.7%	4.7%	1.9%	4.7%	
2014	28	46	26	0	18	0	0	0	0	12	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	39	139
2015	29	47	26	0	18	0	0	0	0	12	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	102	40	142
2016	33	55	31	0	22	0	0	0	0	14	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	119	46	165
2017	34	56	32	0	22	0	0	0	0	14	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	122	47	168
2018	35	57	32	0	23	0	0	0	0	14	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	124	48	171
2019	35	58	33	0	23	0	0	0	0	15	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	126	48	175
2020	36	59	33	0	23	0	0	0	0	15	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	128	49	178
2021	36	60	34	0	24	0	0	0	0	15	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	131	50	181
2022	37	62	35	0	24	0	0	0	0	15	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	133	51	185
2023	38	63	35	0	25	0	0	0	0	16	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	136	52	188
2024	39	64	36	0	25	0	0	0	0	16	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	138	53	191
2034	41	68	38	0	27	0	0	0	0	31	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	174	54	228
2035	42	69	39	0	27	0	0	0	0	32	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	177	56	233
2036	43	70	40	0	28	0	0	0	0	33	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	181	58	239
2037	44	71	41	0	28	0	0	0	0	35	26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	184	61	245

Fuente: Propia

De la tabla se concluye que para el tramo Quivilla – Puente Tingo Chico, el IMDA en 20 años (2037) es de **245 vehículos/día**. Cabe resaltar que el tramo evaluado es una gran parte del tramo de interés de la presente tesis, por lo que, al presentar valores representativos, se asume que el IMDA es el mismo para la vía Nuevas Flores – Tingo Chico.

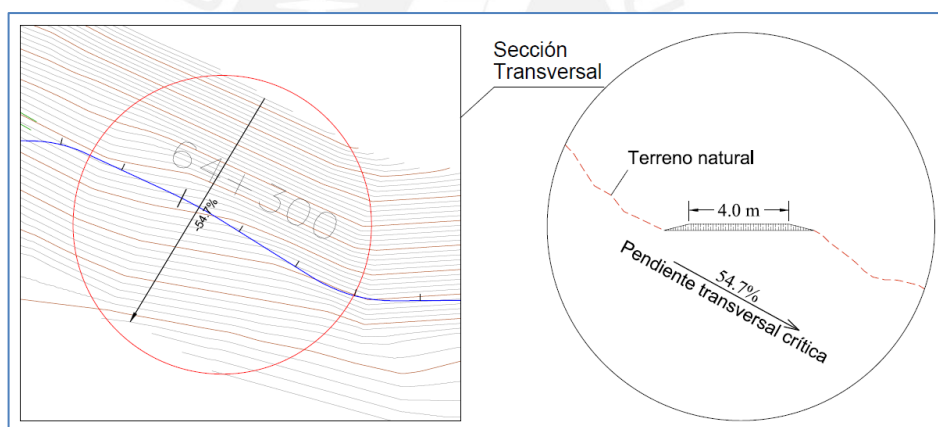
4.2.1.2. Por su orografía:

El levantamiento topográfico ha sido realizado por la empresa Geodata Perú en el año 2015, como parte del Estudio de Topografía del Estudio de Pre Inversión Llata. La topografía brinda suficiente información para determinar las pendientes transversales al eje de la vía.

El Plano de Topografía y Evaluación de la Vía Existente presenta el levantamiento topográfico correspondiente al tramo de diseño, donde se indican las pendientes transversales a la vía existente cada cierto tramo. De ellas, se escoge la que determina el tipo de terreno en el que se encuentra la carretera, es decir, la pendiente transversal más crítica.

La figura siguiente muestra la que es la mayor pendiente transversal del terreno a lo largo de la carretera a diseñar. El valor de 54.7 % (correspondiente al Km 68+800 de la red vecinal) el cual clasifica a la orografía como terreno accidentado.

Figura N° 36: Pendiente transversal al eje de la vía más crítica



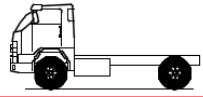

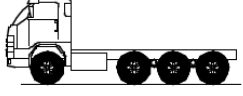
Fuente: Propia

4.2.2. Vehículo de Diseño

Como característica general para este tramo, se adopta una geometría que permita que todos los vehículos incluidos dentro del estudio de tráfico y demanda puedan circular con seguridad y comodidad.

En el caso del presente proyecto, el vehículo más grande que transita por el tramo de diseño es un camión tipo 3E, cuya longitud máxima es de 13.20 metros (Ver Figura N°35).

Figura N° 37: Tipos de Camiones

TABLA DE PESOS Y MEDIDAS									
Configuración vehicular	Descripción gráfica de los vehículos	Long. Máx. (m)	Peso máximo (t)				Peso bruto máx. (t)		
			Eje Delant	Conjunto de ejes posteriores					
				1°	2°	3°		4°	
C2		12,30	7	11	---	---	---	18	
C3		13,20	7	18	---	---	---	25	
C4		13,20	7	23 ⁽¹⁾	---	---	---	30	

Fuente: Reglamento Nacional de Vehículos 2003 del MTC

Es posible que algunos de los vehículos pesados no considerados en el estudio de tráfico tengan mayor dificultad para su recorrido a lo largo del tiempo de servicio de la vía, debido a su configuración dimensional. Esto originaría, en algún momento, algunas rectificaciones del trazado.

4.2.3. Velocidad de Diseño

De acuerdo con la clasificación de la carretera hecha ítems anteriores, se puede determinar la velocidad de diseño de la carretera, la cual servirá como valor clave para definir los demás elementos geométricos que involucra el diseño.

Según el Manual DG-2014, la velocidad de diseño se escoge a partir de conocer la clasificación de la carretera a diseñar. La **Figura N°39** muestra el rango de velocidades para las distintas clases de carreteras.

La carretera corresponde a una carretera de tercera clase con la orografía del tipo 3 (terreno accidentado). De esta manera, la velocidad de diseño para el tramo de diseño del presente proyecto se encuentra en el rango de 30 Km/h y 50 Km/h.

A partir de la configuración de las curvas de nivel plasmadas en planta, es posible encontrar una zona crítica en el recorrido de un trazo tentativo, definir un radio mínimo y definir una posible velocidad de diseño.

Figura N° 38: Radio mínimo aproximado a partir de las curvas de nivel



Fuente: Propia

La imagen anterior presenta una de las zonas más complicadas del trazado. Se puede apreciar que las curvas de nivel definen naturalmente una curva, la cual, si es aproximada como curva circular, obtiene un radio de 50.5 m.

Empleando la ecuación de radio mínimo, y empleando los siguientes valores, es posible aproximar una velocidad de diseño.

- $R_{\text{mín aproximado}} = 50.5 \text{ m}$
- $P_{\text{máx}} = 12\% = 0.012$ (Ver **Tabla N°6**)
- $f_{\text{máx}} =$ por tanteo. Se asume un valor inicial correspondiente a una velocidad y luego se ajusta hasta que se exista correspondencia entre $f_{\text{máx}}$ y la velocidad de diseño. Se asume 0.16 inicialmente, correspondiente a 50 kph.

$$V^2 = 127(P_{\text{max}} + f_{\text{max}})R_{\text{mín}}$$

$$V^2 = 127x(0.12 + 0.16)x50.5$$

$$V = 42.3 \text{ Kph}$$

Se observa que no existe correspondencia entre el valor de $f_{\text{máx}}$ asumido y el valor de velocidad de diseño calculado. Para un nuevo cálculo, se asumirá un $f_{\text{máx}}$ correspondiente a una velocidad de diseño de 40 Kph (0.17).

$$V^2 = 127x(0.12 + 0.17)x50.5$$

$$V = 43.1 \text{ Kph}$$

Ahora se puede ver que el valor de velocidad guarda cierta correspondencia con el valor de $f_{\text{máx}}$ asumido.

Entonces, de acuerdo con los cálculos anteriores, es posible definir una posible velocidad de diseño. Este valor es de **40 Kph**.

Es necesario mencionar que no es recomendable una velocidad de 30 Km/h, pues significaría un aumento de solo 5 Km/h a comparación de la velocidad de viaje actual de la vía. Queda entonces por definir entre 40 Km/h (la que se adapta al terreno respecto a un radio mínimo) y 50 Km/h. Una mayor velocidad de diseño requiere de una mayor infraestructura, por consiguiente, mayores costos de inversión, lo que tendría que ser justificada a partir de la demanda. En base a la búsqueda de un buen balance de la oferta y la demanda, no es factible definir 50 Km/h como la velocidad de diseño, puesto que la demanda actual no es lo suficientemente alta para justificarla. Por lo tanto, la velocidad adecuada para la vía en estudio es de **40 Km/h**.

Figura N° 39: Rango de velocidades en función a la clasificación de la carretera por demanda y orografía

CLASIFICACIÓN	OROGRAFÍA	VELOCIDAD DE DISEÑO DE UN TRAMO HOMOGÉNEO VTR (km/h)												
		30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130		
Autopista de primera clase	Plano													
	Ondulado													
	Accidentado													
	Escarpado													
Autopista de segunda clase	Plano													
	Ondulado													
	Accidentado													
	Escarpado													
Carretera de primera clase	Plano													
	Ondulado													
	Accidentado													
	Escarpado													
Carretera de segunda clase	Plano													
	Ondulado													
	Accidentado													
	Escarpado													
Carretera de tercera clase	Plano													
	Ondulado													
	Accidentado													
	Escarpado													

Fuente: Adoptado del Manual DG-2014

4.2.4. Radio mínimo

Una vez definido la velocidad de diseño, es posible calcular el radio mínimo de diseño. A partir de los siguientes parámetros, y empleando la ecuación del Manual DG-2014, se calcula este valor.

- $V = 40 \text{ Kph}$
- $P_{\text{máx}} = 12\% = 0.12$
- $f_{\text{máx}} = 0.17$

$$R_{\text{mín}} = \frac{V^2}{127(P_{\text{max}} + f_{\text{max}})} = \frac{40^2}{127(0.12 + 0.17)}$$

$$R_{\text{mín}} = 43.4 \text{ m} \approx 45 \text{ m}$$

Por lo tanto, el radio mínimo de diseño para curvas circulares queda definido en **45 m**.

4.3. DISEÑO DEL ALINEAMIENTO HORIZONTAL

El Plano de Planta y Perfil muestra el diseño geométrico horizontal que corresponde a una velocidad de diseño de 40 Kph.

4.3.1. Diseño de Radios Mayores al Mínimo

Cada curva ha sido diseñada de tal forma que el trazo se aproxime a la geometría de las curvas de nivel, de modo que se ubique a media ladera, y se evite generar grandes cantidades de corte o relleno.

El diseño de la vía presenta 25 curvas horizontales, y todas estas tienen radios mayores al radio mínimo. La siguiente tabla muestra el radio asignado a cada curva.

Tabla N° 7: Diseño de curvas circulares

Curva N°	Radio (m)	Curva N°	Radio (m)
1	450	12	60
2	250	13	250
3	300	14	300
4	300	15	300
5	450	16	300
6	200	17	300
7	200	18	300
8	200	19	200
9	250	20	200
10	300	21	350
11	90	22	100

Fuente: Propia

Se observa que las curvas diseñadas son, en su mayoría, de radios grandes. Esto se debe a que la configuración de los cerros por donde pasa la vía no es abrupta ni

demasiado sinuosa. Por ello, la vía presenta curvas amplias y con tramos rectos muy prolongados en algunos sectores.

Las curvas resaltadas en la tabla son aquellas que necesitan obligatoriamente curvas de transición (espirales) a la entrada y a la salida. Son curvas con radios menores al que permite prescindir de espirales, en este caso, 95m.

4.3.2. Distancias de Visibilidad

4.3.2.1. Distancia de visibilidad de parada:

De acuerdo a la velocidad de diseño y a las figuras del acápite 2.2.4.1, se determinó que la distancia de visibilidad de parada va en el rango desde los 43 m, cuando la pendiente sea en bajada con 9% de inclinación, hasta los 53 m, cuando la pendiente sea en subida, también con 9% de inclinación.

Figura N° 40: Distancia de visibilidad de parada de diseño

Velocidad de diseño (km/h)	Pendiente nula o en bajada				Pendiente en subida		
	0%	3%	6%	9%	3%	6%	9%
20	20	20	20	20	19	18	18
30	35	35	35	35	31	30	29
40	50	50	50	53	45	44	43
50	65	66	70	74	61	59	58
60	85	87	92	97	80	77	75
70	105	110	116	124	100	97	93
80	130	136	144	154	123	118	114
90	160	164	174	187	148	141	136
100	185	194	207	223	174	167	160
110	220	227	243	262	203	194	186
120	250	283	293	304	234	223	214
130	287	310	338	375	267	252	238

Fuente: Manual DG-2014

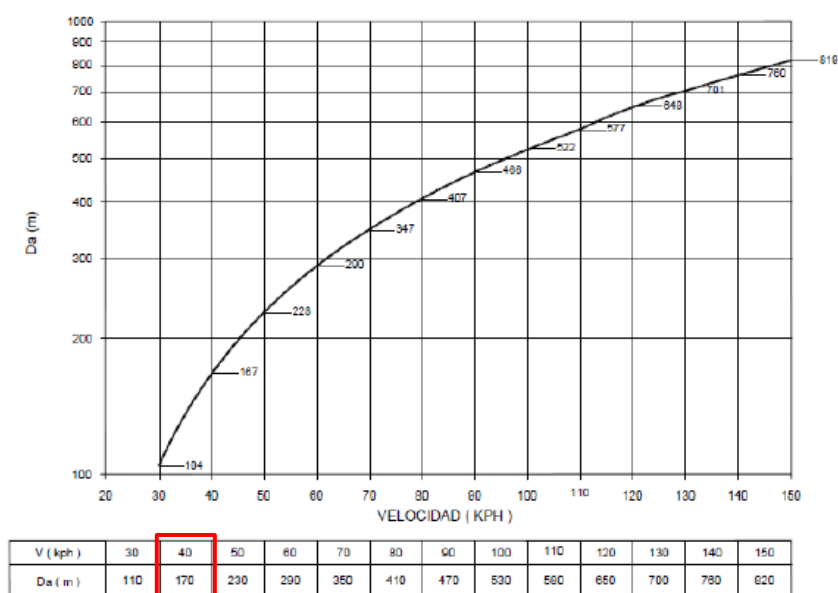
De acuerdo al diseño de la rasante, la pendiente máxima del alineamiento es de 4.32%, tomándose como pendiente en bajada. Y al no existir pendientes nulas, la distancia de parada en el diseño horizontal viene a ser de 50 m.

Por otro lado, las distancias de parada en cada curva vertical del diseño en perfil serán calculadas más adelante en el capítulo 4.4 Diseño del alineamiento vertical.

4.3.2.2. Distancia de visibilidad de adelantamiento:

De acuerdo a la velocidad de diseño y a la figura a continuación del Manual DG-2014, se determinó que la distancia de visibilidad de paso o adelantamiento es de 170 m.

Figura N° 41: Distancia de visibilidad de paso o adelantamiento (en metros)



Fuente: Manual DG-2014

Así mismo, se ha diseñado la carretera de modo que más del 25% de esta tenga la visibilidad adecuada para adelantar. Esta recomendación de la Norma Peruana se presenta a continuación.

Figura N° 42: Porcentaje de la carretera con visibilidad adecuada para adelantar

Condiciones orográficas	% mínimo	% deseable
Terreno plano Tipo 1	50	> 70
Terreno ondulado Tipo 2	33	> 50
Terreno accidentado Tipo 3	25	> 35
Terreno escarpado Tipo 4	15	> 25

Fuente: Manual DG-2014

4.3.3. Trazo

El trazo se ha definido de modo que se cumplan valores mínimos de longitudes rectas, que exista correspondencia entre curvas consecutivas y que se cumplan las distancias de visibilidad mencionadas anteriormente.

A partir del Km 68+900 del diseño, el trazo se acopla y sigue el eje de la carretera existente, de modo que no exista interferencias con las propiedades de los habitantes en el centro poblado de Tingo Chico.

En el recorrido de la vía existente se observan 3 accesos a diferentes centros poblados. Estos accesos de trocha carrozable intersecan a la carretera existente en los kilómetros 61+400, 64+250 y 67+900. Estos se acoplan a la geometría del

nuevo eje diseñado, principalmente a la misma cota del eje diseñado, sin necesidad de que se realicen cortes o rellenos.

4.3.3.1. Longitud de tramos rectos:

De acuerdo a la siguiente figura del Manual DG-2014 y a la velocidad de diseño, se estableció que la longitud en tramo recto mínima para curvas en "S" es de 56 m, y en curvas "O", es de 111 m.

Figura N° 43: Longitudes de tramos en tangente

V (km/h)	L mín.s (m)	L mín.o (m)	L máx (m)
30	42	84	500
40	56	111	668
50	69	139	835
60	83	167	1002
70	97	194	1169
80	111	222	1336
90	125	250	1503
100	139	278	1670
110	153	306	1837
120	167	333	2004
130	180	362	2171

Dónde:

- L_{mín.s} : Longitud mínima (m) para trazados en "S" (alineamiento recto entre alineamientos con radios de curvatura de sentido contrario).
- L_{mín.o} : Longitud mínima (m) para el resto de casos (alineamiento recto entre alineamientos con radios de curvatura del mismo sentido).
- L_{máx} : Longitud máxima deseable (m).
- V : Velocidad de diseño (km/h)

Fuente: Manual DG-2014

La tabla a continuación muestra la longitud de los tramos rectos de acuerdo a la distribución de curvas del trazo.

Tabla N° 8: Longitud de tramos rectos correspondientes al diseño

Tramo en tangente	Curva Correspondiente	Sentido	Tipo de Curva	Longitud tramo en tangente (m)	Verificación
L1	C1	Izquierda	---	133.113	---
L2	C2	Izquierda	O	1161.737	No Cumple
L3	C3	Derecha	S	406.899	Cumple
L4	C4	Izquierda	S	166.598	Cumple
L5	C5	Derecha	S	624.579	Cumple
L6	C6	Derecha	O	612.850	Cumple
L7	C7	Izquierda	S	114.438	Cumple
L8	C8	Izquierda	O	535.066	Cumple
L9	C9	Derecha	S	130.886	Cumple
L10	C10	Derecha	O	459.815	Cumple
L11	C11	Izquierda	S	191.841	Cumple
L12	C12	Derecha	S	162.310	Cumple

Tramo en tangente	Curva Correspondiente	Sentido	Tipo de Curva	Longitud tramo en tangente (m)	Verificación
L13	C13	Derecha	O	235.246	Cumple
L14	C14	Izquierda	S	324.032	Cumple
L15	C15	Derecha	S	472.949	Cumple
L16	C16	Izquierda	S	618.656	Cumple
L17	C17	Derecha	S	128.339	Cumple
L18	C18	Derecha	O	307.064	Cumple
L19	C19	Izquierda	S	90.733	Cumple
L20	C20	Derecha	S	287.398	Cumple
L21	C21	Izquierda	S	139.248	Cumple
L22	C22	Izquierda	O	172.732	Cumple
L23	---	---	--	31.221	---

Fuente: Propia

La tabla anterior muestra que la mayoría de los tramos rectos del diseño cumplen las longitudes mínimas para cada tipo de curva. No obstante, el tramo recto L2 tiene una longitud mayor a la máxima que menciona el Manual. Si bien no se recomienda un tramo tangente muy extenso, es posible mantener la seguridad de la vía mediante una adecuada señalización.

A partir del tramo L23 (Km 68+900), el diseño se acopla al eje de la carretera ya existente, de modo que los tramos rectos se hacen cortos y las curvas están juntas. Esto permite que los vehículos disminuyan la velocidad a la entrada del centro poblado Tingo Chico.

4.3.3.2. Coordinación entre curvas

De acuerdo con el acápite 2.2.5.2, en la siguiente tabla se verifica la coordinación entre las curvas circulares que presenten tangente intermedia menor a 200 m.

Tabla N° 9: Verificación de coordinación entre curvas

Tramo Recto	Longitud (m)	Curva	Radio de entrada (m)	Radio de salida (m)			Observación
				Mín.	Máx.	Proyectado	
L4	166.598	C3	300	Mín.	Máx.	Proyectado	Adecuado
		C4		175	650	300	
L7	114.438	C6	200	Mín.	Máx.	Proyectado	Adecuado
		C7		125	350	200	
L9	130.886	C8	200	Mín.	Máx.	Proyectado	Adecuado
		C9		125	350	250	
L11	191.841	C10	300	Mín.	Máx.	Proyectado	La curva 11 presenta curvas de transición
		C11		175	650	90	
L12	162.310	C11	90	Mín.	Máx.	Proyectado	Adecuado
		C12		50	150	60	
L17	128.339	C16	300	Mín.	Máx.	Proyectado	Adecuado

Tramo Recto	Longitud (m)	Curva	Radio de entrada (m)	Radio de salida (m)			Observación
				Mín.	Máx.	Proyectado	
		C17		175	650	300	
L19	90.733	C18	300	Mín.	Máx.	Proyectado	Adecuado
		C19		175	650	200	
		C20	200	Mín.	Máx.	Proyectado	
L21	139.248	C21		125	350	350	Adecuado
		C21	350	Mín.	Máx.	Proyectado	
L22	172.72	C22		200	1000	100	A partir de esta curva, el diseño del trazo se adapta al eje actual de la carretera

Fuente: Propia

Es posible observar que siete de los nueve casos cumplen con la norma, por lo que los radios proyectados en el diseño son los adecuados. Sin embargo, el radio de la curva C11 no está en el rango establecido. Esto se debe a que un radio mayor obligaría a proyectar una curva compuesta con la anterior (C10), situación que quiere evitarse en el diseño.

Del mismo modo, el radio de la curva C22 es menor al mínimo mostrado en la tabla anterior. De ser mayor o igual al mínimo, el trazo no se adaptaría ni al terreno ni al eje actual de la vía. Pues, a partir de esta curva, se desea que el eje diseñado empalme con la carretera existente.

En ambos casos, es necesaria emplear la señalización adecuada para mantener un diseño que siga siendo seguro para el conductor.

Al hacer una comparación de este criterio de coordinación entre la norma peruana y chilena, se observa que ambos manuales presentan los mismos valores de restricción, tanto en carreteras de primera y segunda clase, como en las de tercera clase.

4.3.3.3. Correspondencia entre curvas

A partir del diseño horizontal y el radio asignado a cada curva, es posible predecir una velocidad teórica con la que los vehículos recorrerían dichas curvas. Esto con la finalidad de verificar la correspondencia entre curvas consecutivas. Es decir, que la variación de velocidad (ΔV) entre curvas consecutivas no sea mayor a 20 Kph.

Al emplear la fórmula del radio mínimo, asignar el valor de los radios, y al tomar como variable la velocidad, es posible determinar esta última en cada curva del trazo.

$$R = \frac{V^2}{127(P_{max} + f_{max})}$$

Donde:

R = Radio de la curva circular (m)

V = Velocidad teórica en la curva (Kph)

P_{máx} = Peralte máximo asociado a V (en decimal)

f_{máx} = Coeficiente de fricción transversal asociado a V

La siguiente tabla muestra la variación de la velocidad entre dos curvas consecutivas. Cabe resaltar que los valores de P_{máx} y f_{máx} se asumieron como constantes para cada cálculo, correspondientes a la velocidad de diseño. Es decir, se asumió P_{máx} igual al 12% (0.12) y f_{máx} como 0.17.

Tabla N° 10: Correspondencia entre curvas consecutivas

Curva N°	Radio (m)	Velocidad teórica (Kph)	Variación (ΔV) en Kph
C1	450	129	—
C2	250	96	33
C3	300	105	9
C4	300	105	0
C5	450	129	24
C6	200	86	43
C7	200	86	0
C8	200	86	0
C9	250	96	10
C10	300	105	9
C11	90	58	48
C12	60	47	11
C13	250	96	49
C14	300	105	9
C15	300	105	0
C16	300	105	0
C17	300	105	0
C18	300	105	0
C19	200	86	19
C20	200	86	0
C21	350	114	28
C22	100	61	53

Fuente: Propia

De la tabla anterior, se observa que existen ciertos valores superiores a los 20 Kph recomendado. Esto se debe a la enorme diferencia de radios entre dos curvas consecutivas. Es poco admisible cambiar el radio de las curvas que presentan estas

imperfecciones; sin embargo, es posible reducir el peligro mediante una adecuada señalización en las curvas.

4.3.4. Peraltes y transición de peraltes

Se han asignado un valor de peralte en cada curva diseñada, de acuerdo a los rangos que el Manual DG-2014 establece en la Figura 302.04, considerando que el área es de tipo rural (accidentado). La siguiente tabla muestra los valores de peralte para cada curva del trazo.

Tabla N° 11: Valores de peralte asignado a las curvas diseñadas

Curva N°	Radio (m)	Peralte asignado (%)	Curva N°	Radio (m)	Peralte asignado (%)
C1	450	2.8	C12	60	11.0
C2	250	4.3	C13	250	4.3
C3	300	3.7	C14	300	3.7
C4	300	3.7	C15	300	3.7
C5	450	2.8	C16	300	3.7
C6	200	5.2	C17	300	3.7
C7	200	5.2	C18	300	3.7
C8	200	5.2	C19	200	5.2
C9	250	4.3	C20	200	5.2
C10	300	3.7	C21	350	3.2
C11	90	9.3	C22	100	8.7

Fuente: Propia

A partir de la teoría ya planteada, el cálculo de la transición de peraltes se ha realizado bajo la rutina (macros) de MS Excel que se ha implementado como parte de la presente tesis.

En primer lugar, se debe tener definidas las curvas, con sus radios respectivos, el sentido, y los puntos PC y PT. Estos valores se introducen en la pestaña LISTADO DE CURVAS.

Figura N° 44: Pestaña LISTADO DE CURVAS con datos introducidos

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Curva	Vel. Diseño:	Radio	Sentido	PC	PT		
2	1	40	450	I	53933.113	54062.802	Ir a Cálculos	
3	2	40	250	I	55224.539	55433.332		
4	3	40	300	D	55840.231	55995.1		
5	4	40	300	I	56161.698	56291.72		
6	5	40	450	D	56916.299	57205.364		
7	6	40	200	D	57818.214	57878.286		
8	7	40	200	I	57992.725	58073.542		
9	8	40	200	I	58608.608	58678.759		
10	9	40	250	D	58809.645	58873.27		
11	10	40	300	D	59333.085	59581.443		
12	11	40	90	I	59803.284	59870.542		
13	12	40	60	D	60092.853	60131.318		
14	13	40	250	D	60396.564	60501.706		
15	14	40	300	I	60825.737	61077.564		
16	15	40	300	D	61550.514	61731.028		
17	16	40	300	I	62349.683	62553.643		
18	17	40	300	D	62681.982	62751.646		
19	18	40	300	D	63058.71	63156.035		
20	19	40	200	I	63246.768	63442.918		
21	20	40	200	D	63730.315	63884.364		
22	21	40	350	I	64023.612	64163.74		
23	22	40	100	D	64336.472	64376.68		
24								
25								
26								
27								
28								
29								

Fuente: Propia

Una vez se hayan introducido todos los datos solicitados, se procede a emplear la pestaña CÁLCULO. En ella es importante introducir datos correctos, de otro modo los resultados no serán los adecuados. Para el presente proyecto, se definen los siguientes valores:

- Clasificación de la carretera: Carretera de Tercera Clase
- Tipo de Orografía: Accidentada (Tipo 3)
- Tipo de Zona: Zona Rural (Tipo 3 o Tipo 4)
- Bombeo: 2.5 %
- Inclinación de berma: 4%
- Factor K de proporcionalidad de peralte: 0.7

Se introducen estos datos en las celdas amarillas de la siguiente figura. Se puede obtener automáticamente el ancho de calzada de diseño, el peralte correspondiente a la curva, la necesidad de usar espirales, la longitud mínima y máxima de las espirales, y la longitud de transición de peralte.

Figura N° 45: Cálculo de longitud de transición

	A	B	C	D
1	1.REGISTRO DE DATOS			
2			IMPORTANTE: Celdas Blancas -> Escoger	
3	Clasificación:	Carretera de Tercera Clase		Celdas Amarillas -> Introducir
4	Orografía:	3 Accidentado (51 - 100%)		
5	Carretera Tipo:	Zona Rural (Tipo 3 o 4)		
6	Curva Nº:	11		OBTENER ANCHO DE CALZADA
7	Dirección:	I		
8	Vel. Diseño:	40		
9	Radio:	90		
10				
11	Peralte:	9.7		1. CALCULAR PERALTE
12	K:	0.7		P
13	Bombeo:	-2.5		
14	Ancho de Calzada	6		
15	B:	3		
16	ip:	1.4		2. ANALIZAR TRANSICIÓN DE PERALTE
17	Berma:	-4		
18				
19				
20	¿Necesita Espiral?	NECESITA ESPIRAL		Escoger RESTRICCIÓN
21	Lt	-		¿Restricciones? No usar Jmax
22	LS min	30.00		
23	Ls max	46.00		
24	Ls Escogido	30.00		
25				
26	PC	59803.284		
27	PT	59870.542		
28				
29				
30				
31				

Fuente: Propia

Realizados estos cálculos, es necesario definir los puntos notables y las progresivas en la que se ubican, de manera que se importe dicha información al software de diseño (AutoCAD Civil 3D). En la misma pestaña CÁLCULOS, se procede a calcular la transición de peralte, y llevar los datos a una base de datos que se importan al software.

Figura N° 46: Cálculo de la transición de peralte

3. CALCULAR		Entradas	Salidas	Ir a Plantilla Civil 3D	
AB =	7.732	A'B' =	7.732	Volver a Listado	
BC =	7.732	B'C' =	7.732		
CD =	22.268	C'D' =	22.268		
AF =	4.639	A'F' =	4.639		
BG =	12.371	B'G' =	12.371		

Estaciones	Descripción	Berme	Carril	Carril	Berme	4. LLEVAR DATOS A PLANTILLA
F = 59760.913	End Normal Sh	-4	-2.5	-2.5	-4	
A = 59765.552	End Normal Cr	-4	-2.5	-2.5	-2.5	
B = 59773.284	Level Crown	-4	-2.5	0	0	
C = 59781.016	Reverse Crown	-4	-2.5	2.5	2.5	
G = 59785.655	Low Shoulder	-4	-4	4	4	
D=SC=Pe	Begin Full Super	-9.7	-9.7	9.7	9.7	
D'=CS=Pt	End Full Super	-9.7	-9.7	9.7	9.7	
G' = 59888.171	Low Shoulder	-4	-4	4	4	
C' = 59892.810	Reverse Crown	-4	-2.5	2.5	2.5	
B' = 59900.542	Level Crown	-4	-2.5	0	0	
A' = 59908.274	Begin Normal	-4	-2.5	-2.5	-2.5	
F' = 59912.913	Begin Normal	-4	-2.5	-2.5	-4	

Fuente: Propia

Figura N° 47: Base de datos a importar al software de diseño

Curva	Estación	Descripción	Superado	Berme Exterior	Berme Interior	Carril Exterior	Carril Interior	Berme Exterior	Berme Interior	Carril Exterior	Carril Interior	Berme Exterior
1	53919.6187	End Normal Sho	0	-4	-2.5	0	0	-4	-2.5	0	0	0
1	53923.0149	End Normal Crov	0	-4	-2.5	0	0	-2.5	-2.5	0	0	0
1	53928.6753	Level Crown	0	-4	-2.5	0	0	0	0	0	0	0
1	53934.3156	Reverse Crown	0	-4	-2.5	0	0	2.5	2.5	0	0	0
1	53935.0149	Begin Full Super	0	-4	-2.8	0	0	2.8	2.8	0	0	0
1	54060.9001	End Full Super	0	-4	-2.8	0	0	2.8	2.8	0	0	0
1	54061.5796	Reverse Crown	0	-4	-2.5	0	0	2.5	2.5	0	0	0
1	54067.2397	Level Crown	0	-4	-2.5	0	0	0	0	0	0	0
1	54072.9001	Begin Normal Cr	0	-4	-2.5	0	0	-2.5	-2.5	0	0	0
1	54076.2663	Begin Normal Sh	0	-4	-2.5	0	0	-4	-2.5	0	0	0
2	55208.0449	End Normal Sho	0	-4	-2.5	0	0	-4	-2.5	0	0	0
2	55211.5743	End Normal Crov	0	-4	-2.5	0	0	-2.5	-2.5	0	0	0
2	55217.0568	Level Crown	0	-4	-2.5	0	0	0	0	0	0	0
2	55223.339	Reverse Crown	0	-4	-2.5	0	0	2.5	2.5	0	0	0
2	55226.8884	Low Shoulder Mi	0	-4	-4	0	0	4	4	0	0	0
2	55227.5743	Begin Full Super	0	-4.3	-4.3	0	0	4.3	4.3	0	0	0
2	55430.2967	End Full Super	0	-4.3	-4.3	0	0	-4.3	-4.3	0	0	0
2	55431.0028	Low Shoulder Mi	0	-4	-4	0	0	4	4	0	0	0
2	55434.532	Reverse Crown	0	-4	-2.5	0	0	2.5	2.5	0	0	0
2	55440.1444	Level Crown	0	-4	-2.5	0	0	0	0	0	0	0
2	55446.2967	Begin Normal Cr	0	-4	-2.5	0	0	-2.5	-2.5	0	0	0
2	55449.8261	Begin Normal Sh	0	-4	-2.5	0	0	-4	-2.5	0	0	0
3	55825.3104	End Normal Sho	0	-4	-2.5	0	0	-4	-2.5	0	0	0
3	55828.7375	End Normal Crov	0	-2.5	-2.5	0	0	-4	-2.5	0	0	0
3	55834.3826	Level Crown	0	0	0	0	0	-4	-2.5	0	0	0
3	55840.0719	Reverse Crown	0	2.5	2.5	0	0	-4	-2.5	0	0	0
3	55842.7375	Begin Full Super	0	3.7	3.7	0	0	-4	-3.7	0	0	0
3	55992.5935	End Full Super	0	3.7	3.7	0	0	-4	-3.7	0	0	0
3	55995.3032	Reverse Crown	0	2.5	2.5	0	0	-4	-2.5	0	0	0
3	56000.8484	Level Crown	0	0	0	0	0	-4	-2.5	0	0	0
3	56006.5935	Begin Normal Cr	0	-2.5	-2.5	0	0	-4	-2.5	0	0	0
3	56009.9806	Begin Normal Sh	0	-4	-2.5	0	0	-4	-2.5	0	0	0
4	56146.8174	End Normal Sho	0	-4	-2.5	0	0	-4	-2.5	0	0	0
4	56150.2045	End Normal Crov	0	-4	-2.5	0	0	-2.5	-2.5	0	0	0
4	56153.8496	Level Crown	0	-4	-2.5	0	0	0	0	0	0	0
4	56161.0948	Reverse Crown	0	-4	-2.5	0	0	2.5	2.5	0	0	0
4	56164.2045	Begin Full Super	0	-4	-3.7	0	0	3.7	3.7	0	0	0
4	56289.2135	End Full Super	0	-4	-3.7	0	0	3.7	3.7	0	0	0
4	56291.5232	Reverse Crown	0	-4	-2.5	0	0	2.5	2.5	0	0	0
4	56297.5684	Level Crown	0	-4	-2.5	0	0	0	0	0	0	0
4	56303.2135	Begin Normal Cr	0	-4	-2.5	0	0	-2.5	-2.5	0	0	0
4	56306.6006	Begin Normal Sh	0	-4	-2.5	0	0	-4	-2.5	0	0	0
5	56902.8047	End Normal Sho	0	-4	-2.5	0	0	-4	-2.5	0	0	0
5	56906.2009	End Normal Crov	0	-2.5	-2.5	0	0	-4	-2.5	0	0	0
5	56911.8613	Level Crown	0	0	0	0	0	-4	-2.5	0	0	0
5	56917.5218	Reverse Crown	0	2.5	2.5	0	0	-4	-2.5	0	0	0

Fuente: Propia

De este modo se puede analizar la transición de peraltes en cada curva. El Plano de Diagrama de Transición de Peraltes muestra la transición de peraltes del trazo diseñado. Además, la siguiente tabla muestra la longitud de transición de peralte para cada curva.

Tabla N° 12: Longitud de transición de peralte

Curva N°	Radio (m)	Peralte asignado (%)	Longitud de Transición (m)	Curva N°	Radio (m)	Peralte asignado (%)	Longitud de Transición (m)
C1	450	2.8	12.0	C12	60	11.0	30 (espiral)
C2	250	4.3	16.0	C13	250	4.3	16.0
C3	300	3.7	14.0	C14	300	3.7	14.0
C4	300	3.7	14.0	C15	300	3.7	14.0
C5	450	2.8	12.0	C16	300	3.7	14.0
C6	200	5.2	18.0	C17	300	3.7	14.0
C7	200	5.2	18.0	C18	300	3.7	14.0
C8	200	5.2	18.0	C19	200	5.2	18.0
C9	250	4.3	16.0	C20	200	5.2	18.0
C10	300	3.7	14.0	C21	350	3.2	14.0
C11	90	9.3	30 (espiral)	C22	100	8.7	24.0

Fuente: Propia

4.3.5. Sobreanchos

De acuerdo a la ecuación de sobreancho presentada en el acápite 2.2.5.5. se realiza el cálculo para cada curva diseñada. Es necesario tomar en cuenta los siguientes parámetros:

- Número de carriles (n): 2
- Vehículo de diseño: Camión de 3 ejes – C3
- Distancia entre eje posterior y parte frontal del vehículo de diseño (L): 10.55 mm
- Velocidad de diseño (V): 40 Km/h

La siguiente tabla muestra los valores de sobreanchos adaptados.

Tabla N° 13: Valores de sobreancho adaptados a las curvas diseñadas y sus respectivas longitudes de transición.

Curva N°	Radio (m)	Sobreanchos (m)	Longitud de Transición Entrada - Salida (m)	Inicio de sobreancho	Fin de sobreancho
C1	450	0.50	12.00	58+435.015	58+560.900
C2	250	0.70	16.00	59+727.574	59+930.297
C3	300	0.70	14.00	60+342.737	60+492.594
C4	300	0.70	14.00	60+664.204	60+789.214
C5	450	0.50	12.00	61+418.201	61+703.462
C6	200	0.90	18.00	62+321.861	62+374.639
C7	200	0.90	18.00	62+496.372	62+569.895
C8	200	0.90	18.00	63+112.255	63+175.112
C9	250	0.70	16.00	63+312.680	63+370.235

Curva N°	Radio (m)	Sobrecanchos (m)	Longitud de Transición Entrada - Salida (m)	Inicio de sobrecancho	Fin de sobrecancho
C10	300	0.70	14.00	63+835.591	64+078.937
C11	90	1.70	30.0	64+303.284	64+370.542
C12	60	2.40	30.0	64+592.853	64+631.318
C13	250	0.70	16.00	64+899.599	64+998.671
C14	300	0.70	14.00	65+328.243	65+575.058
C15	300	0.70	14.00	66+053.020	66+228.522
C16	300	0.70	14.00	66+852.189	67+051.137
C17	300	0.70	14.00	67+184.488	67+249.140
C18	300	0.70	14.00	67+561.216	67+653.529
C19	200	0.90	18.00	67+750.415	67+939.271
C20	200	0.90	18.00	68+233.962	68+380.717
C21	350	0.60	14.00	68+525.970	68+661.382
C22	100	1.60	24.00	68+842.065	68+870.759

Fuente: Propia

Es necesario aclarar que la longitud de transición de entrada del sobrecancho va desde un punto en la recta tangente hasta el inicio mostrado en la tabla. Y la transición de salida, desde el final mostrado en la tabla, hasta un punto en la recta tangente siguiente.

En el caso de las curvas con espiral, el desarrollo del sobrecancho se da en la longitud de la curva de transición, en este caso, 30 m (curvas C11 y C12).

4.4. DISEÑO DEL ALINEAMIENTO VERTICAL

El Plano de Planta y Perfil muestra el diseño geométrico vertical correspondiente a una velocidad de diseño de 40 Kph. El perfil de la carretera se ha diseñado de tal forma que la rasante se adapte, en lo posible, al terreno.

4.4.1. Rasante, pendiente mínima y máxima

De acuerdo con el 2.2.6.1., para el caso de la presente tesis, se toma como pendiente óptima 0.5%, y excepcionalmente pendientes mínimas de 0.35%. La pendiente máxima permisible es de 10%.

Bajo estas consideraciones, se ha diseñado el alineamiento vertical de la carretera y se han optado por proveer pendientes mayores a la mínima. A continuación, se presenta una tabla que lista los puntos de inflexión verticales (PIV) junto con las rectas en pendiente de entrada y salida al PIV.

Tabla N° 14: Rectas en pendiente del alineamiento horizontal.

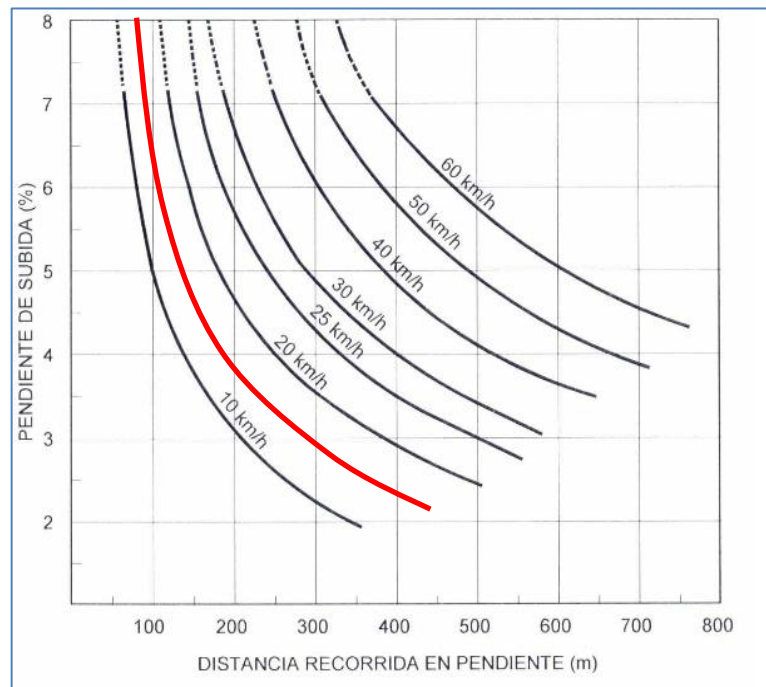
PVI N°	Progresiva	Elevación (m.s.n.m.)	Pendiente en Entrada	Pendiente en Salida
1	59+010.000	2957.73	-0.99%	1.78%
2	59+710.000	2970.16	1.78%	0.45%
3	60+220.000	2972.47	0.45%	4.42%
4	60+400.000	2980.43	4.42%	-3.60%
5	60+730.000	2968.55	-3.60%	-0.38%
6	61+040.000	2967.39	-0.38%	-1.33%
7	61+270.000	2964.33	-1.33%	4.25%
8	61+560.000	2976.66	4.25%	-0.32%
9	62+630.000	2973.24	-0.32%	3.78%
10	62+870.000	2982.31	3.78%	0.35%
11	64+420.000	2987.71	0.35%	-1.96%
12	65+120.000	2974.01	-1.96%	4.31%
13	65+300.000	2981.77	4.31%	0.39%
14	65+640.000	2983.09	0.39%	-3.35%
15	65+950.000	2972.70	-3.35%	0.65%
16	66+720.000	2977.68	0.65%	3.57%
17	67+070.000	2990.16	3.57%	-0.86%
18	67+480.000	2986.65	-0.86%	0.38%
19	67+840.000	2988.02	0.38%	1.98%
20	68+350.000	2998.13	1.98%	-3.63%
21	68+610.000	2988.70	-3.63%	-1.39%

Fuente: Propia

Se observa que las pendientes no superan la máxima de 10% y que por lo general son bajas. Ahora, es necesario verificar si el diseño es compatible con otras importantes consideraciones que presenta el Manual sobre el diseño de la rasante:

- Al no existir ascensos continuos, longitudes de más de 3 kilómetros con más de 5% de pendiente, no es necesario ubicar tramos de descanso.
- Sobre la pérdida de velocidad de los vehículos pesados en subida, se evita en lo posible que la caída de velocidad supere los 15 Km/h, esto como recomendación del Manual DG-2014. Con la ayuda de la Figura 303.01b del Manual, se puede establecer la longitud crítica en pendiente.

Figura N° 48: Longitud crítica en pendiente



Fuente: Manual DG-2014

La siguiente tabla muestra las longitudes en pendiente del alineamiento vertical y la verificación de que si cumple o no con la longitud crítica para una caída de velocidad de 15 Km/h.

Tabla N° 15: Longitudes en pendiente del diseño vertical.

PVI N°	Progresiva	Pendiente (subida)	Longitud en pendiente (m)	Longitud Crítica (m)	Pérdida de velocidad de 15 Km/h	Pérdida de velocidad (km/h)
Inicio	58+300.000	---	---		--	--
1	59+010.000	0.99%	710.000	Indeterminado	--	--
2	59+710.000	1.78%	700.000	Indeterminado	--	--
3	60+220.000	0.45%	510.000	Indeterminado	--	--
4	60+400.000	4.42%	180.000	105.000	No	17
5	60+730.000	3.60%	330.000	170.000	No	21
6	61+040.000	0.38%	310.000	Indeterminado	--	--
7	61+270.000	1.33%	230.000	450.000	Cumple	--
8	61+560.000	4.25%	290.000	95.000	No	23
9	62+630.000	0.32%	1070.000	Indeterminado	--	--
10	62+870.000	3.78%	240.000	200.000	No	17
11	64+420.000	0.35%	1550.000	Indeterminado	--	--
12	65+120.000	1.96%	700.000	Indeterminado	--	--
13	65+300.000	4.31%	180.000	110.000	No	16
14	65+640.000	0.39%	340.000	Indeterminado	--	--
15	65+950.000	3.35%	310.000	250.000	No	18.5
16	66+720.000	0.65%	770.000	Indeterminado	--	--

PVI N°	Progresiva	Pendiente (subida)	Longitud en pendiente (m)	Longitud Crítica (m)	Pérdida de velocidad de 15 Km/h	Pérdida de velocidad (km/h)
17	67+070.000	3.57%	350.000	110.000	No	22
18	67+480.000	0.86%	410.000	Indeterminado	--	--
19	67+840.000	0.38%	360.000	Indeterminado	--	--
20	68+350.000	1.98%	510.000	Indeterminado	--	--
21	68+610.000	3.63%	260.000	220.000	No	17
Fin	68+907.572	1.39%	297.572	Indeterminado	--	--

Fuente: Propia

De la tabla anterior se observa que para las rectas con pendientes menores a 2% no habría problema en considerar longitudes extensas. Por otro lado, la caída de velocidad, por lo general, cumple con los 15 Km/h recomendable. No obstante, existen 8 tramos en los que los supera, pero que no llegan a ser mayores a 25 Km/h, valor con el cual se debe optar por ubicar carriles de ascenso, situación que aumentaría en el costo de ejecución de la carretera.

4.4.2. Curvas Verticales

De acuerdo al acápite 2.2.6.2., se han diseñado las curvas verticales de modo que, en lo posible, tengan longitudes mayores a las distancias de visibilidad. Tanto las curvas cóncavas y convexas han sido diseñadas bajo ciertas consideraciones o parámetros.

- Velocidad de diseño: 40 Km/h
- El tiempo de percepción reacción mínimo adecuado establecido por la Norma es de 2 segundos.
- El coeficiente de fricción para el pavimento en estado húmedo (caso crítico) según la normativa AASHTO es de 0.38, para una velocidad de diseño de 40 Km/h.
- La distancia de visibilidad de parada según tablas (D_{p1}) varía desde 50m hasta 53m. Se calcularán también estas distancias a partir de las fórmulas (D_{p2}). A partir de D_{p1} y D_{p2} se deducirá la longitud mínima de distancia de parada (D_p).
- La distancia de visibilidad de adelantamiento según gráfico (D_a) es de 170 m.
- Longitud mínima por efectos gravitacionales que afectan mayormente a las curvas cóncavas.

- Se considera que ninguna curva vertical tenga menor longitud al valor de la velocidad de diseño. Por lo tanto, la longitud de una curva vertical, por cuestiones estéticas, no debe ser menor a 40m.

Bajo los criterios mencionados, se presenta la Tabla N° 16 donde se muestran las longitudes mínimas adoptadas para cada una de las curvas verticales del diseño vertical. En ella se observa que las distancias de parada mínimas D_p (columna H) no superan los 50 m de longitud. Las longitudes de curva vertical para contar con D_p (columna J) es en su mayoría son valores negativos, esto sucede debido a las pendientes reducidas de entrada y salida. Lo mismo sucede en las longitudes para contar con D_a (columna K).

En todos los casos, la longitud mínima debe ser 40 Km/h por cuestiones estéticas. De modo que, la longitud mínima de diseño para cada curva vertical es la mayor entre aquellas calculadas en las columnas J, K, L y M.

La columna (O) verifica si la curva cuenta con la distancia de parada, distancia de visibilidad de paso o ambas. Es necesario mencionar que, por efectos de diseño de la rasante, en los PVI N° 4, 8, y 20, las longitudes mínimas no son necesariamente mayores a las de la columna (K), de modo que solo cuentan con distancia de visibilidad de parada.

Luego de haber definido las longitudes mínimas de las curvas verticales, se verifica si el diseño cumple con estas condiciones. La Tabla N° 17 muestra dicha verificación.

Tabla N° 16: Longitud mínima de curvas verticales en el diseño

Curva Vertical N°	Tipo de Curva	Pendiente en Entrada (%)	Pendiente en Salida (%)	A (%)	Distancia de Parada Dp1, por gráfico (m)	Distancia de Parada Dp2, por fórmula (m)	(H) Distancia de Parada Dp (m)	(I) Distancia de Visib. de Paso Da (m)	(J) Longitud mínima por Dp (m)	(K) Longitud mínima por Da (m)	(L) Longitud mínima por efectos grav. (m)	(M) Longitud mínima por estética (m)	(N) Longitud mínima de CV (m)	(O) Observación
1	Cóncava	-0.99	1.78	2.77	50.00	40.00	50.00	170	-6.50		11.2	40.0	40.0	Cuenta con Dp
2	Convexa	1.78	0.45	1.33	50.00	40.00	50.00	170	-203.76	-371.28		40.0	40.0	Cuenta con Da y Dp
3	Cóncava	0.45	4.42	3.97	50.00	41.00	50.00	170	25.69		16.1	40.0	40.0	Cuenta con Dp
4	Convexa	4.42	-3.6	8.02	50.00	41.00	50.00	170	49.63	245.01		40.0	60.0	Cuenta con Dp
5	Cóncava	-3.6	-0.38	3.22	50.00	39.00	50.00	170	8.39		13.0	40.0	40.0	Cuenta con Dp
6	Convexa	-0.38	-1.33	0.95	50.00	39.00	50.00	170	-325.26	-655.79		40.0	40.0	Cuenta con Da y Dp
7	Cóncava	-1.33	4.25	5.58	50.00	41.00	50.00	170	47.13		22.6	40.0	60.0	Cuenta con Dp
8	Convexa	4.25	-0.32	4.57	50.00	41.00	50.00	170	11.60	133.00		40.0	40.0	Cuenta con Dp
9	Cóncava	-0.32	3.78	4.10	50.00	41.00	50.00	170	28.05		16.6	40.0	40.0	Cuenta con Dp
10	Convexa	3.78	0.35	3.43	50.00	41.00	50.00	170	-17.78	64.20		40.0	80.0	Cuenta con Da
11	Convexa	0.35	-1.96	2.31	50.00	39.00	50.00	170	-74.89	-69.52		40.0	40.0	Cuenta con Da y Dp
12	Cóncava	-1.96	4.31	6.27	53.00	41.00	53.00	170	57.65		25.4	40.0	60.0	Cuenta con Dp
13	Convexa	4.31	0.39	3.92	50.00	41.00	50.00	170	-3.06	98.67		40.0	100.0	Cuenta con Da
14	Convexa	0.39	-3.35	3.74	50.00	39.00	50.00	170	-8.02	87.06		40.0	100.0	Cuenta con Da
15	Cóncava	-3.35	0.65	4.00	50.00	40.00	50.00	170	26.25		16.2	40.0	40.0	Cuenta con Dp
16	Cóncava	0.65	3.57	2.92	50.00	41.00	50.00	170	-1.03		11.8	40.0	40.0	Cuenta con Dp
17	Convexa	3.57	-0.86	4.43	50.00	41.00	50.00	170	8.80	126.46		40.0	140.0	Cuenta con Da
18	Cóncava	-0.86	0.38	1.24	50.00	39.00	50.00	170	-137.90		5.0	40.0	40.0	Cuenta con Dp
19	Cóncava	0.38	1.98	1.60	50.00	40.00	50.00	170	-84.38		6.5	40.0	40.0	Cuenta con Dp
20	Convexa	1.98	-3.63	5.61	50.00	40.00	50.00	170	27.99	171.38		40.0	40.0	Cuenta con Dp
21	Cóncava	-3.63	-1.39	2.24	50.00	40.00	50.00	170	-31.70		9.1	40.0	40.0	Cuenta con Dp

Fuente: Propia

Tabla N° 17: Longitudes en curvas verticales

PIV N°	Tipo de Curva	Longitud mínima de CV (m)	Longitud en el diseño vertical (m)	Observación
1	Cóncava	40.0	300.0	No permite adelantar
2	Convexa	40.0	300.0	Permite adelantar
3	Cóncava	40.0	200.0	No permite adelantar
4	Convexa	60.0	100.0	No permite adelantar
5	Cóncava	40.0	100.0	No permite adelantar
6	Convexa	40.0	200.0	Permite adelantar
7	Cóncava	60.0	150.0	No permite adelantar
8	Convexa	40.0	115.3	No permite adelantar
9	Cóncava	40.0	173.5	No permite adelantar
10	Convexa	80.0	100.0	Permite adelantar
11	Convexa	40.0	100.0	Permite adelantar
12	Cóncava	60.0	100.0	No permite adelantar
13	Convexa	100.0	180.0	Permite adelantar
14	Convexa	100.0	120.0	Permite adelantar
15	Cóncava	40.0	100.0	No permite adelantar
16	Cóncava	40.0	373.9	No permite adelantar
17	Convexa	140.0	140.0	Permite adelantar
18	Cóncava	40.0	200.0	No permite adelantar
19	Cóncava	40.0	100.0	No permite adelantar
20	Convexa	40.0	100.0	No permite adelantar
21	Cóncava	40.0	100.0	No permite adelantar

Fuente: Propia

Quedan entonces definidas las curvas verticales, de tal modo que sus longitudes, por lo menos, superen a las distancias de visibilidad de parada. Solo algunas tienen longitudes mayores a las distancias de visibilidad de paso, como son los PVI N° 2, 6, 10, 11, 13, 14 y 17. La columna de señalización indica aquellas curvas en las cuales verticales está prohibido adelantar, se verá en el capítulo de Diseño de Señalización.

4.5. DISEÑO DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL

El Plano de la Sección Transversal Típica muestra el diseño transversal de la carretera en un tramo recto. El diseño comprende el dimensionamiento de la calzada, de las bermas, de las cunetas y del derecho de vía; así como definir los taludes de corte y relleno. De manera complementaria, se realiza un diseño básico de pavimento para el proyecto.

4.5.1. Pavimento

El Estudio de Suelos a cargo de la empresa Geodata en el 2014 brinda información suficiente para el diseño básico del pavimento en la presente tesis (el **Anexo N°3** muestra segmentos del Estudio). El estudio presenta valores de CBR para el tramo de interés. La siguiente imagen corresponde a los resultados del estudio de suelos realizada en la vía.

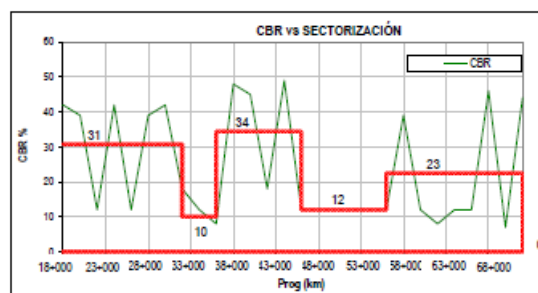
Figura N° 49: Valores de CBR a lo largo de la vía

Progresiva	CBR	Δ	Δ Acum	P _i	A _i	Σ A _i	Z _s	Pendiente	Cambio Pendiente
4+000	42.00	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	1.0	4 + 000
6+000	39.00	2000	2000	40.50	81000	81000	33963	1.0	
8+000	12.00	2000	4000	25.50	51000	132000	37926	1.0	
10+000	42.00	2000	6000	27.00	54000	186000	44889	1.0	
12+000	12.00	2000	8000	27.00	54000	240000	51852	1.0	
14+000	39.00	2000	10000	25.50	51000	291000	55815	1.0	
16+000	42.00	2000	12000	40.50	81000	372000	89778	-1.0	16 + 000
18+000	18.00	2000	14000	30.00	60000	432000	102741	1.0	18 + 000
20+000	12.00	2000	16000	15.00	30000	462000	85704	1.0	
22+000	8.00	2000	18000	10.00	20000	482000	58667	1.0	
24+000	48.00	2000	20000	28.00	56000	538000	67630	1.0	
26+000	45.00	2000	22000	46.50	93000	631000	113593	1.0	
28+000	18.00	2000	24000	31.50	63000	694000	129556	-1.0	28 + 000
30+000	49.00	2000	26000	33.50	67000	761000	149519	-1.0	
32+000	12.00	2000	28000	30.50	61000	822000	163481	-1.0	
34+000	12.00	2000	30000	12.00	24000	846000	140444	-1.0	
42+000	12.00	8000	38000	12.00	96000	942000	48296	-1.0	
44+000	39.00	2000	40000	25.50	51000	993000	52259	-1.0	
46+000	12.00	2000	42000	25.50	51000	1044000	56222	-1.0	
48+000	8.00	2000	44000	10.00	20000	1064000	29185	-1.0	
50+000	12.00	2000	46000	10.00	20000	1084000	2148	1.0	50 + 000
52+000	11.00	2000	48000	12.00	24000	1108000	-20889	1.0	
54+000	42.00	2000	50000	29.00	58000	1166000	-9926	1.0	
56+000	8.00	2000	52000	26.50	53000	1219000	-3963	1.0	
58+000	34.00	2000	54000	25.50	51000	1270000	-2596	-1.0	58 + 000
60+000	12.00	2000	48000	12.00	24000	1108000	-2004	1.0	
62+000	46.00	2000	50000	29.00	58000	1166000	-1258	1.0	
64+000	7.00	2000	52000	26.50	53000	1219000	-632	1.0	
66+000	44.00	2000	54000	25.50	51000	1270000	0	-1.0	66 + 000

Fuente: Estudio de Suelos, Estudio de Pre Inversión Llata (Geodata Perú)

Como el tramo de diseño va desde la progresiva 58+300 en adelante, los valores que sirven son los de las progresivas 58+000 hasta 66+000. Se emplea el procedimiento AASHTO para el cálculo el CBR de diseño, el cual viene a ser el promedio de los valores mostrados. La siguiente imagen muestra la sectorización de la carretera según el CBR promedio.

Figura N° 50: Promedio de CBR



Fuente: Estudio de Suelos, Estudio de Pre Inversión Llata (Geodata Perú)

Se observa que a partir de la progresiva 42+000 el CBR promedio de la vía es de 23%, valor que tomaremos como CBR de diseño del tramo a diseñar.

Las variables para el diseño del pavimento son las siguientes:

- a) El número de repeticiones de ejes equivalentes, **ESAL** o **W₁₈**, es un dato obtenido del Estudio de Suelos mencionado. El valor es de **4.73 E+05**.
- b) El módulo resiliente de la subrasante se calcula a partir del CBR como: $Mr = 2555(CBR)^{0.64}$ en psi. Por lo que el valor de **Mr** es **19,006.26 psi** ó **131.04 MPa**.
- c) La confiabilidad de diseño (**%R**), de acuerdo al manual de suelos y pavimentos, en el cuadro 12.6, se recomienda el valor de **75%** para el tráfico tipo T_{P2} (por la cantidad de ejes equivalentes), para un periodo de diseño a 20 años.
- d) El coeficiente estadístico de desviación estándar normal (**Z_r**), de acuerdo al manual, en el cuadro 12.8, se recomienda el valor de **-0.674** para el tráfico tipo T_{P2}, para un periodo de diseño a 20 años.
- e) La desviación estándar combinada (**S₀**) recomendada por la guía AASHTO está en el rango de 0.4 y 0.5. La guía recomienda un valor de **0.49** para pavimentos flexibles siempre en cuando se considere la variación del tráfico en el futuro, por lo que en este caso es posible.
- f) La variación del índice de serviciabilidad presente (**ΔPSI**) vendría a ser la diferencia entre la serviciabilidad inicial (Pi) y la final (Pf). El valor de Pi corresponde a la condición de una vía recientemente construida, y que según el manual de suelos y pavimentos (cuadro 12.10) vendría a ser 3.80, por ser el tráfico tipo T_{P2}. De la misma manera, en el cuadro 12.11 del manual se recomienda un valor de Pf de 2.00, que vendría a ser la condición de la vía que ya necesita ser mejorada o rehabilitada. Por lo tanto, el valor de **ΔPSI** vendría a ser **1.8**.
- g) El número estructural requerido (**SNr**) es un valor que representa la capacidad de resistencia del pavimento por del aporte estructural de cada capa. La guía AASHTO lo expresa mediante la siguiente fórmula:

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

donde a_1 , a_2 y a_3 son coeficientes estructurales de la carpeta asfáltica, base y subbase, respectivamente; D_1 , D_2 y D_3 son los espesores; y m_2 y m_3 vienen a ser los coeficientes de drenaje.

Los valores de a_i y m_i son recomendados por el manual de suelos y pavimentos en el cuadro 12.13. En la siguiente tabla se resumen todas las variables optadas para el diseño.

Tabla N° 18: Parámetros de diseño del pavimento

Parámetro de Diseño	0-20 años	
Número de Ejes Equivalentes	4.73E+05	
CBR	23%	
Módulo resiliente (Mr)	19006.26 psi	
Confiabilidad (%R)	75%	
Zr	-0.674	
Desciación estándar (S0)	0.49	
Serviciabilidad inicial (Pi)	3.8	
Serviciabilidad final (Pf)	2.0	
Variación de serviciabilidad (Δ PSI)	1.8	
Capas de pavimento	Coefficiente estructural	Coefficiente de drenaje
Capa Superficial		
Carpeta Asfáltica en Caliente, módulo 2,965 MPa (430,000 PSI) a 20 °C (68 oF)	0.17/cm (0.42/pulg)	-
Base		
Base Granular CBR 80%, compactada al 100% de la MDS	0.052/cm (0.13/pulg)	1.0
Sub base		
Sub Base Granular CBR 40%, compactada al 100% de la MDS	0.047/cm (0.11/pulg)	1.0

Fuente: Propia

Al no existir solución única, se opta por un diseño adecuado recomendado por la buena práctica en construcción de carreteras. Para ello se emplea el software DIPAV con el cual es posible obtener resultados a la siguiente ecuación que la guía AASHTO establece en el diseño de pavimentos flexibles.

$$\log_{10} W_{18} = Z_R S_0 + 9.36 \log_{10} (SN + 1) - 0.2 + \frac{\log_{10} \left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + (2.32 \log_{10} (M_R) - 8.07)$$

Figura N° 51: Cálculo del número estructural SN

The screenshot shows the DIPAV 2.3 software interface with the following input fields and values:

- Serviciabilidad Inicial (Po): 3.8
- Serviciabilidad Final (Pt): 2
- Módulo Resiliente de la Subrasante (Mr)(KPa) - (psi): 131,043.55 KPa (19,006.26 psi)
- Confiabilidad (R)(%): 75
- Desviación Estándar (So): 0.49
- Número de Ejes Equivalentes ESALs: 473,000
- Número de Etapas de Construcción: 1
- Número Estructural (mm) - (pulg): 49 (1.93)

Buttons: "Calcular" (highlighted), "Borrar todo", "Calcular ESALs", "Cerrar".

Fuente: Propia

Del cálculo del software se obtiene un valor de SN de 49mm. A partir del cual se definen los espesores de las capas del pavimento.

Figura N° 52: Espesores calculados

The screenshot shows the "Diseño con Verificación por Capas" window in DIPAV 2.3. The table below displays the calculated parameters for each pavement layer:

Nombre de Capa	Coefficiente Estructural (ai)	Coefficiente de Drenaje (mi)	Módulo de Elasticidad (kPa)	Espesor Especificado (mm)	Espesor Calculado (mm)	Número Estructural (mm)	Espesor Asumido (mm)
Carpeta Asfáltic	0.42	1	2,965,000		102	43	70
Base Granular	0.13	1	185,000		76	10	150
Sub Base Granu	0.11	1	110,000		0	0	200

Additional data at the bottom of the window:

- Número Estructural Alcanzado: 71
- Número Estructural Requerido: 53

Buttons: "Verificar", "Cerrar".

Fuente: Propia

De acuerdo a las características físicas de las capas del pavimento, el software calcula el espesor de cada una, alcanzando un número estructural de 53mm, mayor a los 49mm iniciales. Sin embargo, los valores calculados no son los que se usan en construcción, pues no son prácticos, por lo que se asumen espesores a cada capa y se verifica que el nuevo número estructural sea mayor al calculado (53mm).

Los espesores, por lo tanto, quedan definidos de la siguiente manera:

Tabla N° 19: Espesores del pavimento flexible

Capa de pavimento	Espesor (cm)
Carpeta Asfáltica	7.0
Base Granular	15.0
Sub Base Granular	20.0

Fuente: Propia

4.5.2. Calzada

De acuerdo con la tabla 304.1 de la Norma, el ancho de calzada para el presente proyecto viene a ser de 6 m. Al tratarse de una plataforma de calzada única, con un carril por sentido, el ancho de cada uno de estos es de 3 m.

Figura N° 53: Anchos mínimos de calzada

Clasificación	Autopista								Carretera				Carretera				Carretera				
	> 6.000				6.000 - 4001				4.000-2.001				2.000-400				< 400				
	Primera Clase		Segunda Clase		Primera Clase		Segunda Clase		Primera Clase		Segunda Clase		Tercera Clase		Tercera Clase		Tercera Clase				
Orografía	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
Velocidad de diseño: 30 km/h																				6,00	6,00
40 km/h																6,60	6,60	6,60	6,60	6,00	6,00
50 km/h										7,20	7,20				6,60	6,60	6,60	6,60	6,00	6,00	
60 km/h					7,20	7,20	7,20	7,20	7,20	7,20	7,20	7,20	7,20	7,20	6,60	6,60	6,60	6,60			
70 km/h			7,20	7,20	7,20	7,20	7,20	7,20	7,20	7,20	7,20	7,20	7,20	7,20	6,60		6,60	6,60			
80 km/h	7,20	7,20	7,20	7,20	7,20	7,20	7,20	7,20	7,20	7,20	7,20		7,20	7,20			6,60	6,60			
90 km/h	7,20	7,20	7,20		7,20	7,20	7,20		7,20	7,20			7,20				6,60	6,60			
100 km/h	7,20	7,20	7,20		7,20	7,20	7,20		7,20				7,20								
110 km/h	7,20	7,20			7,20																
120 km/h	7,20	7,20			7,20																
130 km/h	7,20																				

Fuente: Manual DG-2014

Así mismo, como finalidad de drenar el agua sobre la superficie de rodadura proveniente de las lluvias, se define una inclinación transversal que evacua el agua hacia las bermas y luego a las cunetas. Esa inclinación, que puede ser a dos aguas, se denomina bombeo. Al depender de la superficie de rodadura y de los niveles de precipitación en la zona, el bombeo varía de 2% hasta 4%.

La solución del presente proyecto es a nivel de pavimento asfáltico y la precipitación anual calculada en el **Anexo N°4** es de 525 mm/año (SENAMHI, 2017). De modo que, a partir de la Tabla 304.03 del Manual DG-2014, el bombeo recomendado para el proyecto es de 2.5%.

Figura N° 54: Valores de bombeo de la calzada

Tipo de Superficie	Bombeo (%)	
	Precipitación <500 mm/año	Precipitación >500 mm/año
Pavimento asfáltico y/o concreto Portland	2,0	2,5
Tratamiento superficial	2,5	2,5-3,0
Afirmado	3,0-3,5	3,0-4,0

Fuente: Manual DG-2014

4.5.3. Bermas

En la Tabla 304.02 del Manual DG-2014, se establece el ancho mínimo de las bermas a lo largo de la vía. Para el caso del presente proyecto, siendo la velocidad de diseño 40 Km/h, el ancho queda definido en 0.5 m.

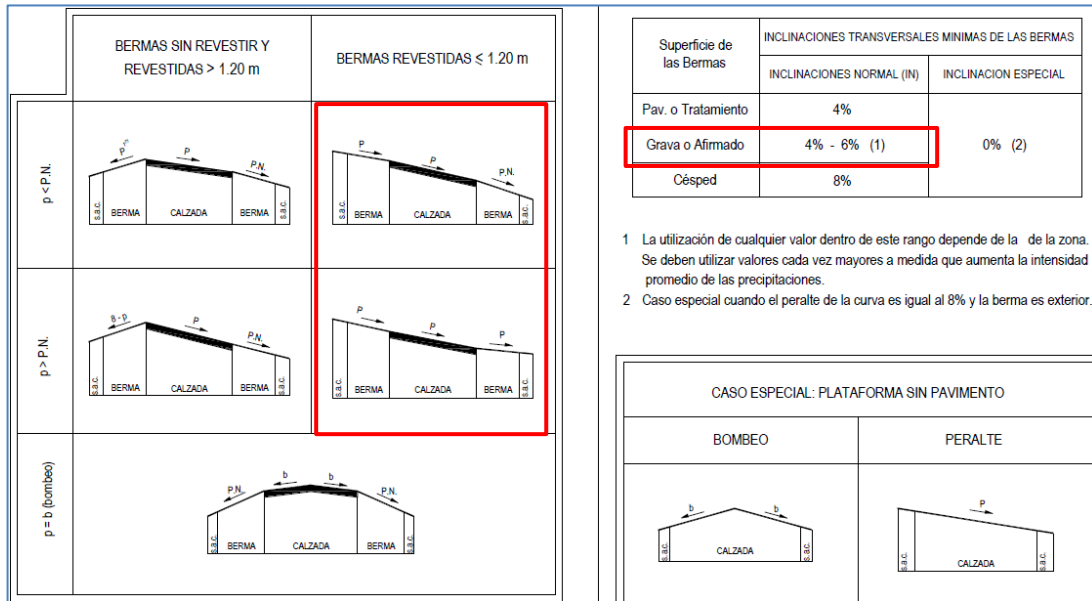
Figura N° 55: Anchos mínimos de calzada

Clasificación	Autopista				Carretera				Carretera				Carretera							
	> 6.000				6.000 - 4001				4.000-2.001				2.000-400				< 400			
Características	Primera clase				Segunda clase				Primera clase				Segunda clase				Tercera Clase			
Tipo de orografía	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Velocidad de diseño: 30 km/h																				
40 km/h																	1,20	1,20	0,90	0,50
50 km/h											2,60	2,60			1,20	1,20	1,20	0,90	0,90	
60 km/h					3,00	3,00	2,60	2,60	3,00	3,00	2,60	2,60	2,00	2,00	1,20	1,20	1,20	1,20		
70 km/h			3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	2,00	2,00	1,20		1,20	1,20		
80 km/h	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00		2,00	2,00			1,20	1,20		
90 km/h	3,00	3,00	3,00		3,00	3,00	3,00		3,00	3,00			2,00				1,20	1,20		
100 km/h	3,00	3,00	3,00		3,00	3,00	3,00		3,00				2,00							
110 km/h	3,00	3,00			3,00															
120 km/h	3,00	3,00			3,00															
130 km/h	3,00																			

Fuente: Manual DG-2014

Desde el punto de vista económico, para que el proyecto sea menos costoso, las bermas serán a nivel de afirmado con una inclinación de 4%, tal como establece el Manual DG-2014 en la siguiente figura.

Figura N° 56: Inclínación de bermas



- 1 La utilización de cualquier valor dentro de este rango depende de la de la zona. Se deben utilizar valores cada vez mayores a medida que aumenta la intensidad promedio de las precipitaciones.
- 2 Caso especial cuando el peralte de la curva es igual al 8% y la berma es exterior.

Fuente: Manual DG-2014

Debido a que las bermas no son pavimentadas, no es necesario añadir sobrecanchos de compactación (s.a.c.). En zonas de corte, tampoco es necesario incluirlos, ya que los taludes permiten el confinamiento de las bermas. Sin embargo, se opta por usarlas solo en zonas de relleno, donde permiten localizar elementos de seguridad y señalización. El s.a.c. tendrá un ancho de 0.70m, y formará parte de la berma, con el mismo espesor.

4.5.4. Cunetas

Como el dimensionamiento de las cunetas es parte del estudio hidrológico e hidráulico de la vía, el cual no es parte del alcance de la presente tesis, se tomará en cuenta las dimensiones mínimas que recomienda el Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje del Manual de Carreteras Peruano.

Figura N° 57: Dimensiones mínimas de cunetas

TABLA N° 34: Dimensiones mínimas

REGIÓN	PROFUNDIDAD (D) (M)	ANCHO (A) (M)
Seca (<400 mm/año)	0.20	0.50
Lluviosa (De 400 a <1600 mm/año)	0.30	0.75
Muy lluviosa (De 1600 a <3000 mm/año)	0.40	1.20
Muy lluviosa (>3000 mm/año)	0.30*	1.20

* Sección Trapezoidal con un ancho mínimo de fondo de 0.30
Fuente: Manual de Diseño de Carreteras Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito-MTC.

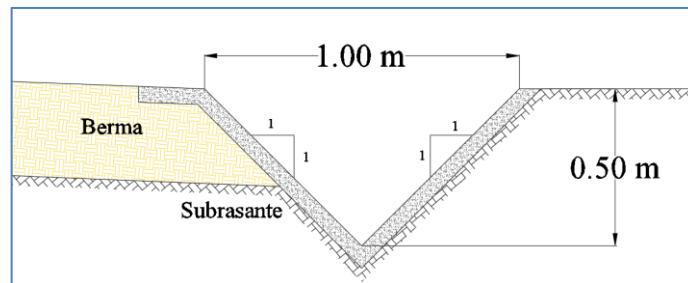
Fuente: Manual de Hidrología Hidráulica y Drenaje

De la figura anterior, por ser una zona con más de 500 mm/año de precipitación, se define la siguiente geometría para la cuneta en el diseño,:

- Sección transversal de las cunetas: Triangular
- Ancho: 1.0 m
- Alto: 0.5 m
- Talud interior: 1:1 (V:H)
- Talud exterior 1:1 (V:H)

La siguiente figura muestra la configuración de las cunetas proyectadas en el diseño de la vía.

Figura N° 58: Cuneta triangular tipo proyectada en el diseño



Fuente: Propia

4.5.5. Derecho de vía

El derecho de vía se define como “la faja de terreno de ancho variable dentro del cual se encuentra comprendida la carretera, sus obras complementarias, servicios, áreas previstas para futuras obras de ensanche o mejoramiento, y zonas de seguridad para el usuario” (Manual DG, 2014:217). A su vez, presenta la siguiente figura.:

Figura N° 59: Anchos mínimos de Derecho de Vía

Clasificación	Anchos mínimos (m)
Autopistas Primera Clase	40
Autopistas Segunda Clase	30
Carretera Primera Clase	25
Carretera Segunda Clase	20
Carretera Tercera Clase	16

Fuente: Manual DG-2014

Por lo que corresponde, para el caso de la presente tesis, 16 m de ancho de derecho de vía. Sin embargo, se debe tener presente también el siguiente lineamiento dado por la misma norma DG 2014:

En general, los anchos de la faja de dominio o Derecho de Vía, fijados por la autoridad competente se incrementarán en 5.00m, en los siguientes casos:

- Del borde de los taludes de corte más alejado.
- Del pie de los terraplenes más altos.
- Del borde más alejado de las obras de drenaje.
- Del borde exterior de los caminos de servicio.

Para los tramos de carretera que atraviesan zonas urbanas, la autoridad competente fijara el Derecho de Vía, en función al ancho requerido por la sección transversal del proyecto, debiendo efectuarse el saneamiento físico legal, para cumplir con los anchos mínimos fijados en la tabla 304.09 de la norma DG-2014, excepcionalmente podrá fijarse anchos mínimos inferiores, en función a las construcciones e instalaciones permanentes adyacentes a la carretera (Manual DG 2014:218).

4.5.6. Taludes

Para poder definir correctamente los taludes de corte y relleno, ya sea en material suelto o roca, a lo largo de la vía, es necesario tomar en cuenta las recomendaciones que brinda el estudio geológico y geotécnico previo. Este estudio, que también fue llevado a cabo por la empresa Geodata, recomienda diferentes soluciones para cada tramo de la vía diseñada (**Ver Anexo N°5**).

Se recomiendan valores de altura máxima del talud y valores de inclinación por cada tipo de material encontrado a lo largo del eje existente. La siguiente tabla resume los valores recomendados.

Tabla N° 20: Taludes de corte por adoptar en el diseño

Taludes de Corte				
Progresiva de eje diseñado		Litología (Tipo de material)	Talud recomendado V:H	Altura Máxima
Inicio (Km)	Fin (Km)			
58+300	59+545	Depósito Coluvial (Material Suelto)	2:1	10.0 m
59+545	59+750	Grupo Mitu (Roca suelta)	4:1	10.0 m
59+750	60+360	Depósito Coluvial (Material Suelto)	2:1	10.0 m
60+360	61+815	Formación Pucará (Roca suelta)	4:1	10.0 m
61+815	66+640	Depósito Coluvial (Material Suelto)	2:1	10.0 m
66+640	66+860	Formación Pucará (Roca suelta)	4:1	10.0 m
66+860	68+908	Depósito Coluvial (Material Suelto)	2:1	10.0 m

Fuente: Estudio de Geología y Geotecnia, Estudio de Pre Inversión Llata (Geodata Perú)

Quedan entonces definidos los taludes de corte para los sectores estudiados. Para taludes en zonas de terraplén, los valores son referenciales, pues el estudio mencionado no tiene como objetivo analizar rellenos, por lo que, en base a recomendaciones del Manual DG-2014, en la Tabla 304.11, para rellenos de

gravas, limo arcilloso o arcilla, el talud varía entre 1:1.5 y 1:2 (V:H), dependiendo de la altura del talud.



V. MOVIMIENTO DE TIERRAS

El cálculo de los volúmenes de corte y relleno se hace a partir de la combinación de información por parte de los diseños horizontal, vertical y de secciones transversales de la carretera. Dichos volúmenes se calculan utilizando el método de áreas medias, a fin de estimar costos importantes en la etapa de construcción.

En los Planos de Secciones Transversales se muestran secciones cada 20m en tramos rectos, y cada 10m en curvas y espirales. A partir de las áreas de corte y/o relleno de cada una, se van acumulando los volúmenes correspondientes para obtener así los totales.

Como se aprecia en los planos, en cortes de más de 10m de altura, se emplea banquetas de 3m y 2% de inclinación (**ver planos ST-02 y ST-13**). En rellenos que se extienden a más de 20m y con más de 5 m de altura, se recomienda la construcción de muros de contención, de modo que se eviten exagerados volúmenes de terraplén (**ver planos ST-02, 03, 04**).

En base al estudio geológico, el trazo atraviesa siete zonas diferentes. Varían intercaladamente entre material suelto (depósito fluvial) y roca suelta (formaciones rocosas), por lo que se han establecido siete tramos de análisis.

En el **Anexo N°6** se muestra la tabla de cálculo de movimiento de tierras. Se presenta el área de corte y relleno por cada progresiva, y con el método de áreas medias se calculan volúmenes de corte y relleno. A cada volumen de relleno se le multiplica por el índice de compactación (dependiendo del tipo de material) por efecto de la contracción del material al momento de conformar terraplenes. Este volumen nuevo es llamado volumen de relleno compactado (signo negativo por ser volumen por colocar) que se suma al volumen de corte (signo positivo por ser excedente), de forma que se obtenga el acarreo longitudinal, el cual resulta con signo positivo si se tiene material excedente, o signo negativo si se necesita llevar material desde una cantera o yacimiento.

De esta, se obtiene un total de 168,996 m³ de volumen de corte, de los cuales 136,752 m³ son en material suelto y 32,244 m³ en roca suelta; y un total de 119,172 m³ de volumen de relleno.

El índice de compactación resulta de la relación entre el peso unitario del material de relleno compactado (δ_c) y el peso unitario del material en estado natural (δ_i). La

siguiente tabla muestra el índice de compactación para cada sector de análisis, tomando en cuenta datos del estudio geológico y geotécnico (**Ver Anexo N°5**).

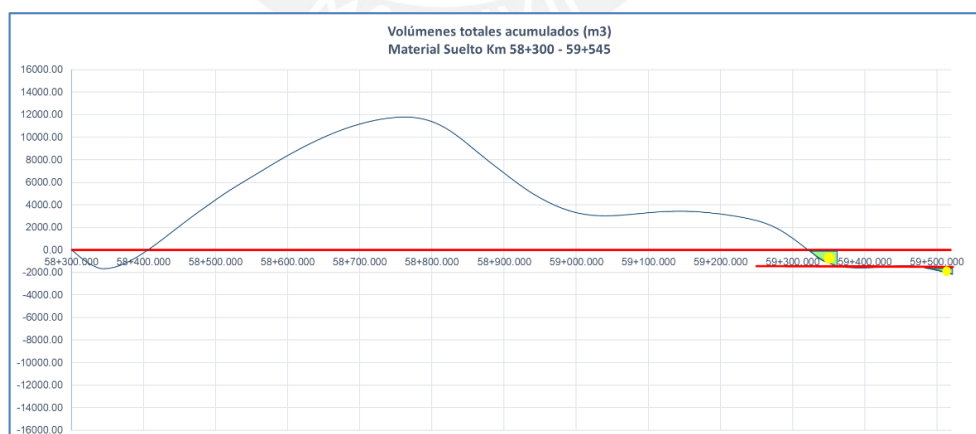
Tabla N° 21: Valores de índice de compactación para cada sector en la vía

Sector	Litología	Tipo de material	δ_i (ton/m ³)	δ_c^1 (ton/m ³)	Índice de Compactación (IC)
Km 58+300 – 59+545	Depósito Coluvial	Arena arcillosa	1.66	2.20	1.33
Km 59+545 – 59+750	Grupo Mitu	Conglomerado	2.20 ²	2.60	1.18
Km 59+750 – 60+360	Depósito Coluvial	Arena arcillosa	1.66	2.20	1.33
Km 60+360 – 61+815	Formación Pucará	Calizas	2.60 ³	2.80	1.08
Km 61+815 – 66+640	Depósito Coluvial	Grava arcillosa	1.85	2.40	1.30
Km 66+640 – 66+860	Formación Pucará	Calizas	2.60	2.80	1.08
Km 66+860 – 68+908	Depósito Coluvial	Grava arcillosa	1.79	2.40	1.34

Fuente: Propia

A partir de la tabla de cálculo, se elabora el diagrama de masas (representación gráfica del volumen de tierra a mover y de las distancias que hay que transportarlo) (Cárdenas, 2015: 465), que tiene la finalidad de lograr la mejor compensación longitudinal de volúmenes en cada sector. Se muestran líneas de distribución (color rojo) de modo que se compensen al máximo volúmenes de corte y relleno.

Figura N° 60: Diagramas de masas de la vía diseñada

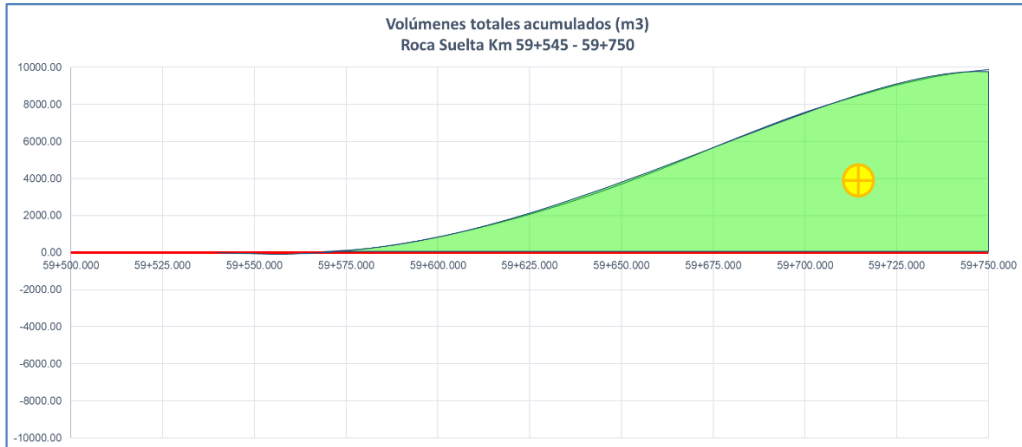


(a)

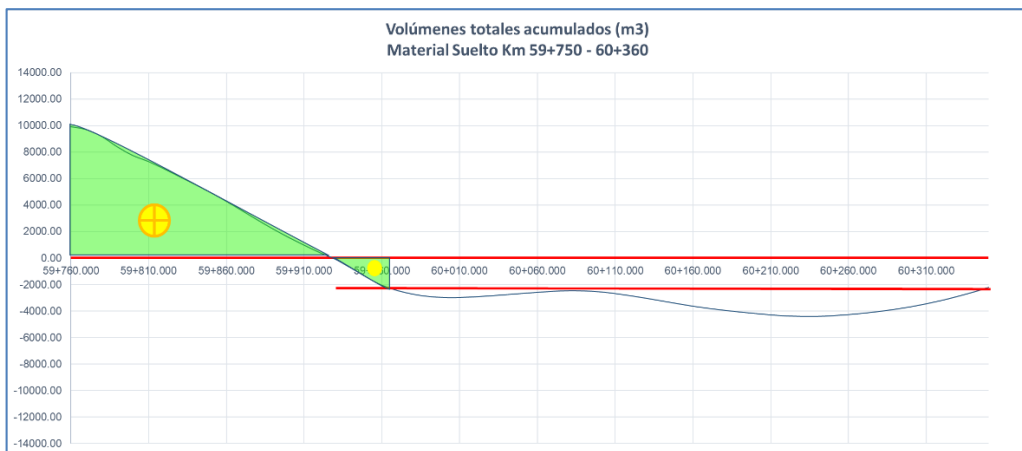
¹ Al no disponer de un análisis de suelo para determinar el peso unitario de material en relleno, se toma en cuenta valores típicos del libro Diseño de Carreteras de Paulo Emilio Bravo.

² Corresponde a valores típicos de peso unitario de conglomerados (Fuente: Luis Chang Chang, UNI)

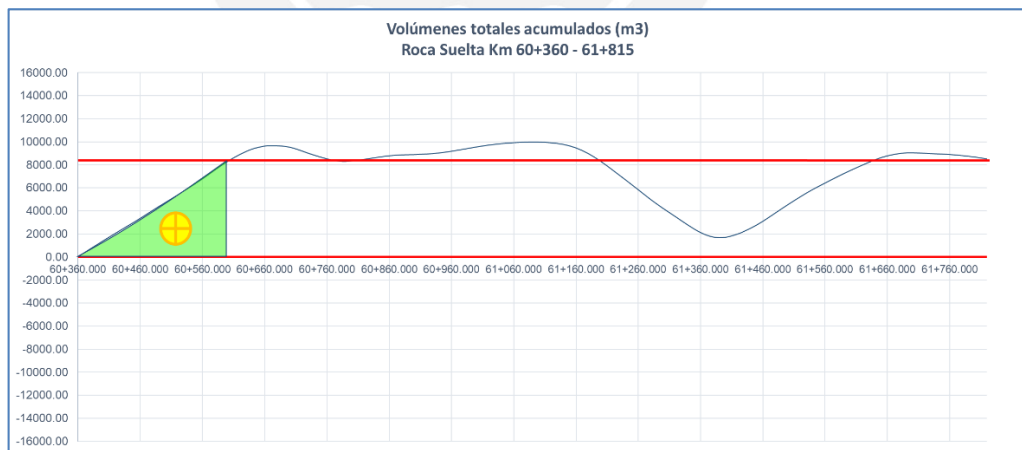
³ Corresponde a valores típicos de peso unitario de calizas (Fuente: Luis Chang Chang, UNI)



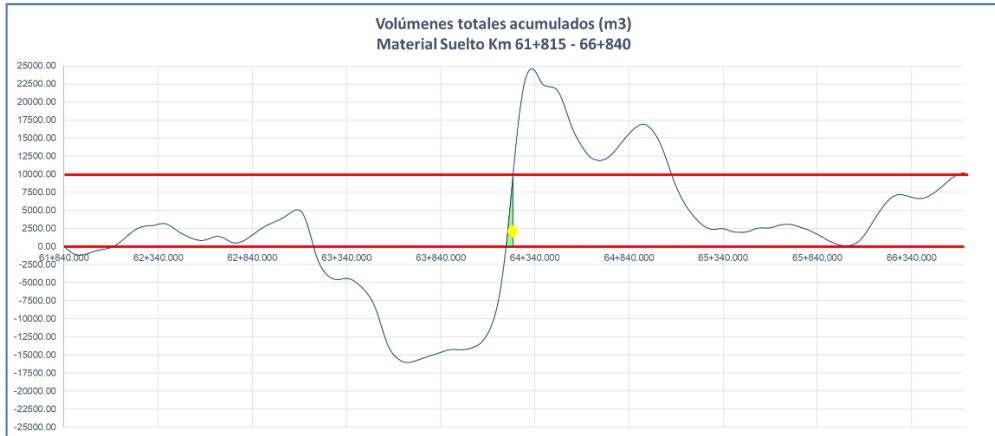
(b)



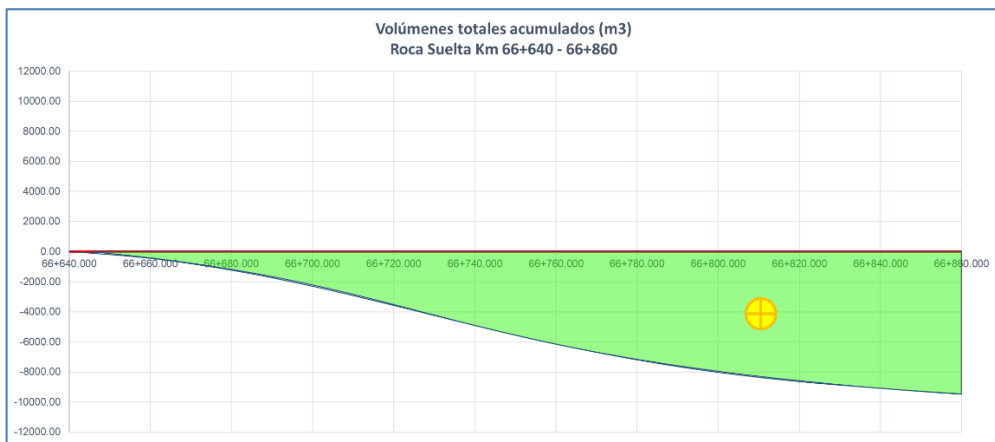
(c)



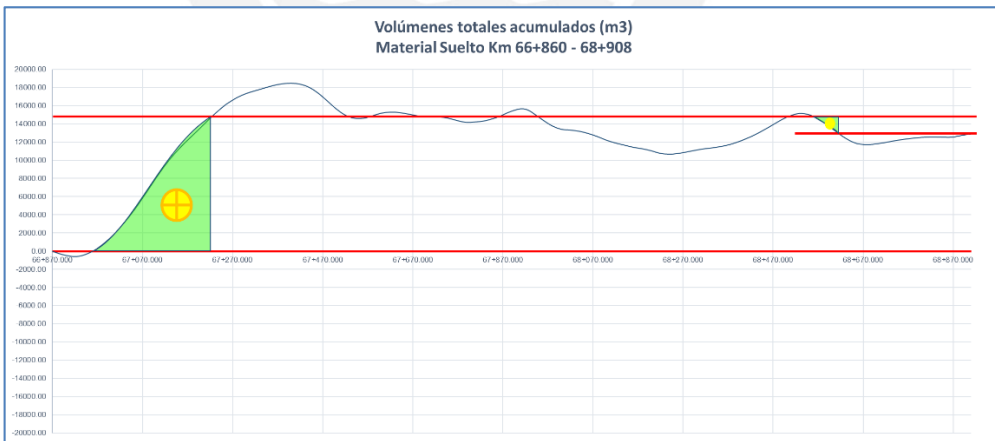
(d)



(e)



(f)



(g)

Fuente: Propia

La siguiente tabla muestra el resumen del reporte de volúmenes previo a la compensación longitudinal mediante líneas de distribución.

Tabla N° 22: Resumen de cálculo de volúmenes de corte y relleno

Resumen de reporte de volúmenes			
Vol. de Corte en MS:	136,751.79 m ³	Vol. Acum. Tramo 1:	-2,107 m ³ (*)
Vol. de Corte en RS:	32,243.90 m ³	Vol. Acum. Tramo 2:	9,817 m ³ (*)
Vol. de Relleno en MS:	97,649.30 m ³	Vol. Acum. Tramo 3:	-2,280 m ³ (*)
Vol. de Relleno en RS:	21,523.10 m ³	Vol. Acum. Tramo 4:	5,619 m ³ (*)
(*) Signo negativo corresponde a volumen de préstamo Signo positivo corresponde a volumen excedente		Vol. Acum. Tramo 5:	8,592 m ³ (*)
		Vol. Acum. Tramo 6:	-11,664 m ³ (*)
		Vol. Acum. Tramo 7:	13,021 m ³ (*)

Fuente: Propia

En la Figura N°60 se muestran tanto las líneas de distribución, así como las cámaras o zonas no compensadas (color verde), además de la ubicación de sus centros de gravedad, desde donde se calculan distancias de transporte. De estos gráficos se desprenden las siguientes deducciones.

- En el primer tramo se tiene poco volumen de material de excavación. Y el excedente se ubica en la parte final del tramo, desde la cual se debe llevar al DME (depósito al material excedente).
- Todo el tramo 2 debe ser trabajado con material de préstamo. No obstante, es un tramo de 195 m, y el volumen de relleno no es valor muy elevado.
- En el inicio del tramo 3, se obtiene un volumen de corte sin compensar, que es posible usarlo para terraplenes del tramo 1.
- Al volumen de excavación del tramo 2 se suma cierta cantidad proveniente del tramo 4.
- En el tramo 5 existe poca cantidad de excavación que no se ha compensado. Es posible que no sea necesario usarlo para el tramo 1.
- El volumen de relleno necesario del penúltimo tramo debe ser tomado de los volúmenes de corte del tramo 2 y 4.
- El volumen excedente del último tramo debe ser llevado al DME, ya que no es necesario emplearlo en los tramos anteriores.

VI. SEÑALIZACIÓN DE LA VÍA

De acuerdo con el análisis del diseño geométrico, se la ha dotado de los elementos y dispositivos de señalización y seguridad vial de modo que el tránsito vehicular se desarrolle de forma segura y fluida, a fin de minimizar los accidentes de tránsito. Se compatibiliza la con el diseño horizontal y vertical de modo que sean visibles en su totalidad.

El **Anexo N°7** presenta un resumen de los criterios utilizados para definir las señales empleadas en la vía. Los Planos de Señalización muestran la ubicación y el tipo de señal empleadas en la vía proyectada.

En el **Anexo N°8** se presenta el metrado de señales verticales y horizontales, postes delineadores y barreras de seguridad.

6.1. SEÑALIZACIÓN EXISTENTE

No existe señalización debido a que se trata de una vía nueva proyectada. Sin embargo, tanto al inicio del tramo en Nuevas Flores y al final en Tingo Chico, se tiene señales en buen estado.

Para la nueva vía proyectada, los elementos de señalización y seguridad vial son diseñados para su colocados de acuerdo a las características del tramo proyectado, con el Manual de Dispositivos de Control del Tránsito Automotor para Calles y Carreteras (MDCTACC).

6.2. ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA VÍA

La vía pasa por los distritos de Nuevas Flores, Quivila y Tingo Chico, a través de una zona accidentada con pendiente transversal mayor al 50%. Por lo general, el trazo es en forma ascendente con descensos en ciertos tramos.

En su recorrido no se presentan curvas que se puedan consideran peligrosas a excepción de las curvas 11 y 12 las cuales son cercanas y tienen radios cercanos al mínimo.

6.3. RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN DE ACCIDENTES

No se ha obtenido datos generales de accidentes, sólo en base a las explicaciones obtenidas de los conductores y pasajeros se tiene que:

- Las causas más frecuentes de accidentes en la zona son las condiciones climáticas de lluvia (principalmente de diciembre a marzo) que provocan numerosos deslizamientos de terreno que no permiten el tránsito adecuado en la vía existente.
- No se suelen producir accidentes por colisión, sino que se dan por salida de la vía, ya sea por somnolencia o despiste de los conductores o peatones.

6.4. SEÑALIZACIÓN VERTICAL

6.4.1. Señales reguladoras o reglamentarias

Cuadro N° 4: Señales reguladoras empleadas en la vía



Tipos de señales	Forma/ Color/Código	Ubicación
Señales prohibitivas o restrictivas	 Velocidad máxima (R-30)	En ciertos tramos rectos a lo largo de la vía proyectada
	 Prohibido adelantar (R-16)	En zonas donde la distancia de visibilidad de adelantamiento de paso no ha sido alcanzada


Fuente: Propia

6.4.2. Señales preventivas

Se ubican, como mínimo, a 50 m de distancia del lugar que se desea prevenir, al lado derecho y en ángulo recto frente a la vía.

Cuadro N° 5: Señales preventivas empleadas en la vía

Tipos de señales	Forma/ Color/Código	Ubicación
Señales Preventivas	 Curva a la derecha (P-2A)	A 50 m antes de que empiecen las curvas
	 Curva a la izquierda (P-2B)	

Tipos de señales	Forma/ Color/Código	Ubicación
	 Curva pronunciada a la derecha (P-1A)  Curva pronunciada a la izquierda (P-1B)	<p>En zonas donde haya presencia de curvas muy cerradas, de radios entre 40m y 80m cuyos ángulos de deflexión sea mayor a 45°. Recomendable en la curva 12.</p>
	 Incorporación de tránsito a la derecha (P-16A)  Incorporación de tránsito a la izquierda (P-16B)	<p>En las zonas donde la vía pase cerca a zonas urbanas como Nuevas Flores, Quivilla y Tingo Chico</p>
	 Fuerte pendiente en subida (P-35C)	<p>En zonas donde la pendiente de subida sea muy pronunciada. Recomendables en las pendientes mayores a 3%</p>
	 Reducción de la calzada (P-17A)	<p>En el tramo final de la vía proyectada, donde se conecta con la vía existente de menor ancho de calzada</p>
	 Zona de derrumbe (P-42)	<p>En zonas donde la excavación haya sido en roca suelta</p>

Fuente: Propia

6.4.3. Señales informativas

Cuadro N° 6: Señales informativas empleadas en la vía

Tipos de señales	Forma/ Color/Código	Ubicación
Señales de dirección	 <p>Señales de destino (I-5)</p>	En las zonas donde la vía pase cerca a zonas urbanas como Nuevas Flores, Quivilla y Tingo Chico

Fuente: Propia

6.5. SEÑALIZACIÓN HORIZONTAL

La señalización horizontal está conformada por las demarcaciones en el pavimento como son las líneas horizontales, líneas transversales, símbolos, flechas y letras. Se constituye también de marcas elevadas en el pavimento, que tienen la función de complementar la función de las señales verticales, tal como dar instrucciones y mensajes.

6.5.1. Demarcaciones en el pavimento

Empleadas para delimitar carriles y la calzada, así como indicar zonas con o sin prohibición para adelantar o cambiar de carril (Ver Anexo N°6). El siguiente cuadro muestra las marcas empleadas en la vía.

Cuadro N° 7: Marcas en el pavimento de la vía





Tipos de marca	Dispositivo	Propósito
Líneas de borde	Blanco	<ul style="list-style-type: none"> Líneas continuas de 10 cm de ancho cuya finalidad es demarcar el borde de la calzada y facilitar la conducción del vehículo. Líneas discontinuas con segmentos de 1m espaciadas 1m que indiquen cruce vehicular en zonas de acceso o intersecciones
Líneas Centrales	Amarillo	<ul style="list-style-type: none"> Doble línea continua en el eje de la vía con la finalidad de separar el flujo de tránsito en ambos sentidos. Líneas discontinuas que separan flujos de tránsito en ambos sentidos y que además permiten adelantamiento. Los segmentos son de 4.5m separados en 7.5m.
Líneas combinadas o mixtas	Amarillo	<ul style="list-style-type: none"> Línea continua y otra discontinua paralela a 10 cm que permite ocupar el otro carril para el adelantamiento vehicular. De acuerdo al acápite de Distancias de Visibilidad como parte del diseño geométrico, se establece zonas con prohibición de adelantamiento.

Fuente: Propia

6.5.2. Marcas elevadas en el pavimento

Delineadores que sirven como complemento a las marcas en el pavimento. Se colocan en forma longitudinal y transversal al pavimento (Ver Anexo N°6). El siguiente cuadro muestra el tipo de delineadores que son empleados en la vía.

Cuadro N° 8: Marcas elevadas en el pavimento de la vía

Tipo de delineador	Color	Propósito
Delineadores de piso	 <p>Tachas bidireccionales retrorreflectantes</p>	Elementos de guía óptica que se emplean como complemento a las demarcaciones continuas, instaladas a lado derecho de éstas a 5cm. En caso de líneas discontinuas, las tachas se colocan al centro de la brecha. Se ha considerado su colocación en curvas horizontales y verticales con visibilidad restringida.
Delineadores elevados	 <p>Postes delineadores</p>	Guías complementarias a las líneas de borde en la calzada. Se colocan en el lado interior o exterior de curvas horizontales en zonas de relleno y en tramos rectos muy extensos. Son de 1 m de altura de sección rectangular de 5cmx5cm, de color blanco con una franja amarilla de 15cm en la parte superior. El espaciamiento entre postes delineadores se basa en la Tabla 3.6 del MDCTACC 2016. Se colocan sobre el sobrecancho de compactación.
	 <p>Hitos kilométricos</p>	Indicadores de distancia desde el punto de origen de la vía nueva. Se colocan cada 1000m. Los kilómetros impares se colocan a la izquierda de la vía. Son de 1.20m de altura con sección rectangular de 50cm ² , de color blanco con una franja negra de 15cm, con tres manos de óleo.
	 <p>Delineador de curva horizontal (P-61) "CHEVRON"</p>	Delineador que se coloca al lado externo de curvas pronunciadas. Recomendable en las curvas 11 y 12. El espaciamiento entre estos delineadores se basa en la Tabla 3.7 del MDCTACC 2016.

Fuente: Propia

6.5.3. Estoperoles

Son tachas de material plástico que cumplen la función de resonadores. Se colocan a nivel del suelo y causan trepidación y ruido, lo que genera una ligera molestia en los conductores y pasajeros cuando se sobrepasan a una velocidad máxima permitida.

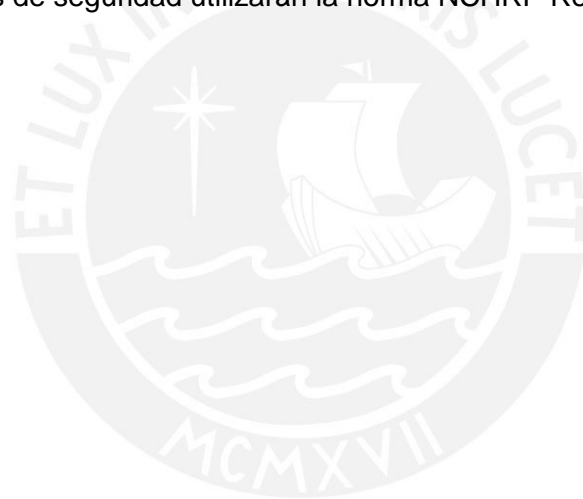
Se proponen colocarlas en ciertas zonas de la vía con el fin de que el usuario mantenga la velocidad máxima permitida. Las zonas donde se colocarán serán en

aquellas curvas en las que el cambio de velocidad teórica es mayor a 20 Km/h (ver Tabla N° 10 del acápite 4.3.3.3). Los estoperoles se colocarán a 40 m antes del inicio de las curvas.

6.5.4. Barreras de Seguridad

Son elementos de seguridad instalados en la carretera cuya finalidad es la de contener los vehículos que estén fuera de control, redireccionarlos y/o mitigar la gravedad del impacto de los ocupantes de los vehículos. Se colocan como barreras laterales en carreteras de tercera clase. En el caso de la vía diseñada, se ubican del lado de la zona de relleno de todas las curvas horizontales.

Tomando como referencia la Directiva N° 007-2008-MTC/02 – Sistema de Contención de Vehículos tipo Barreras de Seguridad, el nivel de contención de las barreras empleadas es de tipo P-1 Bajo, según el tráfico de la vía. Los diseñadores de las barreras de seguridad utilizarán la norma NCHRP Report 350.



VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A continuación, se presentan las conclusiones del presente proyecto, así como las recomendaciones y comentarios más relevantes a partir del desarrollo del mismo.

7.1. CONCLUSIONES

- La vía proyectada en la presente tesis se localiza en el departamento de Huánuco, en las provincias de Huamalíes y Dos de Mayo, la cual involucra a los distritos de Marías, Chuquis y Quivilla. Se encuentra en el orden los 2950 m.s.n.m.

Los beneficiarios directos del proyecto alcanzan los 24,500 habitantes, que comprenden los distritos de Jacas Grande, Quivilla, Marías y Chuquis. Así mismo, a partir de la mejora del transporte, el comercio aumenta y beneficia también al centro económico más relevante de la zona, que viene a ser la provincia de Huánuco con 304,487 habitantes (Censo 2017).

Los beneficios del proyecto son considerados a partir del ahorro obtenido por los costos de operación vehicular que incluyen los ahorros por tiempo de viaje de los usuarios de transporte de pasajeros y mercancías.

Así mismo, el mejoramiento tanto en el trazo de la vía, así como en la superficie de rodadura, resulta una manera adecuada de atraer el tráfico hacia dicha vía. De modo que, una posible intervención en los tramos restantes (1-4), resultaría en que la vía sea mucho más útil que la actual vía secundaria Huaráz – La Unión – Huánuco. Y con seguridad, resultaría mucho más rentable y segura.

- El tráfico de la vía, expresado en Índice Medio Diario Anual (IMDA) para el año 2037 es de 245 veh/día (85% de vehículos ligeros y 15% de vehículos pesados).
- El trazo proyectado para la vía Nuevas Flores – Tingo Chico es la mejor alternativa entre otras dos que se evaluaron previamente. La elección se sujeta a la idea de mejorar el trazo ya existente y no simplemente priorizar el ensanchamiento de la plataforma de rodadura y la mejora del pavimento. La primera alternativa consistía en ajustarse al eje existente de la vía, lo cual no se consideraba adecuada, ya que esta es una vía de bajo tránsito con curvas menores al radio mínimo de diseño, y que, en su mayoría, los elementos geométricos no cumplían con los parámetros, recomendaciones y criterios que el Manual de Carreteras peruano establece.

La segunda alternativa resultaba de un trazo ligeramente diferente al eje existente en la que se priorizaba que obligatoriamente pase por los mismos tramos de empalme entre la carretera existente y los accesos a los poblados cercanos; sin embargo, los empalmes desde el eje nuevo al existente, en dichos tramos, generaban curvas muy cerradas, elevadas cantidades de corte de material y pendientes pronunciadas.

- A partir de lo anterior, el trazo proyectado tiene una longitud de 10.6 Km, empezando en la progresiva 58+300 y culminando en la progresiva 68+907. La vía comunica los poblados de Nuevas Flores, Quivilla y Tingo Chico, y beneficia también a los distritos de Marías y Chuquis. La topografía es accidentada con relieve ligeramente sinuoso. La carretera proyectada se clasifica como de tercera clase y la solución a la superficie de rodadura es a nivel de carpeta asfáltica en caliente.
- En sectores donde existe un centro urbano, el trazo se desvía hacia la zona por donde es muy probable ya no pueda crecer más la urbanización, comportándose como una vía de evitamiento. Con ello se reduce la probabilidad de accidentes en el poblado, además de evitar que la urbanización sea dividida por la vía de doble sentido de velocidad moderada.
- El diseño geométrico de la carretera cumple con todos los criterios y recomendaciones del Manual de Diseño Geométrico de Carreteras 2014 del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú.
- Se ha revisado y tomado en cuenta los manuales complementarios chileno (Manual de Carreteras 2014 – Ministerio de Obras Públicas) y norteamericano (A Policy on Geometric Design of Highways and Streets 2011 – AASHTO).
- La vía proyectada tiene 6 m de ancho de plataforma, de dos carriles, cada uno por sentido. Tiene pendientes en el orden de 3% y en casos puntuales 4%. La velocidad de diseño es de 40 Km/h y el radio de giro mínimo es de 45 m. Todas las curvas horizontales son mayores al radio mínimo, siendo la menor de 60 m.
- Los parámetros como sobrenachos, peraltes, distancias de parada, adelantamiento, etc. han sido considerados de acuerdo a la norma DG-2014. En las zonas donde se propone barreras de seguridad, se considera un ensanche de 1m con la finalidad de asegurar la funcionalidad de las barreras. Al tratarse de una zona lluviosa, el bombeo de diseño es de 2.5%.
- La rutina (macro) en Excel desarrollada para la presente tesis es un producto que puede ser aún mejorado y al cual se le incorporen distintas

funciones que permitan mayor automatización en diseño geométrico de carreteras. Ha sido de mucha utilidad en el desarrollo de la presente tesis, ahorrando tiempo y evitando cálculos engorrosos, de modo que se minimicen errores.

- Como volumen total aproximado de corte se tiene 168,995 m³ de material, mientras que de relleno se tiene 119,172 m³. De estas cantidades se busca compensar entre material excavado y de relleno a partir de los diagramas de masa. Estos permitirían calcular costos de transporte, así como ubicación estratégica de canteras y depósitos de material excedente (DMEs), el cual no es objetivo de la presente tesis.
- La señalización planteada corresponde a un complemento al componente de la seguridad de la vía. Pues si bien la seguridad de la carretera parte desde los criterios y parámetros en el ensamblaje de elementos geométricos, es ampliamente definida a partir de la colocación de señales verticales y horizontales, así como dispositivos de seguridad.
- La señalización proyectada en la presente tesis se basa en los criterios del Manual de Dispositivos de Control de Tránsito Automotor para Calles y Carreteras 2016 del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú.

7.2. COMENTARIOS Y RECOMENDACIONES

- El estudio de diseño geométrico de carreteras es la parte fundamental a fin de encontrar la mejor rentabilidad del proyecto. Pues es a partir del eje definido que se realizan los estudios o verificaciones de otras especialidades, como son la geología, la geotecnia, la hidrología, la hidráulica e incluso la cuestión de impacto medio ambiental.
El eje final y definitivo viene como producto de la relación y concordancia de dichas especialidades. En el caso de la presente tesis, el trazo es la mejor alternativa en cuanto se refiere al emplazamiento sobre el terreno y su configuración geométrica. Sin embargo, es importante señalar que si se agregaran conceptos de las diversas especialidades y se tomaran en cuenta las necesidades que surgen de cada una de ellas, es posible que el trazo, ya sea horizontal o vertical, tenga algunas rectificaciones. El estudio de dichas especialidades abocadas al diseño de la carretera Nuevas Flores – Tingo Chico, no es parte del objetivo de la tesis.
- La carretera se ha diseñado a una velocidad de 40 Kph, debido a que permite el diseño de elementos geométricos que se adaptan mejor al terreno

y debido a que la demanda no es la más alta para hacerla de 50 Kph. Es posible que en un futuro la demanda aumente considerablemente a partir de mejorar y rediseñar los tramos 1, 2, 3 y 4 de la vía existente. Si esto ocurre, en aquel momento se podrá redefinir la velocidad de diseño a 50 Kph de modo que se mejoren los radios y se amplíe el ancho de la calzada. La carretera diseñada en la presente tesis permite que, con ligeras modificaciones, la velocidad en un futuro sea de 50 Kph.

- Resultaría sumamente importante realizar una evaluación económica a partir de del costo total del proyecto y sus características físicas, de modo que se concluya si el proyecto es rentable o no para el cliente (en este caso, el estado peruano). Queda como sugerencia que sea un próximo tema de tesis de pre grado.
- Dado que, en su mayoría, se trata de un trazado nuevo, es posible que en la etapa de construcción existan derrumbes. Es necesario que el contratista adecue medidas con el fin de contrarrestar ese tipo de inconvenientes.
- El uso del software Global Mapper ha ayudado en gran parte en la elaboración del proyecto, pues permite generar curvas de nivel a partir de imágenes satelitales de manera muy sencilla. El software ha permitido obtener la topografía del lugar, la cual brinda información muy aproximada, mas no la más precisa ni exacta.
- Si bien se hace la mejor propuesta de seguridad vial a partir de la señalización, es obligación y deber de los usuarios de la vía asimilar la idea de conducir siempre de forma prudente. Muchos de los accidentes en carreteras es producto de malas maniobras de los conductores o irresponsabilidades escandalosas por parte de los usuarios, como son conducir en estado de ebriedad, conducir cansado y dormir al volante, adelantar en zonas prohibidas, etc.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS
1993 *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures* [guía]. Washington D.C.
2011 *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets* [manual]. Sexta Edición. Washington D.C.
- BRAVO, Paulo
1976 *Diseño de Carreteras, Técnicas y Análisis del Proyecto*. Sexta Edición. Bogotá: Carvajal S.A.
- BUSTAMANTE WILLIAMS CONSULTORES Y CONSTRUCTORES SAC
2010 *Informe Final del Estudio de Topografía, Trazo y Diseño Vial del Estudio Definitivo para la construcción y/o mejoramiento de la carretera Chamaya – Jaen – San Ignacio – Río Canchis, tramo: San Ignacio – Puente Integración*. Lima.
- CÁRDENAS, James
2015 *Diseño Geométrico de Carreteras*. Primera Edición. Lima: Macro EIRL.
- CHANG, Luis
2016 *Densidad de campo* [diapositiva]. Consulta: 12 de marzo de 2018.
<https://www.slideshare.net/LigiaElenaHinojosadelaCruz/laboratorio-unidad-densidad-de-campo>
- CIVIL CONSULTING & CAD EXPRESS
s/f “Generalidades”. Material del curso *Uso del software AutoCAD Civil 3D, aplicado al diseño de carreteras en el Perú*. Lima: Civil Consulting & CAD Express.
- CONSORCIO GEODATA - ANTAMINA
2015a *Informe Final del Estudio de Pre-Inversión a nivel de Perfil del Proyecto Rehabilitación y Mejoramiento de la carretera Empalme Ruta AN-111*

– Huamanín – Progreso – Poque – Llata – Cochapata (Túnel Anlay) – Nuevas Flores (68.88 Km) y Construcción del Túnel Anlay (1.67 Km). Lima.

2015b *Informe de Topografía, Trazo y Diseño Vial del Proyecto Rehabilitación y Mejoramiento de la carretera Empalme Ruta AN-111 – Huamanín – Progreso – Poque – Llata – Cochapata (Túnel Anlay) – Nuevas Flores (68.88 Km) y Construcción del Túnel Anlay (1.67 Km).* Lima.

2015c *Informe de Tráfico del Proyecto Rehabilitación y Mejoramiento de la carretera Empalme Ruta AN-111 – Huamanín – Progreso – Poque – Llata – Cochapata (Túnel Anlay) – Nuevas Flores (68.88 Km) y Construcción del Túnel Anlay (1.67 Km).* Lima.

2015d *Informe de Suelos y Pavimentos del Proyecto Rehabilitación y Mejoramiento de la carretera Empalme Ruta AN-111 – Huamanín – Progreso – Poque – Llata – Cochapata (Túnel Anlay) – Nuevas Flores (68.88 Km) y Construcción del Túnel Anlay (1.67 Km).* Lima.

2015e *Informe de Geología y Geotecnia del Proyecto Rehabilitación y Mejoramiento de la carretera Empalme Ruta AN-111 – Huamanín – Progreso – Poque – Llata – Cochapata (Túnel Anlay) – Nuevas Flores (68.88 Km) y Construcción del Túnel Anlay (1.67 Km).* Lima.

- **CONSORCIO QUILLABAMBA**

2015 *Estudio de Topografía y Diseño Vial del Estudio Definitivo para la construcción y mejoramiento de la carretera Cusco – Quillabamba [Informe].* Lima.

- **CONSORCIO RÍO MANTARO**

2013 *Anexo – Estudios Básicos: Seguridad Vial del Estudio Definitivo para la rehabilitación y mejoramiento de la carretera Dv. Imperial – Pampas [Informe].* Lima.

- **INSITITUO NACIONAL DE ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA**

2018 *Informe Técnico N°02. Producto Bruto Interno Trimestral, Comportamiento de la Economía Peruana en el Primer Trimestre de 2018.* Lima. Consulta 08 de agosto de 2018.

https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/boletines/02-informe-tecnico-n02_pbi-trimestral_-itrim2018.PDF

- MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS

2014 *Manual de Carreteras*. Nueve volúmenes. Santiago de Chile.

- MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES

2016 *Manual de Dispositivos de Control del Tránsito Automotor para Calles y Carreteras*. Lima.

2014a *Manual de Carreteras, Diseño Geométrico, DG 2014*. Lima.

2014b *Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos (Secciones Suelos y Pavimentos)*. Lima.

2014c *Sistema Nacional de Carreteras, Hoja Vial, Región Ancash [plano]*.
s/l: s/e.

2014d *Manual de Carreteras: Hidrología, Hidráulica y Drenaje*. Lima.
Consulta: 25 de febrero de 2018.

https://www.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/Manual%20de%20Hidrolog%C3%ADa,%20Hidr%C3%A1ulica%20y%20Drenaje.pdf

2014e *Sistema Nacional de Carreteras, Hoja Vial, Región Huánuco [plano]*.
s/l: s/e.

2008 *Directiva N° 007-2008-MTC/02 Sistema de Contención de Vehículos Tipo Barreras de Seguridad*. Lima, 10 de noviembre. Consulta: 1 de marzo de 2018.

https://www.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/otras/directiva_N007_2008MTC_barreras_seguridad.pdf

- SENAMHI

2017 *Datos históricos meteorológicos [reporte]*. Lima. Consulta: 15 de febrero de 2018.

http://www.senamhi.gob.pe/include_mapas/_dat_esta_tipo.php?estaciones=004450

- VÁSQUEZ, Arturo y Luis BENDEZÚ
2008 Ensayos sobre el Rol de la Infraestructura Vial en el Crecimiento Económico del Perú. Lima: Consorcio de Investigación Económica y Social (CIES), Banco Central de Reserva del Perú.

