

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL**



**ANALISIS DE VELOCIDAD DE DISEÑO Y OPERACIÓN EN LA
CONSISTENCIA DEL DISEÑO GEOMETRICO SEGÚN DG-2018 EN
CARRETERA PUNO – JULIACA, TRAMO KM 1349+000 – KM
1353+000**

TESIS

PRESENTADO POR:

DARWIN MARX TURPO CAYO

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

PUNO – PERÚ

2018

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**ANÁLISIS DE VELOCIDAD DE DISEÑO Y OPERACIÓN EN LA
CONSISTENCIA DEL DISEÑO GEOMÉTRICO SEGÚN DG-2018 EN
CARRETERA PUNO – JULIACA, TRAMO KM 1349+000 – KM 1353+000**

TESIS PRESENTADA POR:

DARWIN MARX, TURPO CAYO

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 28 DE DICIEMBRE DEL 2018

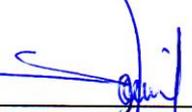


APROBADA POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:

PRESIDENTE:


M.Sc. ZENON MELLADO VARGAS

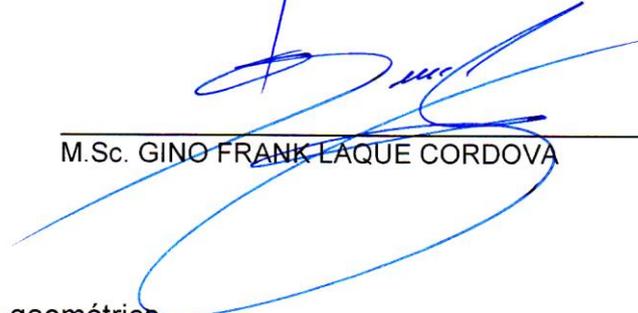
PRIMER MIEMBRO:


ING. WALTER HUGO LIPA CONDORI

SEGUNDO MIEMBRO:


D.Sc. FELIX ROJAS CHAHUARES

DIRECTOR / ASESOR:


M.Sc. GINO FRANK LAQUE CORDOVA

TEMA : Consistencia de diseño geométrico.

ÁREA : Transportes

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Transportes y gestión vial

DEDICATORIA

A Dios creador del cielo y la tierra por estar a mi lado en todos los momentos difíciles y darme la esperanza para seguir adelante.

A mi padre DIONICIO TURPO CHURA y a mi madre LEONARDA CAYO AGUILAR por ser el motor y motivo para mi formación profesional.

A mi esposa ROSMERY ANAHUA APOMAYTA por ser mi motivación y ser la esposa idónea.

A mi hija KATHERINE TURPO ANAHUA por darle un nuevo rumbo y motivo a mi vida profesional y familiar.

A mis hermanos Marisol, Efraín y Kepler por haber formado parte de mi niñez y su apoyo incondicional en el proceso de formación profesional.

A mis familiares y amigos que apoyaron en mi formación universitaria y fueron

Darwin Marx TURPO CAYO

AGRADECIMIENTO

Mi profundo agradecimiento y reconocimiento a mi alma mater Universidad Nacional del Altiplano, por habernos acogido en sus claustros universitarios contribuyendo en nuestra formación profesional.

A mi querida facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura y especialmente a los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil; que contribuyeron en cada etapa de nuestra formación profesional.

A mi familia por el apoyo brindado no solo durante el desarrollo de la presente investigación sino a lo largo de toda nuestra formación universitaria.

A los señores miembros de jurado evaluador cuyos argumentos, críticas y profesionalismo fueron aporte en esta tarea, por su rectitud en su profesión como docente, por sus consejos que ayudan a formarnos como persona e investigador.

Gracias de manera general a todas aquellas personas que me brindaron su apoyo y colaboración desinteresada.

Darwin MTC

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	3
AGRADECIMIENTO	4
ÍNDICE GENERAL.....	5
ÍNDICE DE FIGURAS	9
ÍNDICE DE TABLAS.....	11
ÍNDICE DE ACRÓNIMOS	14
RESUMEN	15
ABSTRACT.....	16
CAPITULO I.....	17
1.1. INTRODUCCIÓN	17
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	18
1.3. FORMULACIÓN PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	19
1.3.1. Pregunta General.....	19
1.3.2. Preguntas Especificas.....	19
1.4. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	19
1.4.1. Hipótesis General	19
1.4.2. Hipótesis Especifica	20
1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	20
1.5.1. Objetivo General	20
1.5.2. Objetivo Especifica	20
CAPITULO II	21
2. REVISIÓN DE LITERATURA	21
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	21
2.2. BASES TEÓRICAS.....	25
2.2.1. CLASIFICACIÓN DE LAS CARRETERAS	25
2.2.1.1. CLASIFICACIÓN POR DEMANDA.....	25
A. Autopistas de primera clase.....	25
B. Autopistas de segunda clase	25
C. Carreteras de primera clase.....	26

D. Carreteras de segunda clase	26
E. Carreteras de tercera clase.....	26
F. Trochas carrozables	27
2.2.1.2. CLASIFICACIÓN POR OROGRAFÍA	27
A. Terreno plano (Tipo 1)	28
B. Terreno ondulado (Tipo 2)	28
C. Terreno accidentado (Tipo 3).....	28
D. Terreno escarpado (Tipo 4)	28
2.2.2. VELOCIDAD DE DISEÑO.....	29
2.2.2.1. Velocidad de diseño del tramo homogéneo.....	30
2.2.2.2. Velocidad específica de trazo en planta y perfil.....	30
2.2.2.3. Velocidad de marcha.....	31
2.2.3. VELOCIDAD DE OPERACIÓN.....	32
2.2.3.1. Velocidades de operación para curvas horizontales.....	32
2.2.3.2. Velocidades medidas en campo.....	35
2.2.3.3. Percentil 85.....	35
2.2.4. DISEÑO GEOMÉTRICO DE VÍA	36
2.2.4.1. DISEÑO GEOMÉTRICO EN PLANTA.....	37
A. Generalidades.....	37
B. Consideraciones de diseño.....	37
C. Tramos en tangente	39
D. Curvas circulares	40
E. Radios mínimos	41
F. Curvas espirales de transición	43
G. La espiral de Euler o Clotoide como curva de transición	46
H. Determinación del parámetro para una curva de transición.....	47
I. Determinación de la longitud de la curva de transición.....	48
J. Parámetros mínimos y deseables.....	48
K. Radios que permiten prescindir de la curva de transición.....	49
L. Transición de peralte	49
M. Valores del sobreancho	50
2.2.4.2. DISEÑO GEOMÉTRICO EN PERFIL	51
A. Pendiente.....	51
B. Curvas verticales	52
C. Longitud de las curvas convexas.....	53
D. Longitud de las curvas cóncavas.....	56
E. Distancia de visibilidad.....	58
2.2.4.3. DISEÑO GEOMÉTRICO EN SECCIÓN TRANSVERSAL	59
A. Generalidades.....	59
B. Elementos de la sección transversal.....	60
C. Calzada o superficie de rodadura	60
D. Bermas.....	60
E. Bombeo.....	61
F. Peralte.....	62
G. Relación del peralte, radio y velocidad específica de diseño	64
H. Valores del peralte (máximos y mínimos)	66
I. Transición del bombeo al peralte	67
J. Taludes	67
K. Cunetas.....	68
2.2.5. CONSISTENCIA DEL DISEÑO GEOMÉTRICO	69

2.2.5.1. ENFOQUES DEL ANÁLISIS DE CONSISTENCIA.....	70
A. Tendencia de enfoque de la velocidad	70
B. Tendencia de enfoque de las expectativas	70
2.2.5.2. VARIACIÓN ENTRE LA VELOCIDAD DE DISEÑO Y OPERACIÓN	71
2.2.5.3. IMPORTANCIA DE LA VELOCIDAD DE OPERACIÓN DEL PERCENTIL 85.....	72
2.2.6. ENFOQUE DE LAMM (1999).....	73
2.2.6.1. CRITERIOS PARA LA EVALUACIÓN DE CONSISTENCIA DE DISEÑO PROPUESTOS POR LAMM.	73
2.2.7. SEGURIDAD VIAL.....	74
 CAPITULO III.....	75
 3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	75
 3.1. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	75
3.1.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	75
3.1.2. NIVEL DE INVESTIGACIÓN.....	75
3.1.3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	75
 3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA DE ESTUDIO	75
3.2.1. POBLACIÓN	75
3.2.2. MUESTRA	75
3.2.2.1. Tramo	75
3.2.2.2. Medición de velocidad	76
3.2.2.3. Recolección de datos de velocidad.	78
3.2.2.4. Formato para medición de V85.....	78
3.2.3. EQUIPO DE MEDICIÓN	80
 CAPITULO IV.....	82
 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	82
 4.1. UBICACIÓN DEL TRAMO DE ESTUDIO	82
 4.2. ESTUDIOS BÁSICOS.....	84
4.2.1. Topografía.....	84
4.2.1.1. PROCESAMIENTO DE ORTOFOTOS.....	88
4.2.1.2. OROGRAFIA DEL TRAMO	90
4.2.2. Tráfico vehicular (IMDA)	93
 4.3. DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD DE OPERACIÓN	94
4.3.1. Resultados de velocidad de operación	94
4.3.2. Análisis estadístico	97
4.3.2.1. Planteamiento de hipótesis.....	98
4.3.2.2. Nivel de significación: $\alpha = 0.01$, $\alpha = 0.05$	98
4.3.2.3. Prueba estadística (Prueba Z para diferencia de medias).....	98
4.3.2.4. Regla de decisión	98
4.3.2.5. Cálculos:	98

4.3.2.6. Interpretación:.....	99
4.4. ANALISIS DE DISEÑO GEOMETRICO EXISTENTE.....	100
4.4.1. CLASIFICACIÓN DEL TRAMO DE INVESTIGACIÓN.....	100
4.4.1.1. Clasificación por demanda	100
4.4.1.2. Clasificación por orografía	100
4.4.2. GEOMETRIA EN PLANTA Y SECCION TRANSVERSAL.....	100
4.4.3. GEOMETRIA EN PERFIL.....	121
4.5. REDISEÑO GEOMÉTRICO DE LA VÍA EXISTENTE.....	126
4.5.1. CLASIFICACION DEL TRAMO DE ESTUDIO.....	126
4.5.2. VEHICULO DE DISEÑO.....	126
4.5.3. VELOCIDAD DE OPERACIÓN.....	126
4.5.4. REDISEÑO GEOMÉTRICO EN PLANTA Y SECCION TRANSVERSAL CON VELOCIDAD DE OPERACIÓN.....	126
4.5.5. REDISEÑO GEOMÉTRICO EN PERFIL CON VELOCIDAD DE OPERACIÓN.....	132
4.6. CONSISTENCIA POR EL CRITERIO DE LAMM.....	135
4.6.1. CRITERIO DE LAMM I.....	135
4.6.2. CRITERIO DE LAMM II.....	140
4.7. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	144
4.7.1. DETERMINACION DE VELOCIDAD DE OPERACIÓN P85.....	144
4.7.2. ANALISIS DE DISEÑO GEOMETRICO EXISTENTE.....	145
4.7.3. REDISEÑO GEOMETRICO DE LA VIA EXISTENTE.....	146
4.7.4. CONSISTENCIA DE DISEÑO GEOMETRICO.....	147
5. CONCLUSIONES.....	148
6. RECOMENDACIONES.....	149
7. REFERENCIAS.....	150
ANEXOS.....	152

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 Elementos de curva circular	40
FIGURA 2 Enlace de tramos rectos con una curva circular simple	43
FIGURA 3 Enlace de tramos rectos con curvas circulares compuestas	44
FIGURA 4 Enlace de tramos rectos con curvas circulares compuestas	44
FIGURA 5 Trayectoria de los vehículos en una curva circular	45
FIGURA 6 Enlace de tramos rectos con una curva circular con curvas de transición	45
FIGURA 7 La curva de transición entre la recta y el arco circular	46
FIGURA 8 Tipos de curvas verticales convexas y cóncavas	52
FIGURA 9 Tipos de curvas verticales simétricas	53
FIGURA 10 Tipos de curvas verticales asimétricas	53
FIGURA 11 Longitud mínima de curva vertical convexa con distancias de visibilidad de parada	54
FIGURA 12 Longitud mínima de curva vertical convexa con distancias de visibilidad de parada	54
FIGURA 13 Longitud mínima de curvas verticales convexas con distancias de visibilidad de paso	55
FIGURA 14 Longitud mínima de curvas verticales convexas con distancias de visibilidad de paso	56
FIGURA 15 Longitudes mínimas de curvas verticales cóncavas	57
FIGURA 16 Longitudes mínimas de curvas verticales cóncavas	57
FIGURA 17 Distancia de visibilidad de paso (D_a)	59
FIGURA 18 Efecto de la inclinación transversal de la calzada	62
FIGURA 19 Peralte caso $W_p = F_p$	63
FIGURA 20 Peralte caso $W_p < F_p$	63
FIGURA 21 Peralte caso $W_p > F_p$	64
FIGURA 22 Peralte en cruce de áreas urbanas	64
FIGURA 23 Peralte en zona rural (Tipo 1, 2 ó 3)	65
FIGURA 24 Peralte en zona rural (Tipo 3 ó 4)	65
FIGURA 25 Peralte en zonas con peligro de hielo	66
FIGURA 26 Enfoques de Análisis de Consistencia	71
FIGURA 27 Velocidad del Percentil 85 para una Distribución Normal	72

FIGURA 28 La Pistola Radárica De Velocidad De Bushnell li	80
FIGURA 29 Ubicación departamental y provincial	82
FIGURA 30 Ubicación Distrital y Vial	83
FIGURA 31 Ubicación vial del tramo.....	83
FIGURA 32 Puntos de control en la ruta de estudio.	85
FIGURA 33 Colocación de puntos de control en el tramo.....	85
FIGURA 34 Colocación de puntos de control.....	86
FIGURA 35 Manejo dron Phantom 4.	86
FIGURA 36 Vista aérea de la vía	87
FIGURA 37 Propiedades de las ortofotos (GPS).	87
FIGURA 38 Propiedades de las ortofotos (Píxeles).	87
FIGURA 39 Nube de puntos densa en tramo de accidentes.	88
FIGURA 40 Nube de puntos densa en tramo de inicio.	88
FIGURA 41 Modelo de elevación digital de la carretera	89
FIGURA 42 Mosaico de fotos.....	89
FIGURA 43 Clasificación por pendientes	90
FIGURA 44 Pendiente transversal Km 1349+600.....	91
FIGURA 45 Pendiente transversal Km 1350+500.....	91
FIGURA 46 Pendiente transversal Km 1351+200.....	91
FIGURA 47 Pendiente transversal Km 1352+250.....	92
FIGURA 48 Pendiente transversal Km 1352+600.....	92
FIGURA 49 Pendiente transversal Km 1353+000.....	92
FIGURA 50 Diagrama de incidencias de IMDA.....	94
FIGURA 51 Medición de velocidad en tramo curvo	95
FIGURA 52 Medición de velocidad en tramo recto	95
FIGURA 53 Efecto Doppler (Determinación de Velocidad).....	95
FIGURA 54 Para un nivel de significancia de $\alpha=0.05$	99
FIGURA 55 Para un nivel de significancia de $\alpha=0.01$	99
FIGURA 56 Pendiente longitudinal del Km 1349 al Km 1353+000	121

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1 Parámetros de diseño geométrico según contrato	18
TABLA 2 Clasificación de carreteras por demanda	27
TABLA 3 Clasificación de carreteras por orografía.....	28
TABLA 4 Longitudes mínimas para cambios de velocidad.....	29
TABLA 5 Rangos de la Velocidad de Diseño en un tramo homogéneo	30
TABLA 6 Velocidades de marcha teóricas	31
TABLA 7 Ecuaciones de Fitzpatrick para la estimación de velocidades de operación.....	33
TABLA 8 Valores de velocidades máximas de operación	34
TABLA 9 Longitud mínima de Curva (L)	37
TABLA 10 Deflexión máxima aceptable sin curva circular	38
TABLA 11 Longitudes de tramos en tangente	39
TABLA 12 Radios mínimos y peraltes máximos.....	41
TABLA 13 Variación de la aceleración transversal por unidad de tiempo	48
TABLA 14 Radios circulares límites que permiten prescindir de la curva de transición.....	49
TABLA 15 Pendientes máximas (%)	51
TABLA 16 Distancia De Visibilidad De Parada (Dp).....	58
TABLA 17 Anchos mínimos de calzada en tangente.....	60
TABLA 18 Anchos mínimos de berma.....	61
TABLA 19 Valores del bombeo de la calzada	62
TABLA 20 Valores de radio en las cuales no es necesario peralte	66
TABLA 21 Valores de peralte máximo.....	66
TABLA 22 Proporción del peralte (p) a desarrollar en tangente	67
TABLA 23 Valores referenciales para taludes en corte (relación H:V)	68
TABLA 24 Taludes referenciales en zonas de relleno (terraplenes).....	68
TABLA 25 Criterio de Lamm I y II	74
TABLA 26 Desviaciones Estándar de Velocidades Instantáneas para Determinar el Tamaño de la Muestra y Sentido	76
TABLA 27 Constantes Correspondientes al Nivel de Confianza	77
TABLA 28 Formato de mediciones.....	79
TABLA 29 Coordenadas Puntos de control UTM WGS-84	84

TABLA 30	Porcentaje de orografía del tramo	90
TABLA 31	Tráfico Vehicular	93
TABLA 32	Percentil 85 de las mediciones.....	96
TABLA 33	Datos para la prueba de hipótesis.....	97
TABLA 34	Cuadro de Conclusión.....	99
TABLA 35	Cuadro de elementos de curva de la vía actual.	101
TABLA 36	Análisis de Diseño geométrico Curva N° 12.....	102
TABLA 37	Análisis de Diseño geométrico Curva N° 13.....	103
TABLA 38	Análisis de Diseño geométrico Curva N° 14.....	104
TABLA 39	Análisis de Diseño geométrico Curva N° 15.....	105
TABLA 40	Análisis de Diseño geométrico Curva N° 16.....	106
TABLA 41	Análisis de Diseño geométrico Curva N° 17.....	107
TABLA 42	Análisis de Diseño geométrico Curva N° 18.....	108
TABLA 43	Análisis de Diseño geométrico Curva N° 19.....	109
TABLA 44	Análisis de Diseño geométrico Curva N° 20.....	110
TABLA 45	Análisis de Diseño geométrico Curva N° 21.....	111
TABLA 46	Análisis de Diseño geométrico Curva N° 22.....	112
TABLA 47	Análisis de Diseño geométrico Curva N° 23.....	113
TABLA 48	Análisis de Diseño geométrico Curva N° 24.....	114
TABLA 49	Análisis de Diseño geométrico Curva N° 25.....	115
TABLA 50	Análisis de Diseño geométrico Curva N° 26.....	116
TABLA 51	Análisis de Diseño geométrico Curva N° 27.....	117
TABLA 52	Análisis de Diseño geométrico Curva N° 28.....	118
TABLA 53	Análisis de Diseño geométrico Curva N° 29.....	119
TABLA 54	Análisis de Diseño geométrico Curva N° 30.....	120
TABLA 55	Cuadro de elementos de curvas verticales	121
TABLA 56	Distancia de parada de ida y retorno.....	122
TABLA 57	Lmin De Curva Vertical Según Visibilidad De Parada Dp	123
TABLA 58	Distancia de paso o de adelantamiento.	124
TABLA 59	Lmin De Curva Vertical Según Visibilidad De Paso Da.....	124
TABLA 60	Longitud mínima de curva vertical.....	125
TABLA 61	Elementos de curva y evaluación de uso de espiral.....	127
TABLA 62	Parámetros para cálculo de curvas de transición.....	128
TABLA 63	Cálculos de condiciones de espirales.	129

TABLA 64 Cuadro de elementos de curvas horizontales 1.	130
TABLA 65 Cuadro de progresivas de elementos geométricos de curvas horizontales.	130
TABLA 66 Cuadro de Peraltes y sobreeanchos.	131
TABLA 67 Cuadro de elementos de curvas verticales iniciales.	132
TABLA 68 Distancia de parada de ida y retorno.	133
TABLA 69 Lmin De Curva Vertical Según Visibilidad De Parada Dp	133
TABLA 70 Lmin De Curva Vertical Según Visibilidad De Paso Da	134
TABLA 69 Longitud mínima de curva vertical recalculadas y adoptadas	135
TABLA 72 Criterio de Lamm I para vehículos ligeros	136
TABLA 73 Criterio de Lamm I para buses	137
TABLA 74 Criterio de Lamm I para camiones	138
TABLA 75 Criterio de Lamm I para trailers	139
TABLA 76 Criterio de Lamm II para vehículos ligeros	140
TABLA 77 Criterio de Lamm II para buses	141
TABLA 78 Criterio de Lamm II para camiones	142
TABLA 79 Criterio de Lamm II para trailers	143
TABLA 80 Resumen de velocidad de operación.	144
TABLA 81 Resumen de cumplimiento de normas peruanas.	145
TABLA 82 Resumen de cumplimiento de normas peruanas Curvas Verticales.	146

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

- **C/V:** Conductor vehículo
- **VOP:** Velocidad de operación
- **CM:** Carga Mental
- **TRB:** TRANSPORTATION RESEARCH BOARD (Tabla De Investigación De Transporte).
- **INEI:** Instituto Nacional de estadística e informática.
- **DG:** Diseño geométrico.
- **TCA:** Tramos de concentración de accidentes.
- **IMDA:** Índice medio diario anual.
- **LCD:** representación visual por cristal líquido
- **GPS:** Sistema de Posicionamiento Global.
- **MDE:** Modelo de Elevación Digital.
- **C2:** Camión de dos ejes.
- **I:** Izquierdo
- **D:** Derecho
- **WGS-84:** World Geodetic System 1984 (Sistema geodésico mundial 1984)
- **UTM:** Universal Transversal De Mercator
- **V85 o P85:** Percentil 85 de velocidad

RESUMEN

En la región Puno no se cuenta con investigaciones respecto a las velocidades de operación y consistencias de diseño geométrico de carreteras, a pesar de que este análisis es importante ya que permite conocer la funcionalidad del diseño geométrico realizado en la fase de proyecto, por el cual la presente investigación tiene como objetivo determinar la velocidad de operación de los vehículos livianos, buses, camiones y tráileres, demostrar que estas son superiores a las velocidades de diseño preestablecidas para la vía actual, además comparar el diseño geométrico de la vía actual con un nuevo rediseño con la velocidad de operación obtenida mediante medición con La Pistola Radar De Velocidad De Bushnell II. Este estudio fue realizado en la carretera Puno - Juliaca, progresivas Km - 1349+000 al Km 1353+000, localizado en el distrito, provincia y región de Puno. Se concluyó que en la vía de acuerdo a los criterios de Lamm en el tramo estudiado los vehículos ligeros superan en un rango de (24-30)Km/h a la velocidad de diseño razón por la cual la consistencia es mala, en los buses la diferencia de velocidades en un rango (19-22)Km/h razón por la cual la consistencia también se considera mala, respecto a los camiones la diferencia es mayor a (13-18)Km/h por lo cual la consistencia para estos vehículos es regular y finalmente en los tráileres la diferencia de velocidades es menor a (6-12)Km/h por el cual la consistencia es de regular a buena. Mediante el rediseño geométrico se pudo identificar que las calzadas, bermas, peraltes y sobreeanchos no cumplen con las condiciones mínimas de la norma DG-2018 para satisfacer las velocidades de operación, así mismo se identificó la ausencia total de la aplicación de curvas espirales razón por lo que los conductores en estos tramos tienden a realizar maniobras bruscas para pasar de un tramo recto a un tramo curvo. Con lo indicado se puede deducir que uno de los factores para la ocurrencia de los accidentes de tránsito es la excesiva velocidad que desarrollan los vehículos y así mismo las deficiencias de diseño geométrico según las normas peruanas.

Palabras Clave: Velocidad de operación y diseño, consistencia de diseño geométrico.

ABSTRACT

In the Puno region there is no research on the speed of operation and consistency of geometric design of roads, although this analysis is important because it allows knowing the functionality of the geometric design made in the project phase, by which The objective of this research is to determine the speed of operation of light vehicles, buses, trucks and trailers, to demonstrate that these are superior to the preset design speeds for the current road, in addition to comparing the geometrical design of the current road with a new one. redesign with the operating speed obtained by measuring with the Bushnell II Speed Radar Gun. This study was carried out on the Puno - Juliaca highway, progressive Km - 1349 + 000 to Km 1353 + 000, located in the district, province and region of Puno. It was concluded that in the road according to the criteria of Lamm in the section studied the light vehicles exceed in a range of (24-30) Km / ha the design speed reason why the consistency is bad, in the buses the difference of speeds in a range (19-22) Km / h reason why the consistency is also considered bad, compared to trucks the difference is greater than (13-18) Km / h so the consistency for these vehicles it is regular and finally in the trailers the speed difference is less than (6-12) Km / h for which the consistency is from fair to good. By means of the geometric redesign it was possible to identify that the roadways, berms, banks and widening do not comply with the minimum conditions of the DG-2018 standard to satisfy the operating speeds, likewise the total absence of the application of spiral curves was identified. what the drivers in these sections tend to perform abrupt maneuvers to move from a straight section to a curved section. With the indicated it can be deduced that one of the factors for the occurrence of traffic accidents is the excessive speed developed by the vehicles and likewise the deficiencies of geometric design according to Peruvian standards.

Keywords: Speed of operation and design, geometric design consistency.

CAPITULO I

1.1.INTRODUCCIÓN

La presente tesis tiene por objetivo determinar la velocidad de operación de los vehículos que circulan por la carretera Puno – Juliaca, tramo Km 1349+000 – Km 1353+000. Las mismas que fueron evaluadas su consistencia de diseño geométrico según los criterios de Lamm propuestos en base a estudios realizados en Estados Unidos y Alemania. Finalmente ver las inconsistencias de diseño geométrico actual de la vía mediante un rediseño geométrico con la velocidad de operación determinada.

El crecimiento económico, la globalización, la incursión de nuevas tecnologías en el desarrollo de automotor, al igual que el costo de construcción, deberían ser los ítems más relevantes a la hora de establecer un proyecto nuevo, los mismos que deberán condicionar la elección de la velocidad de diseño para que satisfaga las necesidades actuales al igual que las proyectadas hacia el futuro. El hecho que la velocidad de diseño sea inferior a la velocidad de operación determina que los cálculos del diseño geométrico realizados en la etapa de proyecto significan una inconsistencia del diseño geométrico.

En la ingeniería para todo estudio y/o diseño se recopila información en campo para la determinación de los valores, es por eso que para los cálculos de parámetros geométricos se consideró la velocidad de operación obtenidas en campo, de esa manera evitar discrepancias considerables entre la velocidad de operación y velocidades de diseño indicadas en el DG-2018.

El presente trabajo de investigación comprende lo siguiente:

- **Capítulo I** Introducción (hipótesis y objetivos)
- **Capítulo II** Revisión de literatura (Antecedentes y base teórica)
- **Capítulo III** Materiales y métodos (Metodología)
- **Capítulo IV** Resultados y discusión
- **Capítulo V** Conclusiones
- **Capítulo VI** Recomendaciones
- **Capítulo VII** Referencias
- **Anexos**

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Considerando que en el (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2007) consta el contrato de concesión para la construcción, conservación y explotación del tramo N.º 5 del Proyecto Corredor Vial Interoceánico Sur Perú – Brasil entre el Estado de la República del Perú y la Concesionaria Vial Del Sur S.A. en la que esta considera el tramo de estudio, en el mencionado contrato indica los parámetros de diseño geométrico tal como se muestra en la tablas inferior:

TABLA 1: Parámetros de diseño geométrico según contrato

PARÁMETROS	VALORES
Velocidad de diseño	50 km/h
Velocidad de diseño en curvas de vuelta	30 km/h
Ancho de plataforma	7.40 m
Ancho de berma	0.70 m
Radio mínimo	60.00 m
Pendiente Máxima longitudinal	7.00 %
Longitud mínima de curva vertical	50.00 m
Ancho de superficie de rodadura	7.20 m

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2007).

Según (INEI, 2017) la población actual de la Región Puno es de 1 172 697 habitantes, siendo la novena Región con más población, según (Medina, 2018) Puno es la tercera región con más lesiones por accidentes de tránsito con un 5.45%.

Los accidentes de tránsito son un problema a nivel nacional, la vía Puno – Juliaca y el tramo de estudio no es ajeno a ello tal como menciona (Cruz & Ccamapaza, 2016) que en el KM 1348+000 - 1349+000 y KM 1350+000 - 1351+000 son tramos con mayor accidentes de tránsito, por la presencia de curvas peligrosas.

Se ha podido observar que actualmente con el avance de la tecnología, los vehículos son fabricados para desarrollar mayores velocidades y mayor estabilidad, sin embargo, las carreteras existentes y los nuevos proyectos viales vienen siendo diseñados con velocidades limitadas por la orografía y

la demanda del tránsito vehicular sin tomar en cuenta la consistencia vial, ya que si se diseña con velocidades inferiores y los conductores circulan a una velocidad superior a ella, en primera instancia los cálculos geométricos de la vía serían erróneos lo que conllevaría a accidentes de tránsito por un mal diseño geométrico.

Debido a lo indicado en los antecedentes es necesario estudiar la velocidad de operación por los diferentes tipos de vehículos en la carretera Puno – Juliaca, Tramo Km 1349+000 – Km 1353+000.

Así mismo es importante un rediseño geométrico para ver numéricamente la consistencia de la vía existente en tramo de estudio.

1.3. FORMULACIÓN PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

1.3.1. Pregunta General

- ✓ ¿Cuál es la influencia de la diferencia entre la velocidad de diseño y operación en la consistencia del diseño geométrico en la carretera Puno – Juliaca, Tramo Km 1349+000 – Km 1353+000?

1.3.2. Preguntas Especificas

- ✓ ¿Cuál es la diferencia de la velocidad de diseño versus velocidad de operación de los vehículos en la carretera Puno – Juliaca, caso tramo KM 1349+000 – KM 1353+000?
- ✓ ¿Cuál es la consistencia de diseño geométrico de la vía mediante el rediseño geométricos con la velocidad de operación según la Norma DG-2018 en la carretera Puno – Juliaca, tramo KM 1349+000 – KM 1353+000?
- ✓ ¿cuál es la consistencia geométrica según los criterios de Lamm en la carretera Puno – Juliaca, tramo KM 1349+000 – KM 1353+000?

1.4. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. Hipótesis General

- ✓ La velocidad de operación es mayor a la velocidad de diseño lo cual influye significativamente en la consistencia de diseño

geométrico en la carretera Puno – Juliaca, tramo KM 1349+000 – KM 1353+000.

1.4.2. Hipótesis Especifica

- ✓ La velocidad de operación es superior a la velocidad de diseño de los vehículos en la carretera Puno – Juliaca, caso tramo KM 1349+000 – KM 1353+000.
- ✓ La consistencia de la vía mediante el rediseño geométrico según DG-2018 con la velocidad de operación es deficiente en la carretera Puno – Juliaca, tramo KM 1349+000 – KM 1353+000
- ✓ La consistencia del diseño geométrico según los criterios de Lamm es mala en la carretera Puno – Juliaca, tramo KM 1349+000 – KM 1353+000.

1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1. Objetivo General

- ✓ Determinar la influencia de la diferencia entre la velocidad de operación y velocidad de diseño en la consistencia de diseño geométrico en la carretera Puno – Juliaca, tramo KM 1349+000 – KM 1353+000.

1.5.2. Objetivo Especifica

- ✓ Determinar que la diferencia entre la velocidad de operación y velocidad de diseño de los vehículos en la carretera Puno – Juliaca, caso tramo KM 1349+000 – KM 1353+000.
- ✓ Determinar la consistencia del diseño existente con el rediseño geométrico con la velocidad de operación según la norma DG-2018 en la carretera Puno – Juliaca, tramo KM 1349+000 – KM 1353+000
- ✓ Determinar la consistencia del diseño geométrico según los criterios de Lamm en la carretera Puno – Juliaca, tramo KM 1349+000 – KM 1353+000.

CAPITULO II

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Entre las investigaciones relacionadas a la presente investigación se tiene:

(Gomes & Quispe, 2017) Plantea como objetivos evaluar la seguridad vial – nominal, de la carretera Enaco - Abra Ccorao, de acuerdo a la consistencia de diseño geométrico, conforme a los criterios establecidos por Lamm y al perfil de velocidades. Y concluye con lo siguiente:

- Se logró demostrar que “Las velocidades de operación en curvas y tangentes medidas en campo, de la carretera Enaco - Abra Ccorao, fluctuaran en un rango de 30km/h a 80km/h”, de acuerdo al promedio de las 63 mediciones realizadas en cada uno de los 177 sitios, para el sentido de subida el 93% de las mediciones en curvas horizontales, se encuentra dentro del rango establecido y el 7% se encuentra fuera, para tangentes el 95.4% se encuentra dentro del rango establecido y el 4.6% se encuentra fuera; de igual manera para el sentido de bajada el 93% de las mediciones en curvas horizontales se encuentra dentro del parámetro determinado y el 7% se encuentra fuera del rango establecido, para tangentes el 96.55% se encuentra dentro del rango establecido y el 3.45% se encuentra fuera del rango establecido.

(Erazo & Paz, 2013) plantea como objetivo general determinar la consistencia vial basada en la velocidad de operación de autos, buses y camiones de dos ejes del tramo de vía comprendido entre los sectores de El Tambor, Coba Negra, Catambuco y salida Sur de la Ciudad de Pasto entre los kilómetros 68 a 83 de la Ruta 25 Pasto – Ipiiales en el Departamento de Nariño. Y concluye con lo siguiente:

- La evaluación de la consistencia del tramo de vía comprendido entre los sectores El Tambor, Coba Negra, Catambuco y salida Sur de la Ciudad de Pasto entre los kilómetros 68 a 83 de la Ruta 25 Pasto – Ipiiales en el Departamento de Nariño se define en dos enfoques, uno de ellos según

el criterio I de Lamm indica que el tramo en general tiene una consistencia mala ya que la velocidad de operación es muy superior a la velocidad de diseño lo que significa que la vía en sí no fue diseñada para los requerimientos de velocidad que tienen los conductores actualmente.

- El segundo enfoque bajo el criterio II de Lamm indica que el tramo en general tiene una consistencia buena ya que la diferencia entre la velocidad de operación entre los elementos geométricos consecutivos es pequeña lo que significa que en la mayor parte del trazado los conductores no se vean enfrentados a realizar maniobras de riesgo sin embargo existen puntos críticos evaluados con mala consistencia bajo el segundo criterio.

(Cortes & Estrella, 2013) plantea como objetivos: Obtener las velocidades de operación y analizar el perfil de velocidades del trayecto Tumaco - Pasto K6+850 - K25+000 mediante la utilización de radar. Y concluye lo siguiente

- Según el criterio I de Lamm, el tramo de estudio presenta una buena consistencia vial para buses y camiones C2, pero para el caso de automóviles es regular acercándose a mala, lo que nos indica que la velocidad de diseño del tramo no es la ideal para que todos los tipos de vehículos se desplacen a una velocidad segura. Para el caso del segundo criterio de Lamm, el tramo en estudio presenta condiciones buenas de consistencia vial.
- La diferencia entre la velocidad de operación entre los elementos geométricos consecutivos es pequeña, lo que nos conduce a decir que los conductores no se ven enfrentados a tener que cambiar de manera brusca de velocidad.
- Como conclusión final se puede decir que a pesar de que existen las normas de diseño, en muchos casos se hace imposible cumplir en su totalidad con la misma, muchas veces debido a la topografía del terreno.

(Felipe, 2014) plantea como objetivo general explicar la importancia que tiene el análisis de consistencia del trazado en caminos de montaña, para la seguridad vial de los conductores en la república de Guatemala. Y concluye con lo siguiente:

- La metodología validada para el análisis de consistencia del trazado en caminos de montaña en Guatemala, fue la de Lamm et al. (1999), quien utiliza solamente elementos del trazado en planta para analizar la consistencia del trazado, esto obedeció a dos circunstancias, la primera es que el trazado en planta en terrenos montañosos está, fuertemente, condicionado por la topografía, hecho que se reflejó en las bajas velocidades de diseño que se determinaron al restituir la geometría de las curvas horizontales.

(Chambi & Suaña, 2017) plantea como objetivo general analizar según la normatividad vigente, el diseño geométrico y los dispositivos de control de tránsito como factores que influyen en los tramos de concentración de accidentes de tránsito en la vía Puno – Juliaca y proponer acciones de mejora para su prevención. Y concluye con lo siguiente:

- Se identificó 10 tramos de concentración de accidentes, aplicando el método de índice de peligrosidad y el método de la TRANSPORTATION RESEARCH BOARD (TRB) siendo estas el tramo 32 comprendido entre el Km 1350+000 al Km 1351+000
- Existe relación directa entre los elementos geométricos de la vía y los tramos de concentración de accidentes, puesto que los elementos geométricos de las curvas y tramos rectos de los TCA no cumplen con lo indicado en el manual DG-2014.

(Cruz & Ccamapaza, 2016) plantea como objetivo general “Evaluar la eficiencia de un sistema de Información Geográfica como herramienta para la administración de la infraestructura vial y la detección de zonas de mayor índice de accidentes de tránsito en la carretera Puno – Juliaca”. Y concluye con lo siguiente:

- Se determinó los puntos críticos con mayor número de accidentes de tránsito de la carretera Puno – Juliaca, mediante el sistema de información geográfica vial en el cual fue posible contabilizar el número de accidentes en cada segmento de 1000 metros. Comprendiendo uno de estos tramos el Km 1350+000 al 1351+000 denominado las curvas peligrosas.

(Laurina, 2009) plantea como objetivo general “Evaluación De La Seguridad Vial A Partir De La Consistencia Del Trazado De La Carretera”. Y concluye con lo siguiente:

- Según los resultados de cada método aplicado la carretera tiene una consistencia buena entre tramos consecutivos y en la aplicación del método cubano tiene una consistencia regular para la evaluación de la diferencia entre velocidad de operación y velocidad de diseño. La evaluación de la diferencia de velocidad de operación entre tramos consecutivos refleja los puntos de posible ocurrencia de accidentes en la carretera.

(Pérez, 2012) plantea como objetivo general “caracterizar y modelar la velocidad de operación en carreteras convencionales, no sólo desde el punto de vista de la influencia de la geometría de la carretera, sino también considerando las características del conductor y del vehículo”. Y concluye con lo siguiente:

- La evaluación de la consistencia del diseño geométrico de una carretera es la principal herramienta para el estudio y mejora de la seguridad vial del mismo. Una baja consistencia del diseño geométrico produce que la geometría de la vía no se ajuste a las expectativas de los conductores y, por tanto, que estos puedan verse sorprendidos ante ciertas configuraciones de la misma.

(Calán & Gonzáles, 2017) plantea como objetivo general “Determinar la incidencia del trazado geométrico en sitios críticos de accidentalidad en el corredor Perimetral de Oriente de Bogotá para las vías Los Patios-Guasca, Salitre-Sopó, Bogotá-Choachí-Ubaque en la etapa de operación”. Concluye y recomienda con lo siguiente:

- Aunque no todos los sitios críticos por accidentalidad coincidieron con los sectores que arrojaron la evaluación más deficiente de consistencia, hay claridad que los tres corredores objeto de estudio presentan a lo largo de todo el trazado problemas de consistencia, lo cual indica que en el diseño geométrico original no se tuvo en cuenta la relación de radios entre curvas

consecutivas y mucho menos un análisis de velocidad específica que permitiera lograr un trazado consistente.

- Como recomendación final y desde la perspectiva de diseño geométrico, se debe tener en cuenta que la prioridad a la seguridad de los usuarios de una vía se da desde el proceso de asignación de la velocidad de diseño, ya que una acertada definición de tramos homogéneos garantiza mediante una correcta asignación de velocidades específicas en las curvas, homogeneidad en el trazado. Esto ofrece durante la etapa de operación, regular las tasas de cambio de la velocidad durante el recorrido, mejorando así las condiciones de seguridad del tránsito.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. CLASIFICACIÓN DE LAS CARRETERAS

2.2.1.1. CLASIFICACIÓN POR DEMANDA

Según la norma (MTC, DG-2018) las carreteras del Perú se clasifican, en función a la demanda en:

A. Autopistas de primera clase

Son carreteras con IMDA (Índice Medio Diario Anual) mayor a 6.000 veh/día, de calzadas divididas por medio de un separador central mínimo de 6,00 m; cada una de las calzadas debe contar con dos o más carriles de 3,60 m de ancho como mínimo, con control total de accesos (ingresos y salidas) que proporcionan flujos vehiculares continuos, sin cruces o pasos a nivel y con puentes peatonales en zonas urbanas.

La superficie de rodadura de estas carreteras debe ser pavimentada.

B. Autopistas de segunda clase

Son carreteras con un IMDA entre 6.000 y 4.001 veh/día, de calzadas divididas por medio de un separador central que puede variar de 6,00 m hasta 1,00 m, en cuyo caso se instalará un sistema de contención vehicular; cada una de las calzadas debe contar con dos o más carriles de 3,60 m de ancho como mínimo,

con control parcial de accesos (ingresos y salidas) que proporcionan flujos vehiculares continuos; pueden tener cruces o pasos vehiculares a nivel y puentes peatonales en zonas urbanas.

La superficie de rodadura de estas carreteras debe ser pavimentada.

C. Carreteras de primera clase

Son carreteras con un IMDA entre 4.000 y 2.001 veh/día, con una calzada de dos carriles de 3,60 m de ancho como mínimo. Puede tener cruces o pasos vehiculares a nivel y en zonas urbanas es recomendable que se cuente con puentes peatonales o en su defecto con dispositivos de seguridad vial, que permitan velocidades de operación, con mayor seguridad.

La superficie de rodadura de estas carreteras debe ser pavimentada.

D. Carreteras de segunda clase

Son carreteras con IMDA entre 2.000 y 400 veh/día, con una calzada de dos carriles de 3,30 m de ancho como mínimo. Puede tener cruces o pasos vehiculares a nivel y en zonas urbanas es recomendable que se cuente con puentes peatonales o en su defecto con dispositivos de seguridad vial, que permitan velocidades de operación, con mayor seguridad.

La superficie de rodadura de estas carreteras debe ser pavimentada.

E. Carreteras de tercera clase

Son carreteras con IMDA menores a 400 veh/día, con calzada de dos carriles de 3,00 m de ancho como mínimo. De manera excepcional estas vías podrán tener carriles hasta de 2,50 m, contando con el sustento técnico correspondiente.

Estas carreteras pueden funcionar con soluciones denominadas básicas o económicas, consistentes en la aplicación de estabilizadores de suelos, emulsiones asfálticas y/o micro pavimentos; o en afirmado, en la superficie de rodadura. En caso de ser pavimentadas deberán cumplirse con las condiciones geométricas estipuladas para las carreteras de segunda clase.

F. Trochas carrozables

Son vías transitables, que no alcanzan las características geométricas de una carretera, que por lo general tienen un IMDA menor a 200 veh/día. Sus calzadas deben tener un ancho mínimo de 4,00 m, en cuyo caso se construirá ensanches denominados plazoletas de cruce, por lo menos cada 500 m.

La superficie de rodadura puede ser afirmada o sin afirmar.

TABLA 2: Clasificación de carreteras por demanda

CLASIFICACIÓN POR DEMANDA	IMDA (Veh/Día)	SEPARADOR CENTRAL	ANCHO CARRIL MINIMO	ANCHO DE CALZADA MINIMO	SUPERFICIE DE RODADURA
AUTOPISTA DE PRIMERA CLASE	>6000	6m	3.60m	7.20m	Pavimentada
AUTOPISTA DE SEGUNDA CLASE	6000 - 4001	6m - 1m	3.60m	7.20m	Pavimentada
CARRETERAS DE PRIMERA CLASE	4000 - 2001	No Requiere	3.60m	7.20m	Pavimentada
CARRETERAS DE SEGUNDA CLASE	2000 - 400	No Requiere	3.30m	6.60m	Pavimentada
CARRETERAS DE TERCERA CLASE	<400	No Requiere	3.00m	6.00m	Pavimentada o afirmada
TROCHAS CARROZABLES	<200	No Requiere	2.00m	4.00m	Afirmada o sin afirmar

Fuente: (MTC, DG-2018)

2.2.1.2. CLASIFICACIÓN POR OROGRAFÍA

Las Normas Peruana de carretera (MTC, DG-2018) indica que en función a la orografía predominante del terreno por dónde discurre su trazado, se clasifican en:

A. Terreno plano (Tipo 1)

Las pendientes transversales al eje de la vía deben ser menores o iguales al 10% y sus pendientes longitudinales son por lo general menores de tres por ciento (3%), demandando un mínimo de movimiento de tierras, por lo que no presenta mayores dificultades en su trazado.

B. Terreno ondulado (Tipo 2)

Deben tener pendientes transversales al eje de la vía entre 11% y 50% y sus pendientes longitudinales se encuentran entre 3% y 6 %, demandando un moderado movimiento de tierras, lo que permite alineamientos más o menos rectos, sin mayores dificultades en el trazado.

C. Terreno accidentado (Tipo 3)

Tiene pendientes transversales al eje de la vía entre 51% y el 100% y sus pendientes longitudinales predominantes se encuentran entre 6% y 8%, por lo que requiere importantes movimientos de tierras, razón por la cual presenta dificultades en el trazado.

D. Terreno escarpado (Tipo 4)

Deben tener pendientes transversales al eje de la vía superiores al 100% y sus pendientes longitudinales excepcionales son superiores al 8%, exigiendo el máximo de movimiento de tierras, razón por la cual presenta grandes dificultades en su trazado.

TABLA 3: Clasificación de carreteras por orografía

CLASIFICACIÓN POR OROGRAFIA	PENDIENTE TRANSVERSAL	PENDIENTE LONGITUDINAL
TERRENO PLANO (Tipo 1)	< =10%	<3%
TERRENO ONDULADO (Tipo 2)	11% - 50%	3% - 6%
TERRENO ACCIDENTADO (Tipo 3)	51% - 100%	6% - 8%
TERRENO ESCARPADO (Tipo 4)	>100%	8.0 %

Fuente: (MTC, DG-2018)

2.2.2. VELOCIDAD DE DISEÑO

(MTC, DG-2018) Indica que es la velocidad escogida para el diseño, entendiéndose que será la máxima que se podrá mantener con seguridad y comodidad, sobre una sección determinada de la carretera, cuando las circunstancias sean favorables para que prevalezcan las condiciones de diseño.

En el proceso de asignación de la velocidad de diseño, se debe otorgar la máxima prioridad a la seguridad vial de los usuarios. Por ello, la velocidad de diseño a lo largo del trazo, debe ser tal, que los conductores no sean sorprendidos por cambios bruscos y/o muy frecuentes en la velocidad a la que pueden realizar con seguridad el recorrido.

Para identificar los tramos homogéneos y establecer su velocidad de diseño, se debe atender a los siguientes criterios:

TABLA 4: Longitudes mínimas para cambios de velocidad

Longitud mínima	Velocidad
3 km	20Km/h - 50Km/h
4 km	60Km/h - 120Km/h

Fuente: (MTC, DG-2018)

(Cárdenas, 2013) Menciona que la velocidad de diseño o velocidad de proyecto de un tramo de carretera es la velocidad guía o de referencia que permite definir las características geométricas mínimas de todos los elementos del trazado, en condiciones de comodidad y seguridad. Por lo tanto, ella representa una referencia mínima.

(AASHTO, 2011) indica que la velocidad directriz y/o diseño es una velocidad seleccionada para determinar las diversas características de diseño geométrico de la calzada. Debe ser lógica con respecto a la velocidad de operación prevista, topografía, uso del suelo adyacente, y clasificación funcional del camino.

2.2.2.1. Velocidad de diseño del tramo homogéneo

(MTC, DG-2018) manifiesta que las Velocidades de Diseño están definidas en función de la clasificación por demanda u orografía de la carretera a diseñarse. A cada tramo homogéneo se le puede asignar la Velocidad de Diseño en el rango que se indica en la tabla inferior.

TABLA 5: Rangos de la Velocidad de Diseño en un tramo homogéneo

CLASIFICACION	OROGRAFIA	VELOCIDAD DE DISEÑO DE UN TRAMO HOMOGENEO 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: (MTC, DG-2018)

2.2.2.2. Velocidad específica de trazo en planta y perfil

(MTC, DG-2018) indica que es necesario dimensionar los elementos geométricos de la carretera, en planta, perfil y sección transversal, en forma tal que pueda ser recorrida con seguridad, a la velocidad máxima asignada a cada uno de dichos elementos geométricos.

La velocidad máxima con que sería abordado cada elemento geométrico, es la Velocidad Específica con la que se debe diseñar. El valor de la Velocidad Específica de un elemento

geométrico depende esencialmente de los siguientes parámetros:

- Del valor de la Velocidad de Diseño del Tramo Homogéneo en que se encuentra incluido el elemento. La condición deseable es que a la mayoría de los elementos geométricos que integran el tramo homogéneo se les pueda asignar como Velocidad Específica, el valor de la Velocidad de Diseño del tramo
- De la geometría del trazo inmediatamente antes del elemento considerado, teniendo en cuenta el sentido en que el vehículo realiza el recorrido.

2.2.2.3. Velocidad de marcha

Denominada también velocidad de cruceo, es el resultado de dividir la distancia recorrida entre el tiempo durante el cual el vehículo estuvo en movimiento, bajo las condiciones prevaletientes del tránsito, la vía y los dispositivos de control. Es una medida de la calidad del servicio que una vía proporciona a los conductores y varía durante el día, principalmente, por la modificación de los volúmenes de tránsito.

TABLA 6: Velocidades de marcha teóricas

Velocidad de diseño	30.0	40.0	50.0	60.0	70.0	80.0	90.0	100.0	110.0	120.0	130.0
Velocidad media de marcha	27.0	36.0	45.0	54.0	63.0	72.0	81.0	90.0	99.0	108.0	117.0
Rangos de velocidad media	25.5 @ 28.5	34.0 @ 38.0	42.5 @ 47,5	51.0 @ 57,0	59.5 @ 66,5	68.0 @ 76,0	76.5 @ 85,5	85.0 @ 95,0	93.5 @ 104,5	102.0 @ 114,0	110.5 @ 123,5

Fuente: (MTC, DG-2018).

2.2.3. VELOCIDAD DE OPERACIÓN

(MTC, DG-2018) indica que es la velocidad máxima a la que pueden circular los vehículos en un determinado tramo de una carretera, en función a la velocidad de diseño, bajo las condiciones prevalecientes del tránsito, estado del pavimento, meteorológicas y grado de relación de ésta con otras vías y con la propiedad adyacente.

(Poasada, 2002) menciona que también se puede interpretar como la velocidad a la que se observa que los conductores circulan. Usualmente se expresa la velocidad de operación como aquella velocidad a la cual, o por debajo de la cual, recorren el tramo el 85% de los conductores.

(MTC, DG-2018) Un concepto utilizado para la mejor estimación de la velocidad de operación es el denominado percentil 85 de la velocidad, que consiste en determinar la velocidad bajo la cual circula el 85% de los vehículos. En la inferior (ecuaciones de Fitzpatrick), se puede apreciar estimaciones para la determinación de velocidades de operación.

2.2.3.1. Velocidades de operación para curvas horizontales.

(Gomes & Quispe, 2017) menciona que la velocidad es uno de los factores más relevantes y fácil de apreciar, los primeros estudios se centraron en la realización del perfil de velocidades de operación del percentil 85 a lo largo de la vía, teniendo en cuenta únicamente el trazado en planta.

La representación gráfica del perfil permite localizar los puntos donde se incumple la regla establecida, con el fin de aplicar los correctivos pertinentes. Este procedimiento no fue muy difundido entonces, y se basó en las normas del Green Book de la AASHTO de 1965 y 1973, que se actualizaron posteriormente.

Estas ecuaciones mostradas en la tabla del inferior de velocidad de operación son las más utilizadas por diversos investigadores a nivel mundial, para evaluar la consistencia de una carretera basándose

exclusivamente en el perfil de velocidades y como se muestra en la presente investigación tiene buenos resultados.

TABLA 7: Ecuaciones de Fitzpatrick para la estimación de velocidades de operación.

	Condiciones de alineamiento	Ecuación
1	Curva horizontal sobre pendiente (-9% < i < -4%)	$V_{85} = 102,10 - \frac{3077,13}{R}$
2	Curva horizontal sobre pendiente (-4% < i < 0%)	$V_{85} = 105,98 - \frac{3709,90}{R}$
3	Curva horizontal sobre pendiente (0% < i < 4%)	$V_{85} = 104,82 - \frac{3574,51}{R}$
4	Curva horizontal sobre pendiente (4% < i < 9%)	$V_{85} = 96,61 - \frac{2752,19}{R}$
5	Curva horizontal combinada con curvas cóncavas (sag)	$V_{85} = 105,32 - \frac{3438,19}{R}$
6	Curva horizontal combinada con curvas convexas sin limitación de visibilidad	(Nota 2)
7	Curva horizontal combinada con curvas convexas con limitación de visibilidad (K ≤ 43 m / %)	$V_{85} = 103,24 - \frac{3576,51}{R}$; (nota 2)
8	Curva vertical cóncava sobre recta horizontal	V85 se asume como la velocidad deseada
9	Curva vertical convexa con distancia de visibilidad no limitada (K > 43 m / %) sobre recta horizontal	V85 se asume como la velocidad deseada
10	Curva vertical convexa con distancia de visibilidad limitada (K ≤ 43 m / %) sobre recta horizontal	$V_{85} = 105,08 - \frac{149,69}{K}$

Fuente: (MTC, DG-2018)

Notas:

- 1) Usa la menor velocidad estimada con las ecuaciones 1 o 2 (para pendientes descendentes) y 3 o 4 (para pendientes ascendentes).
- 2) Además, comparar con la velocidad estimada con las ecuaciones 1 o 2 (para pendientes descendentes) y 3 o 4 (para pendientes ascendentes) y usar la menor. Esto asegurará que la velocidad estimada a lo largo de curvas combinadas no será mejor que si sólo la curva horizontal está presente. Es decir, la inclusión de una curva convexa con visibilidad limitada resulte en una mayor velocidad.

V85 : Percentil 85 de velocidad de automóviles (km/h)

R : Radio de curva (m)

Las velocidades máximas de operación, en función a la clasificación de la carretera, el tipo de vehículo y las condiciones orográficas.

TABLA 8: Valores de velocidades máximas de operación

Clasificación de la carretera	Velocidad máxima de operación (km/h)			
	Vehículos ligeros	Vehículos pesados		
		Buses	Camiones (5)	
Autopista 1 ^{ra} clase	(1)	130	100	90
	(2)	120	90	80
	(3)	100	80	70
	(4)	90	70	60
Autopista 2 ^{da} clase	(1)	120	90	80
	(2)	120	90	80
	(3)	100	80	70
	(4)	90	70	60
Carretera 1 ^{ra} clase	(1)	100	90	80
	(2)	100	80	70
	(3)	90	70	60
	(4)	80	60	50

Fuente: (MTC, DG-2018)

- 1) Orografía plana (1)
- 2) Orografía ondulada (2)
- 3) Orografía accidentada (3)
- 4) Orografía escarpada (4)
- 5) Para vehículos de transporte de mercancía peligrosa la velocidad máxima de operación es 70 km/h, o la que establezca el Reglamento Nacional de Tránsito, vigente.
- 6) Las autoridades competentes, podrán fijar velocidades de operación inferiores a las indicadas en la tabla, en función a las particularidades de cada vía.
- 7) Las autoridades competentes, deben señalar la máxima velocidad de operación, principalmente al inicio de cada Tramo Homogéneo.
- 8) Según las particularidades de las carreteras de Segunda Clase y Tercera Clase, las autoridades competentes establecerán las velocidades máximas de operación.

2.2.3.2. Velocidades medidas en campo.

(Felipe, 2014) menciona que una de las ventajas de trabajar con velocidades tomados en campo, es que refleja la velocidad del parque automotor que circula por el tramo de la carretera, inclusive los entes rectores de transportes en otros países recomiendan que después de algunos años es necesario volver a calcular la velocidad de operación del parque automotor para determinar si el percentil 85 ha cambiado, paralelamente, con el aumento de las prestaciones de los vehículos.

En su investigación para realizar las mediciones puntuales de velocidades los observadores se ubicaron en el centro de las curvas horizontales, lugar en donde existe un aumento de la velocidad de operación, según estudios realizados por Fitzpatrick. (2000).

Las pautas necesarias que tomó en su investigación el autor en mención para efectuar las observaciones son:

- Medir automóviles ligeros.
- A vehículos que circulen a flujo libre.
- Condiciones de iluminación adecuada.
- Condiciones climáticas favorables.

El equipo con el que contó el investigador en mención para realizar las mediciones instantáneas en su investigación fue una pistola radar.

2.2.3.3. Percentil 85.

El percentil 85 de velocidad, corresponde al 85% de los vehículos que circulan libremente, la igualan o van más lentos. Dicho de otra manera, es aquella velocidad que solo es superada por el 15% de los vehículos circulando libremente.

El percentil 85 de la distribución de velocidades, se puede considerar como el valor estadístico más relevante desde el punto de vista de la seguridad vial. Es así, que la práctica internacional más común toma esta magnitud como parámetro para fijar la velocidad máxima. Bajo esta perspectiva se asume que la mayoría de los conductores (85%)

es capaz de hacer un juicio razonable acerca de la circulación más adecuada en las condiciones existentes.

2.2.4. DISEÑO GEOMÉTRICO DE VÍA

Según (Cárdenas, 2013) menciona que “el diseño geométrico de carreteras es el proceso de correlación entre sus elementos físicos y las características de operación de los vehículos, mediante el uso de las matemáticas, la física y la geometría. En este sentido, la carretera queda geoméricamente definida por el trazado de su eje en planta y en perfil y por el trazado de su sección transversal.”

Según (MTC, DG-2018) El Diseño Geométrico de Carreteras se efectuará en concordancia con los tipos de vehículos, dimensiones, pesos y demás características, contenidas en el Reglamento Nacional de Vehículos, vigente.

El diseño de una carretera, pese a ser abordado de forma separada en planta, perfil y en sección transversal, tiene como producto final una franja tridimensional, en la cual la totalidad de sus elementos generarán un conjunto único de interacción con los usuarios, y determinarán las condiciones reales de operación.

Durante el proceso de diseño, es necesario anticipar la interacción de los elementos de la carretera, con las condiciones probables de operación vehicular, así como con el entorno que ésta afectará, con el fin de evitar sobrecostos derivados de correcciones, durante el proceso de construcción o antes de cumplirse su período de servicio

Los elementos geométricos de una carretera (planta, perfil y sección transversal), deben estar convenientemente relacionados, para garantizar una circulación ininterrumpida de los vehículos, tratando de conservar una velocidad de operación continua y acorde con las condiciones generales de la vía.

2.2.4.1. DISEÑO GEOMÉTRICO EN PLANTA

A. Generalidades

(MTC, DG-2018) El diseño geométrico en planta o alineamiento horizontal, está constituido por alineamientos rectos, curvas circulares y de grado de curvatura variable, que permiten una transición suave al pasar de alineamientos rectos a curvas circulares o viceversa o también entre dos curvas circulares de curvatura diferente.

El alineamiento horizontal deberá permitir la operación ininterrumpida de los vehículos, tratando de conservar la misma velocidad de diseño en la mayor longitud de carretera que sea posible. En general, el relieve del terreno es el elemento de control del radio de las curvas horizontales y el de la velocidad de diseño y a su vez, controla la distancia de visibilidad.

B. Consideraciones de diseño

Algunos aspectos a considerar en el diseño en planta según (MTC, DG-2018):

- En el caso de ángulos de deflexión Δ pequeños, iguales o inferiores a 5° , los radios deberán ser suficientemente grandes para proporcionar longitud de curva mínima L obtenida con la fórmula siguiente:

$$L > 30(10 - \Delta), \Delta < 5^\circ$$

(L en metros; Δ en grados)

No se usará nunca ángulos de deflexión menores de $59'$.

TABLA 9: Longitud mínima de Curva (L)

CARRETERA RED NACIONAL	L (m)
Autopistas	6 V
Carreteras de dos carriles	3 V

Fuente: (MTC, DG-2018)

- En carreteras de tercera clase no será necesario disponer curva horizontal cuando la deflexión máxima no supere los valores del siguiente cuadro:

TABLA 10: Deflexión máxima aceptable sin curva circular

VELOCIDAD DE DISEÑO KM/H	DEFLEXIÓN MÁXIMA ACEPTABLE SIN CURVA CIRCULAR
30	2° 30'
40	2° 15'
50	1° 50'
60	1° 30'
70	1° 20'
80	1° 10'

Fuente: (MTC, DG-2018)

- No son deseables dos curvas sucesivas en el mismo sentido cuando entre ellas existe un tramo en tangente. Será preferible sustituir por una curva extensa única o, por lo menos, la tangente intermedia por un arco circular, constituyéndose entonces en curva compuesta. Si no es posible adoptar estas medidas, la tangente intermedia deberá ser superior a 500 m. En el caso de carreteras de tercera clase la tangente podrá ser inferior o bien sustituida por una espiral o una transición en espiral dotada de peralte.
- Las curvas sucesivas en sentidos opuestos, dotadas de curvas de transición, deberán tener sus extremos coincidentes o separados por cortas extensiones en tangente. En el caso de curvas opuestas sin espiral, la extensión mínima de la tangente intermedia deberá permitir la transición del peralte.
- En consecuencia, deberá buscarse un trazo en planta homogéneo, en el cual tangentes y curvas se sucedan armónicamente.

C. Tramos en tangente

Las longitudes mínimas admisibles y máximas deseables de los tramos en tangente, en función a la velocidad de diseño, serán las indicadas en la Tabla.

TABLA 11: Longitudes de tramos en tangente

V (Km/h)	CALCULADAS			ADOPTADO DG -2018		
	L mín. S (m)	L mín. O (m)	L máx. (m)	L mín. S (m)	L mín. O (m)	L máx. (m)
30	41.70	83.40	501.00	42	84	500
40	55.60	111.20	668.00	56	111	668
50	69.50	139.00	835.00	69	139	835
60	83.40	166.80	1002.00	83	167	1002
70	97.30	194.60	1169.00	97	194	1169
80	111.20	222.40	1336.00	111	222	1336
90	125.10	250.20	1503.00	125	250	1503
100	139.00	278.00	1670.00	139	278	1670
110	152.90	305.80	1837.00	153	306	1837
120	166.80	333.60	2004.00	167	333	2004
130	180.70	361.40	2171.00	180	362	2171

Fuente: (MTC, DG-2018)

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 Max:** Longitud máxima deseable (m).
- **V:** Velocidad de diseño (km/h)

Las longitudes de tramos en tangente presentada en la Tabla anterior, están calculadas con las siguientes fórmulas:

$$L_{min S} : 1.39V$$

$$L_{min O} : 2.78V$$

$$L_{max} : 16.70V$$

D. Curvas circulares

La norma (MTC, DG-2018) define las circulares simples como arcos de circunferencia de un solo radio que unen dos tangentes consecutivas, conformando la proyección horizontal de las curvas reales o espaciales.

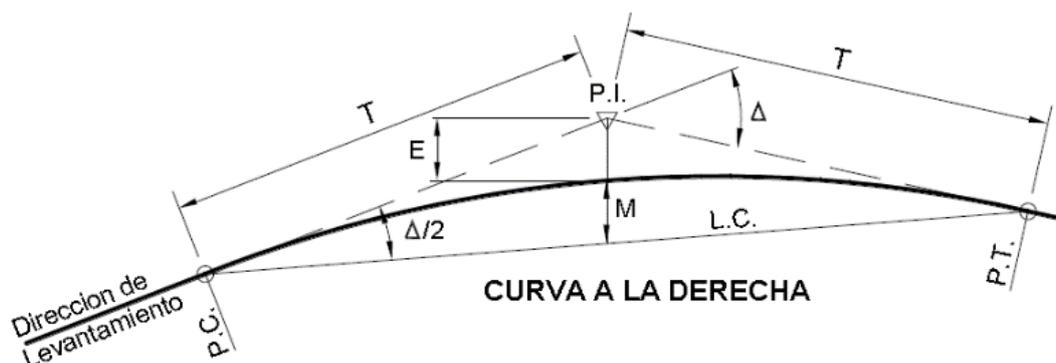


FIGURA 1: Elementos de curva circular

Fuente: (MTC, DG-2018)

- P.C.: Punto de inicio de la curva
- P.I.: Punto de Intersección de 2 alineaciones consecutivas
- P.T.: Punto de tangencia
- E: Distancia a externa (m)
- M: Distancia de la ordenada media (m)
- R: Longitud del radio de la curva (m)
- T: Longitud de la subtangente (P.C a P.I. y P.I. a P.T.) (m)
- L: Longitud de la curva (m)
- L.C: Longitud de la cuerda (m)
- Δ : Ángulo de deflexión ($^{\circ}$)
- p: Peralte; valor máximo de la inclinación transversal de la calzada, asociado al diseño de la curva (%)
- Sa: Sobreechancho que pueden requerir las curvas para compensar el aumento de espacio lateral que experimentan los vehículos al describir la curva (m)
 - ❖ $T = R \tan \Delta / 2$
 - ❖ $L.C. = 2 R \text{ Sen } \Delta / 2$

- ❖ $L = 2 \pi R (\Delta / 360)$
- ❖ $M = R [1 - \text{Cos} (\Delta / 2)]$
- ❖ $E = R [\text{Sec} (\Delta / 2) - 1]$

E. Radios mínimos

Los radios mínimos según (MTC, DG-2018) son los menores radios que pueden recorrerse con la velocidad de diseño y la tasa máxima de peralte, en condiciones aceptables de seguridad y comodidad, para cuyo cálculo puede utilizarse la siguiente fórmula:

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

Dónde:

- Rmín: Radio Mínimo
- V: Velocidad de diseño
- Pmáx: Peralte máximo asociado a V (en tanto por uno).
- f máx: Coeficiente de fricción transversal asociado a V.

TABLA 12: Radios mínimos y peraltes máximos

Ubicación de la vía	Velocidad de diseño	P máx. (%)	f máx.	Radio calculado (m)	Radio redondeado (m)
Área urbana	30	4	0.17	33.7	35
	40	4	0.17	60	60
	50	4	0.16	98.4	100
	60	4	0.15	149.2	150
	70	4	0.14	214.3	215
	80	4	0.14	280	280
	90	4	0.13	375.2	375
	100	4	0.12	835.2	495
	110	4	0.11	1.108.9	635
	120	4	0.19	872.2	875
Área rural (con peligro de hielo)	130	4	0.08	1.108.9	1,110
	30	6	0.17	30.8	30
	40	6	0.17	54.8	55
	50	6	0.16	89.5	90
	60	6	0.15	135	135
	70	6	0.14	192.9	195
	80	6	0.14	252.9	255

	90	6	0.13	437.4	335
	100	6	0.12	560.4	440
	110	6	0.11	755.9	560
	120	6	0.09	950.5	755
	130	6	0.08	1.187.2	950
	30	8	0.17	28.3	30
	40	8	0.17	50.4	55
	50	8	0.16	82	90
	60	8	0.15	123.2	135
Área rural (plano u ondulada)	70	8	0.14	175.4	195
	80	8	0.14	229.1	255
	90	8	0.13	303.7	335
	100	8	0.12	393.7	440
	110	8	0.11	501.5	560
	120	8	0.09	667	755
	130	8	0.08	831.7	950
Área rural (accidentada o escarpada)	30	12	0.17	24.4	25
	40	12	0.17	43.4	45
	50	12	0.16	70.3	70
	60	12	0.15	105	105
	70	12	0.14	148.4	150
	80	12	0.14	193.8	195
	90	12	0.13	255.1	255
	100	12	0.12	328.1	330
	110	12	0.11	414.2	415
	120	12	0.09	539.9	540
	130	12	0.08	665.4	665

Fuente: (MTC, DG-2018)

Para el caso de carreteras de Tercera Clase, aplicando la fórmula que a continuación se indica.

$$R_{min} = \frac{V^2}{127(0.01 e_{max} + f_{max})}$$

Dónde:

- R_{mín} : mínimo radio de curvatura.
- e_{máx} : valor máximo del peralte.
- f_{máx} : factor máximo de fricción.
- V : velocidad específica de diseño

F. Curvas espirales de transición

Según (Cárdenas, 2013) menciona que tradicionalmente en nuestro medio se ha utilizado y se seguirá utilizando en muchos proyectos, el trazado convencional donde sólo se emplean tramos rectos empalmados con arcos circulares simples. En estos diseños, la curvatura pasa bruscamente de cero en la recta a un valor constante $1/R$ en la curva circular de radio R , tal como se muestra en la Figura inferior.

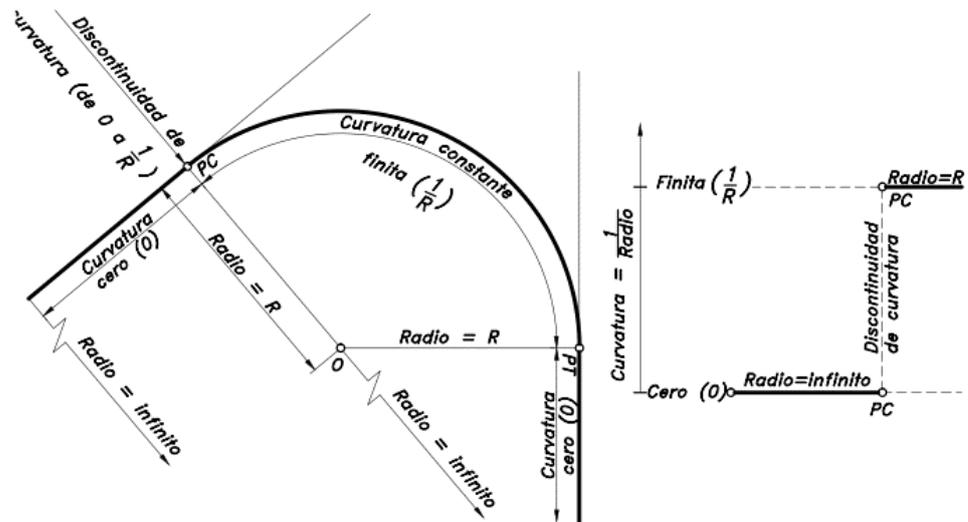


FIGURA 2: Enlace de tramos rectos con una curva circular simple

Fuente: (Cárdenas, 2013)

Eventualmente, también en los trazados, se empalman los tramos rectos con curvas circulares compuestas de dos o más radios. En la Figura inferior se muestran dos casos muy comunes de curvas compuestas, como lo son las de dos y tres radios consecutivos respectivamente.

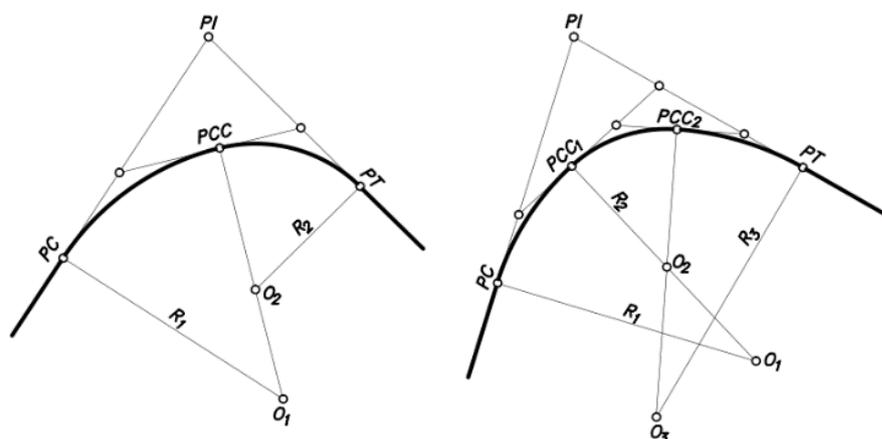


FIGURA 3: Enlace de tramos rectos con curvas circulares compuestas

Fuente: (Cárdenas, 2013)

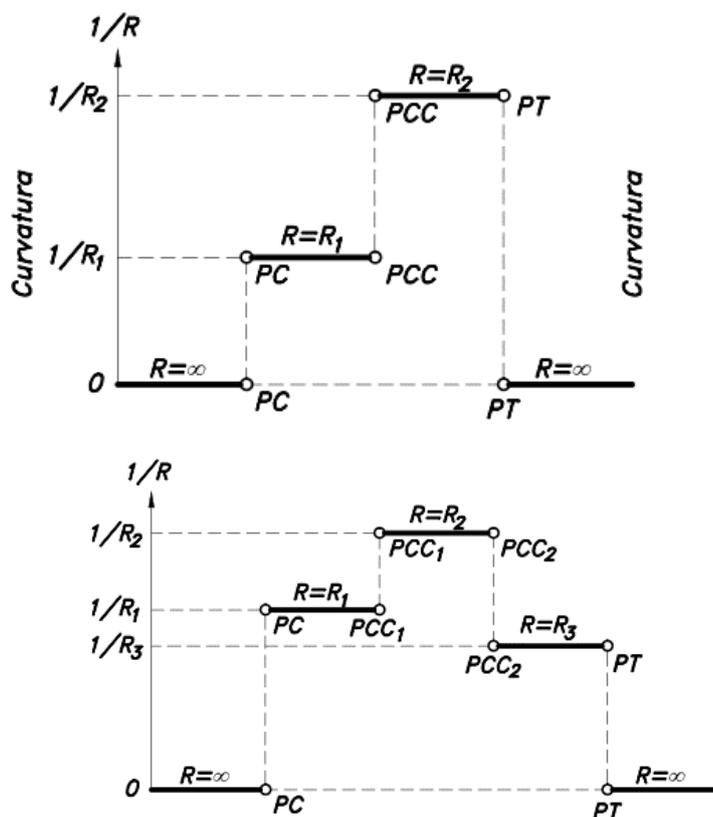


FIGURA 4: Enlace de tramos rectos con curvas circulares compuestas

Fuente: (Cárdenas, 2013)

Pero la experiencia demuestra que los conductores, sobre todo aquellos que circulan por el carril exterior, por comodidad tienden a cortar la curva circular, como se aprecia en la inferior.

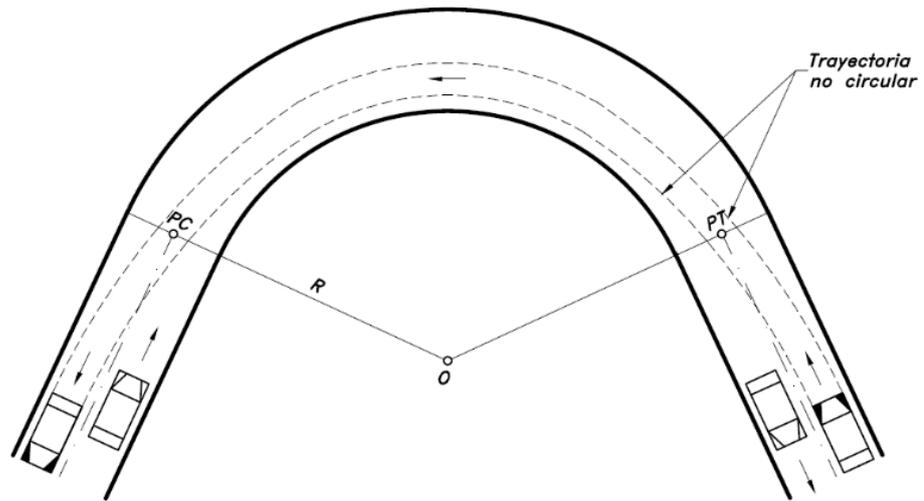


FIGURA 5: Trayectoria de los vehículos en una curva circular

Fuente: (Cárdenas, 2013)

(Cárdenas, 2013) indica que es necesario emplear una curva de transición entre el tramo en recta y la curva circular sin que la trayectoria del vehículo experimente cambios bruscos, pasando paulatinamente del radio infinito de la alineación recta (curvatura cero) al radio constante de la alineación circular (curvatura finita), al mismo tiempo que la inclinación de la calzada cambie gradualmente del bombeo en la recta al peralte en la curva circular.

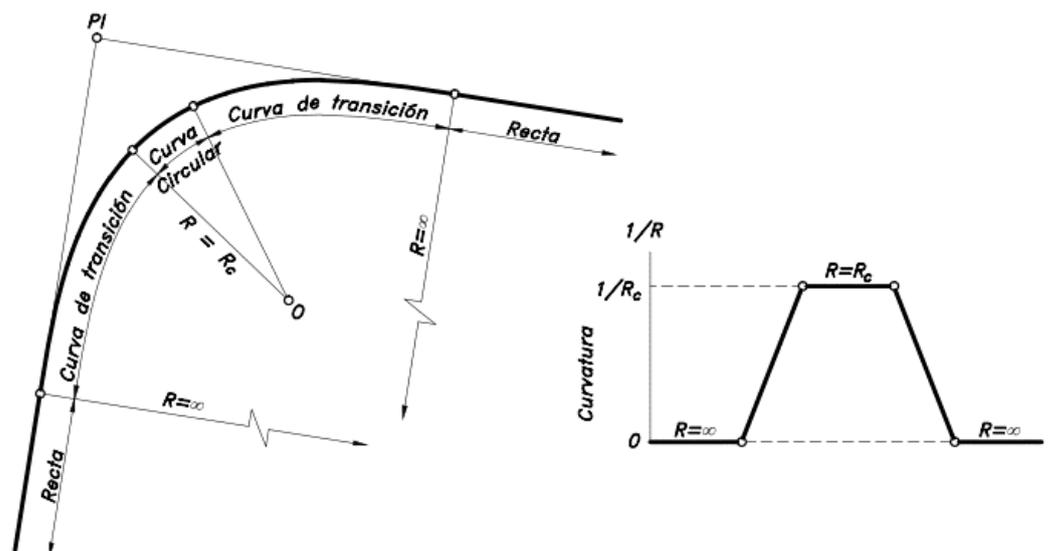


FIGURA 6: Enlace de tramos rectos con una curva circular con curvas de transición

Fuente: (Cárdenas, 2013)

Puntos notables en una curva circular con curva de transición.

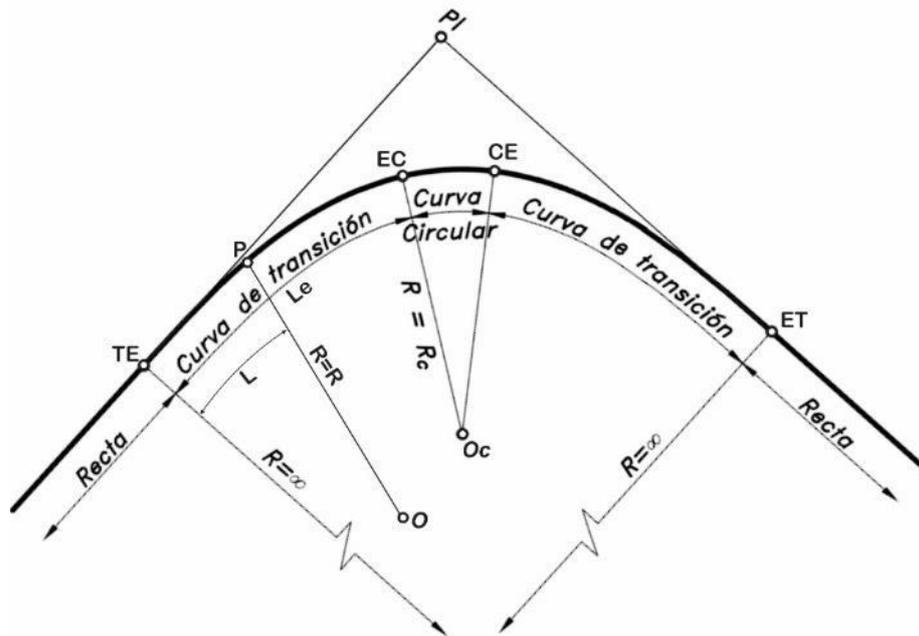


FIGURA 7: La curva de transición entre la recta y el arco circular.

Fuente: (Cárdenas, 2013)

- TE: Punto de unión de la tangente con la espiral
- EC: Punto de unión de la espiral con la curva circular.
- CE: Punto de unión de la curva circular con la espiral
- ET: Punto de unión de la espiral con la tangente.

G. La espiral de Euler o Clotoide como curva de transición

Se sabe que un vehículo que se mueva a una velocidad uniforme V sobre una curva de transición de radio variable R, experimenta una aceleración radial o centrífuga a_c, cuyo valor es:

$$a_c = \frac{V^2}{R}$$

En la curva de transición, a_c varía de manera continua desde cero en la recta hasta V² /R_c en la curva circular de radio R_c. Esto es:

En el tramo recto: $R \Rightarrow \infty, a_c = \frac{V^2}{\infty} \Rightarrow 0$

En el tramo circular: $R \Rightarrow R_c, a_c = \frac{V^2}{R_c}$

La curva de transición debe diseñarse tal que, tanto la variación de la curvatura (de cero a $1/R_c$), como la variación de la aceleración centrífuga (de cero a V^2 / R_c) sean uniformes o constantes a lo largo del desarrollo de su longitud.

Le representa la longitud total de la curva de transición y L la longitud acumulada de la curva de transición desde su origen hasta un punto cualquiera P de la curva donde el radio es R.

La variación de la aceleración centrífuga a_c por unidad de longitud Le es:

$$\frac{a_c}{L_e} = \frac{V^2}{R_c} = \left(\frac{V^2}{R_c L_e} \right) \frac{m/seg^2}{m}$$

$$A^2 = RL$$

Dónde:

- R: radio de curvatura en un punto cualquiera.
- L: Longitud de la curva entre su punto de inflexión ($R = \infty$) y el punto de radio R.
- A: Parámetro de la clotoide, característico de la misma.

H. Determinación del parámetro para una curva de transición

(MTC, DG-2018) menciona para determinar el parámetro mínimo (A_{min}), que corresponde a una clotoide calculada para distribuir la aceleración transversal no compensada, a una tasa J compatible con la seguridad y comodidad, se emplea la siguiente fórmula.

$$A_{min} = \sqrt{\frac{VR}{46656J} \left(\frac{V^2}{R} - 1.27p \right)}$$

Dónde:

- V: Velocidad de diseño (km/h)
- R: Radio de curvatura (m)

- J: Variación uniforme de la aceleración (m/s³)
- P: Peralte correspondiente a V y R. (%)

TABLA 13: Variación de la aceleración transversal por unidad de tiempo

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
J _{máx} (m/s ³)	0,7	0,8	0,5	0,4

Fuente: (MTC, DG-2018)

Nota: Sólo se utilizarán los valores de J_{máx} en casos debidamente justificados.

I. Determinación de la longitud de la curva de transición

Los valores mínimos de longitud de la curva de transición se determinan con la siguiente fórmula:

$$L_{min} = \frac{V}{46.656j} \left[\frac{V^2}{R} - 1.27p \right]$$

Dónde:

- V: (km/h)
- R: (m)
- J: m / s³
- P: %

Nota: En ningún caso se adoptarán longitudes de transición menores a 30 m.

J. Parámetros mínimos y deseables

Para que la presencia de una curva de transición resulte fácilmente perceptible por el conductor, se deberá cumplir que:

$$\frac{R}{3} \leq A \leq R$$

La longitud máxima de cada curva de transición, no será superior a 1.5 veces su longitud mínima.

K. Radios que permiten prescindir de la curva de transición

(MTC, DG-2018) Cuando no existe curva de transición, el desplazamiento instintivo que ejecuta el conductor respecto del eje de su carril disminuye a medida que el radio de la curva circular crece.

Se estima que un desplazamiento menor que 0,1 m, es suficientemente pequeño como para prescindir de la curva de transición que lo evitaría.

Los radios circulares límite calculados, aceptando un $J_{m\acute{a}x}$ de 0,4 m/s^3 y considerando que al punto inicial de la curva circular se habrá desarrollado sólo un 70% de peralte necesario.

TABLA 14: Radios circulares límites que permiten prescindir de la curva de transición

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

Fuente: (MTC, DG-2018)

L. Transición de peralte

Siendo el peralte la inclinación transversal de la carretera en los tramos de curva, destinada a contrarrestar la fuerza centrífuga del vehículo, la transición de peralte viene a ser la traza del borde de la calzada, en la que se desarrolla el cambio gradual de la pendiente de dicho borde, entre la que corresponde a la zona en tangente, y la que corresponde a la zona peraltada de la curva.

Para efectos de la presente norma, el peralte máximo se calcula con la siguiente fórmula:

$$ip_{max} = 1.8 - 0.01V$$

Dónde:

- $ip_{m\acute{a}x}$: Máxima inclinación de cualquier borde de la calzada respecto al eje de la vía (%).
- V: Velocidad de diseño (km/h).

La longitud del tramo de transición del peralte tendrá por tanto una longitud mínima definida por la fórmula:

$$L_{min} = \frac{p_f - p_i}{ip_{max}} B$$

Dónde:

- L_{min} : Longitud mínima del tramo de transición del peralte (m).
- P_f : Peralte final con su signo (%)
- P_i : Peralte inicial con su signo (%)
- B : Distancia del borde de la calzada al eje de giro del peralte (m).

M. Valores del sobreechancho

Con el fin de disponer de un alineamiento continuo en los bordes de la calzada, el sobreechancho debe desarrollarse gradualmente a la entrada y salida de las curvas. En el caso de curvas circulares simples, por razones de apariencia, el sobreechancho se debe desarrollar linealmente a lo largo del lado interno de la calzada, en la misma longitud utilizada para la transición del peralte. En las curvas con espiral, el sobreechancho se desarrolla linealmente, en la longitud de la espiral.

El sobreechancho variará en función del tipo de vehículo, del radio de la curva y de la velocidad de diseño y se calculará con la siguiente fórmula:

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

Dónde:

- S_a : Sobreechancho (m)
- N : Número de carriles
- R : Radio (m)
- L : Distancia entre eje posterior y parte frontal (m)
- V : Velocidad de diseño (km/h)

2.2.4.2. DISEÑO GEOMÉTRICO EN PERFIL

(MTC, DG-2018) El diseño geométrico en perfil o alineamiento vertical, está constituido por una serie de rectas enlazadas por curvas verticales parabólicas, a los cuales dichas rectas son tangentes; en cuyo desarrollo, el sentido de las pendientes se define según el avance del kilometraje, en positivas, aquellas que implican un aumento de cotas y negativas las que producen una disminución de cotas.

(Cárdenas, 2013) El diseño geométrico vertical de una carretera, o alineamiento en perfil, es la proyección del eje real o espacial de la vía sobre una superficie vertical paralela al mismo. Debido a este paralelismo, dicha proyección mostrará la longitud real del eje de la vía. A este eje también se le denomina rasante o sub-rasante.

A. Pendiente

i. Pendiente Mínima

Es conveniente proveer una pendiente mínima del orden de 0,5%, a fin de asegurar en todo punto de la calzada un drenaje de las aguas superficiales.

ii. Pendiente Máxima

Es conveniente considerar las pendientes máximas, según el cuadro inferior.

TABLA 15: Pendientes máximas (%)

Demanda	Autopistas								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																			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		
	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		
	90 km/h	4,50	4,50	5,00		5,00	5,00	6,00		5,00	5,00			6,00				6,00	6,00		
	100 km/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: (MTC, DG-2018)

B. Curvas verticales

Las curvas verticales parabólicas, son definidas por su parámetro de curvatura K, que equivale a la longitud de la curva en el plano horizontal, en metros, para cada 1% de variación en la pendiente, así:

$$K = L/A$$

Dónde:

- K: Parámetro de curvatura
- L: Longitud de la curva vertical
- A: Valor Absoluto de la diferencia algebraica de las pendientes

i. TIPOS DE CURVAS VERTICALES

Las curvas verticales se pueden clasificar por su forma como curvas verticales convexas y cóncavas y de acuerdo con la proporción entre sus ramas que las forman como simétricas y asimétricas.

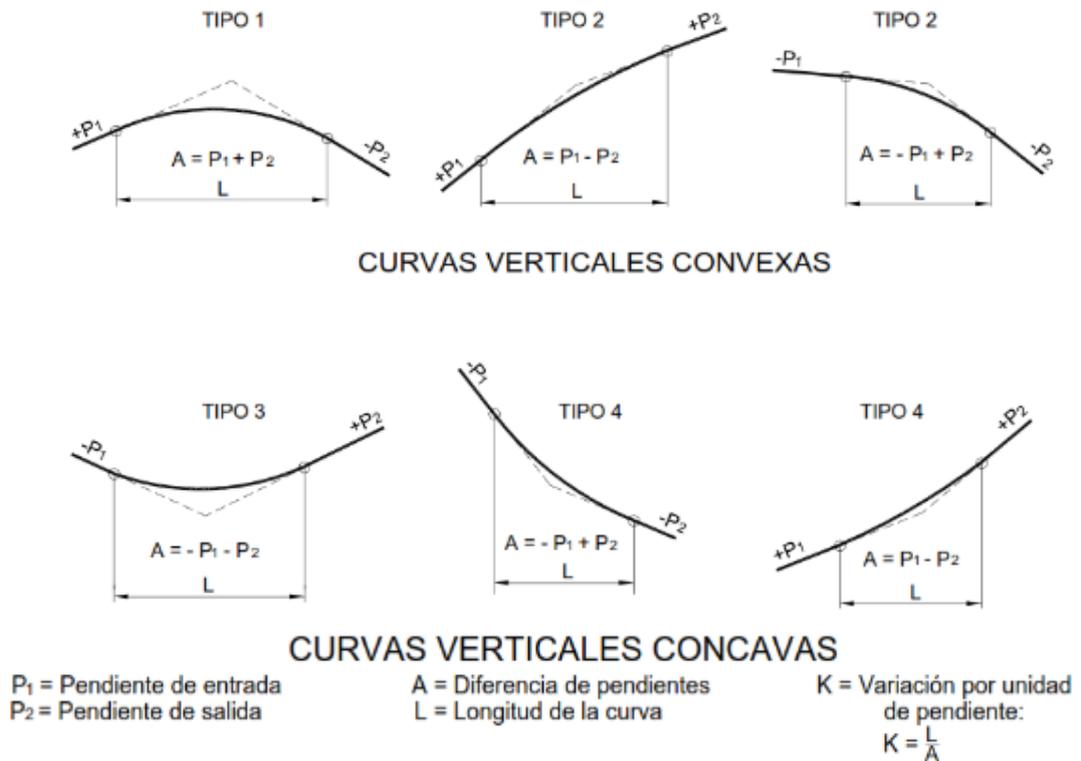


FIGURA 8 Tipos de curvas verticales convexas y cóncavas

Fuente: (MTC, DG-2018)

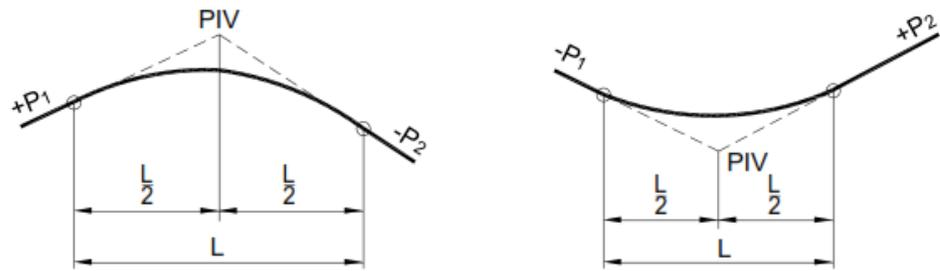


FIGURA 9: Tipos de curvas verticales simétricas

Fuente: (MTC, DG-2018)

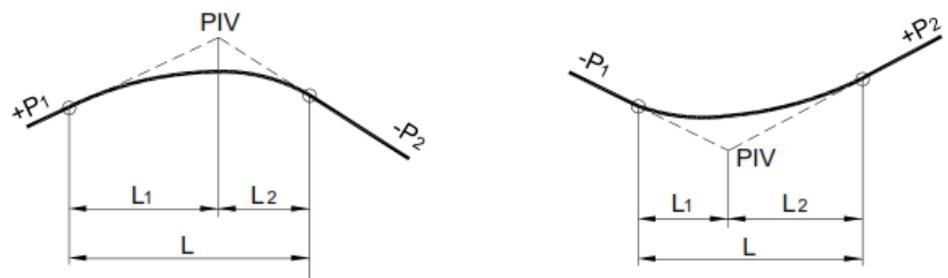


FIGURA 10: Tipos de curvas verticales asimétricas

Fuente: (MTC, DG-2018)

- L = Longitud de la curva
- L1 = Longitud rama de entrada
- L2 = Longitud rama de salida

C. Longitud de las curvas convexas

i. Para contar con la visibilidad de parada (Dp).

- Cuando $D_p < L$:

$$L = \frac{A \cdot D_p^2}{100 \cdot (\sqrt{2h_1} + \sqrt{2h_2})^2}$$

- Cuando $D_p > L$:

$$L = 2D_p - \frac{100 \cdot (\sqrt{2h_1} + \sqrt{2h_2})^2}{A}$$

Dónde, para todos los casos:

- L : Longitud de la curva vertical (m)
- Dp : Distancia de visibilidad de parada (m)

- A : Diferencia algebraica de pendientes (%)
- h1 : Altura del ojo sobre la rasante (m)
- h2 : Altura del objeto sobre la rasante (m)
- Para el caso más común con h1 = 1.07 m y h2 = 0.15 m.

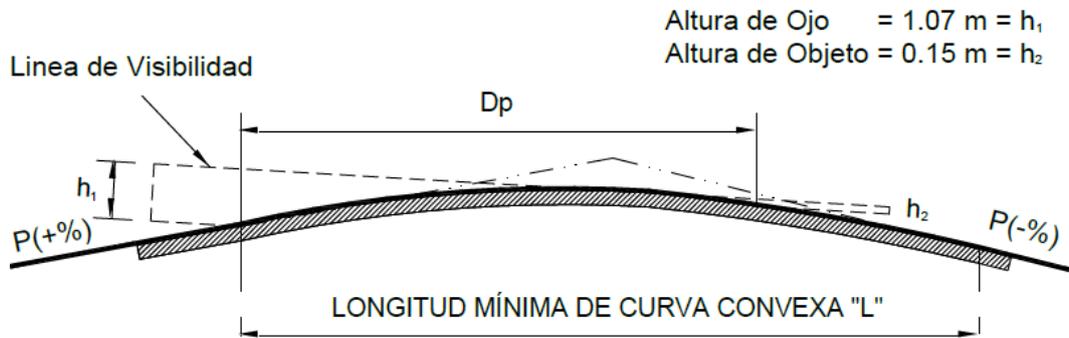


FIGURA 11: Longitud mínima de curva vertical convexa con distancias de visibilidad de parada

Fuente: (MTC, DG-2018)

L = Longitud de la curva vertical (m)	Para $D_p > L$	Para $D_p < L$
D_p = Distancia de Visibilidad de Frenado (m)	$L = 2D_p - \frac{404}{A}$	$L = \frac{AD_p^2}{404}$
V = Velocidad de Diseño (Km/h)		
A = Diferencia Algebraica de Pendientes (%)		

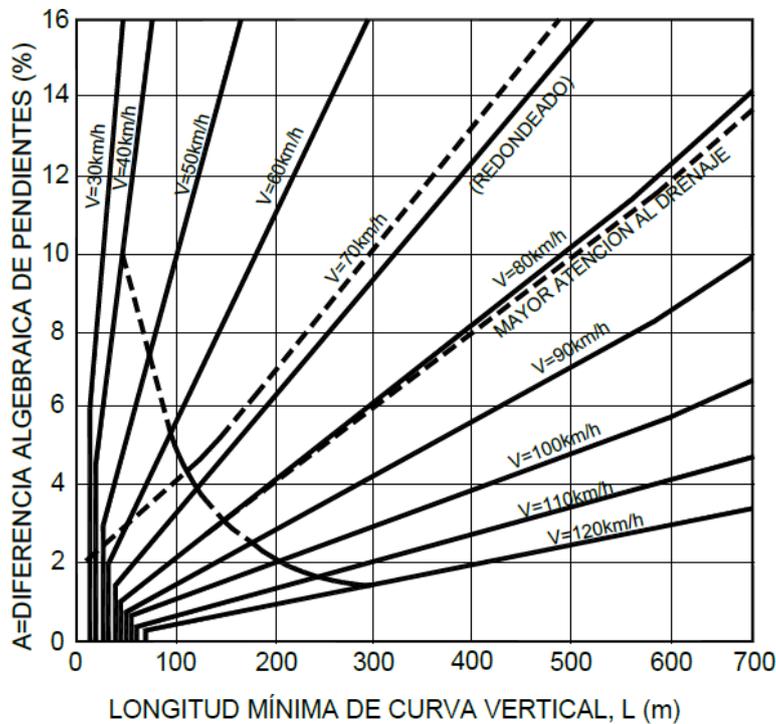


FIGURA 12: Longitud mínima de curva vertical convexa con distancias de visibilidad de parada

Fuente: (MTC, DG-2018)

ii. Para contar con la visibilidad de adelantamiento o paso (Da).

- Cuando $D_a < L$:

$$L = \frac{A \cdot D_a^2}{946}$$

- Cuando $D_a > L$:

$$L = 2D_a - \frac{946}{A}$$

Dónde:

- ✓ D_a : Distancia de visibilidad de adelantamiento o Paso (m)

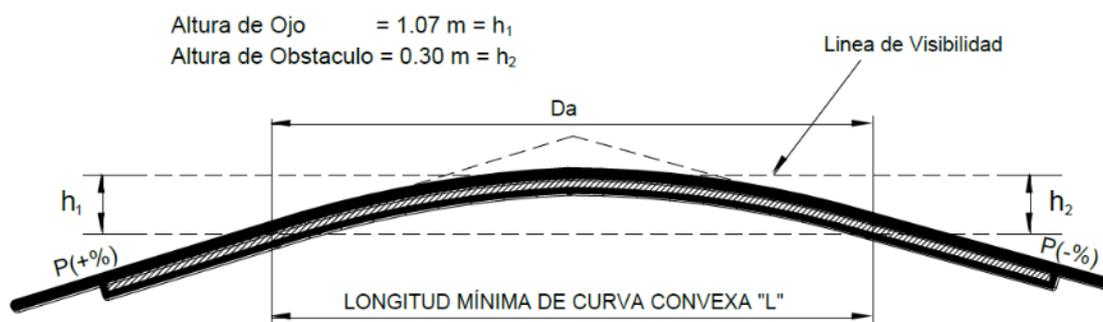


FIGURA 13: Longitud mínima de curvas verticales convexas con distancias de visibilidad de paso

Fuente: (MTC, DG-2018)

L = Longitud de la curva vertical (m)

D = Distancia de Visibilidad de Paso (m)

V = Velocidad de Diseño (Km/h)

A = Diferencia Algebraica de Pendientes (%)

Para $D_a > L$

$$L = 2D_a - \frac{946}{A}$$

Para $D_a < L$

$$L = \frac{AD_a^2}{946}$$

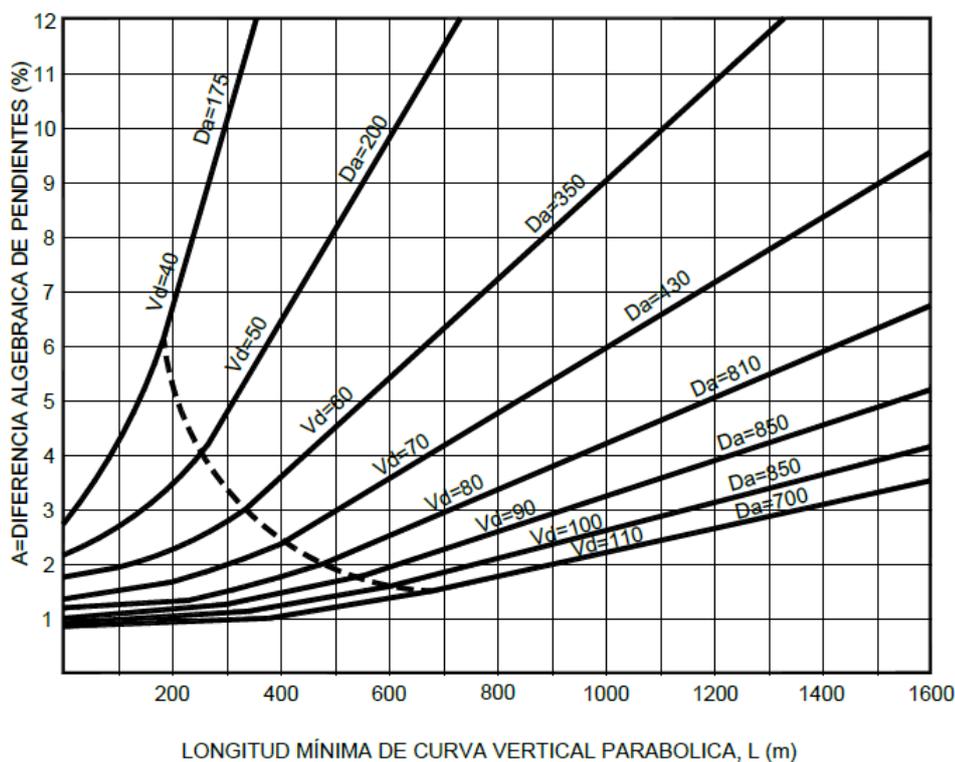


FIGURA 14: Longitud mínima de curvas verticales convexas con distancias de visibilidad de paso

Fuente: (MTC, DG-2018)

D. Longitud de las curvas cóncavas

- Cuando $Da < L$:

$$L = \frac{A \cdot D^2}{120 + 3.5D}$$

- Cuando $Da > L$:

$$L = 2D - \frac{120 + 3.5D}{A}$$

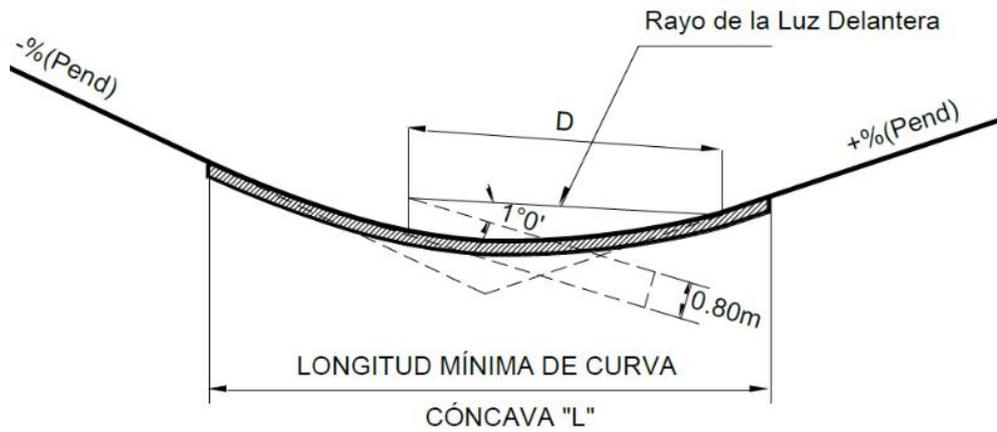


FIGURA 15: Longitudes mínimas de curvas verticales cóncavas
 Fuente: (MTC, DG-2018)

L = Longitud de la curva vertical (m)
 D = Distancia desde los Faros a la rasante (m)
 V = Velocidad de Diseño (Km/h)
 A = Diferencia Algebraica de Pendientes (%)

$D = D_p$

$D_p > L$

$$L = 2D_p - \left(\frac{120 + 3.50 D_p}{A} \right)$$

$D_p < L$

$$L = \frac{A D_p^2}{120 + 3.5 D_p}$$

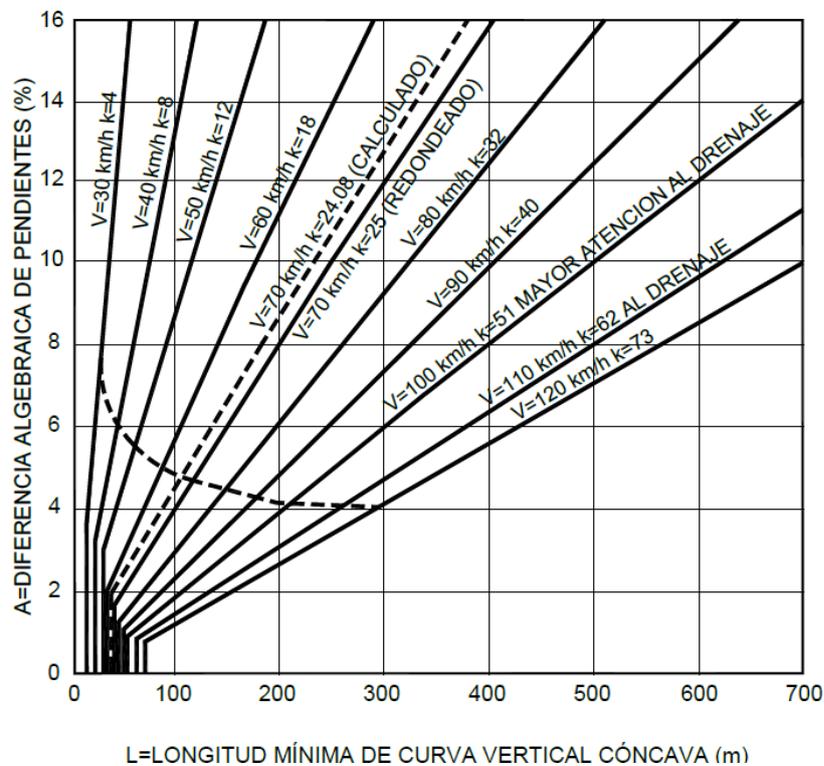


FIGURA 16: Longitudes mínimas de curvas verticales cóncavas
 Fuente: (MTC, DG-2018)

E. Distancia de visibilidad

i. Distancia de visibilidad de parada

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

TABLA 16: Distancia De Visibilidad De Parada (Dp)

VD	PENDIENTE (%)																				
	-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA (Dp)																				
30 KPH	33	33	33	32	32	32	31	31	31	30	30	30	30	29	29	29	29	29	29	28	28
40 KPH	46	45	44	44	43	42	42	41	41	40	40	39	39	39	38	38	38	37	37	37	36
50 KPH	65	64	62	61	60	59	58	57	56	56	55	54	53	53	52	51	51	50	50	49	49
60 KPH	90	88	86	84	82	81	90	78	76	75	74	73	72	71	70	69	68	67	66	66	65
70 KPH	119	116	113	110	108	105	103	101	99	97	96	94	92	91	90	88	87	86	85	84	83
80 KPH	152	147	143	140	136	133	130	127	124	122	120	117	115	113	112	110	108	107	105	104	102
90 KPH	189	183	178	173	168	141	141	156	153	150	147	144	141	139	136	134	132	130	128	126	124
100 KPH	229	221	204	207	201	196	191	186	181	177	173	169	166	162	159	156	154	151	148	146	144
110 KPH	282	272	262	253	246	238	231	225	219	214	209	204	199	195	191	187	184	180	177	174	171
120 KPH	343	330	318	306	296	287	278	270	262	255	249	243	237	232	227	222	217	213	209	205	202
130 KPH	413	396	380	366	353	341	330	320	311	302	294	286	279	272	266	260	255	249	244	240	235
140 KPH	495	473	453	435	419	403	490	377	365	354	344	335	326	318	310	303	296	290	284	278	272
150 KPH	584	557	532	509	489	471	454	438	424	411	398	387	376	366	357	348	340	333	325	318	312

ii. Distancia de visibilidad de paso o adelantamiento

Es la mínima que debe estar disponible, a fin de facultar al conductor del vehículo a sobrepasar a otro que viaja a una velocidad menor, con comodidad y seguridad, sin causar alteración en la velocidad de un tercer vehículo que viaja en sentido contrario y que se hace visible cuando se ha iniciado la maniobra de sobrepaso.

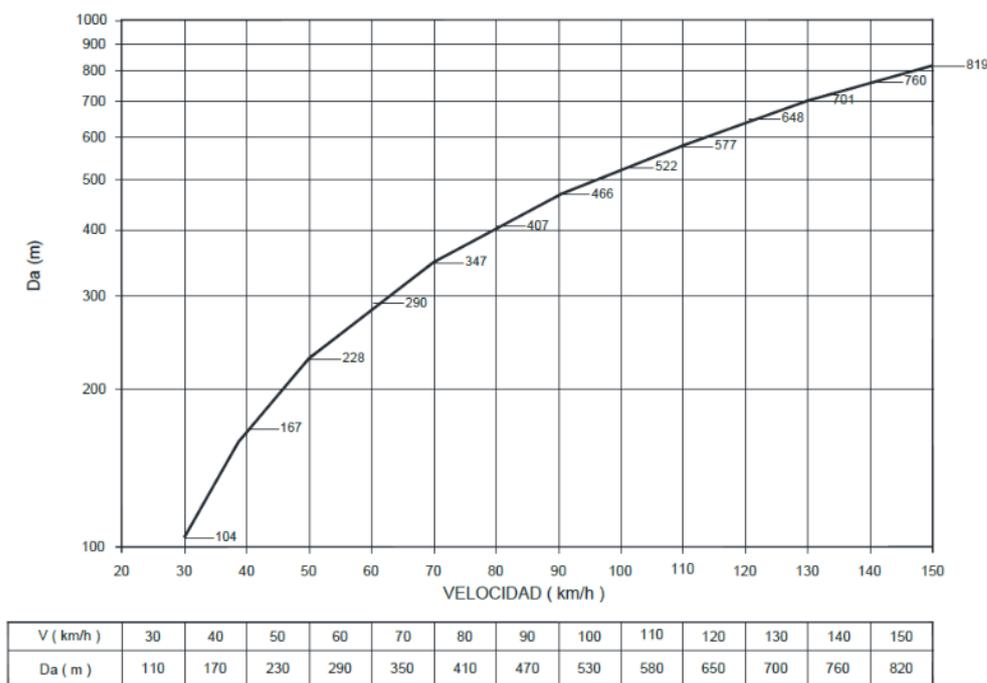


FIGURA 17: Distancia de visibilidad de paso (Da).

Fuente: (MTC, DG-2018)

2.2.4.3. DISEÑO GEOMÉTRICO EN SECCIÓN TRANSVERSAL

A. Generalidades

(MTC, DG-2018) El diseño geométrico de la sección transversal, consiste en la descripción de los elementos de la carretera en un plano de corte vertical normal al alineamiento horizontal, el cual permite definir la disposición y dimensiones de dichos elementos, en el punto correspondiente a cada sección y su relación con el terreno natural.

El elemento más importante de la sección transversal es la zona destinada a la superficie de rodadura o calzada, cuyas dimensiones deben permitir el nivel de servicio previsto en el proyecto, sin perjuicio de la importancia de los otros elementos de la sección transversal, tales como bermas, aceras, cunetas, taludes y elementos complementarios.

B. Elementos de la sección transversal

Los elementos que conforman la sección transversal de la carretera son: carriles, calzada o superficie de rodadura, bermas, cunetas, taludes y elementos complementarios (barreras de seguridad, ductos y cámaras para fibra óptica, guardavías y otros), que se encuentran dentro del Derecho de Vía del proyecto.

C. Calzada o superficie de rodadura

Parte de la carretera destinada a la circulación de vehículos compuesta por uno o más carriles, no incluye la berma. La calzada se divide en carriles, los que están destinados a la circulación de una fila de vehículos en un mismo sentido de tránsito.

Se tendrán en cuenta las siguientes consideraciones:

- **En autopistas:** El número carriles por calzada será de dos.
- **En carreteras:** Serán dos carriles por calzada.

TABLA 17: Anchos mínimos de calzada en tangente

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		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			
	50 km/h										7,20	7,20			6,60	6,60	6,60	6,60	6,00			
	60 km/h					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	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: (MTC, DG-2018)

D. Bermas

(MTC, DG-2018) Franja longitudinal, paralela y adyacente a la calzada o superficie de rodadura de la carretera, que sirve

de confinamiento de la capa de rodadura y se utiliza como zona de seguridad para estacionamiento de vehículos en caso de emergencias.

Cualquiera sea la superficie de acabado de la berma, en general debe mantener el mismo nivel e inclinación (bombeo o peralte) de la superficie de rodadura o calzada, y acorde a la evaluación técnica y económica del proyecto, está constituida por materiales similares a la capa de rodadura de la calzada.

TABLA 18: Anchos mínimos de berma.

Clasificación	Autopista								Carretera				Carretera				Carretera				
IMDA	> 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																			0,50	0,50
	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: (MTC, DG-2018)

En el caso de que la berma se pavimente, será necesario añadir lateralmente a la misma para su adecuado confinamiento, una banda de mínimo 0,5 m de ancho sin pavimentar. A esta banda se le denomina sobreancho de compactación (s.a.c.) y puede permitir la localización de señalización y defensas.

E. Bombeo

En tramos en tangente o en curvas en contraperalte, las calzadas deben tener una inclinación transversal mínima denominada bombeo, con la finalidad de evacuar las aguas superficiales. El bombeo depende del tipo de superficie de rodadura y de los niveles de precipitación de la zona.

TABLA 19: Valores del 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: (MTC, DG-2018)

F. Peralte

(Cárdenas, 2013) La única fuerza que se opone al deslizamiento lateral del vehículo es la fuerza de fricción desarrollada entre las llantas y el pavimento. Esta fuerza por sí sola, generalmente, no es suficiente para impedir el deslizamiento transversal; por lo tanto, será necesario buscarle un complemento inclinando transversalmente la calzada. Dicha inclinación se denomina peralte.

(MTC, DG-2018) Inclinación transversal de la carretera en los tramos de curva, destinada a contrarrestar la fuerza centrífuga del vehículo.

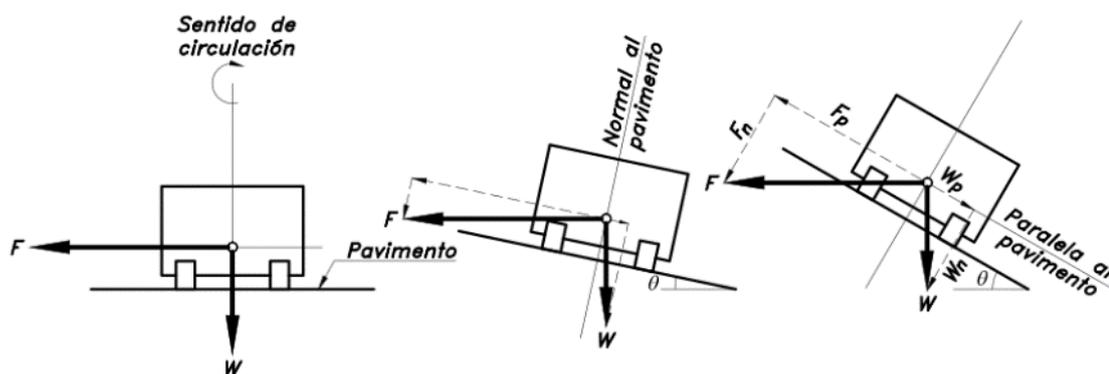


FIGURA 18: Efecto de la inclinación transversal de la calzada.

Fuente: (Cárdenas, 2013)

- **Caso $W_p=0$:** La calzada es horizontal, esto es, no hay inclinación transversal y F_p alcanza su valor máximo F .
- **Caso $W_p=F_p$:** En este caso, la fuerza resultante $F+W$ es perpendicular a la superficie del pavimento. Por lo tanto,

la fuerza centrífuga F no es sentida en el vehículo. La velocidad a la cual se produce este efecto se le llama velocidad de equilibrio.

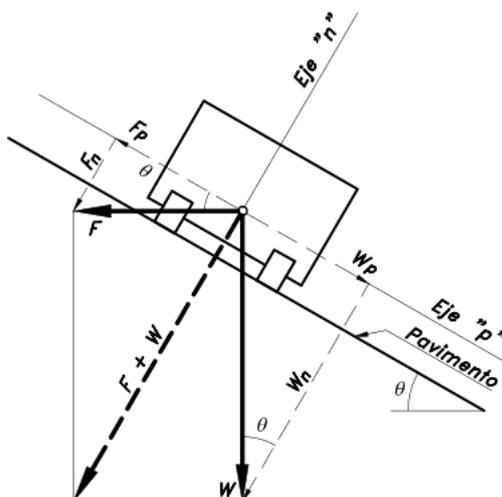


FIGURA 19: Peralte caso $W_p=F_p$

Fuente: (Cárdenas, 2013)

- **Caso $W_p < F_p$:** En este caso, la fuerza resultante $F+W$ actúa en el sentido de la fuerza centrífuga F .

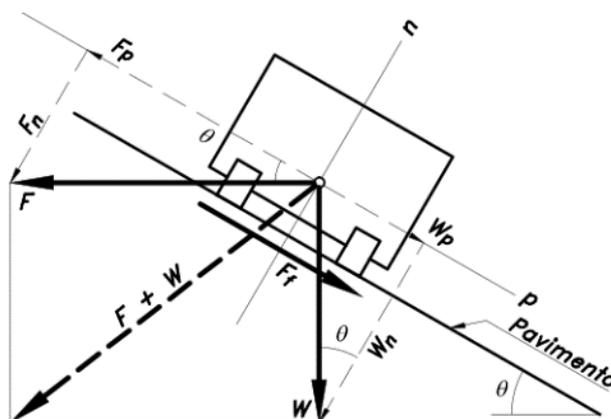


FIGURA 20: Peralte caso $W_p < F_p$

Fuente: (Cárdenas, 2013)

- **Caso $W_p > F_p$:** En este caso, la fuerza resultante $F+W$ actúa en el sentido contrario de la fuerza centrífuga F . Por lo tanto, el vehículo

tiende a deslizarse hacia el interior de la curva. Volcamiento de este caso es típico en vehículos pesados.

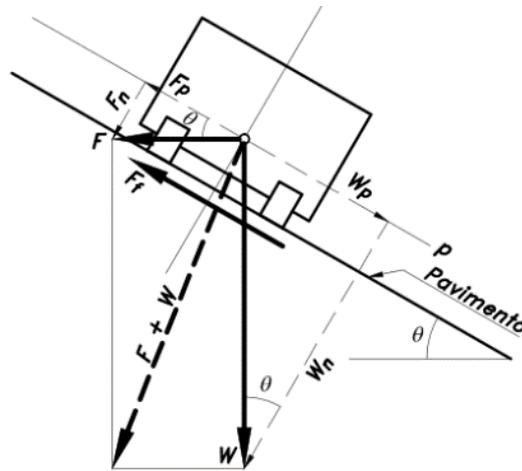


FIGURA 21: Peralte caso $W_p > F_p$.

Fuente: (Cárdenas, 2013)

G. Relación del peralte, radio y velocidad específica de diseño

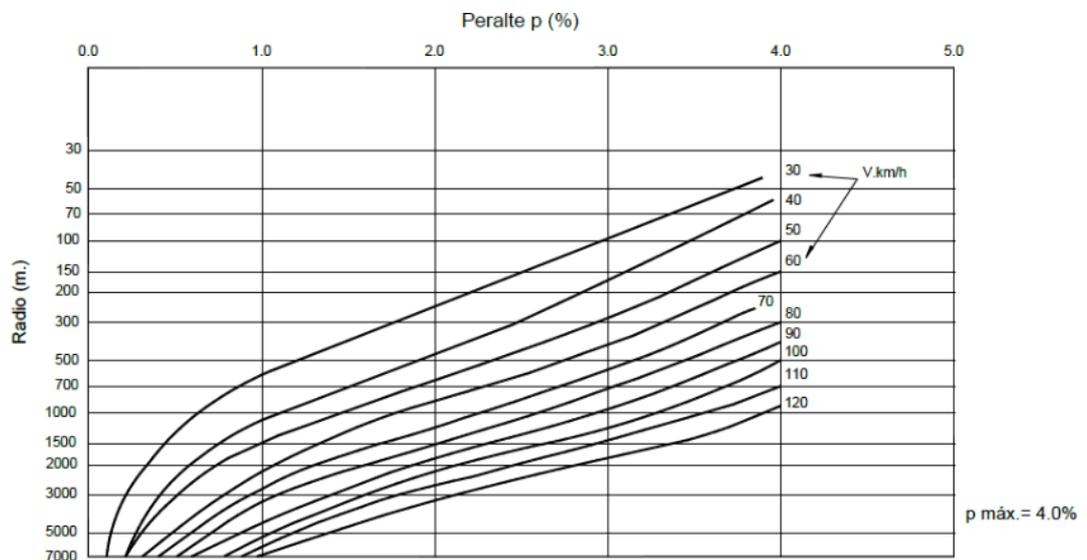


FIGURA 22: Peralte en cruce de áreas urbanas

Fuente: (MTC, DG-2018)

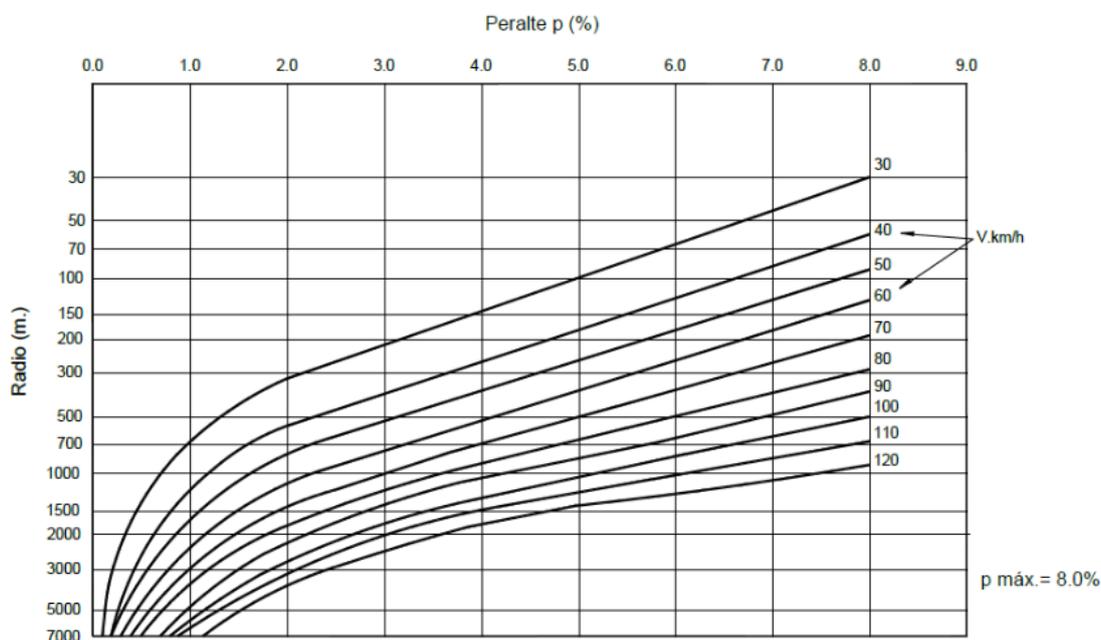


FIGURA 23: Peralte en zona rural (Tipo 1, 2 ó 3)

Fuente: (MTC, DG-2018)

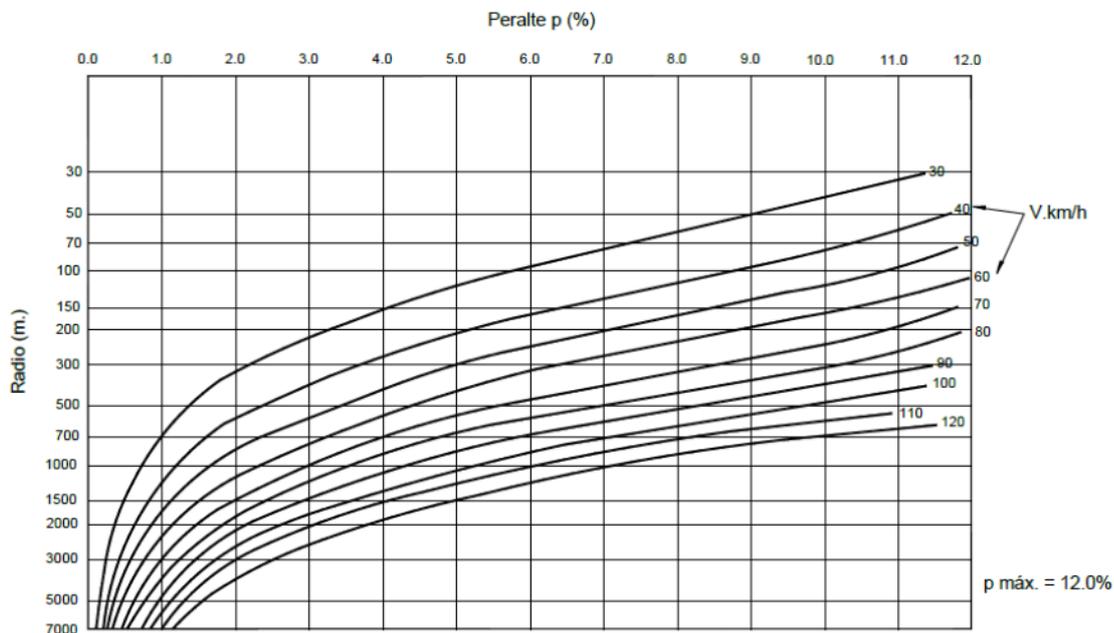


FIGURA 24: Peralte en zona rural (Tipo 3 ó 4)

Fuente: (MTC, DG-2018)

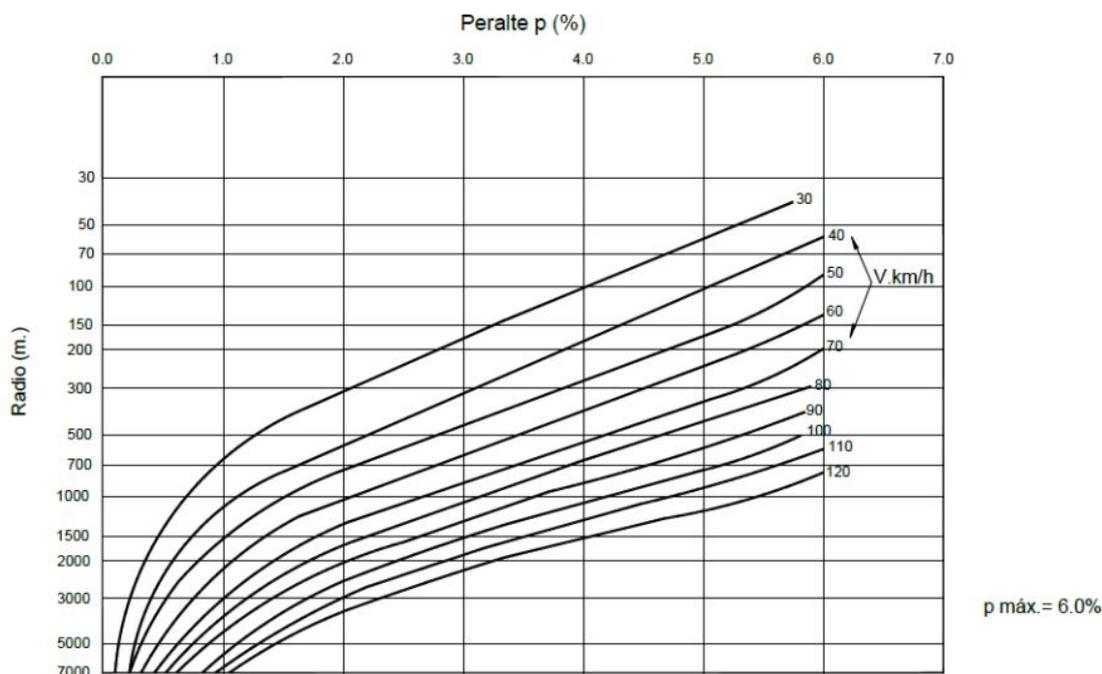


FIGURA 25: Peralte en zonas con peligro de hielo

Fuente: (MTC, DG-2018)

H. Valores del peralte (máximos y mínimos)

TABLA 20: Valores de radio en las cuales no es necesario peralte

Velocidad de diseño km/h	Radios de curvatura
$V \geq 100$	$5.000 \leq R < 7.500$
$40 \leq V < 100$	$2.500 \leq R < 3.500$

Fuente: (MTC, DG-2018)

TABLA 21: Valores de peralte máximo

PUEBLO O CIUDAD	PERALTE MAXIMO (p)	
	Absoluto	Normal
Atravesamiento de zonas urbanas	6.0 %	4.0 %
Zona Rural (T. Plano, Ondulado o Accidentado)	8.0 %	60.0 %
Zona Rural (T. Accidentado o Escarpado)	12.0 %	8.0 %
Zona Rural con Peligro de Hielo	8.0 %	6.0 %

Fuente: (MTC, DG-2018)

Para calcular el peralte bajo el criterio de seguridad ante el deslizamiento, se utilizará la siguiente fórmula:

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

Dónde:

- **p** : Peralte máximo asociado a V
- **V** : Velocidad de diseño (km/h)
- **R** : Radio mínimo absoluto (m)
- **F** : Coeficiente de fricción lateral máximo asociado a V.

I. Transición del bombeo al peralte

Cuando no exista Curva de Transición, se desarrolla una parte en la tangente y otra en la curva. La Tabla inferior indica las proporciones del peralte a desarrollar en tangente.

TABLA 22: Proporción del peralte (p) a desarrollar en tangente

$p < 4,5\%$	$4,5\% < p < 7\%$	$p > 7\%$
0,5 p	0,7 p	0,8 p

Fuente: (MTC, DG-2018)

J. Taludes

El talud es la inclinación de diseño dada al terreno lateral de la carretera, tanto en zonas de corte como en terraplenes. Dicha inclinación es la tangente del ángulo formado por el plano de la superficie del terreno y la línea teórica horizontal.

Los taludes para las secciones en corte, variarán de acuerdo a las características geomecánicas del terreno; su altura, inclinación y otros detalles de diseño o tratamiento, se determinarán en función al estudio de mecánica de suelos o geológicos correspondientes, condiciones de drenaje superficial y subterráneo, según sea el caso, con la finalidad de determinar las condiciones de su estabilidad.

TABLA 23: Valores referenciales para taludes en corte (relación H:V)

Clasificación de materiales de corte		Roca fija	Roca suelta	Material		
				Grava	Limo arcilloso o arcilla	Arenas
Altura de corte	<5 m	1:10	1:6-1:4	1:1 -1:3	1:1	2:1
	5-10 m	1:10	1:4-1:2	1:1	1:1	*
	>10 m	1:8	1:2	*	*	*

Fuente: (MTC, DG-2018)

TABLA 24: Taludes referenciales en zonas de relleno (terraplenes)

Materiales	Talud (V:H)		
	Altura (m)		
	<5	5-10	>10
Gravas, limo arenoso y arcilla	1:1,5	1:1,75	1:2
Arena	1:2	1:2,25	1:2,5
Enrocado	1:1	1:1,25	1:1,5

Fuente: (MTC, DG-2018)

K. Cunetas

Son canales construidos lateralmente a lo largo de la carretera, con el propósito de conducir los escurrimientos superficiales y subsuperficiales, procedentes de la plataforma vial, taludes y áreas adyacentes, a fin de proteger la estructura del pavimento.

La sección transversal puede ser triangular, trapezoidal, rectangular o de otra geometría que se adapte mejor a la sección transversal de la vía y que prevea la seguridad vial; revestidas o sin revestir; abiertas o cerradas, de acuerdo a los requerimientos del proyecto; en zonas urbanas o dónde exista limitaciones de espacio, las cunetas cerradas pueden ser diseñadas formando parte de la berma.

Las pendientes longitudinales mínimas absolutas serán 0,2%, para cunetas revestidas y 0,5% para cunetas sin revestir.

2.2.5. CONSISTENCIA DEL DISEÑO GEOMÉTRICO

(MTC, DG-2018) El diseño de una carretera, pese a ser abordado de forma separada en planta, perfil y en sección transversal, tiene como producto final una franja tridimensional, en la cual la totalidad de sus elementos generarán un conjunto único de interacción con los usuarios, y determinarán las condiciones reales de operación.

Durante el proceso de diseño, es necesario anticipar la interacción de los elementos de la carretera, con las condiciones probables de operación vehicular, así como con el entorno que ésta afectará, con el fin de evitar sobrecostos derivados de correcciones, durante el proceso de construcción o antes de cumplirse su período de servicio.

La seguridad vial que debe garantizarse en el diseño de una carretera, es un requisito de creciente importancia para la sociedad en su conjunto y para los entes viales en particular. En tal sentido, los caminos deben satisfacer las condiciones de circulación con seguridad y con el mínimo impacto ambiental posible.

La consistencia del diseño geométrico de una carretera, se entiende como la relación de homogeneidad de sus características geométricas y las condiciones de seguridad que espera encontrar el conductor de un vehículo que circula por ella.

Los avances tecnológicos actuales expresados en programas de cómputo, que facilitan la simulación tridimensional del proyecto, son herramientas que, pese a su gran aporte, no permiten la determinación de ciertos detalles del diseño vial, por lo que siempre será necesario estudiar las representaciones en planta, perfil y sección transversal del diseño.

La aplicación de las normas contenidas, debe dar como resultado un diseño que cumpla con las siguientes condiciones:

- Que el conductor pueda distinguir la superficie de rodadura, así como eventuales obstáculos, a una distancia suficiente que le permita reaccionar adecuadamente.

- Que el conductor pueda apreciar de manera oportuna, puntos particulares tales como intersecciones, confluencias, bifurcaciones, puentes, túneles, etc.
- Tener una percepción continua de la evolución del trazado, evitando confusiones generadas por interrupciones en la geometría, que podrían llevar a respuestas erróneas a los conductores.

2.2.5.1. ENFOQUES DEL ANÁLISIS DE CONSISTENCIA.

(Tomas & Saez, 2001) Entorno a la búsqueda de criterios cuantitativos que permitan analizar la consistencia en el diseño geométrico, se han estructurado dos tendencias. Ambas parten de un principio común, que es lograr una relación armónica entre el conjunto conductor/vehículo, la vía y el entorno inmediato a ella.

A. Tendencia de enfoque de la velocidad

(Tomas & Saez, 2001) definida aquí como “Enfoque de la Velocidad”, asume como hipótesis que el conductor y el vehículo constituyen una unidad y que por lo tanto no existen distorsiones en el proceso de percepción - decisión – acción que se lleva a cabo en forma continua durante el proceso de conducción. El considerar dicho conjunto como una unidad, evita el problema que se suscita al considerar los 30 grados de libertad del movimiento de un vehículo (Lamm et al, 1999).

B. Tendencia de enfoque de las expectativas

El “Enfoque de las Expectativas”, presupone que es probable que existan distorsiones en el proceso percepción - decisión – acción, de modo tal que la maniobra observada del vehículo no corresponde exactamente a la maniobra “correcta”, dadas las condiciones de trazado y tránsito. El objetivo fundamental de este enfoque, es reforzar las expectativas del conductor de modo de minimizar la posibilidad de error en el proceso de conducción. O bien, mejorar la consistencia del diseño.

- El uso de la velocidad de diseño para definir trazados no asegura estándares consistentes.
- El uso de la velocidad de diseño no necesariamente asegura compatibilidad entre elementos de diseño
- Velocidad de Circulación y Velocidad de Diseño no son necesariamente sinónimas.

En la figura inferior se esquematizan los diversos enfoques del análisis de consistencia y los principales rasgos que los distinguen.

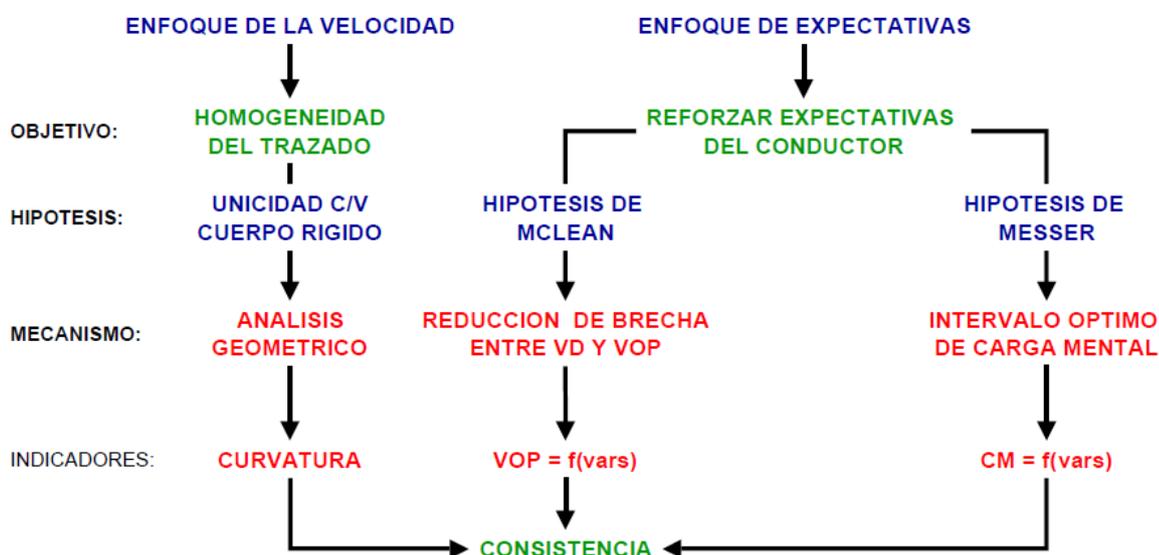


FIGURA 26: Enfoques de Análisis de Consistencia

Fuente: (Tomas & Saez, 2001)

2.2.5.2. VARIACIÓN ENTRE LA VELOCIDAD DE DISEÑO Y OPERACIÓN

(Felipe, 2014) menciona que, en el proceso de diseño geométrico de la normativa peruana, en ningún momento se incluye al conductor, por lo tanto, es obvio que la velocidad de diseño no coincida con la velocidad de operación, el indicarle al conductor por medio de señales verticales y horizontales la velocidad seleccionada por el proyectista no tiene ningún efecto, considerando que nadie la respeta.

Cuando se tienen modelos calibrados para predecir la velocidad operación, generalmente, se utiliza el perfil de velocidad como herramienta para detectar las incoherencias entre la velocidad de diseño y la velocidad de operación a lo largo del alineamiento de un tramo carretero, el concepto se presenta más adelante.

2.2.5.3. IMPORTANCIA DE LA VELOCIDAD DE OPERACIÓN DEL PERCENTIL 85.

La velocidad de operación como lo describe el Green Book de la (AASHTO, 2011) tiene una gran influencia en la elección de la velocidad de diseño al punto de decir que debe ser coherente a ella, en otras palabras, la elección de la velocidad de diseño depende de la velocidad de operación del percentil 85.

La velocidad de operación es la velocidad a la que se observan los conductores que operan sus vehículos en condiciones de flujo libre.

(Felipe, 2014) menciona como que la velocidad del percentil 85 se basa en la hipótesis de que la gran mayoría de los conductores son razonables y prudentes al manejar y que no quieren tener un accidente, además que desean llegar a su destino en el menor tiempo posible. La estadística ha demostrado que, al realizar una muestra aleatoria del tránsito en un punto, se producirá una distribución de probabilidad normal (distribución de Gauss).

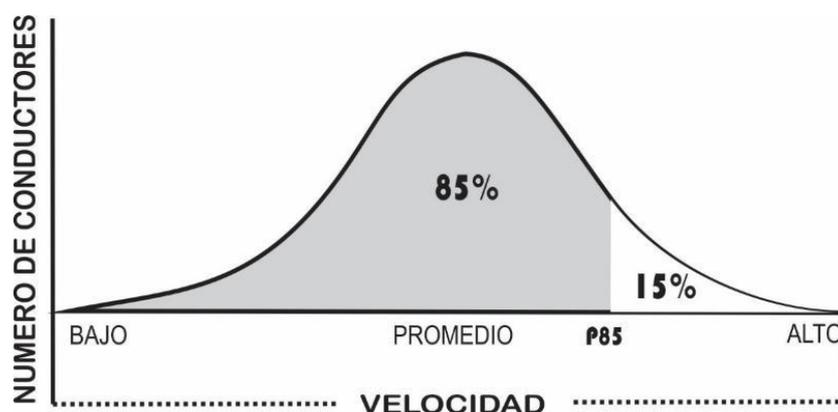


FIGURA 27: Velocidad del Percentil 85 para una Distribución Formal

Fuente: (Felipe, 2014)

2.2.6. ENFOQUE DE LAMM (1999)

(Gomes & Quispe, 2017) indica que el enfoque Lamm (1986, 1987, 1991 y 1999), está en el estudio del comportamiento de dos elementos geométricos: Curvas aisladas simples y curvas compuestas. Postuló que existía una correlación positiva entre la tasa de cambio de curvatura y la ocurrencia de accidentes. Sobre esa hipótesis, determinó que los conductores seleccionaban una velocidad de operación, en función de la percepción de curvatura, la cual no necesariamente correspondía a la de diseño.

Asimismo, planteó que, bajo la perspectiva de la estabilidad dinámica, la diferencia entre la fricción lateral provista por el diseño y la requerida, también era una fuente de inconsistencia. Esto se debe a que, si el conductor excede la velocidad de diseño, esto se traduce en una mayor demanda de fricción, la cual puede superar la fricción de diseño hasta llegar al deslizamiento en la curva.

2.2.6.1. CRITERIOS PARA LA EVALUACIÓN DE CONSISTENCIA DE DISEÑO PROPUESTOS POR LAMM.

- **CRITERIO I:** Consistencia en elementos simples, se basa en la diferencia de la velocidad de operación del percentil 85 y la velocidad de diseño para curvas y tangentes.
- **CRITERIO II:** Consistencia entre elementos sucesivos, se determina por la diferencia de velocidades del percentil 85 entre elementos continuos.

(Felipe, 2014) indica que el criterio de Lamm está basado en tres umbrales para cada uno de sus dos criterios para calificar la seguridad del diseño geométrico de un camino, correlacionó el número de accidentes con la geometría de los caminos.

- **CALIFICACIÓN BUENO:** significa que no necesita cambios y que está acorde con las expectativas del conductor, en nuestro caso para hacerla más visual se le asignó el color verde para identificarlo.

- **CALIFICACIÓN TOLERABLE (REGULAR):** significa que el sitio necesita cambios o está, relativamente, bien, depende a que margen se acerque, si se acerca a la calificación bueno se acepta, a diferencia, si se acerca a la calificación pobre éste necesita cambios, este umbral depende del grado de inconsistencia que el diseñador está dispuesto a aceptar, para identificarlo en la presente tesis se le asignó el color anaranjado.
- **CALIFICACIÓN POBRE (MALO):** significa que dicho sitio atenta contra los conductores y es necesario rediseñarlo, se le asignó el color rojo para identificarlo.

TABLA 25: Criterio de Lamm I y II

DISEÑO	COLOR	CS I (Km/h)	CS II (Km/h)
BUENO		$|V_{85_n} - V_d| \leq 10$	$|V_{85_n} - V_{85_{n+1}}| \leq 10$
REGULAR		$10 < |V_{85_n} - V_d| \leq 20$	$10 < |V_{85_n} - V_{85_{n+1}}| \leq 20$
MALO		$|V_{85_n} - V_d| > 20$	$|V_{85_n} - V_{85_{n+1}}| > 20$

Fuente: (Felipe, 2014)

Dónde:

- CSI: Criterio de evaluación I.
- CSII: Criterio de evaluación II.
- V85n: Velocidad del percentil 85 del sitio (km/h).
- V85n+1: Velocidad del percentil 85 del sitio que le sucede (km/h).
- Vd.: Velocidad de diseño (km/h).

2.2.7. SEGURIDAD VIAL

(Laurna, 2009) define que la seguridad vial no es más que la reducción del riesgo de accidentes, fallecidos y lesiones en la carretera, lograda a través de enfoques multidisciplinarios que abarcan ingeniería vial y gestión de tráfico, educación y formación de los usuarios de la carretera y diseño de los vehículos.

CAPITULO III

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Según el enfoque de la investigación es cuantitativa porque se busca comprobar la hipótesis a base de recolección de datos de las mediciones numéricas realizadas, por el propósito o finalidad perseguida es aplicada porque busca la aplicación o utilización de los conocimientos que se adquieren.

3.1.2. NIVEL DE INVESTIGACIÓN

De acuerdo con el nivel de investigación es descriptivo y explicativo porque tuvo como fin evaluar las características geométricas de la carretera Puno-Juliaca y a partir de ello su consistencia de diseño, considerando que en la región de Puno no se tienen investigaciones en este tema.

3.1.3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

El diseño de investigación utilizado es no experimental, por lo cual se recolecto la información referido a la velocidad de operación de los vehículos que transitan sin inducir y/o manipular estas variables.

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA DE ESTUDIO

3.2.1. POBLACIÓN

- Ruta Nacional N° PE-3S (CARRETERA JULIACA - PUNO)

3.2.2. MUESTRA

3.2.2.1. Tramo

- Tramo Patallani – Alto Puno, Progresivas KM 1349+000 – KM 1353+000, se buscará tramos representativos en la vía en donde se tiene mayor incidencia de accidentes.

3.2.2.2. Medición de velocidad

(Felipe, 2014) y (Gomes & Quispe, 2017) indican que antes de iniciar las mediciones de velocidades puntuales en las curvas horizontales y tangentes fue necesario definir una muestra que satisfaga requerimientos estadísticos mínimos, por lo que se utilizó la formula inferior, donde un estudio de velocidades instantáneas requiere un tamaño de muestra adecuada para satisfacer consideraciones estadísticas. La siguiente ecuación es usada para calcular el número de velocidades a ser medidas en el ámbito del transporte, cuando no se conoce el tamaño de la población descrito por el manual normativo de tipo probabilístico.

$$N = \frac{s^2 K^2 (2 + U^2)}{2E^2}$$

Dónde:

- N = tamaño de muestra.
- S = desviación estándar.
- K = constante para nivel de confiabilidad.
- U = depende del percentil buscado (constante correspondiente a la estadística de velocidad deseada; para velocidad media, use 0,00; para el 15 u 85 percentil, use 1,04; para el 5 o 95 percentil, use 1,64.)
- E = error permitido (kph).

TABLA 26: Desviaciones Estándar de Velocidades Instantáneas para Determinar el Tamaño de la Muestra y Sentido

AREA DE TRANSITO	TIPO DE CARRETERA	DESVIACION ESTANDAR MEDIA (kph)
Rural	2 carriles	8.5
Rural	4 carriles	6.8
Intermedio	2 carriles	8.5
Intermedio	4 carriles	8.5
Urbana	2 carriles	7.7
Urbana	4 carriles	7.9
Valor redondeado		8

Fuente: (Programa de asistencia tecnica en transporte urbano para las ciudades medias Mexicanas, 1994)

TABLA 27: Constantes Correspondientes al Nivel de Confianza

CONSTANTE K	NIVEL DE CONFIANZA (%)
1.00	68.30
1.50	86.60
1.64	90.00
1.96	95.00
2.00	95.50
2.50	98.80
2.58	99.00
3.00	99.70

Fuente: (Programa de asistencia técnica en transporte urbano para las ciudades medias Mexicanas, 1994)

Los valores asumidos para la presente investigación son:

- $S = 8.5$ este valor corresponde a un valor medio observado en estudios de velocidad.
- $k = 1.96$ este valor corresponde a una probabilidad de 95% de que la velocidad estimada sea real.
- $U = 1.04$ este valor corresponde para 15 y 85 percentil.
- $E = 2.5$ km/h este valor corresponde a la precisión requerida para el valor medio de la velocidad, en este caso se tomó de la investigación realizada por (Felipe, 2014).

$$N = \frac{8.5^2 \times 1.96^2 \times (2 + 1.04^2)}{2 \times 2.5^2}$$

$$N = 68.42$$

$$N = 68$$

El resultado obtenido para el tamaño de la muestra es de 68 mediciones, se acepta ya que supera a la muestra mínima recomendada para estudios de velocidad (30 observaciones).

3.2.2.3. Recolección de datos de velocidad.

- **localización del estudio:** Se efectuó en la longitud media de cada uno de los alineamientos y curvas.
- **Sentido De Marcha:** El estudio se realizó en los dos sentidos de marcha (Dirección Puno – Juliaca y Juliaca - Puno).
- **Hora De Estudio:** Se desarrolló en los rangos horarios de 7:00 am a 12:00 M y de 2:00 pm a 5:00 pm.
- **Condiciones Climáticas:** Para el registro de datos, las condiciones climáticas fueron totalmente favorables en ausencia de lluvia. Bajo ningún motivo se realizaron mediciones bajo condiciones desfavorables.
- **Tipo De Vehículos:** Los vehículos seleccionados para el estudio son automóviles, combis, buses, camiones y Tráileres.
- **Localización Del Estudio:** Se efectuó en la longitud media de cada uno de los alineamientos y curvas.

3.2.2.4. Formato para medición de V85

Se ha elaborado una planilla o formato para el levantamiento de medidas, y se tiene lo siguiente:

TABLA 28: Formato de mediciones

PLANILLA DE MEDICION DE VELOCIDAD DE OPERACIÓN								
	CARRETERA :	Tramo Curva: C1						
	TRAMO :	Tramo Tangente: C1-C2						
	ELEMENTO :							
	TESISTA :							
	FECHA :							
N°	Vehiculos ligeros		BUSES		Camion		Traylers	
	P-J	J-P	P-J	J-P	P-J	J-P	P-J	J-P
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18								
19								
20								
21								
22								
23								
24								
25								
26								
27								
28								
29								
30								
31								
32								
33								
34								
35								
36								
37								
38								
39								
40								
41								
42								
43								
44								
45								
46								
47								
48								
49								
50								
51								
52								
53								
54								
58								
59								
60								
61								
62								
63								
64								
65								
66								
67								
68								
P85								

Los datos recolectados se encuentran en el anexo de esta investigación.

3.2.3. EQUIPO DE MEDICIÓN

i. LA PISTOLA RADÁRICA DE VELOCIDAD DE BUSHNELL II

El sistema de medición de velocidad con pistola laser, es un sistema desarrollado para medir la velocidad de vehículos que ingresan a una carretera, autopista, etc. o cualquier otro lugar donde se desea controlar que no se excedan los límites de velocidad permitidos. Ideal para medir rápidamente y con precisión la velocidad de objetivos móviles.

La pistola radárica de velocidad de Bushnell utiliza tecnología digital para ofrecer mediciones instantáneas de velocidad con una precisión de hasta +/- una milla por Hora (MPH) / +/- un kilómetro por Hora (KPH).

La Pistola radárica indicadora de velocidad de Bushnell, mide la velocidad de una pelota de béisbol a 10-110 MPH (16-177 KPH) a una distancia de 90 pies (27 metros) de la pelota, y la velocidad de un coche de carreras a una velocidad de 10-200 MPH (16-322 KPH) a una distancia de 1.500 pies (457 metros).



FIGURA 28: La Pistola Radárica De Velocidad De Bushnell Ii

Fuente: Elaboración propia

ii. Especificaciones de Pistola radar de velocidad Bushnell II

- Tecnología digital para ofrecer mediciones instantáneas de velocidad
- Pantalla LCD
- Mph o km/h
- Alta precisión: +/- un kilómetro por hora (km/h).
- Uso sencillo: solo hay que apuntar y disparar para todo tipo de deportes.
- Desde 16 km/h hasta 322 km/h.
- Mide hasta una distancia de 457 metros
- Funciona con dos pilas C alcalinas (no incluidas)

CAPITULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. UBICACIÓN DEL TRAMO DE ESTUDIO

El presente estudio se está ubicado en la parte sur de la Región de Puno. La carretera Puno - Juliaca, la investigación comprende desde el kilómetro 1349+000 al kilómetro 1353 + 000.

a) UBICACIÓN POLÍTICA

- Región : Puno
- Provincias : Puno.
- Distritos : Puno.
- Carretera : Puno - Juliaca
- Progresivas : Km 1349+000 – Km 1353+000

b) UBICACIÓN GEOGRÁFICA

La zona de estudio se ubica al sur este de la región Puno, comprendida en el sistema de coordenadas WGS 84 - UTM, zona del esferoide 19 sur.

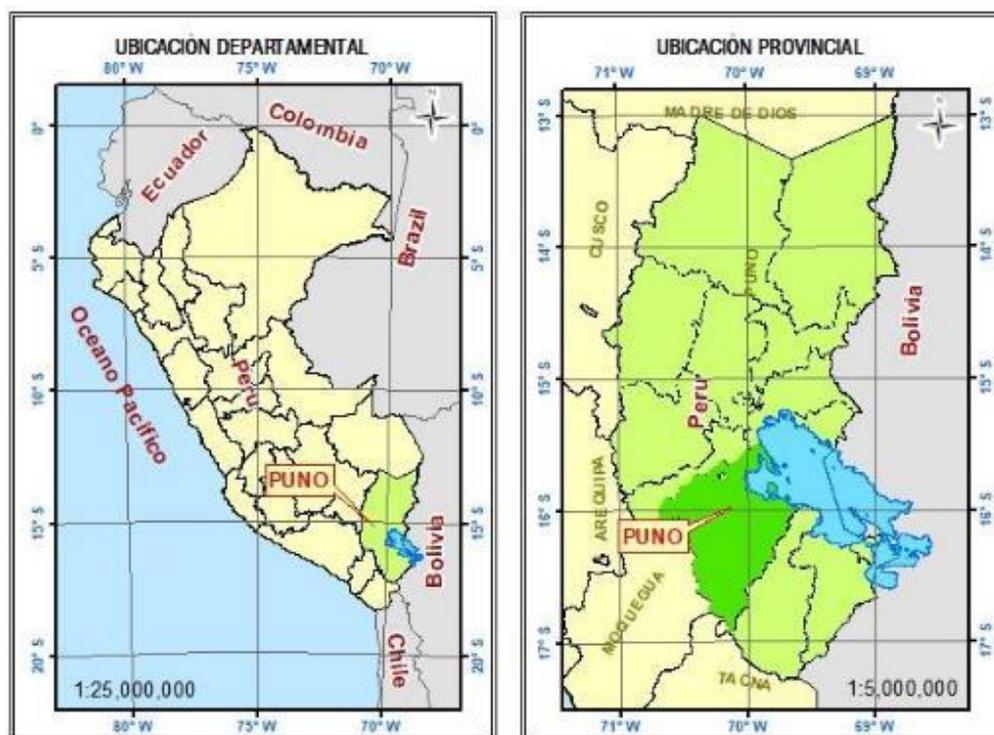


FIGURA 29: Ubicación departamental y provincial

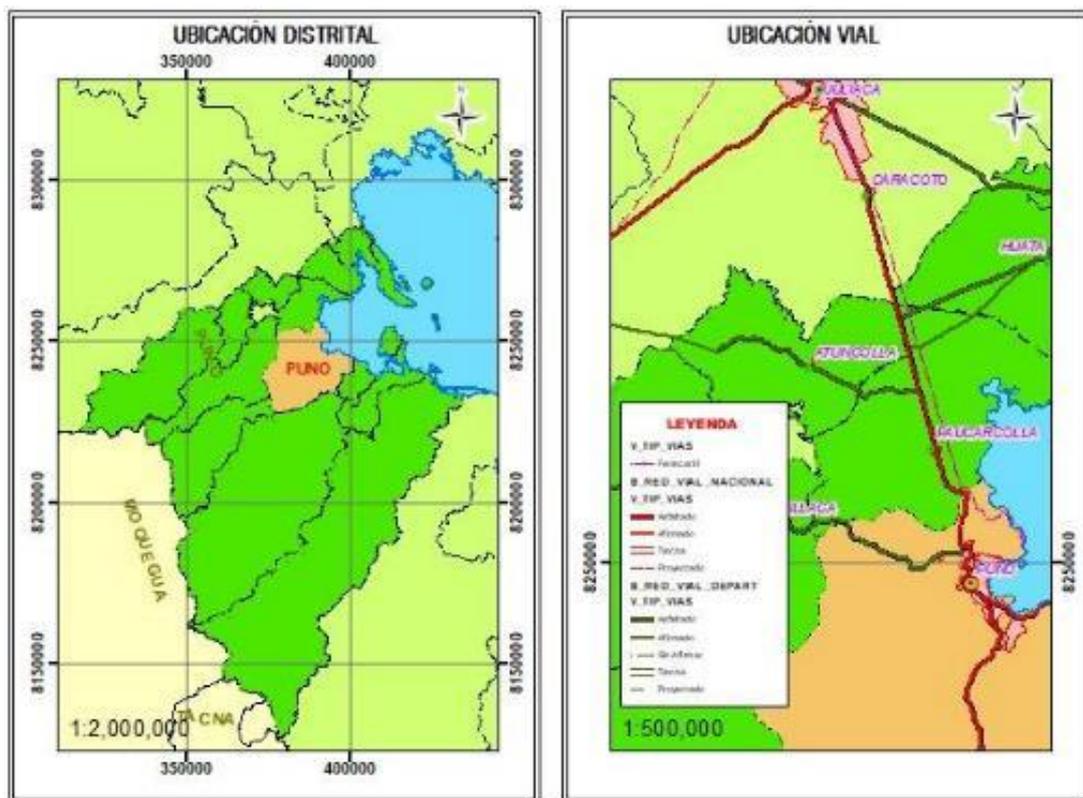


FIGURA 30: Ubicación Distrital y Vial

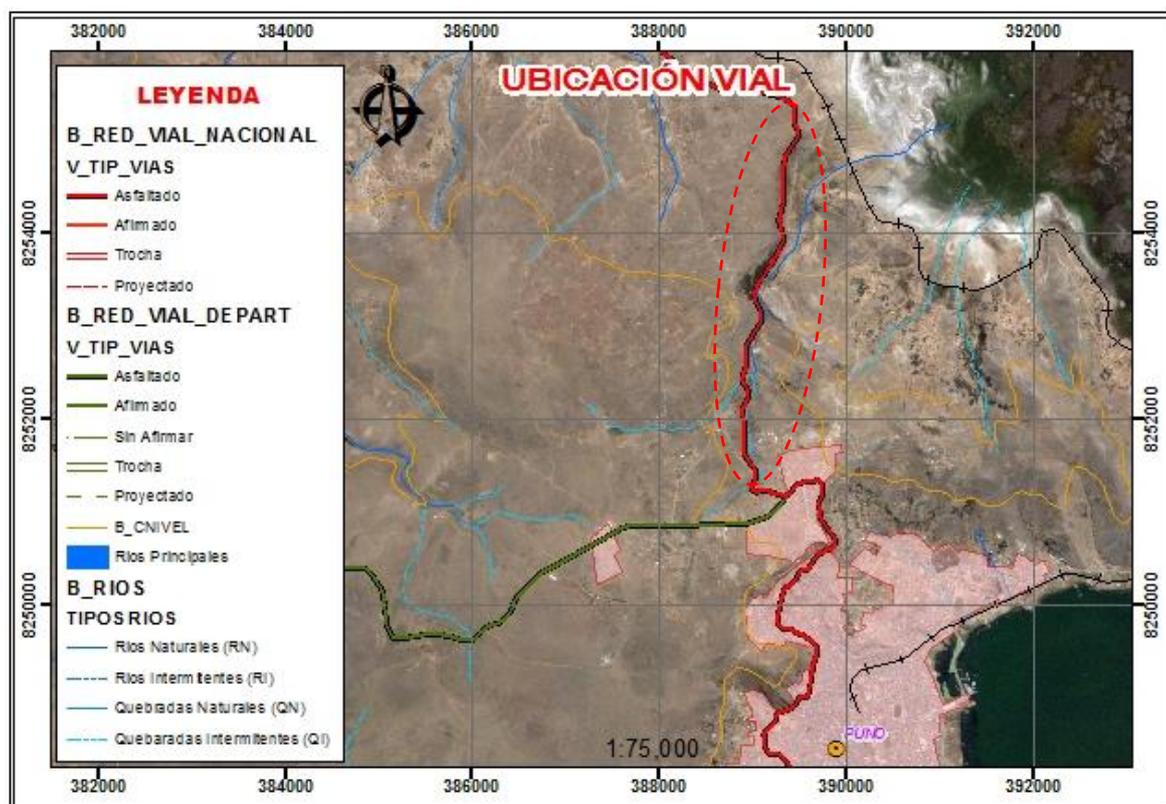


FIGURA 31: Ubicación vial del tramo

4.2. ESTUDIOS BÁSICOS

4.2.1. Topografía

Para la presente investigación se hizo un levantamiento topográfico con dron Phantom 4, para lo cual se colocó puntos de control con estación total marca Leica TC 350, tomando como punto referencial BM's del tramo.

TABLA 29: Coordenadas Puntos de control UTM WGS-84

Nº	ESTE	NORTE	ALTITUD	DESCRIPCION	P_AGISOFT
1	389406.812	8255198.093	3884.804	BM1	2
2	389395.458	8255278.032	3884.695	BM2	3
3	389431.251	8255278.206	3879.876	BM3	4
4	389424.520	8255198.550	3881.977	BM4	5
5	389464.062	8255046.321	3888.375	BM5	6
6	389465.707	8255005.559	3889.087	BM6	7
7	389392.214	8254886.151	3887.670	BM7	8
8	389371.020	8254897.384	3894.971	BM8	14
9	389357.503	8254889.330	3896.787	BM9	16
10	389296.327	8254755.250	3895.760	BM10	19
11	389244.545	8254266.671	3902.063	BM11	22
12	389283.712	8253900.006	3887.825	BM12	23
13	389434.774	8255008.414	3893.844	BM13	33
14	389320.531	8253919.795	3871.984	BM14	35
15	389313.335	8253916.936	3873.219	BM15	38
16	389281.591	8253997.989	3871.333	BM16	42
17	389291.251	8254234.919	3877.897	BM17	45
18	389303.070	8254465.353	3882.802	BM18	47
19	389310.776	8254694.916	3885.677	BM19	52
20	389003.842	8253129.661	3920.253	BM20	64
21	389130.196	8253559.949	3886.114	BM21	70
22	389108.391	8253564.820	3894.673	BM22	87
23	389022.831	8253194.950	3899.719	BM23	91
24	388857.664	8251806.107	3964.649	BM24	100
25	388916.407	8252175.143	3943.484	BM25	102
26	388888.105	8252187.848	3954.183	BM26	104
27	388875.535	8252594.718	3936.376	BM27	112
28	388906.133	8252618.598	3926.084	BM28	116
29	389054.672	8252990.081	3909.441	BM29	122
30	388911.161	8251322.805	3991.780	BM30	126
31	388889.667	8251778.537	3958.668	BM31	130
32	389027.792	8251291.157	3973.456	BM32	135
33	389008.485	8251160.469	3977.641	BM33	136

Fuente: Elaboración Propia

- Contando con los puntos de control distribuidos en todo tramo de la vía en estudio, se procede a realizar el vuelo con una altura de vuelo promedio 40 m, a una velocidad de 10m/s.



FIGURA 32: Puntos de control en la ruta de estudio.



FIGURA 33: Colocación de puntos de control en el tramo



FIGURA 34: Colocación de puntos de control



FIGURA 35: Manejo dron Phantom 4.



FIGURA 36: Vista aérea de la vía

- Las fotografías obtenidas vienen georreferenciadas referencialmente en este caso en coordenadas geográficas.



FIGURA 37: Propiedades de las ortofotos (GPS).



FIGURA 38: Propiedades de las ortofotos (Píxeles).

4.2.1.1. PROCESAMIENTO DE ORTOFOTOS

El procesamiento de ortofotos se realizó con el software **Agisoft PhotoScan Professional**, siguiendo los siguientes pasos:

- Añadido las 852 fotografías se procedió a orientar las fotografías.

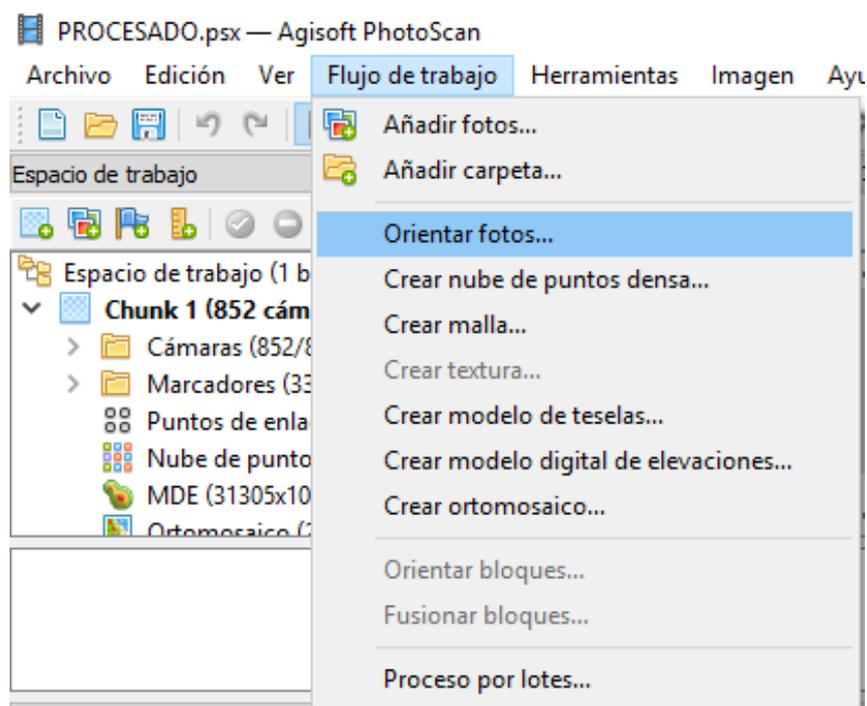


FIGURA 39: Nube de puntos densa en tramo de accidentes.

- Se procede a crear la nube de puntos densa, con alta precisión, obteniéndose 325,053,582 puntos.



FIGURA 40: Nube de puntos densa en tramo de inicio.

- Con la nube de puntos densa generamos el modelo de elevación digital.

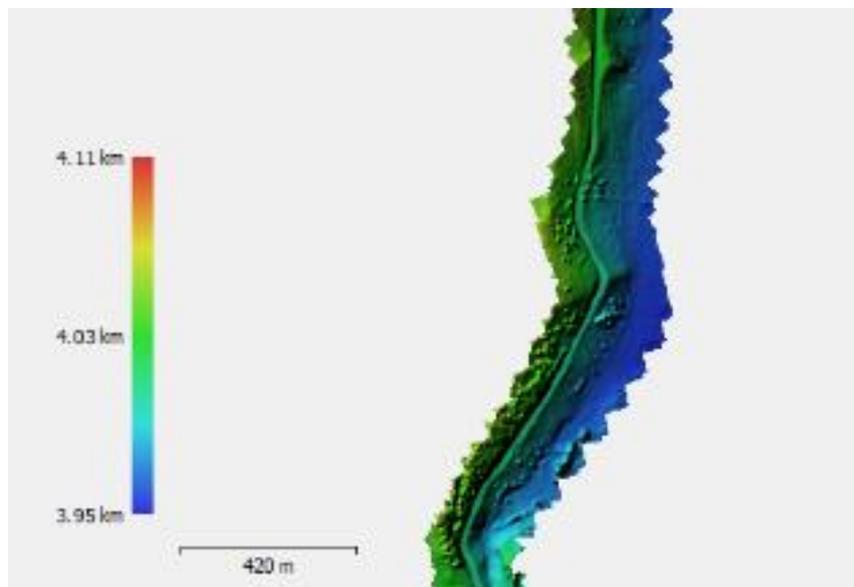


FIGURA 41: Modelo de elevación digital de la carretera

- Contando con el MDE (Modelo de elevación digital) se prosigue a generar las ortofotos los cuales nos ayudaran a realizar las mediciones indirectas de los elementos geométricos existentes en la vía actual.



FIGURA 42: Mosaico de fotos.

4.2.1.2. OROGRAFIA DEL TRAMO

Con la ayuda del software **Civil 3D 2017 Metric**, se realizó el procesamiento de la nube de puntos densa para obtener curvas de nivel y determinar las pendientes transversales.

Se tiene una tabla resumen de pendientes de toda el área procesado.

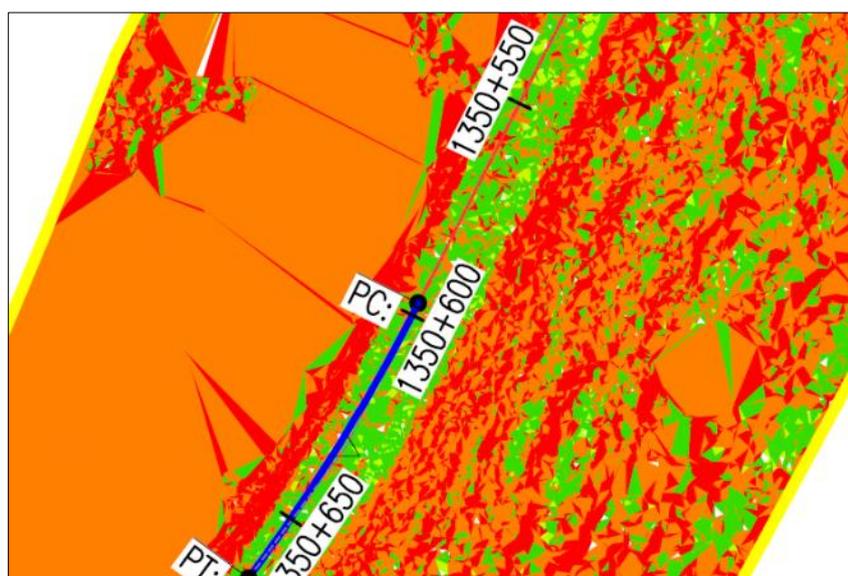


FIGURA 43: Clasificación por pendientes

TABLA 30: Porcentaje de orografía del tramo

OROGRAFIA	AREA	%	COLOR
PLANA	42659.98	7.16%	Verde
ONDULADA	230495.40	38.67%	Amarillo
ACCIDENTADO	191694.70	32.16%	Naranja
ESCARPADO	131224.61	22.01%	Rojo
TOTAL	596074.69	100.00%	

Con la tabla mostrada se puede apreciar que la orografía según la clasificación de pendientes por área es la ondulada, seguido por accidentada.

La norma menciona (MTC, DG-2018) menciona que se debe medir la pendiente transversal a la vía, por lo cual se hizo las siguientes mediciones.

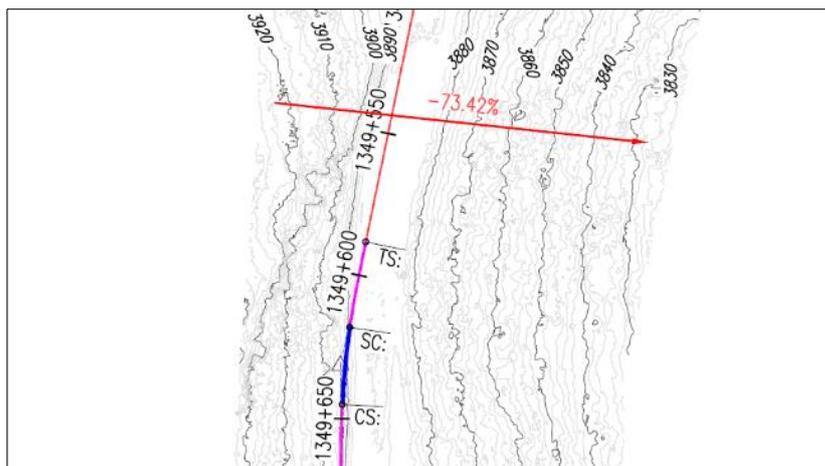


FIGURA 44: Pendiente transversal Km 1349+600

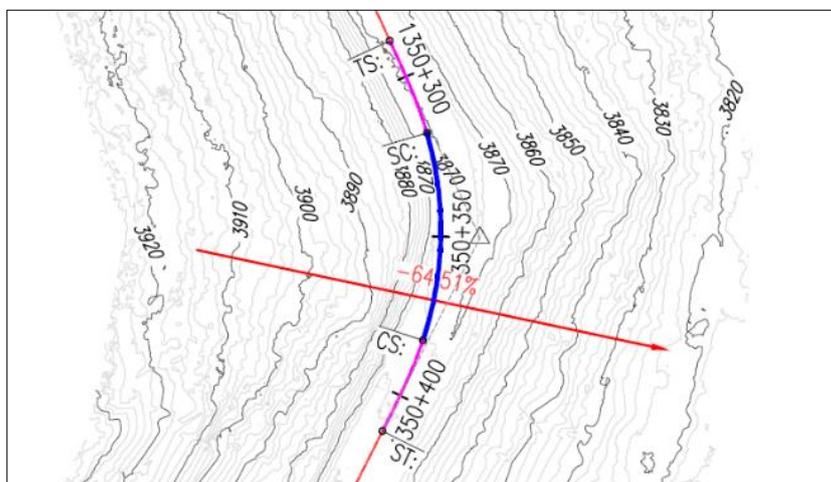


FIGURA 45: Pendiente transversal Km 1350+500

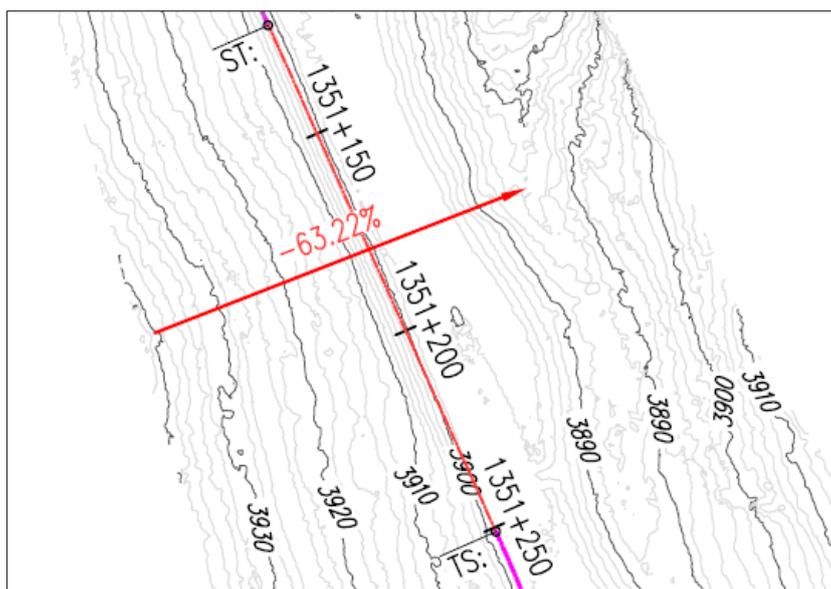


FIGURA 46: Pendiente transversal Km 1351+200

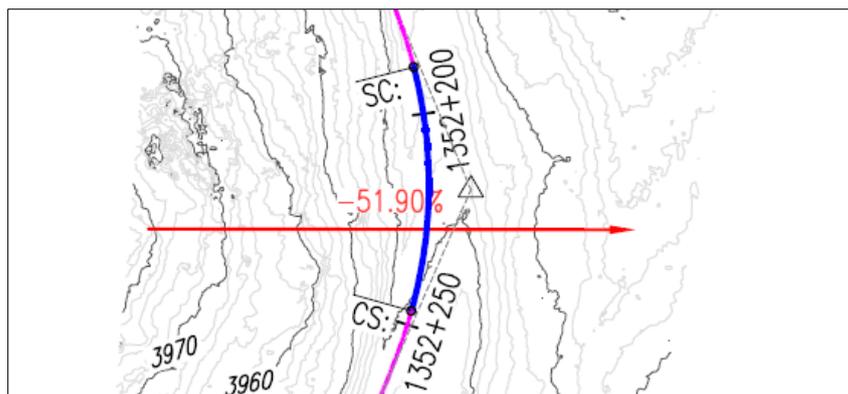


FIGURA 47: Pendiente transversal Km 1352+250

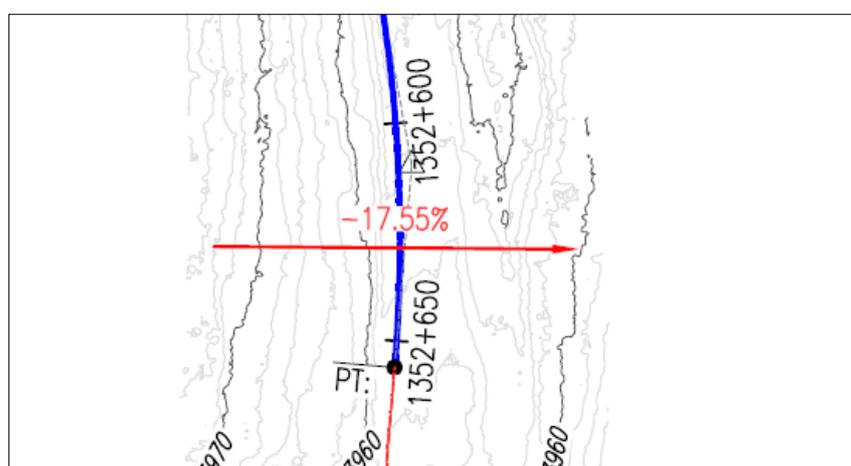


FIGURA 48: Pendiente transversal Km 1352+600

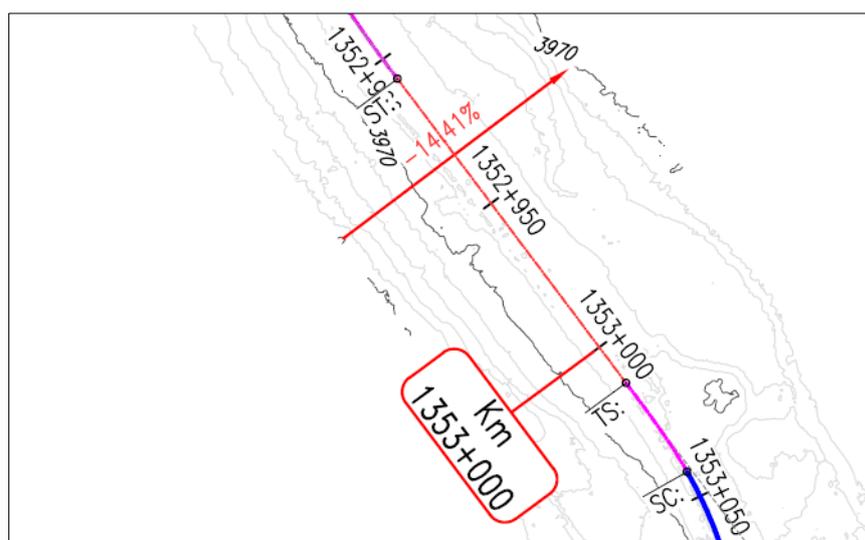


FIGURA 49: Pendiente transversal Km 1353+000

Considerando los pendientes calculados en las figuras anteriores:

- Km 1349+550 73.42%
- Km 1350+500 64.51%
- Km 1351+200 63.22%
- Km 1352+250 51.90%
- Km 1352+600 17.55%
- Km 1352+950 14.41%

Se puede apreciar que la orografía predominante en el tramo de estudio es accidentada, terminando en unos pequeños tramos ondulado.

4.2.2. Tráfico vehicular (IMDA)

(Naylamp Ingenieros S.A.C., 2014) indica que el Índice Medio Diario Anual en este sector es de 5,167 vehículos, compuesto por de vehículos ligeros, ómnibus y vehículos pesados.

TABLA 31: Tráfico Vehicular

TRAFICO VEHICULAR				
CLASIFICACION E-3				
(Veh/día)				
Tipo de Vehículo	FC	IMDs	IMDa	DISTRIBUCION %
Autos	1.08037	873	943	18.26%
S. Wagon	1.08037	296	320	6.20%
Pick Up	1.08037	560	605	11.72%
Panel	1.08037	75	81	1.57%
C. Rural	1.08037	1859	2008	38.89%
Micro	1.08037	378	408	7.90%
Ómnibus 2E	1.08037	66	71	1.38%
Ómnibus 3E	1.08037	118	127	2.46%
Ómnibus 4E	1.08037	34.1	37	0.72%
Camión 2E	1.08037	226	244	4.73%
Camión 3E	1.08037	48	52	1.01%
Camión 4E	1.08037	5	5	0.10%
Semitraylers	1.08037	219	237	4.59%
Tráiler	1.08037	23	25	0.48%
TOTAL		4780	5163	100.00%

Fuente: (Naylamp Ingenieros S.A.C., 2014)

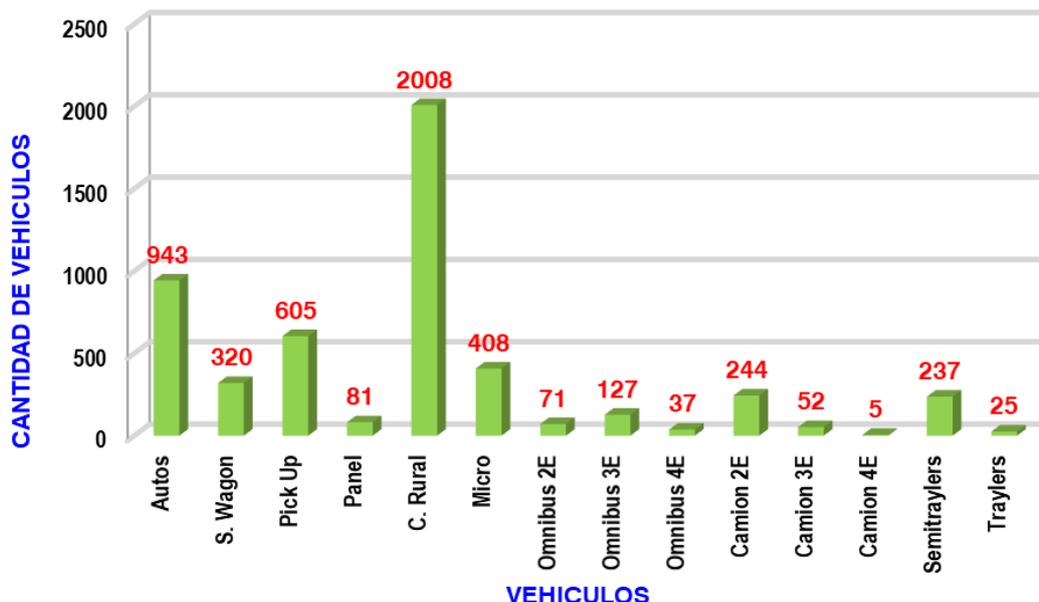


FIGURA 50: Diagrama de incidencias de IMDA.
 Fuente: (Naylamp Ingenieros S.A.C., 2014)

4.3. DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD DE OPERACIÓN

4.3.1. Resultados de velocidad de operación

Tal como se muestra en la **Tabla de Formato de Mediciones** se ha realizado la medición de velocidad siendo estas en los tramos de curva y tramos rectos.

Las mediciones se realizaron con LA PISTOLA RADÁRICA DE VELOCIDAD DE BUSHNELL II a una distancia promedio de 100m, ya que a una corta distancia puede generar errores de medición.

Se ha agrupado los vehículos en: Vehículos ligeros, buses, camiones y tráileres, tal como se detalla en el párrafo inferior.

- **Vehículos ligeros:** autos, Pick Up, Panel, combis rurales y combis urbanos.
- **Buses:** Ómnibus de 2, 3 y 4 ejes.
- **Camión:** Camiones de 2, 3 y 4 ejes.
- **Trailers:** 2S1, 2S2, 2S3, 3S1, 3S2, >=3S3, 2T2, 2T3, 3T2 y >=3T3.



FIGURA 51: Medición de velocidad en tramo curvo



FIGURA 52: Medición de velocidad en tramo recto

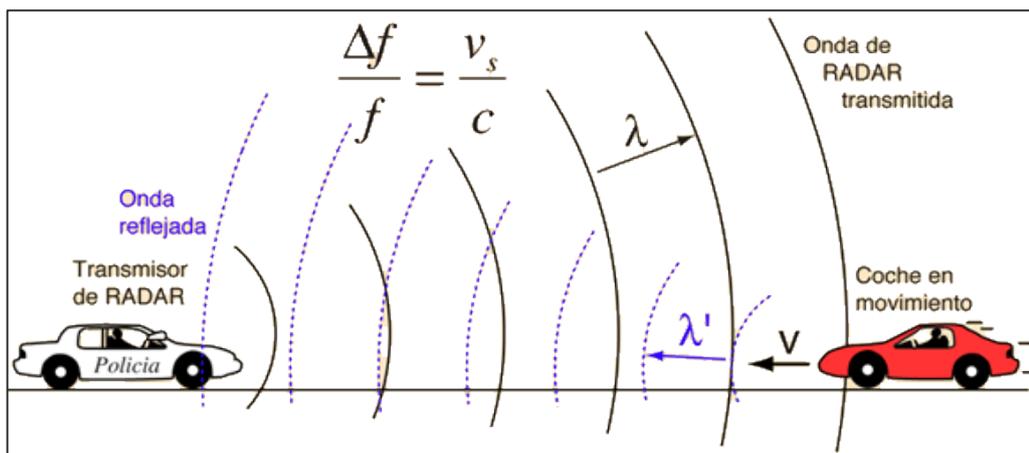


FIGURA 53: Efecto Doppler (Determinación de Velocidad)

En el cuadro inferior se muestra los resultados resumidos de los percentiles 85, en cada uno de los elementos tanto en tramos rectos y curvos, midiéndose para los vehículos que se detallan en la tabla siguiente:

TABLA 32: Percentil 85 de las mediciones

RESUMEN DE PERCENTIL 85										
	CARRETERA	: PUNO JULIACA								
	TRAMO	: KM 1349 - KM 1353								
	ELEMENTO	: CURVA 11 - CURVA 30								
	TESISTA	: Bach. DARWIN MARX TURPO CAYO								
	N°	ELEMENTO	Vehiculos ligeros		BUSES		Camion		Traylers	
			P-J	J-P	P-J	J-P	P-J	J-P	P-J	J-P
1	C11 - C12	66.00	68.00	60.00	58.00	56.00	52.00	50.00	45.00	
2	C12	64.00	60.00	59.00	56.00	55.00	51.00	48.00	42.00	
3	C12 - C13	69.00	64.00	61.00	56.00	58.00	50.00	49.00	46.00	
4	C13	65.00	63.00	58.00	54.00	52.00	48.00	51.00	48.00	
5	C13 - C14	78.00	71.00	68.00	61.00	61.00	59.00	54.00	51.00	
6	C14	74.00	70.00	65.00	61.00	64.00	59.00	52.00	48.00	
7	C14 - C15	80.00	74.00	72.00	69.00	68.00	63.00	62.00	53.00	
8	C15	86.00	80.00	77.00	69.00	68.00	63.00	62.00	56.00	
9	C15 - C16	88.00	86.00	83.00	74.00	68.00	65.00	62.00	51.00	
10	C16	86.00	82.00	76.00	70.00	68.00	63.00	62.00	55.00	
11	C16 - C17	78.00	74.00	68.00	61.00	66.00	65.00	54.00	51.00	
12	C17	75.00	72.00	71.00	64.00	68.00	63.00	62.00	56.00	
13	C17 - C18	73.00	70.00	71.00	65.00	68.00	63.00	61.00	56.00	
14	C18	71.00	69.00	58.00	53.00	56.00	53.00	53.00	50.00	
15	C18 - C19	74.00	70.00	65.00	61.00	64.00	59.00	52.00	48.00	
16	C19	80.00	74.00	72.00	69.00	68.00	63.00	62.00	53.00	
17	C19 - C20	83.00	75.00	70.00	67.00	71.00	68.00	70.00	52.00	
18	C20	80.00	74.00	72.00	69.00	68.00	63.00	62.00	53.00	
19	C20 - C21	73.00	71.00	69.00	61.00	64.00	59.00	55.00	51.00	
20	C21	68.00	64.00	62.00	58.00	56.00	51.00	55.00	53.00	
21	C21 - C22	71.00	67.00	66.00	58.00	61.00	53.00	58.00	55.00	
22	C22	75.00	69.00	67.00	64.00	60.00	60.00	57.00	52.00	
23	C22 - C23	77.00	69.00	67.00	63.00	60.00	56.00	60.00	57.00	
24	C23	70.00	64.00	67.00	60.00	55.00	52.00	55.00	49.00	
25	C23 - C24	73.00	66.00	69.00	62.00	60.00	55.00	55.00	50.00	
26	C24	81.00	71.00	64.00	63.00	61.00	58.00	58.00	51.00	
27	C24 - C25	75.00	69.00	65.00	63.00	62.00	59.00	59.00	56.00	
28	C25	66.00	63.00	64.00	62.00	61.00	53.00	60.00	55.00	
29	C25 - C26	69.00	66.00	66.00	64.00	66.00	54.00	61.00	56.00	
30	C26	77.00	71.00	68.00	63.00	65.00	56.00	61.00	52.00	
31	C26 - C27	78.00	74.00	69.00	64.00	65.00	59.00	61.00	54.00	
32	C27	75.00	66.00	62.00	56.00	59.00	56.00	48.00	43.00	
33	C27 - C28	76.00	70.00	68.00	63.00	68.00	56.00	60.00	55.00	
34	C28	76.00	70.00	68.00	61.00	66.00	58.00	62.00	54.00	
35	C28 - C29	71.00	68.00	68.00	60.00	65.00	56.00	57.00	48.00	
36	C29	69.00	63.00	56.00	53.00	62.00	50.00	50.00	46.00	
37	C29 - C30	72.00	60.00	57.00	52.00	57.00	53.00	49.00	47.00	
38	C30	72.00	58.00	56.00	47.00	47.00	46.00	48.00	43.00	
P85		80.00	74.00	72.00	69.00	68.00	63.00	62.00	56.00	

Los colores presentados en la anterior tabla son representación de cromáticas en las que el color rojo representa las velocidades más altas, el color amarillo representa velocidades medias y el color verde representa las velocidades más bajas.

4.3.2. Análisis estadístico

Para determinar si existe diferencia entre la velocidad de operación y diseño, se utilizó la Prueba Z por tener una muestra mayor a 30, para lo cual fueron utilizados los resultados de la **Tabla 32** referido a las velocidades de operación en el sentido Puno - Juliaca, para los camiones.

TABLA 33: Datos para la prueba de hipótesis.

Nº	Velocidad de diseño	Velocidad de Operación	$\sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2$
1	50	56	39.5574792
2	50	55	53.1364266
3	50	58	18.3995845
4	50	52	105.873269
5	50	61	1.66274238
6	50	64	2.92590028
7	50	68	32.6101108
8	50	68	32.6101108
9	50	68	32.6101108
10	50	68	32.6101108
11	50	66	13.7680055
12	50	68	32.6101108
13	50	68	32.6101108
14	50	56	39.5574792
15	50	64	2.92590028
16	50	68	32.6101108
17	50	71	75.8732687
18	50	68	32.6101108
19	50	64	2.92590028
20	50	56	39.5574792
21	50	61	1.66274238
22	50	60	5.24168975
23	50	60	5.24168975
24	50	55	53.1364266
25	50	60	5.24168975
26	50	61	1.66274238
27	50	62	0.08379501
28	50	61	1.66274238

29	50	66	13.7680055
30	50	65	7.34695291
31	50	65	7.34695291
32	50	59	10.8206371
33	50	68	32.6101108
34	50	66	13.7680055
35	50	65	7.34695291
36	50	62	0.08379501
37	50	57	27.9785319
38	50	47	233.768006
$\bar{X} =$	50	62.2894737	1085.81579

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2} = \sqrt{\frac{1}{38-1} * 1085.81579} = 5.41722924$$

4.3.2.1. Planteamiento de hipótesis

Velocidad de operación Vs Velocidad de diseño

Bilateral

$$H_0: \mu \leq \mu_0$$

H_0 : Velocidad de operación \leq Velocidad de diseño

$$H_a: \mu > \mu_0$$

H_a : Velocidad de operación $>$ Velocidad de diseño

4.3.2.2. Nivel de significación: $\alpha = 0.01$, $\alpha = 0.05$

4.3.2.3. Prueba estadística (Prueba Z para diferencia de medias)

$$Z = \frac{\bar{X} - \mu}{\left(\frac{\sigma}{\sqrt{n}}\right)}$$

dónde: \bar{X} es el promedio parcial (de la muestra), σ es la desviación estándar de la población muestra, μ es el valor de la hipótesis, n numero de datos.

4.3.2.4. Regla de decisión

$$\text{Si } Z_c \leq Z_{1-\alpha} \text{ se acepta } H_0$$

$$Z_c > Z_{1-\alpha} \text{ se rechaza } H_0 \text{ y se acepta } H_a$$

4.3.2.5. Cálculos:

Prueba Z para Velocidad de operación Vs Velocidad de diseño

$$Z = \frac{\bar{X} - \mu}{\left(\frac{\sigma}{\sqrt{n}}\right)} = \frac{62.2894 - 50}{\left(\frac{5.4172}{\sqrt{38}}\right)} = 13.9845297$$

para $\alpha = 0.05$



FIGURA 54: Para un nivel de significancia de $\alpha=0.05$

$$Z_c > Z_{1-\alpha} \text{ se rechaza } H_0$$

$$13.9845297 > 2.645 \text{ se rechaza } H_0$$

para $\alpha = 0.01$



FIGURA 55: Para un nivel de significancia de $\alpha=0.01$

$$Z_c > Z_{1-\alpha} \text{ se rechaza } H_0$$

$$13.9845297 > 2.325 \text{ se rechaza } H_0$$

TABLA 34: Cuadro de Conclusión

Comparación	Ho:	Ha:	Z_c	$Z_{1-0.05}$	$Z_{1-0.01}$	Significancia.
Velocidad de operación Vs Velocidad de diseño	Acepta	Rechaza	13.984	2.645	2.325	**

4.3.2.6. Interpretación:

$Z_{0.05} = 2.645$, también llamado z crítico, si $Z_c = 13.9845$ es mayor que el valor crítico se rechaza la hipótesis de nula, al

igual con $Z_{0,01} = 2.325$. Entonces podemos decir que la velocidad de operación es mayor que la velocidad de diseño; ya que Z obtenido con un nivel significancia de 0.01 y 0.05 es estadísticamente significativo la diferencia.

4.4. ANALISIS DE DISEÑO GEOMETRICO EXISTENTE

4.4.1. CLASIFICACIÓN DEL TRAMO DE INVESTIGACIÓN

4.4.1.1. Clasificación por demanda

Actualmente la ruta cumple la función como una carretera de primera clase. Sin embargo, según el estudio de tráfico mostrado en la **Tabla 31** se aprecia que cumple para una Autopista de segunda clase, razón por la que actualmente en la vía se viene construyendo la autopista Puno – Juliaca. Sin embargo, para efectos de cálculo se considerará como una carretera de primera clase.

4.4.1.2. Clasificación por orografía

Según el estudio de orografía mostrado en la **Figura 44-49** se aprecia que tiene una orografía de Accidentada, y según la **Tabla 30** indica que existen zonas escarpadas.

4.4.2. GEOMETRIA EN PLANTA Y SECCION TRANSVERSAL.

En la **Tabla 35** se muestra un resumen de los elementos geométricos existentes en el tramo de estudio que inicia con la Curva N° 12 y termina el tramo de investigación en la curva N° 30, se aprecia que la Curva N° 31 forma parte de la zona urbana.

- La norma (MTC, DG-2018) en la **Tabla 5** menciona que para una carretera de primera clase y orografía accidentada las velocidades a adoptar son: 50, 60, 70, 80km/h. como para la presente ruta los proyectistas han utilizado una velocidad de 50km/h esta velocidad se encuentra dentro del rango de velocidad de diseño.
- Con respecto a longitudes en los tramos en tangente la norma (MTC, DG-2018) en la **Tabla 11** indica que las longitud mínima admisible en “s” es 69m y para longitudes mínimas en tangente

en “o” es de 139m y finalmente la longitud máxima de tramos en tangente es de 835m para la velocidad de diseño de 50km/h.

- Para área rural accidentada para una velocidad de diseño de 50km/h el peralte máximo es de 12% y el radio mínimo a adoptarse es de 70m. ver **Tabla 12** y **Figura 24**.
- Respecto a los radios circulares que permiten prescindir de la curva de transición son los radios mayores o iguales a 225m, esto para una velocidad de diseño de 50km/h. Ver **Tabla 14**.
- Respecto al diseño geométrico de la sección transversal debe tener un ancho mínimo de carril de 7.20m. Ver **Tabla 17**.
- Para el cálculo de sobrecanchos utilizamos el vehículo Camión de dos ejes (C2), con una longitud de 7.30m, ya que según el IMDA de la **Tabla 31** es el vehículo más representativo.
- Un ancho de bermas 2.60m para berma lateral derecho e izquierdo. Ver **Tabla 18**.
- Un bombeo de calzada de 2.0%. Ver **Tabla 19**.

TABLA 35: Cuadro de elementos de curva de la vía actual.

No	I			SENT.	RADIO	T	Lc	PROGRESIVAS			P%	Sac	PI	
	G	M	S					PC	PI	PT			X	Y
12	27	1	49	I	116	27.88	54.73	1349+035.10	1349+062.98	1349+089.82	6.00	0.90	389416.03	8255135.94
13	57	32	45	D	62	34.05	62.27	1349+159.67	1349+193.72	1349+221.94	6.00	1.40	389468.51	8255015.07
14	20	38	15	I	200	36.41	72.04	1349+403.94	1349+440.36	1349+475.98	6.00	0.70	389327.06	8254805.96
15	12	18	52	I	270	29.13	58.03	1349+550.13	1349+579.26	1349+608.17	6.00	0.50	389294.60	8254670.09
16	14	15	17	D	260	32.51	64.69	1349+959.66	1349+992.17	1350+024.34	6.00	0.50	389285.47	8254257.06
17	44	2	43	I	157	63.50	120.69	1350+121.66	1350+185.16	1350+242.35	6.00	0.80	389233.32	8254070.89
18	54	21	33	D	71	36.46	67.36	1350+312.60	1350+349.10	1350+380.01	8.00	1.40	389314.29	8253921.12
19	8	26	39	D	550	40.60	81.06	1350+595.76	1350+636.37	1350+676.82	3.50	0.30	389186.09	8253657.86
20	12	29	27	I	242	26.48	52.76	1350+903.14	1350+929.62	1350+955.90	6.00	0.50	389020.30	8253415.78
21	44	36	18	I	71	29.12	55.27	1351+029.15	1351+058.27	1351+084.42	8.00	1.30	388972.21	8253296.24
22	53	59	33	D	139	70.81	130.99	1351+261.33	1351+332.14	1351+392.30	8.00	0.90	389078.99	8253040.83
23	36	42	34	I	87	28.87	55.74	1351+662.84	1351+691.71	1351+718.58	6.00	1.00	388886.64	8252724.51
24	25	42	46	D	167	38.12	74.95	1351+823.02	1351+861.13	1351+897.96	6.00	0.70	388902.79	8252553.86
25	52	9	36	I	69	33.77	62.82	1352+007.97	1352+041.74	1352+070.78	8.00	1.30	388839.66	8252383.27
26	63	12	9	D	179	110.13	197.45	1352+118.64	1352+228.77	1352+316.09	6.00	0.70	388940.86	8252220.39
27	41	12	50	I	95	35.72	68.34	1352+350.46	1352+386.18	1352+418.80	6.00	1.10	388847.10	8252066.48
28	13	31	13	D	440	52.16	103.83	1352+538.30	1352+590.45	1352+642.13	3.50	0.30	388882.63	8251862.17
29	40	41	36	I	95	35.23	67.47	1352+840.10	1352+875.33	1352+907.58	6.00	1.00	388864.43	8251577.39
30	57	5	21	D	176	95.74	175.37	1353+027.21	1353+122.95	1353+202.58	6.00	0.70	389015.38	8251377.35
31	121	33	46	I	52	92.97	110.33	1353+259.35	1353+352.32	1353+369.67	8.00	1.80	388931.21	8251146.75

Para el análisis de la geometría en planta se ha elaborado un cuadro para cada curva y tramo recto, en la que plasma las dimensiones geométricas en planta y sección transversal. Así mismo con la velocidad y la clasificación de la carretera se realiza un análisis según la Norma Peruana (MTC, DG-2018).

TABLA 36: Análisis de Diseño geométrico Curva N° 12

ANÁLISIS DE DISEÑO GEOMÉTRICO					
CURVA N° :	C12	TANGENTE :	C11-C12	REGISTRO:	-1-
PROGRESIVAS			LONGITUD DE TRAMO RECTO		
PT-C11		PC-C12			
1348+904.88		1349+035.10		130.22	
DISEÑO EN PLANTA					
DESCRIPCION	CAMPO	SITUACION	DESCRIPCION	DG-2018	
Vdiseño	50 Km/h	Ok	Vdiseño	50-80 Km/h	
Δ	27.03 °	Ok	Δ_{min}	59'	
Radio	116.00 m	OK	Radiomin	70 m	
Lcurva	54.73 m	NO CUMPLE	Lcurvamin	150.00 m	
L.S	130.22 m	OK	Lmin.S	69.00 m	
L.O	-	-	Lmin.O	139.00 m	
NOTA:					
Considerando que es una carretera de primera Clase, orografía accidentada, con un radio de curva circular simple de 116 m, la norma DG-2018 menciona que para una velocidad de diseño de 50 Km/h se puede prescindir de la aplicación de curvas espirales para radios mayores a 225 m, por lo cual en esta curva SI se requiere curva espiral					
PLANO PLANTA					
<p>The plan view shows a road curve with stationing from 1348+800 to 1349+100. Key data points include: - Station 1348+800: PI=1348+879.36, LC=54.73m, R=116.00m, Dc=62°1'56.23", Der - Station 1348+900: PT=1348+904.88 - Station 1349+035.10: PC=1349+035.10 - Station 1349+062.98: PI=1349+062.98, LC=54.73m, R=116.00m, Dc=27°1'49.25", Izq Labels include 'guarda vías prog. 134 8-915', 'CAUSE', and a scale bar of 1:1,750.</p>					
DISEÑO EN SECCION TRANSVERSAL					
DESCRIPCION	CAMPO	SITUACION	DESCRIPCION	DG-2018	
Calzada	6.60	NO CUMPLE	Calzada Min	7.20 m	
Carril	3.30	NO CUMPLE	Carril Min	3.60 m	
Berma	1.20	NO CUMPLE	Berma Min	2.60 m	
Sobreeancho	0.90	NO CUMPLE	Sobreeancho	1.00 m	
Peralte	6.00 %	NO CUMPLE	Peralte	10.50 %	

TABLA 37: Análisis de Diseño geométrico Curva N° 13

ANÁLISIS DE DISEÑO GEOMÉTRICO				
CURVA N° :	C13	TANGENTE :	C12-C13	REGISTRO: -2-
PROGRESIVAS			LONGITUD DE TRAMO RECTO	
PT-C12		PC-C13		
1349+089.82		1349+159.67		69.85
DISEÑO EN PLANTA				
DESCRIPCION	CAMPO	SITUACION	DESCRIPCION	DG-2018
Vdiseño	50 Km/h	Ok	Vdiseño	50-80 Km/h
Δ	57.55 °	Ok	Δ_{min}	59'
Radio	62.00 m	NO CUMPLE	Radiomin	70 m
Lcurva	54.73 m	NO CUMPLE	Lcurvamin	150.00 m
L.S	69.85 m	OK	Lmin.S	69.00 m
L.O	-	-	Lmin.O	139.00 m
NOTA:				
Considerando que es una carretera de primera Clase, orografía accidentada, con un radio de curva circular simple de 62 m, la norma DG-2018 menciona que para una velocidad de diseño de 50 Km/h se puede prescindir de la aplicación de curvas espirales para radios mayores a 225 m, por lo cual en esta curva SI se requiere curva espiral				
PLANO PLANTA				
DISEÑO EN SECCION TRANSVERSAL				
DESCRIPCION	CAMPO	SITUACION	DESCRIPCION	DG-2018
Calzada	6.60	NO CUMPLE	Calzada Min	7.20 m
Carril	3.30	NO CUMPLE	Carril Min	3.60 m
Berma	1.80	NO CUMPLE	Berma Min	2.60 m
Sobreeancho	1.40	NO CUMPLE	Sobreeancho	1.50 m
Peralte	6.00 %	NO CUMPLE	Peralte	12.00 %

TABLA 38: Análisis de Diseño geométrico Curva N° 14

ANÁLISIS DE DISEÑO GEOMÉTRICO					
CURVA N° :	C14	TANGENTE :	C13-C14	REGISTRO:	-3-
PROGRESIVAS			LONGITUD DE TRAMO RECTO		
PT-C13		PC-C14			
1349+221.94		1349+403.94		182.00	
DISEÑO EN PLANTA					
DESCRIPCION	CAMPO	SITUACION	DESCRIPCION	DG-2018	
Vdiseño	50 Km/h	Ok	Vdiseño	50-80 Km/h	
Δ	20.63 °	Ok	Δ_{min}	59'	
Radio	200.00 m	OK	Radiomin	70 m	
Lcurva	72.03 m	NO CUMPLE	Lcurvamin	150.00 m	
L.S	182.00 m	OK	Lmin.S	69.00 m	
L.O	-	-	Lmin.O	139.00 m	
NOTA:					
Considerando que es una carretera de primera Clase, orografía accidentada, con un radio de curva circular simple de 200 m, la norma DG-2018 menciona que para una velocidad de diseño de 50 Km/h se puede prescindir de la aplicación de curvas espirales para radios mayores a 225 m, por lo cual en esta curva SI se requiere curva espiral					
PLANO PLANTA					
DISEÑO EN SECCION TRANSVERSAL					
DESCRIPCION	CAMPO	SITUACION	DESCRIPCION	DG-2018	
Calzada	6.60	NO CUMPLE	Calzada Min	7.20 m	
Carril	3.30	NO CUMPLE	Carril Min	3.60 m	
Berma	2.35	NO CUMPLE	Berma Min	2.60 m	
Sobreechancho	0.70	OK	Sobreechancho	0.70 m	
Peralte	6.00 %	NO CUMPLE	Peralte	7.00 %	

TABLA 39: Análisis de Diseño geométrico Curva N° 15

ANÁLISIS DE DISEÑO GEOMÉTRICO					
CURVA N° :	C15	TANGENTE :	C14-C15	REGISTRO:	-4-
PROGRESIVAS			LONGITUD DE TRAMO RECTO		
PT-C14		PC-C15			
1349+475.98		1349+550.13		74.15	
DISEÑO EN PLANTA					
DESCRIPCION	CAMPO	SITUACION	DESCRIPCION	DG-2018	
Vdiseño	50 Km/h	Ok	Vdiseño	50-80 Km/h	
Δ	12.31 °	Ok	Δmin	59'	
Radio	270.00 m	OK	Radiomin	70 m	
Lcurva	72.03 m	NO CUMPLE	Lcurvamin	150.00 m	
L.S	-	-	Lmin.S	69.00 m	
L.O	74.15 m	NO CUMPLE	Lmin.O	139.00 m	
NOTA:					
Considerando que es una carretera de primera Clase, orografía accidentada, con un radio de curva circular simple de 270 m, la norma DG-2018 menciona que para una velocidad de diseño de 50 Km/h se puede prescindir de la aplicación de curvas espirales para radios mayores a 225 m, por lo cual en esta curva NO se requiere curva espiral					
PLANO PLANTA					
DISEÑO EN SECCION TRANSVERSAL					
DESCRIPCION	CAMPO	SITUACION	DESCRIPCION	DG-2018	
Calzada	6.60	NO CUMPLE	Calzada Min	7.20 m	
Carril	3.30	NO CUMPLE	Carril Min	3.60 m	
Berma	2.20	NO CUMPLE	Berma Min	2.60 m	
Sobreeancho	0.50	NO CUMPLE	Sobreeancho	0.60 m	
Peralte	6.00 %	NO CUMPLE	Peralte	7.30 %	

TABLA 40: Análisis de Diseño geométrico Curva N° 16

ANÁLISIS DE DISEÑO GEOMÉTRICO					
CURVA N° :	C16	TANGENTE :	C15-C16	REGISTRO:	-5-
PROGRESIVAS			LONGITUD DE TRAMO RECTO		
PT-C15		PC-C16			
1349+608.17		1349+959.66		351.48	
DISEÑO EN PLANTA					
DESCRIPCION	CAMPO	SITUACION	DESCRIPCION	DG-2018	
Vdiseño	50 Km/h	Ok	Vdiseño	50-80 Km/h	
Δ	14.25 °	Ok	Δ_{min}	59'	
Radio	260.00 m	OK	Radiomin	70 m	
Lcurva	64.68 m	NO CUMPLE	Lcurvamin	150.00 m	
L.S	351.48 m	OK	Lmin.S	69.00 m	
L.O	-	-	Lmin.O	139.00 m	
NOTA:					
Considerando que es una carretera de primera Clase, orografía accidentada, con un radio de curva circular simple de 260 m, la norma DG-2018 menciona que para una velocidad de diseño de 50 Km/h se puede prescindir de la aplicación de curvas espirales para radios mayores a 225 m, por lo cual en esta curva NO se requiere curva espiral					
PLANO PLANTA					
DISEÑO EN SECCION TRANSVERSAL					
DESCRIPCION	CAMPO	SITUACION	DESCRIPCION	DG-2018	
Calzada	6.60	NO CUMPLE	Calzada Min	7.20 m	
Carril	3.30	NO CUMPLE	Carril Min	3.60 m	
Berma	0.90	NO CUMPLE	Berma Min	2.60 m	
Sobreeancho	0.50	NO CUMPLE	Sobreeancho	0.60 m	
Peralte	6.00 %	NO CUMPLE	Peralte	7.30 %	

TABLA 41: Análisis de Diseño geométrico Curva N° 17

ANÁLISIS DE DISEÑO GEOMÉTRICO				
CURVA N° :	C17	TANGENTE :	C16-C17	REGISTRO: -6-
PROGRESIVAS			LONGITUD DE TRAMO RECTO	
PT-C16		PC-C17		
1350+024.34		1350+121.66		97.32
DISEÑO EN PLANTA				
DESCRIPCION	CAMPO	SITUACION	DESCRIPCION	DG-2018
Vdiseño	50 Km/h	Ok	Vdiseño	50-80 Km/h
Δ	44.05 °	Ok	Δ_{min}	59'
Radio	157.00 m	OK	Radiomin	70 m
Lcurva	120.69 m	NO CUMPLE	Lcurvamin	150.00 m
L.S	97.32 m	OK	Lmin.S	69.00 m
L.O	-	-	Lmin.O	139.00 m
NOTA:				
Considerando que es una carretera de primera Clase, orografía accidentada, con un radio de curva circular simple de 157 m, la norma DG-2018 menciona que para una velocidad de diseño de 50 Km/h se puede prescindir de la aplicación de curvas espirales para radios mayores a 225 m, por lo cual en esta curva SI se requiere curva espiral				
PLANO PLANTA				
DISEÑO EN SECCION TRANSVERSAL				
DESCRIPCION	CAMPO	SITUACION	DESCRIPCION	DG-2018
Calzada	6.60	NO CUMPLE	Calzada Min	7.20 m
Carril	3.30	NO CUMPLE	Carril Min	3.60 m
Berma	1.60	NO CUMPLE	Berma Min	2.60 m
Sobreeancho	0.80	OK	Sobreeancho	0.80 m
Peralte	6.00 %	NO CUMPLE	Peralte	8.50 %

TABLA 42: Análisis de Diseño geométrico Curva N° 18

ANÁLISIS DE DISEÑO GEOMÉTRICO					
CURVA N° :	C18	TANGENTE :	C17-C18	REGISTRO:	-7-
PROGRESIVAS			LONGITUD DE TRAMO RECTO		
PT-C17		PC-C18			
1350+242.35		1350+312.60		70.25	
DISEÑO EN PLANTA					
DESCRIPCION	CAMPO	SITUACION	DESCRIPCION	DG-2018	
Vdiseño	50 Km/h	Ok	Vdiseño	50-80 Km/h	
Δ	54.36 °	Ok	Δmin	59'	
Radio	71.00 m	OK	Radiomin	70 m	
Lcurva	67.40 m	NO CUMPLE	Lcurvamin	150.00 m	
L.S	70.25 m	OK	Lmin.S	69.00 m	
L.O	-	-	Lmin.O	139.00 m	
NOTA:					
Considerando que es una carretera de primera Clase, orografía accidentada, con un radio de curva circular simple de 71 m, la norma DG-2018 menciona que para una velocidad de diseño de 50 Km/h se puede prescindir de la aplicación de curvas espirales para radios mayores a 225 m, por lo cual en esta curva SI se requiere curva espiral					
PLANO PLANTA					
DISEÑO EN SECCION TRANSVERSAL					
DESCRIPCION	CAMPO	SITUACION	DESCRIPCION	DG-2018	
Calzada	6.60	NO CUMPLE	Calzada Min	7.20 m	
Carril	3.30	NO CUMPLE	Carril Min	3.60 m	
Berma	1.60	NO CUMPLE	Berma Min	2.60 m	
Sobreeancho	1.40	OK	Sobreeancho	1.40 m	
Peralte	8.00 %	NO CUMPLE	Peralte	12.00 %	

TABLA 43: Análisis de Diseño geométrico Curva N° 19

ANÁLISIS DE DISEÑO GEOMÉTRICO					
CURVA N° :	C19	TANGENTE :	C18-C19	REGISTRO:	-8-
PROGRESIVAS			LONGITUD DE TRAMO RECTO		
PT-C18		PC-C19			
1350+380.01		1350+595.76		215.76	
DISEÑO EN PLANTA					
DESCRIPCION	CAMPO	SITUACION	DESCRIPCION	DG-2018	
Vdiseño	50 Km/h	Ok	Vdiseño	50-80 Km/h	
Δ	8.44 °	Ok	Δmin	59'	
Radio	550.00 m	OK	Radiomin	70 m	
Lcurva	81.05 m	NO CUMPLE	Lcurvamin	150.00 m	
L.S	-	-	Lmin.S	69.00 m	
L.O	215.76 m	OK	Lmin.O	139.00 m	
NOTA:					
Considerando que es una carretera de primera Clase, orografía accidentada, con un radio de curva circular simple de 550 m, la norma DG-2018 menciona que para una velocidad de diseño de 50 Km/h se puede prescindir de la aplicación de curvas espirales para radios mayores a 225 m, por lo cual en esta curva NO se requiere curva espiral					
PLANO PLANTA					
DISEÑO EN SECCION TRANSVERSAL					
DESCRIPCION	CAMPO	SITUACION	DESCRIPCION	DG-2018	
Calzada	6.60	NO CUMPLE	Calzada Min	7.20 m	
Carril	3.30	NO CUMPLE	Carril Min	3.60 m	
Berma	1.60	NO CUMPLE	Berma Min	2.60 m	
Sobreeancho	0.30	NO CUMPLE	Sobreeancho	0.40 m	
Peralte	3.50 %	OK	Peralte	3.50 %	

TABLA 44: Análisis de Diseño geométrico Curva N° 20

ANÁLISIS DE DISEÑO GEOMÉTRICO					
CURVA N° :	C20	TANGENTE :	C19-C20	REGISTRO:	-9-
			PROGRESIVAS		LONGITUD DE TRAMO RECTO
			PT-C19	PC-C20	
			1350+676.82	1350+903.14	
DISEÑO EN PLANTA					
DESCRIPCION	CAMPO	SITUACION	DESCRIPCION	DG-2018	
Vdiseño	50 Km/h	Ok	Vdiseño	50-80 Km/h	
Δ	12.49 °	Ok	Δmin	59'	
Radio	242.00 m	OK	Radiomin	70 m	
Lcurva	55.27 m	NO CUMPLE	Lcurvamin	150.00 m	
L.S	226.32 m	OK	Lmin.S	69.00 m	
L.O	-	-	Lmin.O	139.00 m	
NOTA:					
Considerando que es una carretera de primera Clase, orografía accidentada, con un radio de curva circular simple de 242 m, la norma DG-2018 menciona que para una velocidad de diseño de 50 Km/h se puede prescindir de la aplicación de curvas espirales para radios mayores a 225 m, por lo cual en esta curva NO se requiere curva espiral					
PLANO PLANTA					
DISEÑO EN SECCION TRANSVERSAL					
DESCRIPCION	CAMPO	SITUACION	DESCRIPCION	DG-2018	
Calzada	6.60	NO CUMPLE	Calzada Min	7.20 m	
Carril	3.30	NO CUMPLE	Carril Min	3.60 m	
Berma	1.50	NO CUMPLE	Berma Min	2.60 m	
Sobreeancho	0.50	NO CUMPLE	Sobreeancho	0.60 m	
Peralte	6.00 %	NO CUMPLE	Peralte	6.50 %	

TABLA 45: Análisis de Diseño geométrico Curva N° 21

ANÁLISIS DE DISEÑO GEOMÉTRICO					
CURVA N° :	C21	TANGENTE :	C20-C21	REGISTRO:	-10-
			PROGRESIVAS		LONGITUD DE TRAMO RECTO
			PT-C20	PC-C21	
			1350+955.90	1351+029.15	
DISEÑO EN PLANTA					
DESCRIPCION	CAMPO	SITUACION	DESCRIPCION	DG-2018	
Vdiseño	50 Km/h	Ok	Vdiseño	50-80 Km/h	
Δ	44.61 °	Ok	Δmin	59'	
Radio	71.00 m	OK	Radiomin	70 m	
Lcurva	55.27 m	NO CUMPLE	Lcurvamin	150.00 m	
L.S	-	-	Lmin.S	69.00 m	
L.O	73.25 m	NO CUMPLE	Lmin.O	139.00 m	
NOTA:					
Considerando que es una carretera de primera Clase, orografía accidentada, con un radio de curva circular simple de 71 m, la norma DG-2018 menciona que para una velocidad de diseño de 50 Km/h se puede prescindir de la aplicación de curvas espirales para radios mayores a 225 m, por lo cual en esta curva SI se requiere curva espiral					
PLANO PLANTA					
DISEÑO EN SECCION TRANSVERSAL					
DESCRIPCION	CAMPO	SITUACION	DESCRIPCION	DG-2018	
Calzada	6.60	NO CUMPLE	Calzada Min	7.20 m	
Carril	3.30	NO CUMPLE	Carril Min	3.60 m	
Berma	1.20	NO CUMPLE	Berma Min	2.60 m	
Sobreeancho	1.30	NO CUMPLE	Sobreeancho	1.40 m	
Peralte	8.00 %	NO CUMPLE	Peralte	12.00 %	

TABLA 46 Análisis de Diseño geométrico Curva N° 22

ANÁLISIS DE DISEÑO GEOMÉTRICO					
CURVA N° :	C22	TANGENTE :	C21-C22	REGISTRO:	-11-
PROGRESIVAS			LONGITUD DE TRAMO RECTO		
PT-C21		PC-C22			
1351+084.42		1351+261.33		176.91	
DISEÑO EN PLANTA					
DESCRIPCION	CAMPO	SITUACION	DESCRIPCION	DG-2018	
Vdiseño	50 Km/h	Ok	Vdiseño	50-80 Km/h	
Δ	53.99 °	Ok	Δmin	59'	
Radio	139.00 m	OK	Radiomin	70 m	
Lcurva	130.97 m	NO CUMPLE	Lcurvamin	150.00 m	
L.S	176.91 m	OK	Lmin.S	69.00 m	
L.O	-	-	Lmin.O	139.00 m	
NOTA:					
Considerando que es una carretera de primera Clase, orografía accidentada, con un radio de curva circular simple de 139 m, la norma DG-2018 menciona que para una velocidad de diseño de 50 Km/h se puede prescindir de la aplicación de curvas espirales para radios mayores a 225 m, por lo cual en esta curva SI se requiere curva espiral					
PLANO PLANTA					
DISEÑO EN SECCION TRANSVERSAL					
DESCRIPCION	CAMPO	SITUACION	DESCRIPCION	DG-2018	
Calzada	6.60	NO CUMPLE	Calzada Min	7.20 m	
Carril	3.30	NO CUMPLE	Carril Min	3.60 m	
Berma	1.50	NO CUMPLE	Berma Min	2.60 m	
Sobreechancho	0.90	OK	Sobreechancho	0.90 m	
Peralte	8.00 %	NO CUMPLE	Peralte	9.00 %	

TABLA 47 Análisis de Diseño geométrico Curva N° 23

ANÁLISIS DE DISEÑO GEOMÉTRICO					
CURVA N° :	C23	TANGENTE :	C22-C23	REGISTRO:	-12-
PROGRESIVAS			LONGITUD DE TRAMO RECTO		
PT-C22		PC-C23			
1351+392.30		1351+662.84		270.54	
DISEÑO EN PLANTA					
DESCRIPCION	CAMPO	SITUACION	DESCRIPCION	DG-2018	
Vdiseño	50 Km/h	Ok	Vdiseño	50-80 Km/h	
Δ	36.70 °	Ok	Δ_{min}	59'	
Radio	87.00 m	OK	Radiomin	70 m	
Lcurva	55.74 m	NO CUMPLE	Lcurvamin	150.00 m	
L.S	270.54 m	OK	Lmin.S	69.00 m	
L.O	-	-	Lmin.O	139.00 m	
NOTA:					
Considerando que es una carretera de primera Clase, orografía accidentada, con un radio de curva circular simple de 87 m, la norma DG-2018 menciona que para una velocidad de diseño de 50 Km/h se puede prescindir de la aplicación de curvas espirales para radios mayores a 225 m, por lo cual en esta curva SI se requiere curva espiral					
PLANO PLANTA					
DISEÑO EN SECCION TRANSVERSAL					
DESCRIPCION	CAMPO	SITUACION	DESCRIPCION	DG-2018	
Calzada	6.60	NO CUMPLE	Calzada Min	7.20 m	
Carril	3.30	NO CUMPLE	Carril Min	3.60 m	
Berma	1.00	NO CUMPLE	Berma Min	2.60 m	
Sobreeancho	1.00	NO CUMPLE	Sobreeancho	1.20 m	
Peralte	6.00 %	NO CUMPLE	Peralte	11.50 %	

TABLA 48 Análisis de Diseño geométrico Curva N° 24

ANÁLISIS DE DISEÑO GEOMÉTRICO				
CURVA N° :	C24	TANGENTE :	C23-C24	REGISTRO: -13-
PROGRESIVAS			LONGITUD DE TRAMO RECTO	
PT-C23		PC-C24		
1351+718.58		1351+823.02		104.43
DISEÑO EN PLANTA				
DESCRIPCION	CAMPO	SITUACION	DESCRIPCION	DG-2018
Vdiseño	50 Km/h	Ok	Vdiseño	50-80 Km/h
Δ	25.71 °	Ok	Δ_{min}	59'
Radio	167.00 m	OK	Radiomin	70 m
Lcurva	74.94 m	NO CUMPLE	Lcurvamin	150.00 m
L.S	104.43 m	OK	Lmin.S	69.00 m
L.O	-	-	Lmin.O	139.00 m
NOTA:				
Considerando que es una carretera de primera Clase, orografía accidentada, con un radio de curva circular simple de 167 m, la norma DG-2018 menciona que para una velocidad de diseño de 50 Km/h se puede prescindir de la aplicación de curvas espirales para radios mayores a 225 m, por lo cual en esta curva SI se requiere curva espiral				
PLANO PLANTA				
DISEÑO EN SECCION TRANSVERSAL				
DESCRIPCION	CAMPO	SITUACION	DESCRIPCION	DG-2018
Calzada	6.60	NO CUMPLE	Calzada Min	7.20 m
Carril	3.30	NO CUMPLE	Carril Min	3.60 m
Berma	1.50	NO CUMPLE	Berma Min	2.60 m
Sobreancho	0.70	NO CUMPLE	Sobreancho	0.80 m
Peralte	6.00 %	NO CUMPLE	Peralte	8.50 %

TABLA 49 Análisis de Diseño geométrico Curva N° 25

ANÁLISIS DE DISEÑO GEOMÉTRICO					
CURVA N° :	C25	TANGENTE :	C24-C25	REGISTRO:	-14-
PROGRESIVAS			LONGITUD DE TRAMO RECTO		
PT-C24		PC-C25			
1351+897.96		1352+007.97		110.00	
DISEÑO EN PLANTA					
DESCRIPCION	CAMPO	SITUACION	DESCRIPCION	DG-2018	
Vdiseño	50 Km/h	Ok	Vdiseño	50-80 Km/h	
Δ	52.16 °	Ok	Δ_{min}	59'	
Radio	69.00 m	NO CUMPLE	Radiomin	70 m	
Lcurva	62.82 m	NO CUMPLE	Lcurvamin	150.00 m	
L.S	110.00 m	OK	Lmin.S	69.00 m	
L.O	-	-	Lmin.O	139.00 m	
NOTA:					
Considerando que es una carretera de primera Clase, orografía accidentada, con un radio de curva circular simple de 69 m, la norma DG-2018 menciona que para una velocidad de diseño de 50 Km/h se puede prescindir de la aplicación de curvas espirales para radios mayores a 225 m, por lo cual en esta curva SI se requiere curva espiral					
PLANO PLANTA					
DISEÑO EN SECCION TRANSVERSAL					
DESCRIPCION	CAMPO	SITUACION	DESCRIPCION	DG-2018	
Calzada	6.60	NO CUMPLE	Calzada Min	7.20 m	
Carril	3.30	NO CUMPLE	Carril Min	3.60 m	
Berma	1.50	NO CUMPLE	Berma Min	2.60 m	
Sobreancho	1.30	NO CUMPLE	Sobreancho	1.40 m	
Peralte	8.00 %	NO CUMPLE	Peralte	12.00 %	

TABLA 50 Análisis de Diseño geométrico Curva N° 26

ANÁLISIS DE DISEÑO GEOMÉTRICO					
CURVA N° :	C26	TANGENTE :	C25-C26	REGISTRO:	-15-
PROGRESIVAS			LONGITUD DE TRAMO RECTO		
PT-C25		PC-C26			
1352+070.78		1352+118.64		47.86	
DISEÑO EN PLANTA					
DESCRIPCION	CAMPO	SITUACION	DESCRIPCION	DG-2018	
Vdiseño	50 Km/h	Ok	Vdiseño	50-80 Km/h	
Δ	62.20 °	Ok	Δmin	59'	
Radio	179.00 m	OK	Radiomin	70 m	
Lcurva	194.43 m	OK	Lcurvamin	150.00 m	
L.S	47.86 m	NO CUMPLE	Lmin.S	69.00 m	
L.O	-	-	Lmin.O	139.00 m	
NOTA:					
Considerando que es una carretera de primera Clase, orografía accidentada, con un radio de curva circular simple de 179 m, la norma DG-2018 menciona que para una velocidad de diseño de 50 Km/h se puede prescindir de la aplicación de curvas espirales para radios mayores a 225 m, por lo cual en esta curva SI se requiere curva espiral					
PLANO PLANTA					
<p>The plan view map shows a road curve on a topographic background. Key features include: <ul style="list-style-type: none"> Stationing points: PC: 1352+070.78, PT: 1352+118.64, PC: 1352+118.64, PT: 1352+316.09, PC: 1352+316.09, PT: 1352+350.46. Curve data: PI=1352+041.74, Lc=82.815m, R=179.000m, Dc=52°39'36.15" Izq; PI=1352+228.77, Lc=97.454m, R=179.000m, Dc=63°12'9.23" Der. Scale bar: 0, 25, 50, 100 meters at 1:2,000. Labels for 'CAUSE' and 'C25', 'C26'. </p>					
DISEÑO EN SECCION TRANSVERSAL					
DESCRIPCION	CAMPO	SITUACION	DESCRIPCION	DG-2018	
Calzada	6.60	NO CUMPLE	Calzada Min	7.20 m	
Carril	3.30	NO CUMPLE	Carril Min	3.60 m	
Berma	1.50	NO CUMPLE	Berma Min	2.60 m	
Sobreechancho	0.70	OK	Sobreechancho	0.70 m	
Peralte	6.00 %	NO CUMPLE	Peralte	7.50 %	

TABLA 51 Análisis de Diseño geométrico Curva N° 27

ANÁLISIS DE DISEÑO GEOMÉTRICO				
CURVA N° :	C27	TANGENTE :	C26-C27	REGISTRO: -16-
PROGRESIVAS			LONGITUD DE TRAMO RECTO	
PT-C26		PC-C27		
1352+316.09		1352+350.46		34.37
DISEÑO EN PLANTA				
DESCRIPCION	CAMPO	SITUACION	DESCRIPCION	DG-2018
Vdiseño	50 Km/h	Ok	Vdiseño	50-80 Km/h
Δ	41.21 °	Ok	Δ_{min}	59'
Radio	95.00 m	OK	Radiomin	70 m
Lcurva	68.33 m	NO CUMPLE	Lcurvamin	150.00 m
L.S	34.37 m	NO CUMPLE	Lmin.S	69.00 m
L.O	-	-	Lmin.O	139.00 m
NOTA:				
Considerando que es una carretera de primera Clase, orografía accidentada, con un radio de curva circular simple de 95 m, la norma DG-2018 menciona que para una velocidad de diseño de 50 Km/h se puede prescindir de la aplicación de curvas espirales para radios mayores a 225 m, por lo cual en esta curva SI se requiere curva espiral				
PLANO PLANTA				
DISEÑO EN SECCION TRANSVERSAL				
DESCRIPCION	CAMPO	SITUACION	DESCRIPCION	DG-2018
Calzada	6.60	NO CUMPLE	Calzada Min	7.20 m
Carril	3.30	NO CUMPLE	Carril Min	3.60 m
Berma	2.20	NO CUMPLE	Berma Min	2.60 m
Sobreechancho	1.10	OK	Sobreechancho	1.10 m
Peralte	6.00 %	NO CUMPLE	Peralte	10.80 %

TABLA 52 Análisis de Diseño geométrico Curva N° 28

ANÁLISIS DE DISEÑO GEOMÉTRICO					
CURVA N° :	C28	TANGENTE :	C27-C28	REGISTRO:	-17-
PROGRESIVAS			LONGITUD DE TRAMO RECTO		
PT-C27		PC-C28			
1352+418.80		1352+538.30		119.50	
DISEÑO EN PLANTA					
DESCRIPCION	CAMPO	SITUACION	DESCRIPCION	DG-2018	
Vdiseño	50 Km/h	Ok	Vdiseño	50-80 Km/h	
Δ	13.50 °	Ok	Δmin	59'	
Radio	440.00 m	OK	Radiomin	70 m	
Lcurva	103.82 m	NO CUMPLE	Lcurvamin	150.00 m	
L.S	119.50 m	OK	Lmin.S	69.00 m	
L.O	-	-	Lmin.O	139.00 m	
NOTA:					
Considerando que es una carretera de primera Clase, orografía accidentada, con un radio de curva circular simple de 440 m, la norma DG-2018 menciona que para una velocidad de diseño de 50 Km/h se puede prescindir de la aplicación de curvas espirales para radios mayores a 225 m, por lo cual en esta curva NO se requiere curva espiral					
PLANO PLANTA					
DISEÑO EN SECCION TRANSVERSAL					
DESCRIPCION	CAMPO	SITUACION	DESCRIPCION	DG-2018	
Calzada	6.60	NO CUMPLE	Calzada Min	7.20 m	
Carril	3.30	NO CUMPLE	Carril Min	3.60 m	
Berma	1.60	NO CUMPLE	Berma Min	2.60 m	
Sobreechancho	0.30	NO CUMPLE	Sobreechancho	0.40 m	
Peralte	3.50 %	OK	Peralte	3.50 %	

TABLA 53 Análisis de Diseño geométrico Curva N° 29

ANÁLISIS DE DISEÑO GEOMÉTRICO					
CURVA N° :	C29	TANGENTE :	C28-C29	REGISTRO:	-18-
PROGRESIVAS			LONGITUD DE TRAMO RECTO		
PT-C28		PC-C29			
1352+642.13		1352+840.10		197.98	
DISEÑO EN PLANTA					
DESCRIPCION	CAMPO	SITUACION	DESCRIPCION	DG-2018	
Vdiseño	50 Km/h	Ok	Vdiseño	50-80 Km/h	
Δ	40.69 °	Ok	Δ_{min}	59'	
Radio	95.00 m	OK	Radiomin	70 m	
Lcurva	64.47 m	NO CUMPLE	Lcurvamin	150.00 m	
L.S	197.98 m	OK	Lmin.S	69.00 m	
L.O	-	-	Lmin.O	139.00 m	
NOTA:					
Considerando que es una carretera de primera Clase, orografía accidentada, con un radio de curva circular simple de 95 m, la norma DG-2018 menciona que para una velocidad de diseño de 50 Km/h se puede prescindir de la aplicación de curvas espirales para radios mayores a 225 m, por lo cual en esta curva SI se requiere curva espiral					
PLANO PLANTA					
DISEÑO EN SECCION TRANSVERSAL					
DESCRIPCION	CAMPO	SITUACION	DESCRIPCION	DG-2018	
Calzada	6.60	NO CUMPLE	Calzada Min	7.20 m	
Carril	3.30	NO CUMPLE	Carril Min	3.60 m	
Berma	2.25	NO CUMPLE	Berma Min	2.60 m	
Sobreeancho	1.00	NO CUMPLE	Sobreeancho	1.10 m	
Peralte	6.00 %	NO CUMPLE	Peralte	10.80 %	

TABLA 54 Análisis de Diseño geométrico Curva N° 30

ANÁLISIS DE DISEÑO GEOMÉTRICO					
CURVA N° :	C30	TANGENTE :	C29-C30	REGISTRO:	-19-
PROGRESIVAS			LONGITUD DE TRAMO RECTO		
PT-C29		PC-C30			
1352+907.58		1353+027.21		119.64	
DISEÑO EN PLANTA					
DESCRIPCION	CAMPO	SITUACION	DESCRIPCION	DG-2018	
Vdiseño	50 Km/h	Ok	Vdiseño	50-80 Km/h	
Δ	57.09 °	Ok	Δ_{min}	59'	
Radio	176.00 m	OK	Radiomin	70 m	
Lcurva	175.36 m	OK	Lcurvamin	150.00 m	
L.S	119.64 m	OK	Lmin.S	69.00 m	
L.O	-	-	Lmin.O	139.00 m	
NOTA:					
Considerando que es una carretera de primera Clase, orografía accidentada, con un radio de curva circular simple de 176 m, la norma DG-2018 menciona que para una velocidad de diseño de 50 Km/h se puede prescindir de la aplicación de curvas espirales para radios mayores a 225 m, por lo cual en esta curva SI se requiere curva espiral					
PLANO PLANTA					
DISEÑO EN SECCION TRANSVERSAL					
DESCRIPCION	CAMPO	SITUACION	DESCRIPCION	DG-2018	
Calzada	6.60	NO CUMPLE	Calzada Min	7.20 m	
Carril	3.30	NO CUMPLE	Carril Min	3.60 m	
Berma	1.00	NO CUMPLE	Berma Min	2.60 m	
Sobreeancho	0.70	OK	Sobreeancho	0.70 m	
Peralte	6.00 %	NO CUMPLE	Peralte	7.50 %	

4.4.3. GEOMETRIA EN PERFIL.

Mediante una reconstrucción de los elementos geométricos de las curvas verticales del perfil en el eje de la vía. Se obtuvo los siguientes resultados.

FIGURA 56 Pendiente longitudinal del Km 1349 al Km 1353+000

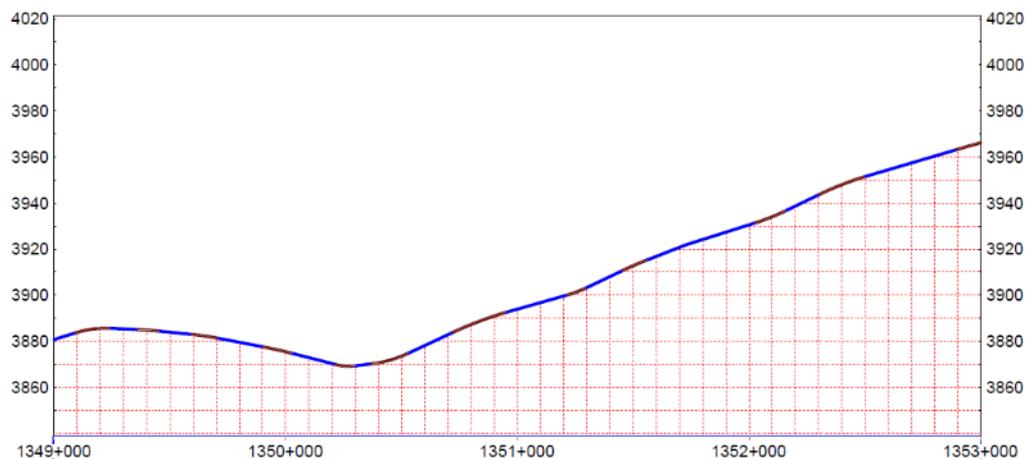


TABLA 55 Cuadro de elementos de curvas verticales

No.	Estación PVI	PVI Elevación	S1% Entrada	S2% Salida	A	Tipo de curva	LCV	K
1	1348+950.00	3879.192		2.98%				
2	1349+178.56	3886.007	2.98%	-0.51%	3.50%	Crest	150	42.92
3	1349+406.92	3884.834	-0.51%	-1.12%	0.61%	Crest	90	148.70
4	1349+625.89	3882.384	-1.12%	-1.78%	0.66%	Crest	115	174.42
5	1349+967.03	3876.318	-1.78%	-2.64%	0.86%	Crest	125	145.57
6	1350+251.01	3868.829	-2.64%	1.18%	3.82%	Sag	85	22.26
7	1350+442.25	3871.09	1.18%	4.62%	3.44%	Sag	160	46.56
8	1350+836.86	3889.315	4.62%	2.82%	1.80%	Crest	230	127.74
9	1351+260.52	3901.253	2.82%	5.23%	2.41%	Sag	80	33.23
10	1351+489.91	3913.239	5.23%	3.63%	1.59%	Crest	105	66.03
11	1351+726.31	3921.831	3.63%	3.26%	0.38%			
12	1352+086.17	3933.556	3.26%	4.95%	1.70%	Sag	130	76.67
13	1352+389.24	3948.569	4.95%	3.01%	1.94%	Crest	200	102.83
14	1352+958.20	3965.688	3.01%	2.51%	0.50%	Crest	165	328.86
15	1353+235.02	3972.628	2.51%	3.32%	0.81%	Sag	170	210.17

Donde:

- N°: Numero de curva vertical.
- Km PVI: Progresiva de punto de inflexión vertical.
- PVI(Z): Cota de punto de inflexión vertical.

- S1: Pendiente de entrada
- S2: Pendiente de salida
- A: Valor Absoluto de la diferencia algebraica de las pendientes.
- Sag: Curva cóncava
- Crest: Curva Convexa
- Lcv: Longitud de curva vertical
- K: Parámetro de curvatura.

Se ha determinado las distancias de parada para cada uno de las curvas verticales, evaluándose en IDA y RETERNO, para el cual se toma el valor máximo.

TABLA 56 Distancia de parada de ida y retorno

Dp Análisis DE IDA						Dp Análisis de RETORNO						Dp
PIV	S1	S2	Dp S1	Dp S2	Dp I	PIV	S1	S2	Dp S1	Dp S2	Dp R	Dp
1	2.98	-0.51	53.00	56.00	56	1	-2.98	0.51	57.00	54.00	57	57
2	-0.51	-1.12	56.00	56.00	56	2	0.51	1.12	54.00	54.00	54	56
3	-1.12	-1.78	56.00	56.00	56	3	1.12	1.78	54.00	53.00	54	56
4	-1.78	-2.64	56.00	57.00	57	4	1.78	2.64	53.00	53.00	53	57
5	-2.64	1.18	57.00	54.00	57	5	2.64	-1.18	53.00	56.00	56	57
6	1.18	4.62	54.00	51.00	54	6	-1.18	-4.62	56.00	59.00	59	59
7	4.62	2.82	51.00	53.00	53	7	-4.62	-2.82	59.00	57.00	59	59
8	2.82	5.23	53.00	51.00	53	8	-2.82	-5.23	57.00	59.00	59	59
9	5.23	3.63	51.00	52.00	52	9	-5.23	-3.63	59.00	58.00	59	59
11						11						
12	3.26	4.95	53.00	51.00	53	12	-3.26	-4.95	57.00	59.00	59	59
13	4.95	3.01	51.00	53.00	53	13	-4.95	-3.01	59.00	57.00	59	59
14	3.01	2.51	53.00	53.00	53	14	-3.01	-2.51	57.00	57.00	57	57
15	2.51	3.32	53.00	53.00	53	15	-2.51	-3.32	57.00	57.00	57	57

Donde:

- S1: Pendiente de entrada
- S2: Pendiente de salida
- Dp S1: Distancia de parada en pendiente de entrada
- Dp S2: Distancia de parada en pendiente de salida
- Dp I: Distancia de parada elegida de ida.
- Dp R: Distancia de parada elegida de retorno.
- Dp: Distancia de parada máxima.

Se ha considerado según la norma DG-2001 que por razones de estética la longitud de curva vertical debe ser mayor o igual a la velocidad de diseño.

TABLA 57 Lmin De Curva Vertical Según Visibilidad De Parada Dp

Dp E	Convexa		Cóncava		Lmin	Lmin R	Lmin VD	Lmin Abs.
	Dp>L	Dp<L	Dp>L	Dp<L				
57	-1.76		.....	.....	-1.76	-2.00	50.00	50.00
56	-550.30	4.74	.....	.....	4.74	5.00	50.00	50.00
56	-500.12	5.12	.....	.....	5.12	6.00	50.00	50.00
57	-355.77	6.92	.....	.....	6.92	7.00	50.00	50.00
57	.....	.....	30.36	38.85	38.85	39.00	50.00	50.00
59	.....	.....	23.09	36.68	36.68	37.00	50.00	50.00
59	-106.44	15.51	.....	.....	15.51	16.00	50.00	50.00
59	.....	.....	-17.48	25.69	25.69	26.00	50.00	50.00
59	-134.50	13.79	.....	.....	13.79	14.00	50.00	50.00
	.....	.....	.....	.....	0.00	0.00	50.00	50.00
59	.....	.....	-75.20	18.02	18.02	19.00	50.00	50.00
59	-90.25	16.72	.....	.....	16.72	17.00	50.00	50.00
57	-694.00	4.02	.....	.....	4.02	5.00	50.00	50.00
57	.....	.....	-280.44	8.24	8.24	9.00	50.00	50.00

Donde:

- Dp: Distancia de visibilidad de paso
- L: Longitud de la curva vertical (m)
- Lmin: Longitud mínima de parada
- Lmin R: Longitud mínima de parada redondeada
- Lmin VD: Longitud mínima por la velocidad de diseño.
- Lmin Absoluto: Longitud mínima a adoptar

Para determinar las distancias de paso o de adelantamiento se ha utilizados la velocidad de diseño de 50Km/h. **Ver Figura 17.**

TABLA 58 Distancia de paso o de adelantamiento.

Datos Civil 3D			Da E
PIV	V (km/h)	Curva	Da
1	50	Crest	230
2	50	Crest	230
3	50	Crest	230
4	50	Crest	230
5	50	Sag	230
6	50	Sag	230
7	50	Crest	230
8	50	Sag	230
9	50	Crest	230
11	50		
12	50	Sag	230
13	50	Crest	230
14	50	Crest	230
15	50	Sag	230

Donde:

- Sag: Curva cóncava
- Crest: Curva Convexa
- Da E: Distancia de adelantamiento elegida

Se ha calculado la longitud de curva vertical considerando la distancia de visibilidad de paso o adelantamiento por lo que se tiene los siguientes resultados.

TABLA 59 Lmin De Curva Vertical Según Visibilidad De Paso Da

Convexa		Lmin	Lmin R	Lmin VD	Lmin Abs.
Da>L	Da<L				
188.94	195.16	195.16	196.00	50.00	196.00
-1090.82	34.11	34.11	35.00	50.00	50.00
-973.33	36.91	36.91	37.00	50.00	50.00
-640.00	48.09	48.09	49.00	50.00	50.00
.....	.....	0.00	0.00	50.00	50.00
.....	.....	0.00	0.00	50.00	50.00
-65.56	100.66	100.66	101.00	50.00	101.00
.....	.....	0.00	0.00	50.00	50.00
-131.25	89.47	89.47	90.00	50.00	90.00
.....	.....	0.00	0.00	50.00	50.00
.....	.....	0.00	0.00	50.00	50.00
-27.63	108.48	108.48	109.00	50.00	109.00
-1432.00	27.96	27.96	28.00	50.00	50.00
.....	.....	0.00	0.00	50.00	50.00

Donde:

- Da: Distancia de Visibilidad de paso o adelantamiento (m)
- L: Longitud de la curva vertical (m)
- Lmin R: Longitud mínima de parada redondeada
- Lmin VD: Longitud mínima por la velocidad de diseño.
- Lmin Absoluto: Longitud mínima a adoptar

Finalmente se tiene el cálculo de los elementos básicos de una curva vertical, tanto para curvas verticales convexas y cóncavas.

TABLA 60 Longitud mínima de curva vertical

PIV	K	CONVEXA	CÓNCAVA	CIVIL 3D
1	56.16	196.00	...	Crest - 196
2	81.97	50.00	...	Crest - 50
3	75.76	50.00	...	Crest - 50
4	58.14	50.00	...	Crest - 50
5	13.09	...	50.00	Sag - 50
6	14.53	...	50.00	Sag - 50
7	56.11	101.00	...	Crest - 101
8	20.75	...	50.00	Sag - 50
9	56.25	90.00	...	Crest - 90
11				
12	29.59	...	50.00	Sag - 50
13	56.19	109.00	...	Crest - 109
14	100.00	50.00	...	Crest - 50
15	61.73	...	50.00	Sag - 50

Donde:

- N°: Numero de curva vertical.
- K: Parámetro de curvatura.

Comparando la Tabla N° 55 y Tabla N° 60 se aprecia que la curva N° 2 no cumple con la longitud de curva mínima.

4.5. REDISEÑO GEOMÉTRICO DE LA VÍA EXISTENTE

4.5.1. CLASIFICACION DEL TRAMO DE ESTUDIO.

Según lo indicado en la parte de Análisis de Diseño Geométrico existente, se ha determinado que esta carretera cumple para una autopista de segunda clase según el IMDA, sin embargo, considerando que actualmente viene ejecutándose la Autopista Puno-Juliaca, el cual considera un evitamiento a este tramo de estudio. Por el cual se considerará como una carretera de primera clase.

Según estudios de orografía el tramo de investigación se considera con orografía accidentado, el cual tiende a escarpado.

4.5.2. VEHICULO DE DISEÑO

Según el estudio de tráfico en la **Tabla 31**, se puede apreciar que los vehículos ligeros son el 84.48% del IMDA, Seguido del Camión de dos ejes (C2) con 4.76%. por el cual para efectos de cálculo de sobrecanchos se consideró este vehículo C2, con 7.30m de longitud.

4.5.3. VELOCIDAD DE OPERACIÓN.

Según la **TABLA 8** Valores de velocidades máximas de operación indica que para vehículos C2 en una carretera de primera clase y una orografía accidentada la velocidad máxima de operación es de 60Km/h. Así mismo se tiene que la velocidad de operación determinada en esta investigación en la **TABLA 32** para los camiones se tiene la velocidad de operación en la dirección de Puno – Juliaca es de 68 Km/h y en el sentido de Juliaca – Puno es de 63 Km/h.

Por efectos de cálculo de los elementos geométricos consideraremos la velocidad de operación de 60 Km/h, en concordancia a la norma DG-2018. Viendo también que en la ruta la topografía presente no permite la utilización de una mayor velocidad de operación.

4.5.4. REDISEÑO GEOMÉTRICO EN PLANTA Y SECCION TRANSVERSAL CON VELOCIDAD DE OPERACIÓN.

Tomando en consideración el eje existente en la vía de estudio, se realizó las variaciones del trazo en planta para el cumplimiento de los

parámetros mínimo exigidos por la norma DG-2018. Las cuales son las siguientes:

- **TRAMOS EN TANGENTE (RECTO):** Con respecto a los tramos en tangente las longitudes mínimas admisibles en “S” es de 83m, para longitudes mínimas en tangente en “O” es de 167m y finalmente la longitud máxima de tramos en tangente es de 1002m para la velocidad de diseño de 60km/h. **(Tabla 11)**
- **RADIO MINIMO Y PERALTE MAXIMO:** Para área rural (accidentada o escarpada) para una velocidad de diseño de 60km/h el peralte máximo es de 12% y el radio mínimo a adoptarse es de 105m. **(Tabla 12)**
- **PERALTE:** Respecto a los cálculos de peralte de cada una de las curvas sebera adoptarse mediante la **FIGURA 24 Peralte en zona rural (Tipo 3 ó 4).**
- **CURVAS DE TRANSICION:** En referencia a la **Tabla N° 14** los radios circulares que permiten prescindir de la curva de transición son radios mayores o iguales a 325 m, esto para una velocidad de diseño de 60Km/h.
- **CALZADA:** Según la **Tabla N° 17** indica que para la velocidad de 60Km/h al tipo de clasificación de este tramo debe considerarse como mínimo un ancho de calzada de 7.20m.
- **BERMA:** Según la **Tabla N° 18** indica que debe considerarse una berma mínima de 2.60m esto para las características dadas para este tramo.
- **BOMBEO:** Según la **Tabla N° 19** indica que el bombeo para una superficie de rodadura tipo Pavimento asfaltico debe ser de 2.00%.

TABLA 61 Elementos de curva y evaluación de uso de espiral

N° CURVA	Δ	S	Radio	VD	T	Externa	PI	ESPIRAL
12	3° 42' 2.7"	I	105	60	3.392	0.055	13490+29.58	SI
13	34° 20' 7.9"	D	105	60	32.438	4.896	13492+08.14	SI
14	16° 24' 40.9"	I	180	60	25.957	1.862	13494+07.44	SI
15	5° 42' 4.4"	I	270	60	13.444	0.335	13496+31.74	SI
16	8° 36' 32.2"	D	200	60	15.054	0.566	13499+49.24	SI

17	26° 12' 33.4"	I	115	60	26.771	3.075	13501+47.71	SI
18	34° 45' 48.0"	D	105	60	32.868	5.024	13503+51.11	SI
19	9° 45' 45.2"	D	400	60	34.16	1.456	13506+31.37	NO
20	2° 36' 39.8"	I	220	60	5.014	0.057	13508+33.51	SI
21	33° 39' 23.8"	I	105	60	31.758	4.698	13510+62.56	SI
22	39° 23' 2.4"	D	110	60	39.368	6.833	13513+20.39	SI
23	20° 52' 23.0"	I	120	60	22.103	2.019	13516+76.22	SI
24	8° 10' 22.5"	D	120	60	8.573	0.306	13518+49.48	SI
25	24° 12' 29.7"	I	105	60	22.518	2.387	13520+24.19	SI
26	30° 6' 30.1"	D	110	60	29.586	3.909	13522+18.43	SI
27	17° 23' 44.8"	I	105	60	16.063	1.222	13524+05.92	SI
28	15° 9' 34.7"	D	350	60	46.575	3.085	13526+10.08	NO
29	25° 9' 26.9"	I	105	60	23.429	2.582	13528+54.13	SI
30	36° 50' 48.1"	D	120	60	39.973	6.483	13530+82.30	SI

Se puede apreciar que solo dos curvas pueden prescindir de la aplicación de curvas espirales. Por el cual en el resto de curvas se aplicó curvas espirales esto a fin de dar mayor seguridad a los conductores y estos no tengan dificultades de maniobra de pasar de un tramo recto a un tramo curvo.

TABLA 62 Parámetros para cálculo de curvas de transición.

Curva	Radio	Vd	Espiral	b%	P%	B	lp
12	105	60	SI	-2	12	3.6	1.2
13	105	60	SI	-2	12	3.6	1.2
14	180	60	SI	-2	9.7	3.6	1.2
15	270	60	SI	-2	7.4	3.6	1.2
16	200	60	SI	-2	9.1	3.6	1.2
17	115	60	SI	-2	12	3.6	1.2
18	105	60	SI	-2	12	3.6	1.2
19	400	60	No				
20	220	60	SI	-2	8.6	3.6	1.2
21	105	60	SI	-2	12	3.6	1.2
22	110	60	SI	-2	12	3.6	1.2
23	120	60	SI	-2	11.6	3.6	1.2
24	120	60	SI	-2	11.8	3.6	1.2
25	105	60	SI	-2	12	3.6	1.2
26	110	60	SI	-2	12	3.6	1.2
27	105	60	SI	-2	12	3.6	1.2
28	350	60	No				
29	105	60	SI	-2	12	3.6	1.2
30	120	60	SI	-2	11.6	3.6	1.2

Donde:

- IP: Máxima inclinación de cualquier borde calzada respecto al eje de la vía.
- P%: Peralte en la curva
- b%: Bombeo

TABLA 63 Cálculos de condiciones de espirales.

Curva	J	Amin	Ls min	1.5*Ls min	Lt	A	R/3<=A	A<=R	A>Amin
12	0.7	60.613	34.990	52.485	35	60.62	OK	OK	OK
13	0.7	60.613	34.990	52.485	35	60.62	OK	OK	OK
14	0.7	50.399	14.111	21.167	30	73.48	OK	OK	OK
15	0.7	44.182	7.230	10.845	30	90.00	OK	OK	OK
16	0.7	48.655	11.837	17.755	40	89.44	OK	OK	OK
17	0.7	58.258	29.513	44.269	30	58.74	OK	OK	OK
18	0.7	60.613	34.990	52.485	35	60.62	OK	OK	OK
19									
20	0.7	46.897	9.997	14.996	35	87.75	OK	OK	OK
21	0.7	60.613	34.990	52.485	45	68.74	OK	OK	OK
22	0.7	59.447	32.127	48.190	50	74.16	OK	OK	OK
23	0.7	58.017	28.050	42.075	30	60.00	OK	OK	OK
24	0.7	57.532	27.583	41.375	30	60.00	OK	OK	OK
25	0.7	60.613	34.990	52.485	35	60.62	OK	OK	OK
26	0.7	59.447	32.127	48.190	35	62.05	OK	OK	OK
27	0.7	60.613	34.990	52.485	35	60.62	OK	OK	OK
28									
29	0.7	60.613	34.990	52.485	50	72.46	OK	OK	OK
30	0.7	58.017	28.050	42.075	30	60.00	OK	OK	OK

Donde:

- J: Variación uniforme de la aceleración (m/s³)
- Amin: Parámetro mínimo de curvas de transición.
- Lmin: Longitud mínima de curva de transición
- Lt: Longitud de transición

TABLA 64 Cuadro de elementos de curvas horizontales 1.

N°	Angulo	Radio	Vd	Lt Entrada	L Curva	Lt Salida	T	E
12	8° 10' 2.1"	105	60	35.00	14.97	35.00	7.50	0.27
13	35° 44' 18.6"	105	60	35.00	65.49	35.00	33.85	5.32
14	20° 4' 36.8"	180	60	30.00	63.07	30.00	31.86	2.80
15	4° 30' 2.8"	270	60	30.00	21.21	30.00	10.61	0.21
16	6° 17' 15.5"	200	60	40.00	21.95	40.00	10.99	0.30
17	26° 12' 33.4"	115	60	30.00	52.61	30.00	26.77	3.08
18	32° 2' 5.9"	105	60	35.00	58.71	35.00	30.14	4.24
19	10° 19' 43.5"	400	60		72.11		36.15	1.63
20	1° 32' 59.4"	220	60	35.00	5.95	35.00	2.98	0.02
21	26° 9' 47.8"	105	60	45.00	47.95	45.00	24.40	2.80
22	29° 35' 1.4"	110	60	50.00	56.80	50.00	29.05	3.77
23	20° 42' 58.2"	120	60	30.00	43.39	30.00	21.93	1.99
24	8° 38' 9.7"	120	60	30.00	18.09	30.00	9.06	0.34
25	24° 7' 24.7"	105	60	35.00	44.21	35.00	22.44	2.37
26	31° 32' 22.9"	110	60	35.00	60.55	35.00	31.06	4.30
27	18° 43' 31.0"	105	60	35.00	34.32	35.00	17.31	1.42
28	16° 57' 17.6"	350	60		103.57		52.17	3.87
29	14° 14' 38.4"	105	60	50.00	26.10	50.00	13.12	0.82
30	36° 50' 48.1"	120	60	30.00	77.17	30.00	39.97	6.48
31	83° 1' 36.9"	52	60	30.00	75.35	30.00	46.03	17.44

Donde:

- Vd: Velocidad de diseño
- T: Tangente
- E: Externa
- Lt Entrada: Longitud de transición de entrada.
- Lt Salida: Longitud de transición de salida.
- L Curva: Longitud de Curva.

TABLA 65 Cuadro de progresivas de elementos geométricos de curvas horizontales.

N°	TE	EC/PC	CE/PT	ET	PI
12	13489+72.24	13490+07.24	13490+22.21	13490+57.21	13490+14.74
13	13491+35.86	13491+70.86	13492+36.35	13492+71.35	13492+04.71
14	13493+52.67	13493+82.67	13494+45.75	13494+75.75	13494+14.54
15	13496+14.15	13496+44.15	13496+65.36	13496+95.36	13496+54.76
16	13499+03.81	13499+43.81	13499+65.76	13500+05.76	13499+54.80
17	13500+96.46	13501+26.46	13501+79.07	13502+09.07	13501+53.24
18	13502+91.21	13503+26.21	13503+84.92	13504+19.92	13503+56.35
19		13506+00.63	13506+72.74		13506+36.78
20	13507+99.89	13508+34.89	13508+40.84	13508+75.84	13508+37.87
21	13509+97.71	13510+42.71	13510+90.66	13511+35.66	13510+67.11

22	13512+47.29	13512+97.29	13513+54.08	13514+04.08	13513+26.33
23	13516+24.64	13516+54.64	13516+98.03	13517+28.03	13516+76.57
24	13518+11.16	13518+41.16	13518+59.24	13518+89.24	13518+50.22
25	13519+70.58	13520+05.58	13520+49.79	13520+84.79	13520+28.02
26	13521+63.98	13521+98.98	13522+59.54	13522+94.54	13522+30.05
27	13523+73.39	13524+08.39	13524+42.70	13524+77.70	13524+25.70
28		13525+70.25	13526+73.82		13526+22.42
29	13528+02.61	13528+52.61	13528+78.72	13529+28.72	13528+65.73
30	13530+24.04	13530+54.04	13531+31.21	13531+61.21	13530+94.01
31	13532+45.92	13532+75.92	13533+51.27	13533+81.27	13533+21.95

Donde:

- TE: Tangente espiral
- EC/PC: Espiral Curva / Inicio de curva
- CE/PT: Curva Espiral / Punto tangente
- ET: Espiral tangente
- PI: Punto de inflexión
- Sa(m): Sobreanchos

TABLA 66 Cuadro de Peraltes y sobreanchos.

N°	PI curva		Peralte (%)	Sa (m)
	ESTE	NORTE		
12	389412.903	8255184.89	12	1.1
13	389452.85	8254999.61	12	1.1
14	389327.176	8254829.34	9.7	0.8
15	389283.915	8254592.53	7.4	0.6
16	389285.949	8254292.59	8.8	0.7
17	389236.017	8254100.76	11.8	1.1
18	389309.574	8253910.91	12	1.1
19	389189.503	8253656.22	5.3	0.5
20	389069.369	8253494.76	8.6	0.7
21	388974.57	8253286.78	12	1.1
22	389064.246	8253043.82	12	1.1
23	388894.871	8252736.84	11.6	1
24	388900.086	8252563.01	11.8	1
25	388849.532	8252392.88	12	1.1
26	388920.507	8252203.55	12	1.1
27	388845.793	8252021.54	12	1.1
28	388882.42	8251828.23	5.8	0.5
29	388868.969	8251585.07	12	1.1
30	388994.235	8251394.82	11.6	1
31	388958.714	8251168.31	12	1.9

4.5.5. REDISEÑO GEOMÉTRICO EN PERFIL CON VELOCIDAD DE OPERACIÓN.

- Respecto al diseño geométrico en perfil debe considerarse pendientes máximas hasta 7%.

TABLA 67 Cuadro de elementos de curvas verticales iniciales.

No.	Km PVI	PVI (Z)	S1	S2	A	Tipo	Lcv	K
1	13491+44.38m	3886.435m	3.73%	-0.44%	4.16%	Crest	224.673m	53.969
2	13496+24.54m	3884.346m	-0.44%	-2.26%	1.82%	Crest	206.831m	113.575
3	13500+60.39m	3874.513m	-2.26%	-2.78%	0.52%	Crest	200.000m	384.479
4	13504+86.10m	3862.694m	-2.78%	6.98%	9.75%	Sag	199.395m	20.445
5	13509+16.10m	3892.692m	6.98%	1.45%	5.53%	Crest	200.000m	36.171
6	13513+03.33m	3898.295m	1.45%	6.01%	4.56%	Sag	200.000m	43.838
7	13516+56.62m	3919.524m	6.01%	1.99%	4.02%	Crest	200.000m	49.702
8	13521+98.21m	3930.276m	1.99%	5.65%	3.67%	Sag	200.000m	54.519
9	13528+26.12m	3965.776m	5.65%	0.57%	5.08%	Crest	165.484m	32.545
10	13532+78.38m	3968.348m	0.57%	10.71%	10.14%	Sag	200.000m	19.716

Donde:

- N°: Numero de curva vertical.
- Km PVI: Progresiva de punto de inflexión vertical.
- PVI(Z): Cota de punto de inflexión vertical.
- P1: Pendiente de entrada
- P2: Pendiente de salida
- A: Valor Absoluto de la diferencia algebraica de las pendientes.
- Sag: Curva cóncava
- Crest: Curva Convexa
- Lcv: Longitud de curva vertical
- K: Parámetro de curvatura.

Se ha determinado las distancias de parada para cada uno de las curvas verticales, evaluándose en IDA y RETERNO, para el cual se toma el valor máximo.

TABLA 68 Distancia de parada de ida y retorno

Dp Análisis DE IDA						Dp Análisis de RETORNO						Dp
PIV	S1	S2	Dp S1	Dp S2	Dp I	PIV	S1	S2	Dp S1	Dp S2	Dp R	
1	3.73	-0.4	70.00	74.00	74	1	-3.7	0.44	90.00	74.00	90	90
2	-0.4	-2.3	74.00	76.00	76	2	0.44	2.26	74.00	72.00	74	76
3	-2.3	-2.8	76.00	78.00	78	3	2.26	2.78	72.00	71.00	72	78
4	-2.8	6.98	78.00	67.00	78	4	2.78	-7	71.00	84.00	84	84
5	6.98	1.45	67.00	73.00	73	5	-7	-1.5	84.00	75.00	84	84
6	1.45	6.01	73.00	68.00	73	6	-1.5	-6	75.00	82.00	82	82
7	6.01	1.99	68.00	72.00	72	7	-6	-2	82.00	76.00	82	82
8	1.99	5.65	72.00	68.00	72	8	-2	-5.7	76.00	82.00	82	82
9	1.99	5.65	72.00	68.00	72	9	-2	-5.7	76.00	82.00	82	82
10	1.99	5.65	72.00	68.00	72	10	-2	-5.7	76.00	82.00	82	82

Donde:

- S1: Pendiente de entrada
- S2: Pendiente de salida
- Dp S1: Distancia de parada en pendiente de entrada
- Dp S2: Distancia de parada en pendiente de salida
- Dp I: Distancia de parada elegida de ida.
- Dp R: Distancia de parada elegida de retorno.
- Dp: Distancia de parada máxima.

Se ha considerado según la norma DG-2001 que por razones de estética la longitud de curva vertical debe ser mayor o igual a la velocidad de diseño.

TABLA 69 Lmin De Curva Vertical Según Visibilidad De Parada Dp

Lmin de curva vertical según visibilidad de Parada Dp								
Dp E	Convexa		Concava		Lmin	Lmin R	Lmin VD	Lmin Absoluto
	Dp>L	Dp<L	Dp>L	Dp<L				
90	83.12	83.61	.....	.....	83.61	84.00	60.00	84.00
76	-69.98	26.02	.....	.....	26.02	27.00	60.00	60.00
78	-620.92	7.83	.....	.....	7.83	8.00	60.00	60.00
84	.....	.....	125.58	166.34	166.34	167.00	60.00	167.00
84	94.94	96.58	.....	.....	96.58	97.00	60.00	97.00
82	.....	.....	74.75	75.34	75.34	76.00	60.00	76.00
82	63.50	66.91	.....	.....	66.91	67.00	60.00	67.00
82	.....	.....	52.80	60.47	60.47	61.00	60.00	61.00
82	.....	.....	52.80	60.47	60.47	61.00	60.00	61.00
82	.....	.....	52.80	60.47	60.47	61.00	60.00	61.00

Donde:

- Dp: Distancia de visibilidad de paso
- L: Longitud de la curva vertical (m)
- Lmin: Longitud mínima de parada
- Lmin R: Longitud mínima de parada redondeada
- Lmin VD: Longitud mínima por la velocidad de diseño.
- Lmin Absoluto: Longitud mínima a adoptar

Se ha calculado la longitud de curva vertical considerando la distancia de visibilidad de paso o adelantamiento por lo que se tiene los siguientes resultados.

Para el cálculo de distancia de visibilidad de paso o adelantamiento ver la **Figura 17**.

TABLA 70 Lmin De Curva Vertical Según Visibilidad De Paso Da

Lmin de curva vertical según visibilidad de Paso Da						
Da E	Convexa		Lmin	Lmin R	Lmin VD	Lmin Absoluto
	Da>L	Da<L				
290	353.14	370.72	370.72	371.00	60.00	371.00
290	60.22	161.80	161.80	162.00	60.00	162.00
290	-1239.23	46.23	46.23	47.00	60.00	60.00
290	.....	.....	0.00	0.00	60.00	60.00
290	408.93	491.62	491.62	492.00	60.00	492.00
290	.....	.....	0.00	0.00	60.00	60.00
290	344.68	357.38	357.38	358.00	60.00	358.00
290	.....	.....	0.00	0.00	60.00	60.00
290	.....	.....	0.00	0.00	60.00	60.00
290	.....	.....	0.00	0.00	60.00	60.00

Donde:

- Da: Distancia de Visibilidad de paso o adelantamiento (m)
- L: Longitud de la curva vertical (m)
- Lmin R: Longitud mínima de parada redondeada
- Lmin VD: Longitud mínima por la velocidad de diseño.
- Lmin Absoluto: Longitud mínima a adoptar

Finalmente se tiene el cálculo de los elementos básicos de una curva vertical, tanto para curvas verticales convexas y cóncavas.

TABLA 71 Longitud mínima de curva vertical recalculadas y adoptadas

Longitud mínima de curva vertical				
PIV	K	Convexa	Cóncava	Civil 3D
1	88.97	371.00	...	Crest - 371
2	89.01	162.00	...	Crest - 162
3	115.38	60.00	...	Crest - 60
4	17.11	...	167.00	Sag - 167
5	88.97	492.00	...	Crest - 492
6	16.67	...	76.00	Sag - 76
7	89.05	358.00	...	Crest - 358
8	16.67	...	61.00	Sag - 61
9	16.67	...	61.00	Sag - 61
10	16.67	...	61.00	Sag - 61

Finalmente, con estos datos calculados de K y longitud mínima de curva se adopta para el diseño de las curvas verticales.

4.6. CONSISTENCIA POR EL CRITERIO DE LAMM.

4.6.1. CRITERIO DE LAMM I.

Se tiene los siguientes resultados según el Criterio de Lamm I en referencia a la **Tabla 25**. En las que se describirá la consistencia por bueno (Verde), regular (amarillo) y malo (rojo).

TABLA 72 Criterio de Lamm I para vehículos ligeros

N°	ELEMENTO	VEHICULOS LIGEROS									
		PUNO - JULIACA					JULIACA - PUNO				
		V85	VD	IV85-VDI	DISEÑO	COLOR	V85	VD	IV85-VDI	DISEÑO	COLOR
1	C11 - C12	66	50	16	REGULAR		68	50	18	REGULAR	
2	C12	64	50	14	REGULAR		60	50	10	BUENO	
3	C12 - C13	69	50	19	REGULAR		64	50	14	REGULAR	
4	C13	65	50	15	REGULAR		63	50	13	REGULAR	
5	C13 - C14	78	50	28	MALO		71	50	21	MALO	
6	C14	74	50	24	MALO		70	50	20	REGULAR	
7	C14 - C15	80	50	30	MALO		74	50	24	MALO	
8	C15	86	50	36	MALO		80	50	30	MALO	
9	C15 - C16	88	50	38	MALO		86	50	36	MALO	
10	C16	86	50	36	MALO		82	50	32	MALO	
11	C16 - C17	78	50	28	MALO		74	50	24	MALO	
12	C17	75	50	25	MALO		72	50	22	MALO	
13	C17 - C18	73	50	23	MALO		70	50	20	REGULAR	
14	C18	71	50	21	MALO		69	50	19	REGULAR	
15	C18 - C19	74	50	24	MALO		70	50	20	REGULAR	
16	C19	80	50	30	MALO		74	50	24	MALO	
17	C19 - C20	83	50	33	MALO		75	50	25	MALO	
18	C20	80	50	30	MALO		74	50	24	MALO	
19	C20 - C21	73	50	23	MALO		71	50	21	MALO	
20	C21	68	50	18	REGULAR		64	50	14	REGULAR	
21	C21 - C22	71	50	21	MALO		67	50	17	REGULAR	
22	C22	75	50	25	MALO		69	50	19	REGULAR	
23	C22 - C23	77	50	27	MALO		69	50	19	REGULAR	
24	C23	70	50	20	REGULAR		64	50	14	REGULAR	
25	C23 - C24	73	50	23	MALO		66	50	16	REGULAR	
26	C24	81	50	31	MALO		71	50	21	MALO	
27	C24 - C25	75	50	25	MALO		69	50	19	REGULAR	
28	C25	66	50	16	REGULAR		63	50	13	REGULAR	
29	C25 - C26	69	50	19	REGULAR		66	50	16	REGULAR	
30	C26	77	50	27	MALO		71	50	21	MALO	
31	C26 - C27	78	50	28	MALO		74	50	24	MALO	
32	C27	75	50	25	MALO		66	50	16	REGULAR	
33	C27 - C28	76	50	26	MALO		70	50	20	REGULAR	
34	C28	76	50	26	MALO		70	50	20	REGULAR	
35	C28 - C29	71	50	21	MALO		68	50	18	REGULAR	
36	C29	69	50	19	REGULAR		63	50	13	REGULAR	
37	C29 - C30	72	50	22	MALO		60	50	10	BUENO	
38	C30	72	50	22	MALO		58	50	8	BUENO	
	P85	80	50	30	MALO		74	50	24	MALO	

TABLA 73 Criterio de Lamm I para buses

N°	ELEMENTO	BUSES									
		PUNO - JULIACA					JULIACA - PUNO				
		V85	VD	IV85-VDI	DISEÑO	COLOR	V85	VD	IV85-VDI	DISEÑO	COLOR
1	C11 - C12	60	50	10	BUENO		58	50	8	BUENO	
2	C12	59	50	9	BUENO		56	50	6	BUENO	
3	C12 - C13	61	50	11	REGULAR		56	50	6	BUENO	
4	C13	58	50	8	BUENO		54	50	4	BUENO	
5	C13 - C14	68	50	18	REGULAR		61	50	11	REGULAR	
6	C14	65	50	15	REGULAR		61	50	11	REGULAR	
7	C14 - C15	72	50	22	MALO		69	50	19	REGULAR	
8	C15	77	50	27	MALO		69	50	19	REGULAR	
9	C15 - C16	83	50	33	MALO		74	50	24	MALO	
10	C16	76	50	26	MALO		70	50	20	REGULAR	
11	C16 - C17	68	50	18	REGULAR		61	50	11	REGULAR	
12	C17	71	50	21	MALO		64	50	14	REGULAR	
13	C17 - C18	71	50	21	MALO		65	50	15	REGULAR	
14	C18	58	50	8	BUENO		53	50	3	BUENO	
15	C18 - C19	65	50	15	REGULAR		61	50	11	REGULAR	
16	C19	72	50	22	MALO		69	50	19	REGULAR	
17	C19 - C20	70	50	20	REGULAR		67	50	17	REGULAR	
18	C20	72	50	22	MALO		69	50	19	REGULAR	
19	C20 - C21	69	50	19	REGULAR		61	50	11	REGULAR	
20	C21	62	50	12	REGULAR		58	50	8	BUENO	
21	C21 - C22	66	50	16	REGULAR		58	50	8	BUENO	
22	C22	67	50	17	REGULAR		64	50	14	REGULAR	
23	C22 - C23	67	50	17	REGULAR		63	50	13	REGULAR	
24	C23	67	50	17	REGULAR		60	50	10	BUENO	
25	C23 - C24	69	50	19	REGULAR		62	50	12	REGULAR	
26	C24	64	50	14	REGULAR		63	50	13	REGULAR	
27	C24 - C25	65	50	15	REGULAR		63	50	13	REGULAR	
28	C25	64	50	14	REGULAR		62	50	12	REGULAR	
29	C25 - C26	66	50	16	REGULAR		64	50	14	REGULAR	
30	C26	68	50	18	REGULAR		63	50	13	REGULAR	
31	C26 - C27	69	50	19	REGULAR		64	50	14	REGULAR	
32	C27	62	50	12	REGULAR		56	50	6	BUENO	
33	C27 - C28	68	50	18	REGULAR		63	50	13	REGULAR	
34	C28	68	50	18	REGULAR		61	50	11	REGULAR	
35	C28 - C29	68	50	18	REGULAR		60	50	10	BUENO	
36	C29	56	50	6	BUENO		53	50	3	BUENO	
37	C29 - C30	57	50	7	BUENO		52	50	2	BUENO	
38	C30	56	50	6	BUENO		47	50	3	BUENO	
	P85	71.45	50	21.45	MALO		67.9	50	17.9	REGULAR	

TABLA 74 Criterio de Lamm I para camiones

N°	ELEMENTO	CAMION									
		PUNO - JULIACA					JULIACA - PUNO				
		V85	VD	IV85-VDI	DISEÑO	COLOR	V85	VD	IV85-VDI	DISEÑO	COLOR
1	C11 - C12	56	50	6	BUENO	VERDE	52	50	2	BUENO	VERDE
2	C12	55	50	5	BUENO	VERDE	51	50	1	BUENO	VERDE
3	C12 - C13	58	50	8	BUENO	VERDE	50	50	0	BUENO	VERDE
4	C13	52	50	2	BUENO	VERDE	48	50	2	BUENO	VERDE
5	C13 - C14	61	50	11	REGULAR	AMARILLO	59	50	9	BUENO	VERDE
6	C14	64	50	14	REGULAR	AMARILLO	59	50	9	BUENO	VERDE
7	C14 - C15	68	50	18	REGULAR	AMARILLO	63	50	13	REGULAR	AMARILLO
8	C15	68	50	18	REGULAR	AMARILLO	63	50	13	REGULAR	AMARILLO
9	C15 - C16	68	50	18	REGULAR	AMARILLO	65	50	15	REGULAR	AMARILLO
10	C16	68	50	18	REGULAR	AMARILLO	63	50	13	REGULAR	AMARILLO
11	C16 - C17	66	50	16	REGULAR	AMARILLO	65	50	15	REGULAR	AMARILLO
12	C17	68	50	18	REGULAR	AMARILLO	63	50	13	REGULAR	AMARILLO
13	C17 - C18	68	50	18	REGULAR	AMARILLO	63	50	13	REGULAR	AMARILLO
14	C18	56	50	6	BUENO	VERDE	53	50	3	BUENO	VERDE
15	C18 - C19	64	50	14	REGULAR	AMARILLO	59	50	9	BUENO	VERDE
16	C19	68	50	18	REGULAR	AMARILLO	63	50	13	REGULAR	AMARILLO
17	C19 - C20	71	50	21	MALO	ROJO	68	50	18	REGULAR	AMARILLO
18	C20	68	50	18	REGULAR	AMARILLO	63	50	13	REGULAR	AMARILLO
19	C20 - C21	64	50	14	REGULAR	AMARILLO	59	50	9	BUENO	VERDE
20	C21	56	50	6	BUENO	VERDE	51	50	1	BUENO	VERDE
21	C21 - C22	61	50	11	REGULAR	AMARILLO	53	50	3	BUENO	VERDE
22	C22	60	50	10	BUENO	VERDE	60	50	10	BUENO	VERDE
23	C22 - C23	60	50	10	BUENO	VERDE	56	50	6	BUENO	VERDE
24	C23	55	50	5	BUENO	VERDE	52	50	2	BUENO	VERDE
25	C23 - C24	60	50	10	BUENO	VERDE	55	50	5	BUENO	VERDE
26	C24	61	50	11	REGULAR	AMARILLO	58	50	8	BUENO	VERDE
27	C24 - C25	62	50	12	REGULAR	AMARILLO	59	50	9	BUENO	VERDE
28	C25	61	50	11	REGULAR	AMARILLO	53	50	3	BUENO	VERDE
29	C25 - C26	66	50	16	REGULAR	AMARILLO	54	50	4	BUENO	VERDE
30	C26	65	50	15	REGULAR	AMARILLO	56	50	6	BUENO	VERDE
31	C26 - C27	65	50	15	REGULAR	AMARILLO	59	50	9	BUENO	VERDE
32	C27	59	50	9	BUENO	VERDE	56	50	6	BUENO	VERDE
33	C27 - C28	68	50	18	REGULAR	AMARILLO	56	50	6	BUENO	VERDE
34	C28	66	50	16	REGULAR	AMARILLO	58	50	8	BUENO	VERDE
35	C28 - C29	65	50	15	REGULAR	AMARILLO	56	50	6	BUENO	VERDE
36	C29	62	50	12	REGULAR	AMARILLO	50	50	0	BUENO	VERDE
37	C29 - C30	57	50	7	BUENO	VERDE	53	50	3	BUENO	VERDE
38	C30	47	50	3	BUENO	VERDE	46	50	4	BUENO	VERDE
	P85	68	50	18	REGULAR	AMARILLO	63	50	13	REGULAR	AMARILLO

TABLA 75 Criterio de Lamm I para trailers

N°	ELEMENTO	TRAILERS									
		PUNO - JULIACA					JULIACA - PUNO				
		V85	VD	IV85-VDI	DISEÑO	COLOR	V85	VD	IV85-VDI	DISEÑO	COLOR
1	C11 - C12	50	50	0	BUENO		45	50	5	BUENO	
2	C12	48	50	2	BUENO		42	50	8	BUENO	
3	C12 - C13	49	50	1	BUENO		46	50	4	BUENO	
4	C13	51	50	1	BUENO		48	50	2	BUENO	
5	C13 - C14	54	50	4	BUENO		51	50	1	BUENO	
6	C14	52	50	2	BUENO		48	50	2	BUENO	
7	C14 - C15	62	50	12	REGULAR		53	50	3	BUENO	
8	C15	62	50	12	REGULAR		56	50	6	BUENO	
9	C15 - C16	62	50	12	REGULAR		51	50	1	BUENO	
10	C16	62	50	12	REGULAR		55	50	5	BUENO	
11	C16 - C17	54	50	4	BUENO		51	50	1	BUENO	
12	C17	62	50	12	REGULAR		56	50	6	BUENO	
13	C17 - C18	61	50	11	REGULAR		56	50	6	BUENO	
14	C18	53	50	3	BUENO		50	50	0	BUENO	
15	C18 - C19	52	50	2	BUENO		48	50	2	BUENO	
16	C19	62	50	12	REGULAR		53	50	3	BUENO	
17	C19 - C20	70	50	20	REGULAR		52	50	2	BUENO	
18	C20	62	50	12	REGULAR		53	50	3	BUENO	
19	C20 - C21	55	50	5	BUENO		51	50	1	BUENO	
20	C21	55	50	5	BUENO		53	50	3	BUENO	
21	C21 - C22	58	50	8	BUENO		55	50	5	BUENO	
22	C22	57	50	7	BUENO		52	50	2	BUENO	
23	C22 - C23	60	50	10	BUENO		57	50	7	BUENO	
24	C23	55	50	5	BUENO		49	50	1	BUENO	
25	C23 - C24	55	50	5	BUENO		50	50	0	BUENO	
26	C24	58	50	8	BUENO		51	50	1	BUENO	
27	C24 - C25	59	50	9	BUENO		56	50	6	BUENO	
28	C25	60	50	10	BUENO		55	50	5	BUENO	
29	C25 - C26	61	50	11	REGULAR		56	50	6	BUENO	
30	C26	61	50	11	REGULAR		52	50	2	BUENO	
31	C26 - C27	61	50	11	REGULAR		54	50	4	BUENO	
32	C27	48	50	2	BUENO		43	50	7	BUENO	
33	C27 - C28	60	50	10	BUENO		55	50	5	BUENO	
34	C28	62	50	12	REGULAR		54	50	4	BUENO	
35	C28 - C29	57	50	7	BUENO		48	50	2	BUENO	
36	C29	50	50	0	BUENO		46	50	4	BUENO	
37	C29 - C30	49	50	1	BUENO		47	50	3	BUENO	
38	C30	48	50	2	BUENO		43	50	7	BUENO	
	P85	62	50	12	REGULAR		55.45	50	5.45	BUENO	

4.6.2. CRITERIO DE LAMM II.

Se tiene los siguientes resultados según el Criterio de Lamm II. En las que se describirá la consistencia por bueno, regular y malo.

TABLA 76 Criterio de Lamm II para vehículos ligeros

N°	ELEMENTO	VEHICULOS LIGEROS							
		PUNO - JULIACA				JULIACA - PUNO			
		V85	IV85n-V85(n+1)I	DISEÑO	COLOR	V85	IV85n-V85(n+1)I	DISEÑO	COLOR
1	C11 - C12	66	2	BUENO		68	8	BUENO	
2	C12	64	5	BUENO		60	-4	BUENO	
3	C12 - C13	69	4	BUENO		64	1	BUENO	
4	C13	65	13	REGULAR		63	-8	BUENO	
5	C13 - C14	78	4	BUENO		71	1	BUENO	
6	C14	74	6	BUENO		70	-4	BUENO	
7	C14 - C15	80	6	BUENO		74	-6	BUENO	
8	C15	86	2	BUENO		80	-6	BUENO	
9	C15 - C16	88	2	BUENO		86	4	BUENO	
10	C16	86	8	BUENO		82	8	BUENO	
11	C16 - C17	78	3	BUENO		74	2	BUENO	
12	C17	75	2	BUENO		72	2	BUENO	
13	C17 - C18	73	2	BUENO		70	1	BUENO	
14	C18	71	3	BUENO		69	-1	BUENO	
15	C18 - C19	74	6	BUENO		70	-4	BUENO	
16	C19	80	3	BUENO		74	-1	BUENO	
17	C19 - C20	83	3	BUENO		75	1	BUENO	
18	C20	80	7	BUENO		74	3	BUENO	
19	C20 - C21	73	5	BUENO		71	7	BUENO	
20	C21	68	3	BUENO		64	-3	BUENO	
21	C21 - C22	71	4	BUENO		67	-2	BUENO	
22	C22	75	2	BUENO		69	0	BUENO	
23	C22 - C23	77	7	BUENO		69	5	BUENO	
24	C23	70	3	BUENO		64	-2	BUENO	
25	C23 - C24	73	8	BUENO		66	-5	BUENO	
26	C24	81	6	BUENO		71	2	BUENO	
27	C24 - C25	75	9	BUENO		69	6	BUENO	
28	C25	66	3	BUENO		63	-3	BUENO	
29	C25 - C26	69	8	BUENO		66	-5	BUENO	
30	C26	77	1	BUENO		71	-3	BUENO	
31	C26 - C27	78	3	BUENO		74	8	BUENO	
32	C27	75	1	BUENO		66	-4	BUENO	
33	C27 - C28	76	0	BUENO		70	0	BUENO	
34	C28	76	5	BUENO		70	2	BUENO	
35	C28 - C29	71	2	BUENO		68	5	BUENO	
36	C29	69	3	BUENO		63	3	BUENO	
37	C29 - C30	72	0	BUENO		60	2	BUENO	
38	C30	72		BUENO		58		BUENO	

TABLA 77 Criterio de Lamm II para buses

N°	ELEMENTO	BUSES							
		PUNO - JULIACA				JULIACA - PUNO			
		V85	IV85n-V85(n+1)I	DISEÑO	COLOR	V85	IV85n-V85(n+1)I	DISEÑO	COLOR
1	C11 - C12	60	1	BUENO		58	2	BUENO	
2	C12	59	2	BUENO		56	0	BUENO	
3	C12 - C13	61	3	BUENO		56	2	BUENO	
4	C13	58	10	BUENO		54	7	BUENO	
5	C13 - C14	68	3	BUENO		61	0	BUENO	
6	C14	65	7	BUENO		61	8	BUENO	
7	C14 - C15	72	5	BUENO		69	0	BUENO	
8	C15	77	6	BUENO		69	5	BUENO	
9	C15 - C16	83	7	BUENO		74	4	BUENO	
10	C16	76	8	BUENO		70	9	BUENO	
11	C16 - C17	68	3	BUENO		61	3	BUENO	
12	C17	71	0	BUENO		64	1	BUENO	
13	C17 - C18	71	13	REGULAR		65	12	REGULAR	
14	C18	58	7	BUENO		53	8	BUENO	
15	C18 - C19	65	7	BUENO		61	8	BUENO	
16	C19	72	2	BUENO		69	2	BUENO	
17	C19 - C20	70	2	BUENO		67	2	BUENO	
18	C20	72	3	BUENO		69	8	BUENO	
19	C20 - C21	69	7	BUENO		61	3	BUENO	
20	C21	62	4	BUENO		58	0	BUENO	
21	C21 - C22	66	1	BUENO		58	6	BUENO	
22	C22	67	0	BUENO		64	1	BUENO	
23	C22 - C23	67	0	BUENO		63	3	BUENO	
24	C23	67	2	BUENO		60	2	BUENO	
25	C23 - C24	69	5	BUENO		62	1	BUENO	
26	C24	64	1	BUENO		63	0	BUENO	
27	C24 - C25	65	1	BUENO		63	1	BUENO	
28	C25	64	2	BUENO		62	2	BUENO	
29	C25 - C26	66	2	BUENO		64	1	BUENO	
30	C26	68	1	BUENO		63	1	BUENO	
31	C26 - C27	69	7	BUENO		64	8	BUENO	
32	C27	62	6	BUENO		56	7	BUENO	
33	C27 - C28	68	0	BUENO		63	2	BUENO	
34	C28	68	0	BUENO		61	1	BUENO	
35	C28 - C29	68	12	REGULAR		60	7	BUENO	
36	C29	56	1	BUENO		53	1	BUENO	
37	C29 - C30	57	1	BUENO		52	5	BUENO	
38	C30	56		BUENO		47		BUENO	

TABLA 78 Criterio de Lamm II para camiones

N°	ELEMENTO	CAMION							
		PUNO - JULIACA				JULIACA - PUNO			
		V85	IV85n-V85(n+1)I	DISEÑO	COLOR	V85	IV85n-V85(n+1)I	DISEÑO	COLOR
1	C11 - C12	56	1	BUENO		52	1	BUENO	
2	C12	55	3	BUENO		51	1	BUENO	
3	C12 - C13	58	6	BUENO		50	2	BUENO	
4	C13	52	9	BUENO		48	11	REGULAR	
5	C13 - C14	61	3	BUENO		59	0	BUENO	
6	C14	64	4	BUENO		59	4	BUENO	
7	C14 - C15	68	0	BUENO		63	0	BUENO	
8	C15	68	0	BUENO		63	2	BUENO	
9	C15 - C16	68	0	BUENO		65	2	BUENO	
10	C16	68	2	BUENO		63	2	BUENO	
11	C16 - C17	66	2	BUENO		65	2	BUENO	
12	C17	68	0	BUENO		63	0	BUENO	
13	C17 - C18	68	12	REGULAR		63	10	BUENO	
14	C18	56	8	BUENO		53	6	BUENO	
15	C18 - C19	64	4	BUENO		59	4	BUENO	
16	C19	68	3	BUENO		63	5	BUENO	
17	C19 - C20	71	3	BUENO		68	5	BUENO	
18	C20	68	4	BUENO		63	4	BUENO	
19	C20 - C21	64	8	BUENO		59	8	BUENO	
20	C21	56	5	BUENO		51	2	BUENO	
21	C21 - C22	61	1	BUENO		53	7	BUENO	
22	C22	60	0	BUENO		60	4	BUENO	
23	C22 - C23	60	5	BUENO		56	4	BUENO	
24	C23	55	5	BUENO		52	3	BUENO	
25	C23 - C24	60	1	BUENO		55	3	BUENO	
26	C24	61	1	BUENO		58	1	BUENO	
27	C24 - C25	62	1	BUENO		59	6	BUENO	
28	C25	61	5	BUENO		53	1	BUENO	
29	C25 - C26	66	1	BUENO		54	2	BUENO	
30	C26	65	0	BUENO		56	3	BUENO	
31	C26 - C27	65	6	BUENO		59	3	BUENO	
32	C27	59	9	BUENO		56	0	BUENO	
33	C27 - C28	68	2	BUENO		56	2	BUENO	
34	C28	66	1	BUENO		58	2	BUENO	
35	C28 - C29	65	3	BUENO		56	6	BUENO	
36	C29	62	5	BUENO		50	3	BUENO	
37	C29 - C30	57	10	BUENO		53	7	BUENO	
38	C30	47		BUENO		46		BUENO	

TABLA 79 Criterio de Lamm II para trailers

N°	ELEMENTO	TRAILERS							
		PUNO - JULIACA				JULIACA - PUNO			
		V85	IV85n-V85(n+1)I	DISEÑO	COLOR	V85	IV85n-V85(n+1)I	DISEÑO	COLOR
1	C11 - C12	50	2	BUENO		45	3	BUENO	
2	C12	48	1	BUENO		42	4	BUENO	
3	C12 - C13	49	2	BUENO		46	2	BUENO	
4	C13	51	3	BUENO		48	3	BUENO	
5	C13 - C14	54	2	BUENO		51	3	BUENO	
6	C14	52	10	BUENO		48	5	BUENO	
7	C14 - C15	62	0	BUENO		53	3	BUENO	
8	C15	62	0	BUENO		56	5	BUENO	
9	C15 - C16	62	0	BUENO		51	4	BUENO	
10	C16	62	8	BUENO		55	4	BUENO	
11	C16 - C17	54	8	BUENO		51	5	BUENO	
12	C17	62	1	BUENO		56	0	BUENO	
13	C17 - C18	61	8	BUENO		56	6	BUENO	
14	C18	53	1	BUENO		50	2	BUENO	
15	C18 - C19	52	10	BUENO		48	5	BUENO	
16	C19	62	8	BUENO		53	1	BUENO	
17	C19 - C20	70	8	BUENO		52	1	BUENO	
18	C20	62	7	BUENO		53	2	BUENO	
19	C20 - C21	55	0	BUENO		51	2	BUENO	
20	C21	55	3	BUENO		53	2	BUENO	
21	C21 - C22	58	1	BUENO		55	3	BUENO	
22	C22	57	3	BUENO		52	5	BUENO	
23	C22 - C23	60	5	BUENO		57	8	BUENO	
24	C23	55	0	BUENO		49	1	BUENO	
25	C23 - C24	55	3	BUENO		50	1	BUENO	
26	C24	58	1	BUENO		51	5	BUENO	
27	C24 - C25	59	1	BUENO		56	1	BUENO	
28	C25	60	1	BUENO		55	1	BUENO	
29	C25 - C26	61	0	BUENO		56	4	BUENO	
30	C26	61	0	BUENO		52	2	BUENO	
31	C26 - C27	61	13	REGULAR		54	11	REGULAR	
32	C27	48	12	REGULAR		43	12	REGULAR	
33	C27 - C28	60	2	BUENO		55	1	BUENO	
34	C28	62	5	BUENO		54	6	BUENO	
35	C28 - C29	57	7	BUENO		48	2	BUENO	
36	C29	50	1	BUENO		46	1	BUENO	
37	C29 - C30	49	1	BUENO		47	4	BUENO	
38	C30	48		BUENO		43		BUENO	

4.7. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

4.7.1. DETERMINACION DE VELOCIDAD DE OPERACIÓN P85.

Según la **Tabla 32** las velocidades de operación para los diferentes tipos de vehículos son los siguientes:

TABLA 80 Resumen de velocidad de operación.

TIPO DE VEHICULOS	SENTIDO	P85
VEHÍCULOS LIGEROS	Puno - Juliaca	80 Km/h
	Juliaca - Puno	74 Km/h
BUSES	Puno - Juliaca	72 Km/h
	Juliaca - Puno	69 Km/h
CAMIÓN	Puno - Juliaca	68 Km/h
	Juliaca - Puno	63 Km/h
TRÁILERES	Puno - Juliaca	62 Km/h
	Juliaca - Puno	56 Km/h

- Según la **Tabla N° 1** la velocidad de diseño en el tramo de estudio es 50 Km/h lo cual es inferior a la velocidad de operación calculadas en la **Tabla N° 80**. Tal como menciona (Cortes & Estrella, 2013) la variación de velocidades de operación y diseño es causal para la ocurrencia de accidentes de tránsito, ya que el conductor se ve obligado a realizar maniobras bruscas para pasar de un tramo recto a curvo.
- Según (Gomes & Quispe, 2017) la diferencia de velocidad de diseño y operación es mayor en el sentido de bajada que en la de subida, en la **Tabla 80** se confirma que la diferencia de velocidades en el sentido Puno- Juliaca es mayor que en el sentido Juliaca – Puno; esto debido a que en el sentido Puno – Juliaca es de bajada el cual ayuda a incrementar la velocidad de estos vehículos.
- Según la **Tabla N° 8** presentado en esta investigación el cual corresponde a la velocidad de operación máxima para camiones según (MTC, DG-2018), el cual menciona que debe ser 60km/h y según la **Tabla N° 80** la velocidad de operación para los camiones difiere de 3 a 8Km/h.

4.7.2. ANALISIS DE DISEÑO GEOMETRICO EXISTENTE

- (Chambi & Suaña, 2017) indica que el tramo de estudio no cumple con los requerimientos mínimos de la norma DG-2014, en esta investigación se ratifica deficiencias en 99% de curvas respecto a la longitud de las curvas horizontales detalladas en las **Tabla 35** a la **Tabla 54**, el 100% de las curvas no cumplen con el requerimiento de la aplicación de curvas espirales y en la **Tabla 81** al **Tabla 82** se detalla demás parámetros que no cumplen con los requerimientos mínimos de la norma DG-2018 en los diseños en planta, perfil longitudinal y secciones transversales.

TABLA 81 Resumen de cumplimiento de normas peruanas.

N°	Peralte (%)	Sa (m)	Tramo Tangente		Calzada	Berma
			LS	Lo		
12	No	No	Si	-	No	No
13	No	No	Si	-	No	No
14	No	Si	Si	-	No	No
15	No	No	-	No	No	No
16	No	No	Si	-	No	No
17	No	Si	Si	-	No	No
18	No	Si	Si	-	No	No
19	Si	No	-	Si	No	No
20	No	No	Si	-	No	No
21	No	No	-	No	No	No
22	No	Si	Si	-	No	No
23	No	No	Si	-	No	No
24	No	No	Si	-	No	No
25	No	No	Si	-	No	No
26	No	Si	No	-	No	No
27	No	Si	No	-	No	No
28	Si	No	Si	-	No	No
29	No	No	Si	-	No	No
30	No	Si	Si	-	No	No
Si	2	7	14	1	0	0
No	17	12	2	2	19	19
% Si	10.53%	36.84%	87.50%	33.33%	0.00%	0.00%
% No	89.47%	63.16%	12.50%	66.67%	100.00%	100.00%

TABLA 82 Resumen de cumplimiento de normas peruanas Curvas Verticales.

No.	CAMPO		DG-2018		SITUACION
	Long. Curva	K	K	Long. Curva	
1					
2	150	42.92	56.16	196	No
3	90	148.7	81.97	50	Si
4	115	174.42	75.76	50	Si
5	125	145.57	58.14	50	Si
6	85	22.26	13.09	50	Si
7	160	46.56	14.53	50	Si
8	230	127.74	56.11	101	Si
9	80	33.23	20.75	50	Si
10	105	66.03	56.25	90	Si
11					Si
12	130	76.67	29.59	50	Si
13	200	102.83	56.19	109	Si
14	165	328.86	100	50	Si
15	170	210.17	61.73	50	Si

4.7.3. REDISEÑO GEOMETRICO DE LA VIA EXISTENTE

- (Cortes & Estrella, 2013) indica que la topografía accidentada en las carreteras no es favorable para el cumplimiento de todos los parámetros mínimos como las longitudes de tangente en “S” y “O”, así mismo, en esta investigación para el cumplimiento de estas es necesario realizar mayor movimiento de tierras el cual demanda mayor inversión.
- Teniendo en cuenta que la velocidad de operación máxima para los camiones es de 60km/h en un tramo accidentado según la norma (MTC, DG-2018) y según los resultados calculados de velocidades de operación según la **Tabla N° 80** para los camiones es de 63Km/h a 68Km/h, por lo que 60km/h es una velocidad adecuada para un rediseño geométrico.
- (Chambi & Suaña, 2017) indica que el tramo de estudio no cuenta con los requerimientos mínimos de diseño geométrico según la norma DG-2014, por lo cual en esta investigación se propone la mejora de la consistencia con el incremento de la velocidad de

diseño de 50km/h a 60km/h así mismo se rediseño la geometría en planta y perfil longitudinal detallados en la **Tabla 64 – Tabla 66** y **Tabla 71**. La deficiencia de diseño geométrico en la vía es debido a la antigüedad de esta, ya que en esos tiempos no se contaba con normas bien definidas.

4.7.4. CONSISTENCIA DE DISEÑO GEOMETRICO.

- (Erazo & Paz, 2013) concluye que la consistencia según el criterio I de Lamm es mala, en esta investigación se determinó generalizando los vehículos las consistencias es mala. Debido a que la diferencia entre la velocidad de diseño y operación es mayor a 20km/h, tal como se aprecia en la **Tabla 72 – Tabla 75**.
- (Cortes & Estrella, 2013) indica que según el Criterio I de Lamm la consistencia es buena para buses y camiones, en el tramo de estudio se encontró que la consistencia es de mala a regular. Respecto a los vehículos ligeros indica que la consistencia es de regular a mala para el tramo de estudio se encontró que la consistencia es mala en ambos sentidos. Conforme se aprecia en las **Tabla 73 – Tabla 75**.
- En general según el Criterio II de Lamm se aprecia en las **Tablas N° 76 – Tabla N° 79** la consistencia es buena tal como concluyo (Erazo & Paz, 2013) y (Cortes & Estrella, 2013) lo cual significa que los conductores no tienden a cambiar las velocidades bruscamente, sin embargo según la **Tabla N° 76** se verifica que en el elemento C17-C18 la consistencia es regular, este tramo corresponde a zonas con mayor número de accidentes según (Cruz & Ccamapaza, 2016).
- Según (Cruz & Ccamapaza, 2016) y (Chambi & Suaña, 2017) uno de los tramos con mayores números de accidentes de tránsito es el KM 1350+000-1351+000, Según la **Tabla N° 32** son las curvas con mayor velocidad de operación para los diferentes tipos de vehículos tal como se aprecia en la escala cromática de la tabla mencionada.

5. CONCLUSIONES

En la presente investigación se tiene las siguientes conclusiones:

- La velocidad de operación y velocidad de diseño en la carretera Puno – Juliaca, en el tramo KM 1349+000 – KM 1353+000, tiene una diferencia significativa estadísticamente entre ambas velocidades, donde la velocidad de operación es mayor a la velocidad de diseño. Así mismo de acuerdo al análisis de percentiles se aprecia que la velocidad de operación en los vehículos ligeros tiene una diferencia hasta 30Km/h, en los buses se tiene una diferencia hasta 20km/h, en camiones hasta una diferencia de 18km/h y en los tráileres la diferencia llega a 12Km/h. Además, se verifico que de la Curva N° 14 a la curva N°20 se tiene velocidades de operación de diferencia importante con la velocidad de diseño, con lo que se concluye que uno de causas para los accidentes de tránsito es el exceso de velocidad.
- Mediante el rediseño geométrico con la velocidad de operación según la Norma DG-2018, se demostró que el diseño geométrico en la carretera Puno – Juliaca, tramo KM 1349+000 – KM 1353+000 carece de la aplicación de la norma peruana DG-2018, esto debido a la antigüedad de la carretera. Entre las deficiencias resaltantes es la no aplicación de curvas espirales, longitud de curva, longitudes de tramos en tangente (S y O) peraltes, sobreamanchos, ancho de calzada y berma; los cuales no brindan la seguridad para desarrollar con las velocidades de operación.
- Según el Criterio I de Lamm, se concluye que la consistencia en la carretera Puno – Juliaca, tramo KM 1349+000 – KM 1353+000 es mala en ambos sentidos para los vehículos ligeros, para los buses en ambos sentidos en de regular a malo, así mismo para los camiones la consistencia en el sentido Puno – Juliaca es regular y en el sentido Juliaca – Puno es de buena a regular y finalmente para los tráileres la consistencia en ambos sentidos es de buena a regular. Según el criterio II de Lamm la consistencia es de buena a regular con la que se puede inferir que los conductores no se ven obligados a enfrentarse a realizar cambios significativos de velocidad.

6. RECOMENDACIONES

- Se recomienda considerar esta investigación como base y sustento para el mejoramiento de la vía en la carretera Puno – Juliaca, tramo KM 1349+000 – KM 1353+000. Esto por parte de las entidades competentes.
- Se recomienda utilizar la evaluación de consistencia de diseño (estimación de velocidades, medición de velocidades, aplicación de los criterios de consistencia y representación gráfica del perfil de velocidades) en la etapa de proyecto y durante la ejecución de una obra vial, debido a que los proyectistas y ejecutores tienen la responsabilidad de que las vías ejecutadas deben dar la mayor comodidad y seguridad a los usuarios.
- Con el fin de complementar y ampliar la labor emprendida en esta Tesis se sugiere a continuación líneas de investigación complementarias y otros temas que deben ser abordados como: Consistencia de diseño geométrico de carreteras en las diferentes orografías de la región y estudios referidos a la velocidad de operación.
- Se recomienda incluir la evaluación de la consistencia de diseño geométrico por los Criterios de Lamm en las Normas Peruanas DG-2018, siendo esta más utilizada a nivel internacional y aplicable a nuestra realidad (topografía) como se demostró en esta investigación.

7. REFERENCIAS

- AASHTO, 2. (2011). *Libro verde AASHTO 2011*. EE.UU.
- Calán, V. Á., & Gonzáles, M. J. (2017). *Incidencia del trazado geométrico en sitios críticos de accidentabilidad corredor perimetral de oriente de Bogotá Vías Los Patios-Guasca, Bogotá - Choachí - Ubatche*. Bogotá.
- Cárdenas, G. J. (2013). *Diseño geométrico de carreteras*. Bogotá: Ecoe Ediciones.
- Chambi, M. J., & Suaña, V. C. (2017). *Identificación y evaluación de tramos de concentración de accidentes de tránsito en la vía Puno - Juliaca entre los años 2012-2016 y propuesta de acciones para su mejora*. Puno: UNA - Puno.
- Cortes, S. R., & Estrella, C. C. (2013). *Estudio de velocidad de operación y análisis de perfil de velocidades del proyecto Tumaco - Pasto K6+850 - K25+000 mediante la utilización de Radar*. Pasto Mariño - Colombia: Universidad de Nariño.
- Cruz, B. B., & Ccamapaza, B. W. (2016). *Evaluación de la vía Puno - Juliaca aplicando el sistema de información geográfica para la detección de zonas de accidente de tránsito*. Puno: UNA Puno.
- Erazo, M. C., & Paz, J. S. (2013). *Estudio de velocidad de operación de autos, buses y camiones de dos ejes para la evaluación de la consistencia del tramo de vía comprendido entre los sectores El Tambor, Coba Negra, Catambuco y la salida sur de la ciudad de Pasto kilómetros 68 al 83*. Colombia.
- Felipe, C. E. (2014). *Análisis de consistencia del trazado en caminos de montaña, en la República de Guatemala*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Gomes, A. G., & Quispe, M. J. (2017). *Evaluación de la seguridad vial nominal de la carretera Enaco - Abra Ccorao de acuerdo a la consistencia del diseño geométrico*. Cusco.

- INEI. (2017). *Peru: Crecimiento y distribución de la población (Primeros Resultados)*. Lima.
- Laurina, R. (2009). *Evaluación de la seguridad vial a partir de la consistencia del trazado de la carretera*. Santa Clara: Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas.
- Medina, R. Y. (2018). *Sistema de Vigilancia en Salud Pública de lesiones por accidentes de tránsito Enero – Junio 2018*. Lima.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2007). *Contrato de Concesión para la Construcción, Conservación y Explotación del Tramo N° 5 del Proyecto Corredor Vial Interoceánico Sur Perú – Brasil*. Lima.
- MTC. (DG-2018). *Manual de Carreteras “Diseño Geométrico (DG–2018)”*. Lima.
- Naylamp Ingenieros S.A.C. (2014). *Estudio definitivo de ingeniería e impacto ambiental de la segunda calzada de la autopista Puno - Juliaca*. Puno.
- Pérez, Z. A. (2012). *Caracterización y medelación de la velocidad de operación en carreteras convencionales a partir de la observación naturalística de la evolución de los vehículos ligeros*. Valencia.
- Poasada, H. J. (2002). *Diseño geométrico de vías Ajustado al manual Colombiano*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.
- Programa de asistencia técnica en transporte urbano para las ciudades medias Mexicanas. (1994). *Manual de estudios de ingeniería de tránsito*. Mexico: Dirección general de ordenamiento del territorio.
- Tomas, E. N., & Saez, C. J. (2001). *Indicadores de consistencia en el diseño geométrico de carreteras*. Chile: Universidad de Concepción.