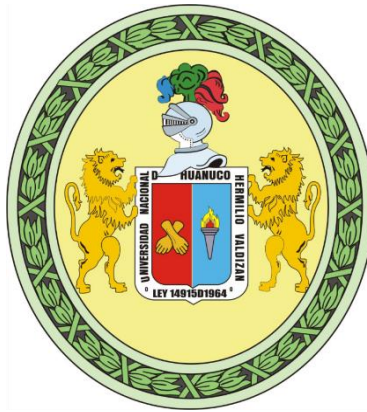


**UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZAN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**ANÁLISIS DEL DISEÑO GEOMÉTRICO Y EVALUACIÓN
DE CONSISTENCIA DE LACARRETERA HU-112 TRAMO
MOLINO–HUARICHACA DE ACUERDO AL MANUAL DE
CARRETERAS DG-2018. PACHITEA, HUÁNUCO – 2022**

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: INGENIERÍA VIAL

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

TESISTA:

PEREZ ZUÑIGA MARVIN KENEDY

ASESORA:

MG. ING. QUINTANILLA HERRERA ELISA RAQUEL

HUÁNUCO – PERÚ

2023

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE CONTENIDO	ii
ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT.....	xvi
INTRODUCCIÓN	xviii
CAPÍTULO I. ASPECTOS BÁSICOS DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	1
1.1. Fundamentación o Situación Del Problema De Investigación.....	1
1.2 Formulación del Problema de Investigación General y Específicos.....	4
1.2.1. Problema General.....	4
1.2.2. Problemas Específicos.....	4
1.3 Formulación del Objetivo General y Específicos.....	5
1.3.1. Formulación del Objetivo General.....	5
1.3.2. Formulación de los Objetivos Específicos.....	5
1.4 Justificación	5
1.4.1. Justificación Técnica.....	5
1.4.2. Justificación Socioeconómica.....	6
1.4.3. Justificación Académica.....	7
1.5 Limitaciones.....	8
1.6. Formulación de Hipótesis General y Específica.....	9
1.6.1. Formulación de hipótesis general	9
1.6.2. Formulación de Hipótesis Especifica	9
1.7. Variables.....	9

1.8. Definición Teórica y Operacionalización de Variables	10
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	13
2.1 Antecedentes de la Investigación	13
2.1.1. Antecedentes a Nivel Internacional	13
2.1.2. Antecedentes a Nivel Nacional.....	15
2.1.2. Antecedentes a Nivel Local	17
2.2 Bases Teóricas.....	19
2.2.1. Diseño Geométrico de Carreteras.....	19
2.2.2. Clasificación de las Carreteras.....	20
2.2.3. Criterios y Controles Básicos Para el Diseño Geométrico de Carreteras.	23
2.2.4. Vehículos de Diseño.....	27
2.2.5. Características del Transito	28
2.2.6. Velocidad de Diseño.....	29
2.2.7. Distancia de Visibilidad	31
2.2.8. Diseño Geométrico en Planta	34
2.2.9. Parámetros de Diseño Geométrico en Perfil.....	53
2.2.10. DISEÑO GEOMÉTRICO DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL	56
2.2.11. Consistencia del Diseño Geométrico.....	61
2.3. BASES CONCEPTUALES.....	66
2.4. Bases Epistemológicas, Bases Filosóficas y/o Bases Antropológicas.....	69
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA	71
3.1 Ámbito	71
3.1.1. Ámbito Geográfico	71
3.2 Caracterización del participante	71
3.3 Población y selección de la muestra.....	71
3.3.1 Universo/Población.....	71

3.3.2 Selección de la Muestra.....	71
3.4 Nivel, tipo y diseño de estudio	72
3.4.1. Nivel de estudio	72
3.4.2. Tipo de Investigación.....	72
3.4.3. Tipo de Diseño	72
3.5. Métodos, técnicas e instrumentos (incluye la validación y confiabilidad del instrumento)	73
3.5.1. Método de Investigación	73
3.5.2. Técnicas bibliográficas	73
3.5.3. Técnicas de campo.....	73
3.5.4. Técnicas estadísticas	73
3.5.5. Instrumentos.....	73
3.5.6. Validación de los Instrumentos Para la Recolección de Datos....	76
3.5.7. Confiabilidad de los Instrumentos Para la Recolección de Datos	76
3.6. Procedimiento	77
3.7 Plan de Tabulación y Análisis de Datos Estadísticos.....	82
3.8. Consideraciones Éticas.....	82
CAPÍTULO IV. RESULTADOS	84
4.1. Resultado de la Orografía Predominante.....	84
4.2. Resultados del Estudio de Tráfico (IMDA).....	85
4.3. Resultado de velocidad de diseño (Vd).....	87
4.4. Resultado del Diseño Geométrico en Planta.....	88
4.4.1. Resultados de Radio de Curvatura.....	88
4.4.2. Resultados de Sobreancho.....	90
4.4.3. Resultados de Peralte	92
4.4.4. Resultados de Longitud de Transición de Peralte (Ltp)	95

4.4.5. Resultados de Longitud de Curva (Lc).....	97
4.4.6. Resultados de Tramos en Tangente.....	99
4.5. Resultado del Diseño Geométrico en Perfil Longitudinal.....	101
4.5.1. Resultados de Pendiente Longitudinal.....	101
4.5.2. Resultados de Longitud de Curva Vertical.....	103
4.6. Resultado del Diseño Geométrico en Sección Transversal.....	105
4.6.1. Resultados de Calzada.....	105
4.6.2. Resultados de Berma.....	110
4.6.3. Resultados de Bombeo.....	112
4.6.4. Resultados de Cunetas.....	116
4.7. Resultado de la Consistencia del Diseño Geométrico.....	121
CAPÍTULO V. DISCUSIÓN.....	132
5.1. Discusión de Resultados del Estudio de Tráfico (IMDA).....	132
5.2. Discusión de Resultados de Orografía Predominante.....	133
5.3. Discusión de Resultados de Diseño Geométrico en Planta.....	133
5.3.1. Verificación de Resultados de Radios de Curvatura.....	133
5.3.2. Verificación de Resultados de Sobreancho.....	134
5.3.3. Verificación de Resultados de Peralte.....	135
5.3.4. Verificación de Resultados de Longitud de Transición de Peralte.....	136
5.3.5. Verificación de Resultados de Longitud de Curva.....	141
5.3.6. Verificación de Resultados de Tramos en Tangente.....	141
5.3.7. Verificación de Resultados de Parámetros de Diseño en Planta.....	142
5.4. Discusión de Resultados de Diseño Geométrico en Perfil.....	143
5.4.1. Verificación de Resultados de Pendiente Longitudinal.....	143
5.4.2. Verificación de Resultados de la Longitud de Curva Vertical.....	144
5.4.3. Verificación de Resultados de Parámetros de Diseño en Perfil Longitudinal.....	

.....	145
5.5. Discusión de Resultados de Diseño Geométrico en Sección Transversal.....	146
5.5.1. Verificación de Resultados de Calzadas.....	146
5.5.2. Verificación de Resultados de Bermas	147
5.5.3. Verificación de Resultados de Bombeo	148
5.5.4. Verificación de Resultados de Cunetas	149
5.5.4. Verificación de Resultados de Parámetros de Diseño en sección transversal	150
5.6. Discusión de Resultados de Diseño Geométrico.....	151
5.7. Discusión de Resultados de la Consistencia del Diseño Geométrico	152
5.7.1. Discusión de Resultados de Velocidad de Operación	152
5.7.2. Discusión de Resultados de la Consistencia del Diseño Geométrico.....	154
CONCLUSIONES	160
RECOMENDACIONES	164
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	168
ANEXOS	172
ANEXO N° 01 MATRIZ DE CONSISTENCIA	173
ANEXO N°02 Consentimiento Informado	176
ANEXO N°03 Matriz de Operacionalización de Variables	177
ANEXO N° 09 Panel Fotográfico.....	184

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Operacionalización de variables	11
Tabla 2 Ecuaciones del Modelo de velocidad colombiano	65
Tabla 3 Criterio II de Lamm.....	65
Tabla 4 Pendientes transversales de la carretera HU-112 Km. 0 al Km. 4+525	84
Tabla 5 Porcentaje de predominancia de pendientes transversales	85
Tabla 6 Radio calculado frente al Rmin del MNDG-2018.....	88
Tabla 7 Cuadro resumen de análisis de Radios en curvas Horizontales.....	89
Tabla 8 Sobreancho calculado frente a sobreancho mínimo del MCDG-2018	90
Tabla 9 Cuadro resumen de análisis de dimensiones de Sobreancho Sa.....	92
Tabla 10 Peralte % frente a peral máximo para $V_d = 60$	93
Tabla 11 Cuadro resumen del análisis de las dimensiones de peralte.....	94
Tabla 12 Longitud de transición de peralte.....	95
Tabla 13 Cuadro resumen del análisis de las dimensiones de LTP.....	96
Tabla 14 Cálculo de longitud de las 47 curvas horizontales	97
Tabla 15 Cuadro resumen del análisis de las dimensiones de la longitud de curva	99
Tabla 16 Cálculo de longitud de tramos en tangente	100
Tabla 17 Cuadro resumen del análisis de las dimensiones de TT	101
Tabla 18 Cálculo de pendientes en tramos en perfil longitudinal.....	102
Tabla 19 Cuadro resumen de análisis de dimensiones de pendientes	103
Tabla 20 Cálculo de longitud de curva y detección de valores mínimos.....	104
Tabla 21 Cuadro de análisis de longitudes de curvas verticales.....	105
Tabla 22 Cálculo de la calzada de la carretera HU-112 km 0 al km 4+525	106
Tabla 23 Cuadro de análisis de las dimensiones de la calzada.....	109
Tabla 24 Cuadro resumen de análisis de las dimensiones de las bermas	110
Tabla 25 Cálculo del bombeo de la carretera HU-112 km 0 al km 4 + 525.....	113

Tabla 26 Cuadro resumen del análisis de bombeo.....	116
Tabla 27 Proceso de cálculo y análisis de las dimensiones de la cuneta de la carretera HU-112 km 0 al km 4+525.....	117
Tabla 28 Cuadro resumen de análisis de las dimensiones de las cunetas.....	120
Tabla 29 Cálculo de $V(85)$ y la variación $\Delta V(85)$ en tramos continuos con R reales..	122
Tabla 30 Evaluación del grado de consistencia de acuerdo a criterios II de Lamm	124
Tabla 31 Cuadro resumen del grado de consistencia de la vía.....	125
Tabla 32 Cálculo de $V(85)$ y la variación $\Delta V(85)$ en tramos continuos con R propuesto para carretera de segunda clase.....	126
Tabla 33 Evaluación de consistencia con los criterios de Lamm II con valores de R propuestos para carretera de segunda clase	128
Tabla 34 Cuadro resumen de grado de consistencia evaluado con R propuesto para carretera de segunda clase.....	130
Tabla 35 Radios para prescindir de longitudes de transición de peralte	138
Tabla 36 Longitud de transición de peralte = 0	139
Tabla 37 Grado cumplimiento de los parámetros de diseño en planta.....	143
Tabla 38 Grado de cumplimiento de parámetros de diseño en perfil longitudinal.....	145
Tabla 39 Grado de cumplimiento de los parámetros de diseño en sección transversal	150
Tabla 40 Promedio general de cumplimiento de parámetros de diseño geométrico....	151

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Medidas de vehículos para el diseño geométrico	28
Figura 2 Rangos de V_d en función a la Clasificación de la carretera por demanda y orografía.....	30
Figura 3 Distancia de visibilidad de parada.....	32
Figura 4 Distancia de visibilidad de adelantamiento (D_a)	33
Figura 5 Nomograma de distancia de visibilidad de paso (D_a)	34
Figura 6 Alineamiento en planta	34
Figura 7 Longitud mínima de curva en autopistas y carreteras	35
Figura 8 Angulo de deflexión máxima para prescindir una curva en planta	36
Figura 9 Longitudes de tramos en tangente	36
Figura 10 Valores de radio de curvatura mínimo (con redondeo).....	38
Figura 11 Partes de una curva circular	40
Figura 12 Curvatura por el sistema arco-grado.....	40
Figura 13 Concepto de ángulo de deflexión.....	41
Figura 14 Curvatura por el sistema cuerda-grado	42
Figura 15 Radios mínimos y peraltes máximos para diseño de carreteras.....	43
Figura 16 Peralte en cruce de áreas urbanas	44
Figura 17 Peralte en zona rural (Tipo 1, 2 o 3)	44
Figura 18 Peralte en zona rural (tipo 3 o 4)	45
Figura 19 Fricción transversal.....	45
Figura 20 Valores de $R_{mín}$ para V_d , p_{max} y f_{max}	45
Figura 21 Relación entre radios consecutivos – grupo 1	46
Figura 22 Relación entre radios consecutivos – grupo 2	48
Figura 23 Elementos de una curva de transición.....	49

Figura 24 Fórmulas para el cálculo de elementos de una curva de transición.....	50
Figura 25 Fórmulas para el replanteo de una curva de transición.....	50
Figura 26 Valores de variación uniforme de aceleración transversal(J).....	51
Figura 27 Longitud mínima de curva de transición	52
Figura 28 Pendientes máximas.....	54
Figura 29 Valores mínimos de la longitud de curva vertical convexa.....	55
Figura 30 Valores mínimos de la longitud de curva vertical cóncava.....	56
Figura 31 Sección transversal típica en carreteras.....	57
Figura 32 Sección transversal típica en autopistas.....	57
Figura 33 Anchos mínimos de calzada en tangente	58
Figura 34 Anchos de Bermas	59
Figura 35 Bombeo en calzadas.....	60
Figura 36 Ecuaciones de Fitzpatrick para el cálculo de las velocidades de operación .	63
Figura 37 Valores de velocidades máximas de operación	64
Figura 38 Estación total South N6	75
Figura 39 Laptop Hp Omen 15	75
Figura 40 Proceso de conteo vehicular en la E1 - Barrio Auchí.....	77
Figura 41 Proceso de levantamiento topográfico en la carretera HU-112 km 0 al km 4+525.....	79
Figura 42 Personal para el soporte de los prismas durante la toma de datos con la estación total	79
Figura 43 Monumentación de BM con tubo de 4" y varilla de acero de 3/8"	80
Figura 44 Cálculo del Índice Medio Diario Anual (IMDA)	86
Figura 45 Margen derecho de la calzada progresiva 3+540	110
Figura 46 Margen Izquierda de la carretera HU-112 progresiva 2+535.....	111
Figura 47 Promedio de tráfico de vehículos.....	132

Figura 48 <i>Porcentaje de orografía en la carretera HU-112 km 0 al km 4 + 525</i>	133
Figura 49 <i>Grado de cumplimiento de radio de curvatura</i>	134
Figura 50 <i>Grado de cumplimiento del sobreechanco Sa</i>	135
Figura 51 <i>Grado de cumplimiento del Peralte</i>	136
Figura 52 <i>Grado de cumplimiento de las longitudes de Transición de peralte</i>	137
Figura 53 <i>Grado de cumplimiento de LTP - Carretera de tercera clase</i>	140
Figura 54 <i>Grado de cumplimiento de la longitud de curva Lc</i>	141
Figura 55	142
Figura 56 <i>Grado de cumplimiento de las pendientes verticales</i>	144
Figura 57 <i>Grado de cumplimiento de las longitudes de curva vertical</i>	144
Figura 58 <i>Grado de cumplimiento del ancho de las calzadas</i>	146
Figura 59 <i>Grado de cumplimiento de ancho de calzada para carretera de 3era clase</i>	147
Figura 60 <i>Grado de cumplimiento de las bermas</i>	148
Figura 61 <i>Grado de cumplimiento de bombeo de la carretera HU-112 km a km 4 + 525</i>	149
Figura 62 <i>Grado de cumplimiento de las dimensiones de la cuneta</i>	149
Figura 63 <i>Perfil de variación de velocidades de operación con valores de radio reales</i>	153
Figura 64 <i>Perfil de variación de velocidades de operación con valores de R propuestos para carretera de 2da clase</i>	153
Figura 65 <i>Grado de consistencia de diseño geométrico real</i>	154
Figura 66 <i>Grado de consistencia de la vía con radios propuestos para carretera de segunda clase</i>	156

DEDICATORIA

La presente tesis va dedicado a mis queridos padres, por su apoyo inconmensurable, ya que, lo dieron todo por mí, durante mi formación profesional

Asimismo, dedico a mis familiares más cercanos, mis hermanos y hermana, por su soporte continuo en toda mi formación universitaria en la UNHEVAL.

AGRADECIMIENTO

Un sincero agradecimiento a mi alma mater, la Universidad Nacional Hermilio Valdizán, en especial a la Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura, por haberme permitido formarme en la carrera profesional de ingeniería civil

Un agradecimiento especial a las personas que me brindaron ayuda y soporte durante el desarrollo y la elaboración de la presente tesis

RESUMEN

La presente tesis tuvo como objetivo general, analizar los principales parámetros de diseño geométrico de la carretera HU-112 tramo Molino – Huarichaca km 0 al km 4 + 525 para su análisis técnico de acuerdo al Manual de Diseño Geométrico de Carreteras DG-2018 y la posterior evaluación de consistencia.

La carretera en investigación constó de 4.525 km de longitud, presentó una topografía ondulada (tipo II); e incluyó 47 curvas horizontales y 28 curvas verticales.

Para el análisis técnico del diseño geométrico y su evaluación de consistencia, se procedió con el inventariado vial recopilando los puntos UTM del levantamiento topográfico, con los cuales se realizó el modelado empleando el software AutoCAD Civil 3D de donde se obtuvieron sus parámetros de diseño geométrico. Posteriormente se realizó el análisis de estos parámetros de diseño geométrico tanto en planta (radio mínimo, longitud de curva, longitud de transición y sobreebanco), en perfil longitudinal (curvas verticales y pendientes longitudinales) y secciones transversales (bermas, cunetas), para dichos resultados se realizó una comparación con los parámetros de diseño del Manual de Carreteras Diseño Geométrico DG – 2018. Del conteo vehicular ejecutado y analizado se tiene un Índice Medio Diario (IMD) actual de 1479 veh/día, y se obtuvo un Índice Medio Diario Anual (IMDA) de 1277 veh/día. Se determinó la proyección del crecimiento de tránsito para 20 años obteniéndose un tránsito final Pf igual a 1674 veh/día.

Según el Manual Dg-2018 la vía de acuerdo a la clasificación por demanda, considerando el IMDA, la carretera HU-112 tramo Molino – Huarichaca se sitúa en carretera de segunda clase, en zona rural, con orografía predominante promedio de terreno ondulado (tipo II), se determinó el radio mínimo de las curvas horizontales igual a 125 metros, velocidad de diseño Vd igual a 60 km/h.

El método de investigación fue deductivo, de tipo descriptivo, con enfoque cuantitativo.

Analizando el grado de cumplimiento de los parámetros ya existentes del diseño geométrico en planta, en perfil longitudinal y en sección transversal, se obtuvo un deficiente grado de cumplimiento de 36.60%.

Se obtuvo una carretera de consistencia POBRE en 46.81%, superior al grado de consistencia BUENA de 40.43% y de consistencia ACEPTABLE en 12.77%, según los criterios de evaluación II de Lamm.

Por último, la incidencia de porcentajes de la carretera HU-112 tramo Molino Huarichaca, no cumple con los parámetros de diseño geométrico, ni la consistencia establecidos en el Manual DG-2018, por tanto, se comprueba la hipótesis alternativa planteada, pues el grado de cumplimiento de los parámetros de diseño de la carretera HU-112 km 0 al km 4 + 525 es de tan solo 36.60% y el grado de consistencia de la vía tiene una predominancia del grado de consistencia pobre con 46.81% siendo superior al grado de consistencia BUENA con 40.43%.

Palabras Claves: Vías, parámetros de diseño, velocidad de operación $V_{(85)}$, diseño geométrico en planta, perfil y sección transversal, análisis de consistencia.

ABSTRACT

The general objective of this thesis was to analyze the main parameters of the geometric design of the HU-112 highway section Molino - Huarichaca km 0 to km 4 + 525 for its technical analysis according to the GD-2018 Manual of Geometric Design of Highways and the subsequent consistency evaluation.

The highway under investigation consisted of 4,525 km in length, presented an undulating topography (type II); and included 47 horizontal curves and 28 vertical curves.

For the technical analysis of the geometric design and its consistency evaluation, the road inventory was carried out, collecting the UTM points of the topographic survey, with which the modeling was carried out using the AutoCAD Civil 3D software from which its geometric design parameters were obtained. Subsequently, the analysis of these geometric design parameters was carried out both in plan (minimum radius, curve length, transition length and widening), in longitudinal profile (vertical curves and longitudinal slopes) and cross sections (berms, ditches), for said in the results, a comparison was made with the design parameters of the GD Geometric Design Highway Manual - 2018. From the executed and analyzed vehicle count, there is a current Average Daily Index (ADI) of 1479 veh/day, and an Annual Average Daily Index was obtained. (AADI) of 1277 vehicles/day. The traffic growth projection for 20 years was determined, obtaining a final traffic Pf equal to 1674 veh/day.

According to the GD-2018 Manual, the road according to the classification by demand, considering the AADI, the HU-112 section of the Molino-Huarichaca Road is located on a second-class road, in a rural area, with a predominantly average orography of undulating terrain (type II), the minimum radius of the horizontal curves was determined equal to 125 meters, design speed Vd equal to 60 km/h.

The research method was deductive, descriptive, with a quantitative approach.

Analyzing the degree of compliance with the already existing parameters of the geometric design in plan, in longitudinal profile and in cross section, a deficient degree of compliance of 36.60% was obtained.

A road of POOR consistency was obtained in 46.81%, higher than the degree of GOOD consistency of 40.43% and of FAIR consistency in 12.77%, according to Lamm's II evaluation criteria.

Finally, the incidence of percentages of the HU-112 Molino Huarichaca section, does not meet the geometric design parameters, nor the consistency established in the GD-2018 Manual, therefore, the silver alternative hypothesis is verified, since the degree compliance with the design parameters of the HU-112 highway km 0 to km 4 + 525 is only 36.60% and the degree of consistency of the road has a predominance of the degree of POOR consistency with 46.81% being higher than the degree of GOOD consistency with 40.43%.

Keywords: roads, design parameters, operating speed $V_{(85)}$, geometric design in plan, profile and cross section, consistency analysis.

INTRODUCCIÓN

Las vías de transporte desempeñan un papel crucial en el progreso de las regiones. Sin embargo, uno de los problemas principales que enfrentan es la planificación, diseño y elaboración de su trazado, ya que muchas carreteras se han construido sin tomar en consideración las pautas establecidas en el diseño geométrico.

El diseño geométrico es una fase crítica en un proyecto de infraestructura vial, ya que se basa en un conjunto de regulaciones de las normas que proporcionan las herramientas esenciales para lograr un diseño efectivo.

Por lo tanto, en este trabajo de investigación se ha realizado un estudio que examina y compara los diversos parámetros de diseño geométrico de la carretera HU-112 en el tramo Molino - Huarichaca con las pautas establecidas en el Manual de Diseño Geométrico de Carreteras DG-2018. Esto se ha logrado mediante un levantamiento topográfico para evaluar el estado actual de la carretera, aplicando los conocimientos adquiridos durante la formación profesional para abordar problemas relacionados con la infraestructura vial. Para llevar a cabo esta investigación, se ha seguido una metodología descriptiva, posterior a los parámetros de diseño geométrico en planta, perfil longitudinal y sección transversal se determinó la consistencia de diseño de la carretera HU-112 tramo Molino – Huarichaca, con el Manual de Carreteras Diseño Geométrico – 2018, cabe destacar que generalmente en el diseño de una vía se obvia el análisis de la consistencia del diseño de la vía, siendo éste un factor importante para prevenir los accidentes de tránsito, ya que una vía consistente presenta una variación armoniosa de la velocidad de operación (V_{85}) entre dos tramos, pues los cambios bruscos también incrementan el riesgo que podría existir al transitar la vía.

CAPÍTULO I.

ASPECTOS BÁSICOS DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Fundamentación o Situación Del Problema De Investigación

La seguridad vial se ha tornado una preocupación vital en los países en desarrollo, debido a las altas tasas de muertes y lesiones en las calles y carreteras. Cada año, en todo el mundo, más de un millón de personas pierden la vida en accidentes de tránsito, de acuerdo al portal suizo: Swissinfo.ch (2022). Mientras que, en el Perú, según los datos proporcionados por la Defensoría del Pueblo (2022), durante los últimos cinco años se han registrado más de 420 000 accidentes de tráfico, los cuales han causado la muerte de más de 14 000 personas, y han dejado a más de 272 000 personas heridas o con discapacidad.

En el Perú, en el año 2021 ocurrieron 74 624 accidentes de tránsito, en el 2020 acaecieron alrededor de 57 396 accidentes de tránsito y en el año 2019, 95 800 accidentes, por lo que en relación al año 2020 hubo una disminución de 30% en las cifras de accidentes de tránsito comparado al año 2019, y con lo que respecta al 2021 hubo un aumento del 49% en las cifras de accidentes de tránsito comparado al año 2020. La disminución de accidentes en el año 2020 está estrechamente relacionada con las restricciones al tráfico impuestas durante la primera fase del estado de emergencia nacional debido a la propagación del COVID-19 en Perú, pero hubo un aumento en el año 2021 por el reinicio de las actividades. Estos hechos muestran un resultado negativo de la inseguridad vial para la población, por lo que, es necesario implementar más medidas preventivas para resolver y mitigar la inseguridad vial, Defensoría del Pueblo (2022).

La solución del problema de seguridad vial ha requerido la implementación de procedimientos y tecnologías en los tres aspectos relacionados con el tráfico: los vehículos, los usuarios y las vías. Cárdenas (2018)

En la presente investigación nos enfocamos en los problemas de seguridad vial netamente sobre las vías cuyos temas a tratar fueron: diseño geométrico en planta, perfil longitudinal y sección transversal, y el nivel de consistencia de éstos, que determinó que la carretera no es consistente de acuerdo a la homogeneidad en los 3 tipos de diseño geométrico mencionados en el Manual de Carreteras DG-2018.

Un importante factor que se atribuyó al motivo de la investigación de la vía es que la carretera en estudio es parte de la red vial departamental, la cual interconecta las provincias de Pachitea y Huánuco del departamento de Huánuco. De acuerdo al estudio de tráfico del expediente técnico para las pistas y veredas del distrito de Molino (2016), se clasificó como Nodo de Importancia Alta, al área urbana del distrito de Molino, el principal nodo debido a su volumen poblacional y a una tasa de crecimiento superior a la media de la Provincia. Por ende, debido a estas características, la ciudad de Huarichaca-Molino es el nodo más importante debido a su alta concentración poblacional, su papel como centro comercial y de servicios, y su ubicación geográfica, por lo que es indispensable garantizar la seguridad vial del nodo en mención. Cabe resaltar que el distrito de Molino es uno de los grandes productores de papa a nivel nacional, siendo solo superado por el distrito vecino de Chaglla, por lo que es de vital importancia una vía con parámetros de diseño consistentes para garantizar el traslado seguro de los productos, los peatones y los pasajeros.

Otro factor a resaltar, motivo de investigación del tramo, son los constantes accidentes que se producen que a menudo cobran vidas humanas, heridos de gravedad y afectación económica por la pérdida de los productos agrícolas y/o comerciales que se trasladan por la zona, así como también dejan pérdidas económicas con la afectación de los vehículos durante el accidente, quedando muchos de ellos inutilizables. Debido a la lejanía de la comisaría de Panao, solo se tienen registros de los accidentes con pérdidas de vidas humanas, ya que los accidentes leves, usualmente no son registrados.

Es necesario mencionar que el tramo de la vía en estudio es un factor importante para el desarrollo socioeconómico del distrito de Molino y la Provincia de Pachitea, ya que interconecta las rutas comerciales en la región, tanto para el traslado de productos agrícolas, así como productos de comercio en la zona. Uno de los principales problemas para comerciantes y agricultores son los accidentes de tránsito a lo largo del tramo de la vía y esto a menudo surge a causa del mal diseño geométrico de la carretera, exponiéndolos a peligros constantes durante el uso de la vía, desde pequeños accidentes con heridos hasta accidentes trágicos donde se suscitan fallecidos y pérdidas económicas cuantiosas. Cabe recalcar que, el problema fundamental se origina ya que, pese a la existencia del Manual de Carreteras vigente y parámetros establecidos en ésta, se detecta incumplimiento de las normas de diseño geométrico de carreteras.

Aclarando el problema del mal diseño geométrico de la vía en estudio, donde no se respetan los parámetros mínimos y/o máximos de diseño estipulados en el Manual de Carreteras DG-2018, y a consecuencia del no cumplimiento de los parámetros de diseño tanto en planta, perfil longitudinal y sección transversal, ello afecta la homogeneidad de los componentes de la vía. En otras palabras, aunque el diseño geométrico de la carretera se divide en tres aspectos distintos: en planta, perfil y sección transversal, todos estos aspectos se combinan para formar una sola estructura tridimensional, por lo que, los diferentes elementos que componen la carretera interactúan entre sí con los usuarios de la vía y establecen las condiciones reales de funcionamiento y operación. En conclusión, si no hay homogeneidad en la vía, si no se cumplen los parámetros mínimos y máximos establecidos en el DG-2018, la carretera no será consistente.

Por lo tanto, la presente investigación buscó determinar el grado de cumplimiento de los parámetros de diseño tanto en planta, en perfil y en sección transversal, y cómo a

consecuencia de haber determinado el cumplimiento de los parámetros de diseño, se determinó la consistencia o no consistencia del diseño geométrico.

Por último, se buscó dejar constancia de los resultados del grado de incumplimiento del diseño geométrico punto por punto, así como también en resultado de la consistencia o no consistencia del diseño geométrico de la carretera, a la municipalidad distrital de Molino y a la Dirección Regional de Transportes y Comunicaciones (DRTC) para que se tome en cuenta el replanteamiento del diseño en los futuros proyectos a elaborarse en el tramo estudiado.

1.2 Formulación del Problema de Investigación General y Específicos.

1.2.1. Problema General

¿Cuál es el grado de cumplimiento de los parámetros de Diseño Geométrico de la carretera HU-112 tramo Molino – Huarichaca y la consistencia de diseño de acuerdo al Manual de Carreteras DG-2018?

1.2.2. Problemas Específicos

¿Cuál es el grado de cumplimiento de los parámetros de diseño en planta de la carretera HU-112 tramo Molino – Huarichaca, de acuerdo al Manual de Carreteras DG-2018?

¿Cuál es el grado de cumplimiento de los parámetros de diseño en perfil longitudinal de la carretera HU-112 tramo Molino – Huarichaca, de acuerdo al Manual de Carreteras DG-2018?

¿Cuál es el grado de cumplimiento de los parámetros de diseño en sección transversal de la carretera HU-112 tramo Molino – Huarichaca, de acuerdo al Manual de Carreteras DG-2018?

¿Cuál es la consistencia del diseño geométrico de la carretera HU-112 tramo Molino – Huarichaca de acuerdo al Manual de Carreteras DG-2018?

1.3 Formulación del Objetivo General y Específicos

1.3.1. Formulación del Objetivo General

Determinar el grado de cumplimiento de los parámetros de diseño geométrico de la carretera HU-112 tramo Molino – Huarichaca de acuerdo al Manual de Diseño Geométrico de Carreteras DG-2018 y su análisis de consistencia.

1.3.2. Formulación de los Objetivos Específicos

Determinar el grado de cumplimiento de los parámetros de diseño geométrico en planta de la carretera HU-112 tramo Molino – Huarichaca, de acuerdo al Manual de Carreteras DG-2018.

Determinar el grado de cumplimiento de los parámetros de diseño geométrico en perfil longitudinal de la carretera HU-112 tramo Molino – Huarichaca, de acuerdo al Manual de Carreteras DG-2018.

Determinar el grado de cumplimiento de los parámetros de diseño geométrico en sección transversal de la carretera HU-112 tramo Molino – Huarichaca, de acuerdo al Manual de Carreteras DG-2018.

Determinar la consistencia del diseño geométrico de la carretera HU-112 tramo Molino – Huarichaca, de acuerdo al Manual de Carreteras DG-2018.

1.4 Justificación

1.4.1. Justificación Técnica

En la vía en investigación a simple vista se aprecian distancias de visibilidad, que incumplen con la normativa, que ponen en riesgo la seguridad del peatón y del conductor; se han detectado radios de curvatura deficientes, que no están de acuerdo a la normativa, las cuales son un peligro inminente en el día a día de los conductores que transitan en la vía; se han detectado curvas con un sobrecancho deficiente, las cuales son un peligro constante para los peatones quienes en las curvas tienen que huir de los bordes de la calzada; se aprecia en su gran mayoría la inexistencia de las bermas, en ambos lados de

la calzada, también se han visto cunetas colmatadas e inexistentes en algunos tramos, por lo tanto, es imprescindible analizar y evaluar los parámetros de diseño existentes para proponer mejoras en la vía.

El principal motivo para desarrollar la investigación, se originó a partir de la necesidad de conocer el nivel de consistencia del diseño de la carretera HU-112 tramo Molino – Huarichaca y el grado de incumplimiento de los parámetros de diseño del Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018, puesto que es de vital importancia diseñar las carreteras con los parámetros mínimos y/o máximos según lo estipula la norma del Manual de Carreteras DG-2018. Cabe resaltar, que se está considerando un levantamiento estrictamente georreferenciado, desde 2 puntos geodésicos de orden C al inicio y dos puntos geodésicos de orden C al final, con una precisión de 0.003, 0.004, 0.003, 0.005, 0.005 y 0.006 en horizontal, y 0.014 y 0.023 en vertical, que fue certificado por el Instituto Geodésico Nacional (IGN) ya que son aceptables según las especificaciones técnicas de posicionamiento geodésico estático relativo acotado en la Norma Técnica Geodésica - 2019.

1.4.2. Justificación Socioeconómica

En una vía con parámetros de diseño geométrico deficientes, que incumplen la normativa establecida, existen graves riesgos de accidentes de tránsito, y al suscitarse estos podrían causar pérdidas cuantiosas, por lo que, en la presente investigación se buscó determinar esos parámetros y proponer datos que cumplen la normativa. Los datos obtenidos nos permitieron visualizar en caso de haber hallado los puntos críticos, dónde hubo incumplimiento de los parámetros mínimos y/o máximos del Manual de Carreteras Diseño Geométrico DG-2018, y con la misma, en caso de obtener una vía no consistente, se detallaron las acciones a tomar para mejorar la infraestructura vial en un futuro cercano, proyectando una vía con consistencia de diseño geométrico y cumpliendo todos los parámetros mínimos y/o máximos de diseño, que posibilite a los conductores y/o

peatones un tránsito cómodo y seguro, libre de cualquier posible accidente, ya que al estar la carretera diseñada bajo los estrictos parámetros de diseño y encontrándose el nivel de consistencia del diseño geométrico en consistente (bueno y aceptable), imposibilitaría cualquier posible futuro accidente, ya que estos accidentes de tránsito han venido suscitándose a menudo en los últimos años, y se busca evitar ello con las mejoras propuestas en la presente investigación.

Un punto importante en la vía durante el manejo es la seguridad vial del conductor y del peatón, por ende, es de vital importancia garantizar al conductor la comodidad y la seguridad durante su traslado por la vía en mención, por otro lado, se evitará la pérdida de vidas humanas tanto del conductor y de los peatones, en ese sentido, una vez determinados los parámetros deficientes, se exhortará a las autoridades locales la gestión de las mismas para viabilizar un proyecto tomando en cuenta los nuevos parámetros de diseño que cumplen con la normativa.

La actividad principal de la zona es la agricultura para el Centro Poblado de Huarichaca y el Centro Poblado de Molino, por tanto, es fundamental contar con carreteras con óptimo diseño y consecuentemente, vías consistentes en su diseño, por lo que se planea proponer mejoras en la vía, las cuales podrían ser adaptadas en las vías aledañas, para garantizar la continuidad del traslado de los productos del campo a la ciudad para su venta.

1.4.3. Justificación Académica

Al realizar el análisis del diseño geométrico y la evaluación de consistencia del diseño geométrico de la carretera HU-112 tramo Molino – Huarichaca de acuerdo al Manual de Carreteras: DG-2018, se comprendieron los procesos de análisis, técnicas empleadas, instrumentos utilizados, de las cuales salió un informe técnico del estado en el que se encuentra la carretera HU-112 en el tramo Molino – Huarichaca. Además, servirá

como una guía para los ingenieros futuros para que comprendan cómo utilizar y aplicar esta metodología, así como también, enlazar y ahondar más en el problema de la inseguridad vial que nos aqueja en la actualidad.

1.5 Limitaciones

Las limitaciones que se tuvieron fueron:

- No contar con el expediente técnico de carretera HU-112 tramo Huarichaca – Molino ejecutado en el 2018, tanto en formato físico y/o digital, ya que su ejecución fue por administración directa, por ende, siendo imposible descargarlo del SEACE, pues solo se carga a dicha plataforma de las obras por administración indirecta (por contrata).
- El clima lluvioso de la zona que impidió un normal tránsito, dificultando los trabajos a realizarse durante el desarrollo de la investigación.
- No contar con datos actualizados de IMDA tanto de la DRTC-Hco y/o del IVP Pachitea, razón por la cual, nos vimos obligados a elaborar un estudio de tráfico de 7 días seguidos.
- No contar con datos estadísticos de accidentes de tránsito de la comisaría de Panao y/o INEI, en el tramo a investigar, que refrendaría que en tramos con nivel de consistencia pobres (no consistente) acaece un mayor número de accidentes de tránsito. Cabe destacar que cuando ocurren los accidentes de tránsito, debido a la lejanía y a la falta de responsabilidad policial, estos a menudo no se acercan a la zona del accidente, o en todo caso, prefieren ignorar los sucesos dándoles la potestad de solucionar de manera interna a los afectados en el accidente, salvo de acaecer una pérdida de vida humana, dónde se ven obligados a registrar una denuncia en la comisaria de Panao.
- No contar con datos de precipitación pluvial de la zona, pues esto fue requisito indispensable para determinar el parámetro de bombeo en diseño en perfil.

- Fue imposible obtener datos certeros por denuncias a comisarías por accidentes de tránsito, ya que por experiencia propia en determinadas ocasiones la Policía Nacional del Perú te exhorta a no denunciar ya sea para aligerar su carga laboral y/o para evitar futuras complicaciones al culpable del accidente.

1.6. Formulación de Hipótesis General y Específica

1.6.1. Formulación de hipótesis general

Los parámetros de diseño geométrico de la carretera HU-112, tramo Molino – Huarichaca no cumplen con los parámetros de diseño estipulados en el Manual de Diseño Geométrico de Carreteras DG-2018; por consiguiente, el nivel de consistencia de la vía es no consistente.

1.6.2. Formulación de Hipótesis Específica

Los parámetros de diseño geométrico en planta de la carretera HU - 112 tramo Molino – Huarichaca no cumplen con los parámetros máximos y mínimos establecidos por el Manual de Carreteras DG-2018.

Los parámetros de diseño geométrico en perfil longitudinal de la carretera HU - 112 tramo Molino – Huarichaca no cumplen con los parámetros máximos y mínimos establecidos por el Manual de Carreteras DG-2018.

Los parámetros de diseño geométrico en sección transversal de la carretera HU - 112 tramo Molino – Huarichaca no cumplen con los parámetros máximos y mínimos establecidos por el Manual de Carreteras DG-2018.

El nivel de consistencia del diseño geométrico de la carretera HU-112 del tramo Molino – Huarichaca es no consistente, pobre; de acuerdo al Manual de Carreteras DG-2018.

1.7. Variables

Variable Independiente: Parámetros de diseño geométrico.

Variable Dependiente: Consistencia del diseño.

1.8. Definición Teórica y Operacionalización de Variables

Tabla 1
Operacionalización de variables

Tipo de variable	Nombre	Definición conceptual	Dimensiones	Indicador	Unidad	Instrumento de medición	Índice
VARIABLE DE ANÁLISIS 1		Orografía predominante	Levantamiento topográfico	orografía	%	Estación Total	
		Conteo de vehículos	IMDA	Flujo vehicular	veh/d	Conteo manual	
		El propósito es obtener datos de los diferentes elementos que conforman las características geométricas de la carretera, como los parámetros de diseño geométrico en planta, perfil longitudinal y sección transversal, para así determinar su configuración tridimensional	Diseño en planta (geometría horizontal)	radio	m.	civil 3D	de comparación: - mayor o igual que - menor de afirmación: - cumple - Incumple de evaluación gráfica: - porcentaje (%)
	sobreancho			m.	civil 3D		
	peralte			%	civil 3D		
	long. trans. de peralte			m.	civil 3D		
	long. de curva			m.	civil 3D		
	tramos en tangente			m.	civil 3D		
	pendiente			%	civil 3D		
	curva vertical			m.	civil 3D		
calzada	m.			civil 3D			
berma	m.			civil 3D			
		Sección transversal	bombeo	%	civil 3D		
			cunetas	m.	civil 3D		

(...continuación de tabla 1)

Tipo de variable	Nombre	Definición conceptual	Dimensiones	Indicador	Unidad	Instrumento de medición	Índice
VARIABLE DE ANÁLISIS 2	Consistencia del diseño	Se trata de comprobar los elementos esenciales para garantizar una armonía y una interacción adecuada entre el diseño en planta, en perfil y la sección transversal, con el fin de mantener un equilibrio óptimo.	Consistencia del diseño geométrico en planta, perfil longitudinal y sección transversal.	-DG-2018: Consistente -Criterios de Lamm: Bueno Aceptable	Cumple con los criterios generales	DG – 2018 y Criterios de Lamm	Escala de evaluación: - Cumple (bueno, aceptable)
				-DG-2018: No consistente -Criterios de Lamm: Pobre	No cumple con los criterios generales	DG – 2018 y Criterios de Lamm	Escala de evaluación: -Incumple (pobre)

Nota. Fuente: Elaboración propia (2022).

CAPÍTULO II.

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la Investigación

2.1.1. *Antecedentes a Nivel Internacional*

Entonces, se describe a manera de síntesis, algunos estudios internacionales que anteceden a la presente investigación:

El trabajo de investigación de Sánchez (2011) desarrollado para la tesis doctoral de la Universidad Politécnica de Madrid, ubicada en España, donde en dicho estudio se enfocan en lo siguiente: ampliar la comprensión de los elementos que influyen en la valoración de la consistencia del trazado de vías de dos carriles y crear un conjunto de procedimientos que posibilite la valoración de la consistencia del trazado en vías interurbanas de calzadas con dos carriles, tomando como referencia los factores que más influyen, considerando la cohesión entre diseño horizontal y vertical de la carretera. Los resultados de la investigación concluyen que, la propuesta del perfil de velocidades de operación se basa en varias investigaciones previas y se ha demostrado que es un método eficaz gracias a la experiencia de otros investigadores y su eficacia se ha comprobado en esta Tesis. Es esencial emplear modelos de velocidades que se ajusten a las condiciones del país. Se descubrió en el desarrollo de esta Tesis que solo algunos de los modelos desarrollados en otros lugares podían ser utilizados en el caso de Colombia. Los resultados de velocidades deben compararse con la velocidad prevista en el proyecto y en particular entre elementos consecutivos, considerando crítica una variación mayor a 20 km/h. Al detectar estas diferencias entre elementos consecutivos, el proyectista puede detectar problemas con el diseño y tomar las medidas necesarias para corregirlos.

El trabajo de investigación de Calixto (2018) desarrollado para la tesis de maestría de la Universidad Militar Nueva Granada, ubicada en Colombia, donde en dicho estudio se enfocan en lo siguiente: Homogeneizar y establecer criterios y medidas estandarizadas para el diseño de las características geométricas de los retornos. Los resultados de la investigación concluyen que, la distancia necesaria para cambiar de carril se determina mediante los cuatro parámetros establecidos en el Manual de Diseño Geométrico para la distancia de adelantamiento, pero sus valores serán diferentes ya que algunos de estos parámetros no son aplicables. Además, esta distancia también dependerá de la velocidad específica de la calzada de la carretera. La longitud de los carriles de aceleración y desaceleración puede variar dependiendo de si el vehículo está aumentando o disminuyendo su velocidad, ya sea en una subida o bajada. Uno de diseño que conecta con las carreteras y distribuye el peralte y otro de trayectoria que es por donde se mueve el vehículo; estos dos tienen características diferentes. El radio mínimo del retorno se basará en la disponibilidad del terreno. El diseño será para un vehículo 3S2 y el radio mínimo de la trayectoria es de 13 metros.

El trabajo de investigación de Arias y Remolina (2018) desarrollado para la tesis de pregrado de la Universidad Pontificia Bolivariana – Seccional Bucaramanga, ubicada en Colombia, donde en dicho estudio se enfocan en lo siguiente: Realizar una comparación entre la velocidad de operación de vehículos ligeros en las curvas del tramo de estudio y dos velocidades de referencia: la velocidad de diseño establecida en la norma colombiana y la velocidad de operación obtenida mediante el método de Lamm Ruediger. Los resultados de la investigación concluyen que, al realizar la comparación entre la velocidad de operación registrada y calculada en el campo con la velocidad de operación determinada mediante el método de Lamm et al., se observa que en el criterio I, la consistencia del tramo en ambos sentidos es del 80% y se considera buena. Para el criterio II, se clasifica la vía como consistentemente buena en toda su longitud y en

ambos sentidos, ya que el 100% de las curvas cumplen con el umbral de buen desempeño. En general, se puede afirmar que el método de Lamm Ruediger se aproxima más a las velocidades que los conductores adoptan en el punto medio de las curvas.

2.1.2. Antecedentes a Nivel Nacional

Entonces, se describe a manera de síntesis, algunos estudios nacionales que anteceden a la presente investigación:

El trabajo de investigación de Carrera (2019) desarrollado para optar el título profesional de Ingeniero Civil en la Universidad Nacional de Cajamarca ubicado en Cajamarca, Perú, donde en dicho estudio se enfocan en lo siguiente: examinar los aspectos geométricos de la carretera La Shita - Atumpata en el tramo comprendido entre el kilómetro 00+00 y el kilómetro 05+00, con el fin de realizar una evaluación de su seguridad vial. Los resultados de la investigación concluyen que, de acuerdo con los resultados obtenidos al evaluar la inseguridad vial de la carretera Shita-Atumpata km 00+00 – km 05+00, basados en sus elementos geométricos, se concluye que la carretera es insegura en un 62.98 por ciento, debido a que muchos de sus elementos no cumplen con lo establecido en las normas, ya que, el simple hecho de que exista peligro en algún punto de la carretera hace que ya no sea considerada segura; se llevó a cabo un estudio topográfico de 5 kilómetros de la carretera Shita-Atumpata, determinando las características de los elementos geométricos en planos, perfiles y secciones transversales. La carretera tiene una topografía predominantemente ondulada (tipo II), con 104 curvas horizontales, 23 curvas verticales, curvas horizontales con radios muy pequeños de hasta 4 metros, pendientes muy empinadas de hasta el 17.85 por ciento y no cuenta con señalización ni sistema de drenaje como las cunetas.

El trabajo de investigación de Melendez (2019) desarrollado para optar el título profesional de Ingeniero Civil en la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, ubicado en Pasco, Perú, donde en dicho estudio se enfocan en lo siguiente: llevar a cabo una revisión del Diseño Geométrico de la carretera Nacional PE-3N, específicamente en el tramo que abarca desde el kilómetro 136+000 hasta el kilómetro 141+000, en relación con las directrices del Manual de Carreteras DG-2018. Los resultados de la investigación concluyen que, después de evaluar y analizar el diseño geométrico de la carretera Nacional PE- 3N, en el tramo KM. 136+000 - KM. 141+000, se descubrió que varios tramos no cumplen con los parámetros establecidos en el Manual de Carreteras DG-2018. 2) La tasa de tráfico diario esperada (IMDA) para la cual fue diseñada la carretera en un principio fue de 1474 vehículos/día. 3) Después de realizar y procesar el estudio topográfico se determinó que la orografía del tramo en estudio es accidentada (Tipo 3). El nivel de cumplimiento del Manual de Carreteras es malo, ya que se obtuvo un 47.9 por ciento de cumplimiento. Según las estadísticas para este tipo de tesis, se considera Bueno (100 - 90 por ciento), Regular (90 - 60 por ciento) y Malo (60 - 0 por ciento). El tesista al final recomienda lo siguiente: cuando se lleva a cabo el diseño geométrico de una carretera en el Perú, es aconsejable complementar el cumplimiento de la norma peruana con el uso de normas extranjeras, como la norma AASHTO. Asimismo, es importante que el especialista verifique que los conceptos y valores empleados en el Manual de Carreteras sean los adecuados para el proyecto.

El trabajo de investigación de Araujo (2020) desarrollado para optar el título profesional de Ingeniero Civil en la Universidad Nacional de Cajamarca ubicado en Cajamarca, Perú, donde en dicho estudio se enfocan en lo siguiente: realizar una evaluación de las características geométricas de la carretera Celendín - El Suro, específicamente en el tramo que abarca desde el kilómetro 00+000 hasta el kilómetro

05+261, con base en los parámetros de diseño geométrico establecidos en el manual correspondiente a carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito. Los resultados de la investigación concluyen que, 1) debido a la alta incidencia de porcentajes de las características geométricas evaluadas en la carretera Celendín – El Suro, se concluyó que de todas las características geométricas analizadas llegan a cumplir en un 61.5 por ciento e incumplen en un 38.5 por ciento según los parámetros preestablecidos en el manual de diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito (MDCNPBVT); de esta forma, queda demostrado que las características geométricas de la carretera mencionada son deficientes. 2) Se llevó a cabo el estudio topográfico de la zona y se determinó que tiene una topografía predominantemente ondulada (tipo 2). Se llevó a cabo un conteo de tráfico durante 7 días en la carretera en estudio, con una tasa de tráfico diaria actual (IMD) de 10 vehículos/día. Luego, se realizó una proyección para 20 años con una tasa anual del 2.048%, mediante el método de generación de viajes, se obtuvo un valor de 15 vehículos/día. Esto clasifica a la carretera en el grupo BVT del "tipo T0" de carril único con un ancho de calzada de 3.5-4.5 m. El tesista al final sugiere siempre llevar a cabo un análisis utilizando la metodología de inspección de seguridad vial y el Manual de Seguridad de Carreteras (HSM), el cual involucra la recopilación y procesamiento de datos de accidentes ocurridos en el tramo objeto de estudio durante un periodo de cinco años. De esta manera, se podrá obtener una visión más precisa de los puntos críticos presentes en la carretera en cuestión.

2.1.2. Antecedentes a Nivel Local

Entonces, se describe a manera de síntesis, una tesis de estudio local que antecede a la presente investigación:

El trabajo de investigación de Jacinto (2019) desarrollado para optar el título profesional de Ingeniero Civil en la Universidad Nacional Hermilio Valdizan ubicado en

Huánuco, Perú, donde en dicho estudio se enfocan en lo siguiente: Examinar la relación entre la geometría del trazado y la seguridad vial en los caminos vecinales ubicados en la Provincia de Pachitea. Los resultados de la investigación concluyen que, 1) Se ha comprobado el cumplimiento de los parámetros de diseño geométrico fundamentales, en relación con lo establecido en el Manual de Carreteras "Diseño Geométrico (DG-2018)", siendo de gran importancia el radio de las curvas horizontales y la longitud de las tangentes horizontales. El parámetro de diseño de radio mínimo muestra un 65.92 por ciento de cumplimiento y el grado de cumplimiento de la longitud de tangente horizontal llega a ser de 35.61 por ciento; la combinación de ambos hace que la vía sea insegura desde el punto de vista del diseño geométrico para la circulación de los peatones y transportistas. 2) Se analizó la consistencia del trazado geométrico entre curvas consecutivas para un conjunto de tres vías de caminos vecinales de la Provincia de Pachitea, los resultados indican: BUENA en 54.75%, lo que significa que no hay problemas por el concepto de la consistencia, pues, hay una coordinación entre las curvas consecutivas, el cual permite un tránsito seguro; ACEPTABLE en un 14.95 por ciento, lo que implica que, existen problemas de consistencia para la seguridad, pero no son graves; y MALA en un 30.30 por ciento, lo que significa que existen problemas de consistencia y que son muy graves. 3) La combinación de los dos aspectos estudiados permite comprobar la hipótesis planteada en esta investigación, cuyos resultados indican que la geometría del diseño de los caminos vecinales de la Provincia de Pachitea es insegura; debido a que el simple hecho de que exista peligro en cualquier punto a lo largo de la geometría del trazado, este deja de ser seguro para la circulación. Finalizada la investigación, el tesista sugiere lo siguiente: ampliar el análisis sobre seguridad vial, tomando en cuenta tanto el factor humano como el factor vehículo, ya que la investigación actualmente se centra únicamente en el factor de infraestructura, es decir,

en la geometría del trazado y el cumplimiento de los principales parámetros geométricos conforme al Manual de Carreteras "Diseño Geométrico (DG-2018)"

El trabajo de investigación de Aquino (2019) desarrollado para optar el título profesional de Ingeniero Civil en la Universidad Nacional Hermilio Valdizan ubicado en Huánuco, Perú, donde en dicho estudio se enfocan en lo siguiente: Evaluar el nivel de seguridad vial en caminos vecinales de la provincia de Pachitea en el año 2019 mediante el análisis de la consistencia del trazado de dichos caminos. Los resultados de la investigación concluyen que, en relación al nivel de seguridad vial analizado desde la perspectiva de la consistencia del trazado, se determinó lo siguiente: el 85.21% de las curvas de tramos continuos evaluados presentan una buena consistencia del trazado, lo que indica una coordinación armoniosa entre ellas y permite una conducción segura. El 11.50% califica como una consistencia aceptable del trazado, lo que implica que existen algunas deficiencias en términos de seguridad, pero no llegan a ser críticas. Por último, el 3.29% muestra una mala consistencia del trazado, lo que indica problemas graves que afectan negativamente la seguridad vial, requiriendo que los conductores reduzcan su velocidad de manera brusca para circular con relativa seguridad en esas curvas.

2.2 Bases Teóricas

2.2.1. *Diseño Geométrico de Carreteras*

El diseño geométrico de carreteras es una técnica de la ingeniería civil en la cual se determina la ubicación de una vía y/o carretera en un terreno con una topografía previamente definida. Existen numerosos requisitos para la ubicación de una carretera en un terreno, tales como la topografía, la geología, el clima, la hidrología, factores socioeconómicos y urbanísticos.

Primeramente, antes de diseñar una carretera, es necesario llevar a cabo un estudio de viabilidad para determinar si es posible llevar a cabo el trazado propuesto o si se encuentran obstáculos que impidan su realización. Consiguientemente, una vez

seleccionado un terreno con un estudio de viabilidad aprobado, se establece el trazado exacto, teniendo en cuenta también la minimización del costo estimado del proyecto a construir.

Prosiguiendo, para el diseño Geométrico de carreteras se sigue un 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 quedará geométricamente definida por el trazado de su eje en planta, en perfil y por el trazado de su sección transversal.

2.2.2. Clasificación de las Carreteras

Las carreteras del Perú se clasifican, de acuerdo a la demanda en:

2.2.2.1. Clasificación por Demanda

a. Autopistas de Primera Clase

Son vías con un volumen de tráfico medio diario anual (IMDA) superior a 6,000 vehículos por día, con una calzada dividida por un separador central mínimo de 6 metros; cada una de los carriles debe tener un ancho mínimo de 3.60 metros y contar con al menos dos carriles, con un control total de accesos (entradas y salidas) para garantizar un flujo vehicular continuo, sin cruces o pasos a nivel y con puentes peatonales en zonas urbanas. La superficie de rodadura de estas carreteras debe ser pavimentada MCDG (2018).

b. Autopistas de Segunda Clase

Estas carreteras tienen una cantidad de vehículos que circulan diariamente entre 6000 y 4001, cuentan con calzadas divididas por un separador central con un ancho que puede variar entre 6.00 metros y 1.00 metros, en caso de ser necesario se instalará un sistema para detener los vehículos; cada una de las vías de circulación debe tener, como mínimo, dos o más carriles con un ancho de 3.60 metros, con restricciones de acceso

(entradas y salidas) para garantizar un flujo continuo de vehículos; pueden incluir intersecciones o pasos a nivel para vehículos y pasos peatonales en áreas urbanas. La carpeta de rodadura de estas carreteras debe de estar pavimentada, MCDG (2018).

c. Carreteras de Primera Clase

Estas carreteras tienen una cantidad de vehículos que circulan diariamente entre 4000 y 2001, cuenta con una calzada con al menos dos carriles con un ancho de 3.60 metros. Pueden tener intersecciones o pasos a nivel para vehículos, es recomendable contar con pasos peatonales o dispositivos de seguridad vial en zonas urbanas para permitir una operación más segura a velocidades adecuadas. La carpeta de rodadura de estas carreteras debe de estar pavimentada, MCDG (2018).

d. Carreteras de Segunda Clase

Estas carreteras tienen una cantidad de vehículos que circulan diariamente entre 2000 y 400, cuenta con una calzada con al menos dos carriles con un ancho de 3.30 metros. Pueden tener intersecciones o pasos a nivel para vehículos, es recomendable contar con pasos peatonales o dispositivos de seguridad vial en zonas urbanas para permitir una operación más segura a velocidades adecuadas. La carpeta de rodadura de estas carreteras debe de estar pavimentada, MCDG (2018).

e. Carreteras de Tercera Clase

Estas carreteras tienen una cantidad de vehículos que circulan diariamente menor a 400, cuenta con una calzada con al menos dos carriles con un ancho de 3.00 metros como requisito mínimo. Sin embargo, excepcionalmente estas carreteras pueden tener carriles con un ancho de hasta 2.50 metros, siempre y cuando exista el respaldo técnico correspondiente. Estas carreteras pueden ser mejoradas mediante opciones económicas o básicas, como el uso de estabilizadores de suelo, emulsiones asfálticas y/o pavimentos

de micro, o mediante afirmado en la superficie de rodadura. Si se decide pavimentar, se deben cumplir las especificaciones geométricas requeridas para las carreteras de segunda clase, MCDG (2018).

f. Trochas Carrozables

Estas vías son aptas para el tránsito, pero no cumplen con las exigencias geométricas de una carretera y en general tienen un tráfico vehicular diario menor a 200 vehículos. Las calzadas de esta vía deben tener una anchura mínima de 4 metros, y si es necesario se construirán ampliaciones llamadas plazoletas de cruce cada 500 metros. La superficie de la carretera puede ser asfaltada o no asfaltada, MCDG (2018).

2.2.2.2. Clasificación por Orografía

Las carreteras en el Perú, según el terreno principal que se encuentra a lo largo de su recorrido o eje central, se clasifican en:

1. Terreno plano (Tipo 1)

La carretera presenta pendientes transversales al eje de la carretera que son inferiores al 10% y las pendientes longitudinales son generalmente menos del 3%, lo que requiere un mínimo de trabajo de terraplenado, por lo que no tiene mayores dificultades en su diseño MCDG (2018).

2. Terreno ondulado (Tipo 2)

La carretera presenta pendientes transversales al eje de la carretera entre el 11% y el 50% y las pendientes longitudinales son entre el 3% y el 6%, lo que requiere un trabajo moderado de terraplenado, lo que permite alineamientos rectos, alternados con curvas de radios amplios, sin mayores dificultades en el diseño, MCDG (2018).

3. Terreno accidentado (tipo 3)

La carretera presenta pendientes transversales al eje de la carretera entre el 51% y el 100% y las pendientes longitudinales predominantes son entre el 6% y el 8%, lo que requiere un gran trabajo de terraplenado, por lo que presenta dificultades en su diseño, MCDG (2018).

4. Terreno escarpado (tipo 4)

La carretera tiene una pendiente transversal al eje de la carretera superior al 100% y las pendientes longitudinales excepcionales son superiores al 8%, lo que requiere el máximo esfuerzo en movimiento de tierra, lo que hace que su diseño sea muy complicado, MCDG (2018).

2.2.3. Criterios y Controles Básicos Para el Diseño Geométrico de Carreteras

El diseño geométrico de una carretera es esencial ya que incluye los parámetros geométricos establecidos en el Diseño Geométrico de Carreteras DG-2018, los cuales permiten satisfacer la necesidad de vehículos en la carretera y cumplir con los estándares de servicio. Además, la carretera diseñada debe tener en cuenta aspectos como la funcionalidad, seguridad, comodidad, estética, eficiencia económica y su impacto en el medio ambiente, MCDG (2018).

Una carretera será considerada funcional dependiendo de su tipo, características geométricas y volumen de tráfico, permitiendo una buena movilidad mediante una velocidad de operación adecuada.

La geometría de la carretera se basará en ser segura mediante un diseño sencillo, consistente y uniforme.

La carretera será cómoda si se reduce las aceleraciones y variaciones de los vehículos, esto se logrará ajustando las curvaturas y transiciones de la geometría a las velocidades de operación deseadas por los conductores en los tramos rectos.

La vía será estética al adaptarla al paisaje, permitiendo generar visuales agradables a las perspectivas cambiantes, produciendo en el conductor un recorrido fácil.

La vía será económica, cuando cumpliendo con los demás objetivos, ofrece el menor costo posible tanto en su construcción como en su mantenimiento.

Finalmente, la vía deberá ser compatible con el medio ambiente, adaptándola en lo posible a la topografía natural, a los usos del suelo y al valor de la tierra, y procurando mitigar o minimizar los impactos ambientales. Cárdenas (2002).

2.2.3.1. Criterios Básicos

El proyectista se le define como la entidad, equipo o persona encargada de realizar los estudios óptimos que involucra el proyecto, en sus distintas fases. El proyectista asume la responsabilidad de sus servicios ofrecidos.

2.2.3.1. Estándar de diseño de una carretera

Según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) del año 2014 el estándar de una obra vial está determinado por la clasificación de la vía, la velocidad de diseño y su respectiva sección transversal. Bautista (2021)

2.2.3.2. Clasificación General de los Proyectos Viales

Los proyectos viales para efectos del diseño geométrico se clasifican de la siguiente manera:

a. Proyectos de Nuevo Trazo

Los proyectos de infraestructura vial permiten la incorporación de nuevas obras a la red de carreteras. La construcción de una carretera que no existía previamente es un ejemplo evidente de un proyecto de infraestructura vial. También se incluyen en esta categoría la modificación de trazos existentes, como las vías de evitamiento o variantes de gran longitud, MCDG (2018).

b. Proyectos de Mejoramiento Puntual de Trazo

Los proyectos de rehabilitación son aquellos que se enfocan en corregir puntos específicos de la geometría de una vía con el objetivo de disminuir la inseguridad vial, sin alterar el estándar general de la misma. Estos pueden incluir rectificaciones puntuales de la geometría, MCDG (2018).

c. Proyectos de Mejoramiento de Trazo

Los proyectos de mejoramiento de trazo incluyen la modificación en longitudes significativas de una vía existente, ya sea mediante rectificaciones del eje o variantes en su entorno, o mediante un rediseño general de la geometría y drenaje de la misma para adaptarla a un nivel de servicio más alto.

En los proyectos de ampliación de un solo carril en una plataforma existente, el trazo está determinado por la geometría en planta y en perfil de la carretera actual. Sin embargo, en el caso de la construcción de una segunda carretera con plataformas independientes, es necesario considerarlos como si fueran un trazo completamente nuevo, ya que no están restringidos por la geometría y el perfil de la vía existente.

MCDG-(2018)

2.2.3.3. Ingeniería Básica

2.2.3.3.1. Geodesia y topografía

La geodesia se ocupa de la medición y representación de la forma y la superficie de la Tierra. Esta disciplina se encarga de la creación de puntos artificiales a los cuales se les asignan coordenadas y cotas altimétricas. La topografía se encarga de la medición y representación gráfica de los puntos definidos por la geodesia en planos. Estos puntos tienen asignadas coordenadas y cotas altimétricas. MCDG-(2018)

2.2.3.3.2. Hidrología, Hidráulica y Drenaje

La hidrología se utiliza para predecir los flujos de agua en secciones específicas, basándose en una probabilidad de ocurrencia. Esto permite obtener información sobre el comportamiento futuro de dichos puntos de agua de manera probabilística. La hidráulica

se basa en los datos obtenidos en la hidrología, para predecir la velocidad y altura del flujo en cauces naturales y artificiales. La combinación de hidrología e hidráulica permite el diseño de sistemas de drenaje y subdrenaje en proyectos de construcción de carreteras. MCDG-(2018)

2.2.3.3.3. Geología y Geotecnia

La finalidad de estos estudios es evaluar la capacidad del terreno natural para soportar cargas, diseñar laderas seguras para evitar deslizamientos de material y determinar la existencia de yacimientos de materiales. Todo esto, a través de la evaluación de áreas específicas de materiales, se clasifican estratigráficamente. MCDG-(2018)

2.2.3.3.4. Aspectos ambientales

El objetivo del Estudio de Impacto Ambiental (EIA) es sugerir y asegurar un balance entre el proyecto y su entorno, minimizando los impactos negativos potenciales. Los efectos negativos que pueden resultar de una infraestructura vial incluyen el manejo inadecuado de residuos, la interrupción de los ecosistemas, la extracción de materiales y recursos naturales, entre otros. MCDG-(2018)

2.2.3.3.5. Seguridad vial

La seguridad en las vías es esencial ya que requiere de un adecuado diseño geométrico (planta, perfil y sección transversal) para implementar medidas de seguridad. Es fundamental tener en cuenta este aspecto en las etapas de planificación, diseño, construcción y operación de las infraestructuras viales para reducir la tasa de accidentes de tránsito.

2.2.3.4. Giro Mínimo de Vehículos

El diseño del radio de giro mínimo de los vehículos es fundamental en el alineamiento horizontal y en la sección transversal. La trayectoria exterior se refiere al

recorrido de la rueda delantera izquierda del vehículo, mientras que la trayectoria interior se refiere al recorrido de la rueda trasera derecha del vehículo.

2.2.4. Vehículos de Diseño

El diseño geométrico de las carreteras se adapta a los diferentes tipos de vehículos, dimensiones, pesos y características especificadas en el reglamento nacional de vehículos vigente. La proporción y características físicas de los vehículos de diferentes tamaños que circulan por las carreteras son elementos fundamentales en su definición geométrica. Por lo tanto, es necesario analizar todos los tipos de vehículos, agruparlos y seleccionar el tamaño representativo dentro de cada grupo para su uso en el proyecto. Los vehículos seleccionados, con peso representativo, dimensiones y características de operación, utilizados para establecer los criterios de los proyectos de las carreteras, son conocidos como vehículos de diseño.

La selección del vehículo de diseño debe basarse en la composición del tráfico que utiliza o utilizará la carretera. Por lo general, la presencia de vehículos pesados es significativa lo que afecta las características del proyecto. Por lo tanto, el vehículo de diseño típico será un vehículo comercial rígido como camiones y/o buses.

Las características de los vehículos de diseño seleccionados, determinan los diferentes aspectos del dimensionamiento geométrico y estructural de una carretera. Por ejemplo, el ancho del vehículo adoptado afecta el ancho del carril, calzada, bermas y sobreebanco de la sección transversal, el radio mínimo de giro, intersecciones y gálibo. La distancia entre los ejes influye en el ancho y los radios mínimos internos y externos de los carriles. La relación entre el peso bruto total y la potencia está relacionada con el valor de las pendientes permitidas. MCDG-(2018)

Vehículos de pasajeros

Jeep (VL)

Auto (VL)

Bus (B2, B3, B4 y BA)

Camión (C2)

Vehículos de carga

Pick – up (Equivalente a Remolque Simple T2S1)

Camion C2

Camion C3 y C2CR

T3S2

Figura 1

Medidas de vehículos para el diseño geométrico

Tipo de vehículo	Alto total	Ancho Total	Vuelo lateral	Ancho ejes	Largo total	Vuelo delantero	Separación ejes	Vuelo trasero	Radio mín. rueda exterior
Vehículo ligero (VL)	1.30	2.10	0.15	1.80	5.80	0.90	3.40	1.50	7.30
Ómnibus de dos ejes (B2)	4.10	2.60	0.00	2.60	13.20	2.30	8.25	2.65	12.80
Ómnibus de tres ejes (B3-1)	4.10	2.60	0.00	2.60	14.00	2.40	7.55	4.05	13.70
Ómnibus de cuatro ejes (B4-1)	4.10	2.60	0.00	2.60	15.00	3.20	7.75	4.05	13.70
Ómnibus articulado (BA-1)	4.10	2.60	0.00	2.60	18.30	2.60	6.70 / 1.90 / 4.00	3.10	12.80
Semirremolque simple (T2S1)	4.10	2.60	0.00	2.60	20.50	1.20	6.00 / 12.50	0.80	13.70
Remolque simple (C2R1)	4.10	2.60	0.00	2.60	23.00	1.20	10.30 / 0.80 / 2.15 / 7.75	0.80	12.80
Semirremolque doble (T3S2S2)	4.10	2.60	0.00	2.60	23.00	1.20	5.40 / 6.80 / 1.40 / 6.80	1.40	13.70
Semirremolque remolque (T3S2S1S2)	4.10	2.60	0.00	2.60	23.00	1.20	5.45 / 5.70 / 1.40 / 2.15 / 5.70	1.40	13.70
Semirremolque simple (T3S3)	4.10	2.60	0.00	2.60	20.50	1.20	5.40 / 11.90	2.00	1

Nota. Adaptado de la tabla 202.01 del *Manual de Carreteras DG-2018*, (p. 27)

2.2.5. Características del Tránsito

La planificación y diseño de una carretera debe tener en cuenta los volúmenes de tráfico y las necesidades de seguridad vial. Esto es importante para el desarrollo de planes de transporte y el análisis económico. También es esencial para establecer criterios geométricos, elegir medidas de control de tráfico y evaluar el rendimiento de las instalaciones de transporte. Además, se debe considerar la composición del tráfico en la

carretera, basada en estudios de tráfico y proyecciones futuras de la zona y el uso de cada tramo de la carretera, MCDG (2018).

2.2.5.1. Índice medio diario anual (IMDA)

El volumen diario medio es un indicador que refleja el promedio de los volúmenes de tráfico diarios en una sección específica de una vía, tanto si es previsible como si ya existe. Su conocimiento proporciona una idea cuantitativa sobre la importancia de la vía en esa sección y es esencial para realizar cálculos de viabilidad económica.

2.2.5.2. Crecimiento del Tránsito

La planificación y diseño de una carretera debe tener en cuenta el volumen de tráfico esperado durante su vida útil, para garantizar que la carretera esté construida para soportar el tráfico esperado.

Sin embargo, determinar la vida útil de una carretera requiere evaluar las variaciones de los principales parámetros en cada segmento de la misma, lo cual puede ser complejo debido a la obsolescencia de la infraestructura o cambios inesperados en el uso del suelo que pueden afectar a los volúmenes de tráfico, patrones y demandas. Por conveniencia, se suele utilizar un período de 20 años como base para el diseño, MCDG (2018).

E 1: Ecuación de crecimiento del Tránsito

$$Pf = Po * (1 + Tc)^n$$

Donde:

Pf: tránsito final.

Po: tránsito inicial (año base).

Tc: tasa de crecimiento anual por tipo de vehículo.

n: año a estimarse.

2.2.6. Velocidad de Diseño

La velocidad de diseño es la velocidad seleccionada para el diseño de una carretera. Se entiende que será la velocidad máxima que puede mantenerse con seguridad y comodidad en una sección específica de la carretera, siempre y cuando las condiciones sean favorables para las condiciones de diseño.

En el proceso de establecimiento de la velocidad de diseño, la seguridad vial de los usuarios debe ser la prioridad máxima. Por lo tanto, la velocidad de diseño a lo largo del trazado debe ser tal que los conductores no sean sorprendidos por cambios bruscos y/o muy frecuentes en la velocidad permitida para realizar el recorrido con seguridad, MCDG (2018).

Figura 2

Rangos de Vd en función a la Clasificación de la carretera por demanda y orografía

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

Nota. Adaptado de la tabla 204.01 del *Manual de Carreteras DG-2018*, (p. 97)

2.2.7. Distancia de Visibilidad

La distancia de visibilidad es la longitud continua hacia adelante de la carretera que es visible para el conductor del vehículo para llevar a cabo maniobras seguras que sea obligado o decida realizar. En los proyectos de carreteras, se consideran tres distancias de visibilidad:

visibilidad de parada.

visibilidad de paso o adelantamiento.

Visibilidad de cruce con otra vía.

La visibilidad de parada y la visibilidad de paso o adelantamiento afectan el diseño de una carretera en áreas abiertas y serán abordadas en esta sección con un enfoque en el alineamiento recto y la pendiente uniforme. Los casos con condiciones especiales relacionadas con características únicas de la planta o perfil serán tratados en las secciones correspondientes, MCDG (2018).

2.2.7.1. Distancia de Visibilidad de parada

Distancia de visibilidad de parada es la distancia mínima requerida para que un vehículo viajando a la velocidad de diseño se detenga antes de impactar un objetivo inmóvil que se encuentra en su trayectoria.

La distancia de parada en condiciones de pavimento mojado se calcula mediante las fórmulas correspondientes.

E 2: Ecuación de distancia de visibilidad para pavimentos húmedos

$$Dp = 0.278 * V * Tp + 0.039 * \frac{V^2}{a}$$

E 3: Ecuación de distancia de visibilidad para pendiente superior a 3%

$$Dp = 0.278 * V * Tp + \frac{V^2}{254 * \left(\left(\frac{a}{9.81} \right) \pm i \right)}$$

Dónde:

Dp: Distancia de parada (m)

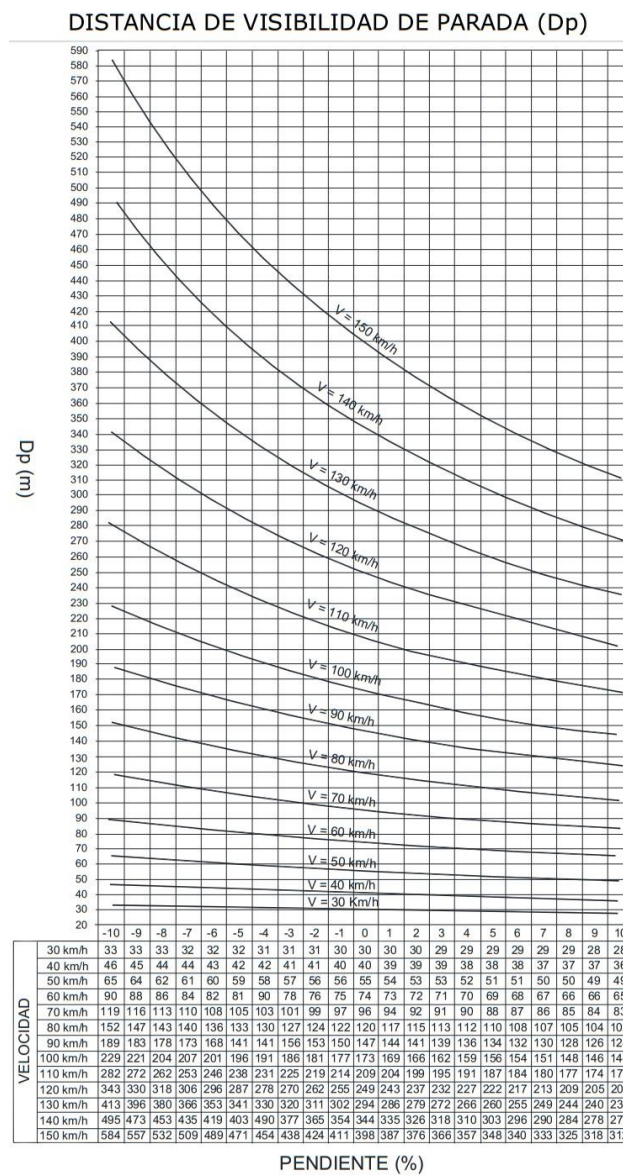
V: Velocidad de diseño (km/h)

tp: Tiempo de percepción + reacción (s)

a: deceleración en m/s² (será función del coeficiente de fricción y de la pendiente longitudinal del tramo).

Figura 3

Distancia de visibilidad de parada



Nota. Adaptado de la figura 205.01 del *Manual de Carreteras DG-2018* (p. 106)

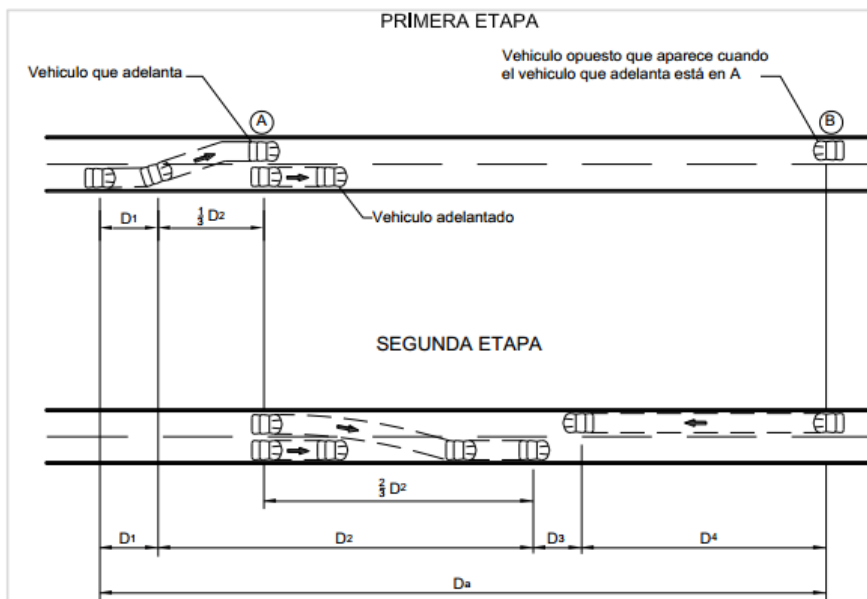
2.2.7.2. Distancia de Visibilidad de paso

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. Dichas condiciones de comodidad y seguridad, se dan cuando la diferencia de velocidad entre los vehículos que se desplazan en el mismo sentido es de 15 km/h y el vehículo que viaja en sentido contrario transita a la velocidad de diseño.

La distancia de visibilidad de adelantamiento debe considerarse únicamente para las carreteras de dos carriles con tránsito en las dos direcciones, dónde el adelantamiento se realiza en el carril del sentido opuesto.

Figura 4

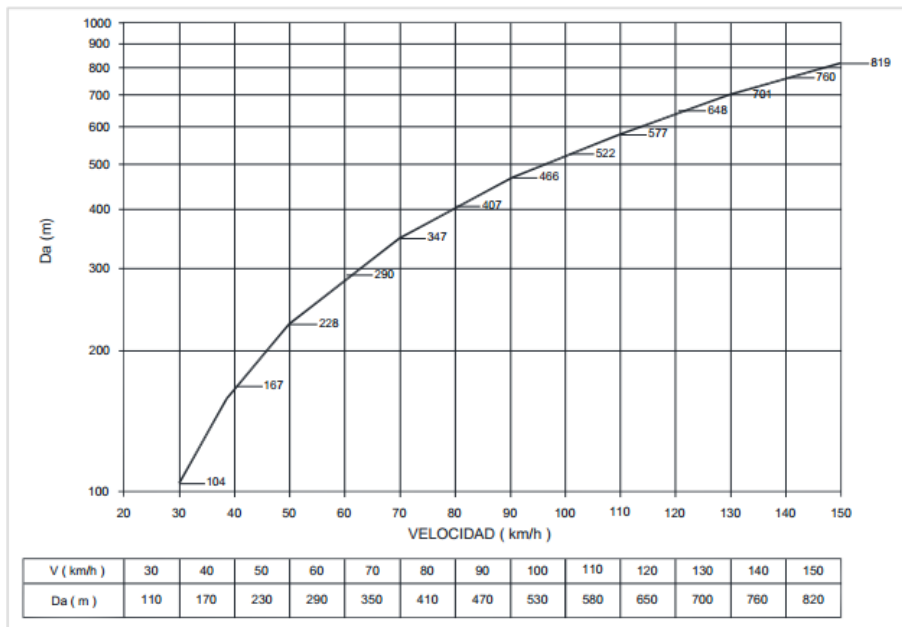
Distancia de visibilidad de adelantamiento (D_a)



Nota. Adaptado de la figura 205.02 del *Manual de Carreteras DG-2018*. (p. 107)

Figura 5

Nomograma de distancia de visibilidad de paso (Da)



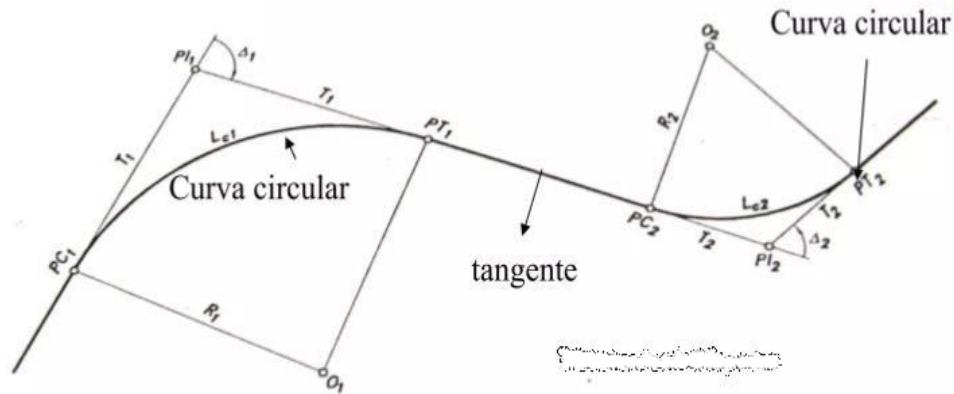
Nota. Adaptado de la figura 205.03 del *Manual de Carreteras DG-2018*. (p. 111)

2.2.8. Diseño Geométrico en Planta

El diseño geométrico en planta o alineamiento horizontal se compone de alineamientos rectos, curvas circulares y curvas con grado de curvatura variable, que permiten una transición suave entre alineamientos rectos y curvas circulares, o entre dos curvas circulares de diferente curvatura. El alineamiento horizontal debe permitir una circulación ininterrumpida de los vehículos, tratando de mantener la velocidad de diseño en la mayor longitud de carretera posible, MCDG (2018).

Figura 6

Alineamiento en planta



Nota. Adaptado de *Carreteras diseño moderno* (2001), J. Fuentes, (p. 194)

2.2.8.1. Consideraciones de diseño

En el diseño geométrico en planta, algunos aspectos a tener en cuenta son:

En el diseño geométrico, se deben evitar tramos con alineamientos rectos excesivamente largos, ya que son aburridos durante el día y aumentan el riesgo de deslumbramiento de las luces de los vehículos que circulan en sentido contrario en la noche. Se recomienda reemplazar alineamientos rectos extensos, por curvas con radios amplios, para mejorar la seguridad vial y la experiencia de conducción.

Para ángulos de deflexión Δ pequeños, menores o iguales a 5° , los radios de las curvas deben ser suficientemente grandes para proporcionar la longitud de curva mínima L calculada mediante las condiciones siguientes:

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

No se empleará en ningún caso ángulos de deflexión menores que $59'$ (minutos).

La longitud mínima de la curva (L) será:

Figura 7

Longitud mínima de curva en autopistas y carreteras

Carretera red nacional	L (m)
Autopistas	6 V
Carreteras de dos carriles	3 V

V = Velocidad de diseño (km/h)

Nota. Adaptado del *Manual de Carreteras DG-2018*. (p. 125)

No es necesario una curva horizontal para ángulos de deflexión pequeños, la figura 8 siguiente muestra los ángulos máximos de inflexión para los cuales no se necesita una curva horizontal.

Figura 8

Angulo de deflexión máxima para prescindir una curva en planta

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´

Nota. Adaptado del *Manual de Carreteras DG-2018*. (p. 126)

2.2.8.2. Tramos en Tangente

La longitud mínima permisible y máxima deseable para los tramos en tangente, en relación a la velocidad de diseño se especifica en la Figura 9 siguiente:

Figura 9

Longitudes de tramos en tangente

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

Nota. Adaptado de la tabla 302.01 del *Manual de Carreteras DG-2018*. (p. 127)

Dónde:

L mín.s: Longitud mínima (m) en trazados en “S” (alineamiento recto entre alineamientos con radios de curvatura de sentido contrario).

L mín.o: Longitud mínima (m) en el resto de casos (alineamiento recto entre alineamientos con radios de curvatura del mismo sentido).

L máx: Longitud máxima deseable (m).

V: Velocidad de diseño (km/h)

Las longitudes de tramos en tangente presentada en la Tabla II.5, son calculadas con las siguientes fórmulas:

L mín.s: $1.39 V$

Ecuación 4: Long. Min para trazados en “S”

L mín.o: $2.78 V$

Ecuación 5: Long. Min para trazados en “O”

L máx: $16.70 V$

Ecuación 6: Longitud máxima en tangente

2.2.8.3. Radios mínimos de curvas circulares

Los radios mínimos de curvatura horizontal son los radios con los valores más bajos donde se pueden recorrer con la velocidad de diseño y la tasa máxima de peralte,

bajo condiciones seguras y cómodas. En la figura 10 se indican los radios mínimos calculados en función de la velocidad de diseño, el peralte máximo asociado a V y los límites de fricción.

Figura 10

Valores de radio de curvatura mínimo (con redondeo)

Velocidad específica Km/h	Peralte máximo e (%)	Valor límite de fricción $f_{m\acute{a}x}$	Calculado radio mínimo (m)	Redondeo radio mínimo (m)
30	4.0	0.17	33.7	35
40	4.0	0.17	60.0	60
50	4.0	0.16	98.4	100
60	4.0	0.15	149.1	150
30	6.0	0.17	30.8	30
40	6.0	0.17	54.7	55
50	6.0	0.16	89.4	90
60	6.0	0.15	134.9	135
30	8.0	0.17	28.3	30
40	8.0	0.17	50.4	50
50	8.0	0.16	82.0	80
60	8.0	0.15	123.2	125
30	10.0	0.17	26.2	25
40	10.0	0.17	46.6	45
50	10.0	0.16	75.7	75
60	10.0	0.15	113.3	115
30	12.0	0.17	24.4	25
40	12.0	0.17	43.4	45
50	12.0	0.16	70.3	70
60	12.0	0.15	104.9	105

Nota. Adaptado de la tabla 302.04 del *Manual de Carreteras DG-2018*. (p. 132)

2.2.8.4. Sobreancho

Sobreancho, es el ancho adicional en la superficie de rodamiento de la vía en los tramos curvas, para compensar el espacio adicional requerido por los vehículos.

Se proporciona sobreancho en una calzada debido a la extensión de la trayectoria de los vehículos y a la mayor dificultad en mantener el vehículo dentro del carril en tramos curvas.

Según el Manual DG-2018 Para garantizar holguras adecuadas en curvas de radio pequeño y mediano, se requiere un sobreebanco en la carretera, dependiendo del tipo de vehículos que circulan habitualmente por ella. Esto es para asegurar espacios libres entre los vehículos que se cruzan en calzadas bidireccionales o que se adelantan en calzadas unidireccionales, y entre los vehículos y los bordes de las calzadas. El sobreebanco necesario se determina a través del aumento del espacio transversal ocupado por los vehículos al describir las curvas, sumado a las holguras teóricas adoptadas (valores medios). Sin embargo, el sobreebanco no debe ser obtenido reduciendo el ancho de la berma.

El sobreebanco debe ser considerado en valores no muy pequeños. Un valor mínimo de 0.40 metros es considerado apropiado para su adopción. El cálculo del sobreebanco se realiza mediante una fórmula específica:

E 4: *Fórmula para determinar el sobreebanco*

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

Donde:

S_a: Sobreebanco (m)

n: Número de carriles

RC: Radio de curvatura circular (m)

L: Distancia entre eje posterior y parte frontal (m)

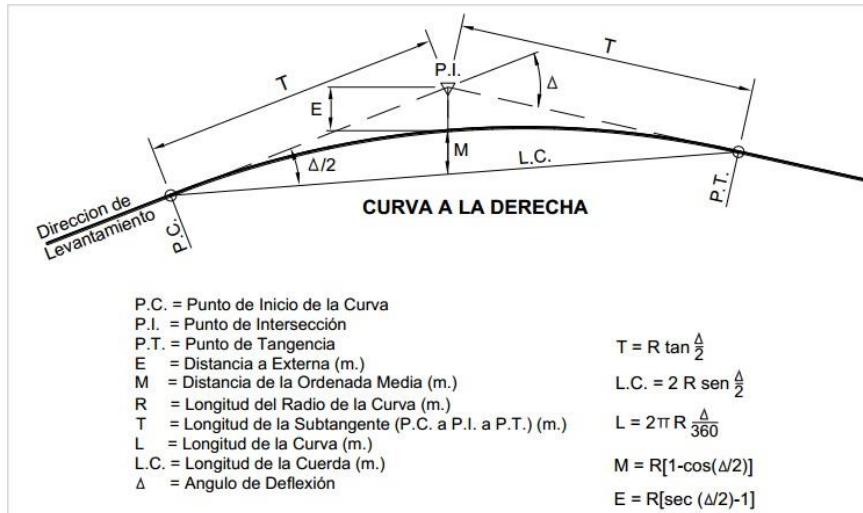
V: Velocidad de diseño (km/h)

2.2.8.5. Curvas circulares

Las curvas horizontales circulares simples son curvas que unen dos tangentes consecutivas mediante un arco de circunferencia de un solo radio, y representan la proyección horizontal de las curvas en tres dimensiones, MCDG (2018).

Figura 11

Partes de una curva circular

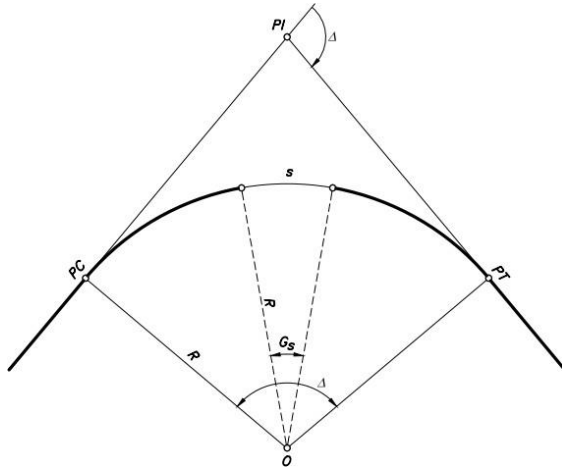


Nota. Adaptado de la figura 302.01 del *Manual de Carreteras DG-2018*. (p. 128)

Realizar el replanteo de las curvas circulares en planta es muy importante y se realiza con las siguientes formulas:

Figura 12

Curvatura por el sistema arco-grado



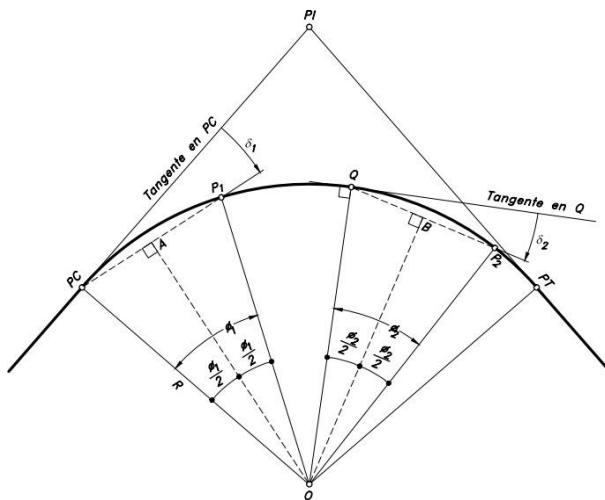
Nota. Adaptado de *Diseño Geométrico de Carreteras*, (p 43), por James Cárdenas, 2013

E 5: Ecuación del grado de curvatura de un determinado arco

$$G_s = \frac{180 * S}{\pi * R}$$

Figura 13

Concepto de ángulo de deflexión



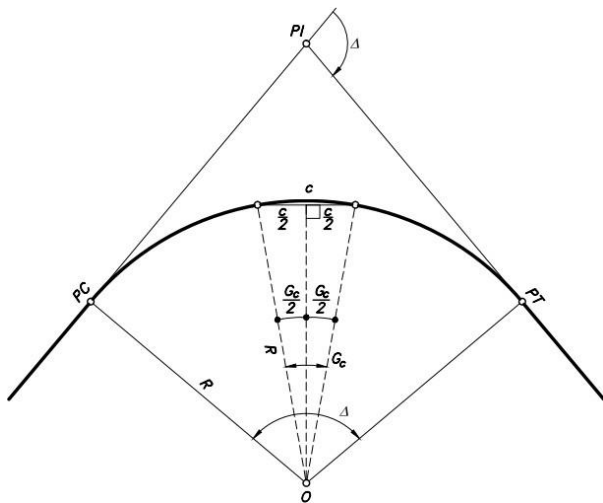
Nota. Adaptado de *Diseño Geométrico de Carreteras*, (p 49), por James Cárdenas, 2013

E 6: Ángulo de deflexión correspondiente al PC y Punto Pi

$$\delta = \frac{G_s}{2}$$

Figura 14

Curvatura por el sistema cuerda-grado



Nota. Adaptado de Cárdenas. *Diseño geométrico de carreteras* 2013. (p. 45)

E 7: Ecuación de la cuerda entre PC y Pi

$$Ci = 2 * R * \text{Sen}\left(\frac{Gs}{2}\right)$$

2.2.8.6. Radios mínimos

Según el manual DG-2018, los radios mínimos de curvatura horizontal son los valores más bajos que se pueden recorrer con la velocidad de diseño y la tasa máxima de peralte, bajo condiciones seguras y cómodas. Para calcular estos radios se puede utilizar una fórmula específica:

E 8: Ecuación para radio mínimo para curvas en planta

$$R_{min} = \frac{v^2}{(127 * (P_{máx} + f_{máx}))}$$

Dónde:

Rmín: Radio Mínimo

V: Velocidad de diseño

$P_{m\acute{a}x}$: Peralte máximo asociado a V (en tanto por uno).

$f_{m\acute{a}x}$: Coeficiente de fricción transversal máximo asociado a V .

El resultado de la aplicación de la indicada fórmula se aprecia en la figura 15.

Figura 15

Radios mínimos y peraltes máximos para diseño de carreteras

Ubicación de la vía	Velocidad de diseño	$P_{m\acute{a}x}$ (%)	$f_{m\acute{a}x}$	Radio calculado (m)	Radio redondeado (m)
rea urbana	30	4.00	0.17	33.7	35
	40	4.00	0.17	60.0	60
	50	4.00	0.16	98.4	100
	60	4.00	0.15	149.2	150
	70	4.00	0.14	214.3	215
	80	4.00	0.14	280.0	280
	90	4.00	0.13	375.2	375
	100	4.00	0.12	492.10	495
	110	4.00	0.11	635.2	635
	120	4.00	0.09	872.2	875
130	4.00	0.08	1,108.9	1,110	
rea rural (con peligro de hielo)	30	6.00	0.17	30.8	30
	40	6.00	0.17	54.8	55
	50	6.00	0.16	89.5	90
	60	6.00	0.15	135.0	135
	70	6.00	0.14	192.9	195
	80	6.00	0.14	252.9	255
	90	6.00	0.13	335.9	335
	100	6.00	0.12	437.4	440
	110	6.00	0.11	560.4	560
	120	6.00	0.09	755.9	755
130	6.00	0.08	950.5	950	
rea rural (plano u ondulada)	30	8.00	0.17	28.3	30
	40	8.00	0.17	50.4	50
	50	8.00	0.16	82.0	85
	60	8.00	0.15	123.2	125
	70	8.00	0.14	175.4	175
	80	8.00	0.14	229.1	230
	90	8.00	0.13	303.7	305
	100	8.00	0.12	393.7	395
	110	8.00	0.11	501.5	500
	120	8.00	0.09	667.0	670
130	8.00	0.08	831.7	835	
rea rural (accidentada o escarpada)	30	12.00	0.17	24.4	25
	40	12.00	0.17	43.4	45
	50	12.00	0.16	70.3	70
	60	12.00	0.15	105.0	105
	70	12.00	0.14	148.4	150
	80	12.00	0.14	193.8	195
	90	12.00	0.13	255.1	255
	100	12.00	0.12	328.1	330
	110	12.00	0.11	414.2	415
	120	12.00	0.09	539.9	540
130	12.00	0.08	665.4	665	

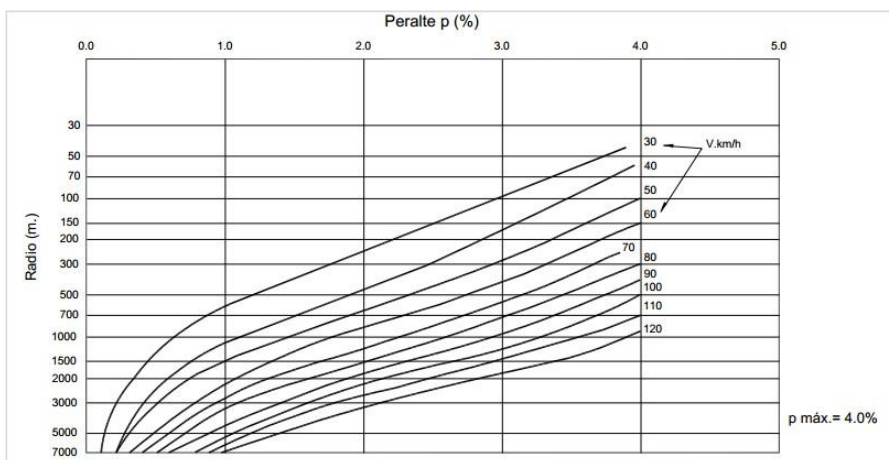
Nota. Adaptado de la tabla 302.02 del *Manual de Carreteras DG-2018*. (p. 129)

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

Los Gráficos 16, 17 y 18 permiten obtener el peralte y el radio, para una curva que se desea proyectar, con una velocidad específica de diseño.

Figura 16

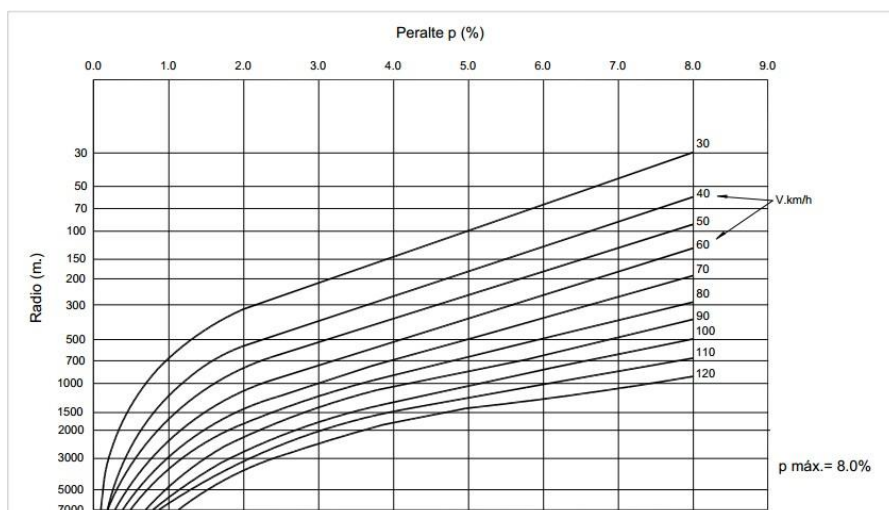
Peralte en cruce de áreas urbanas



Nota. Adaptado de la figura 302.02 del *Manual de Carreteras DG-2018*. (p. 130)

Figura 17

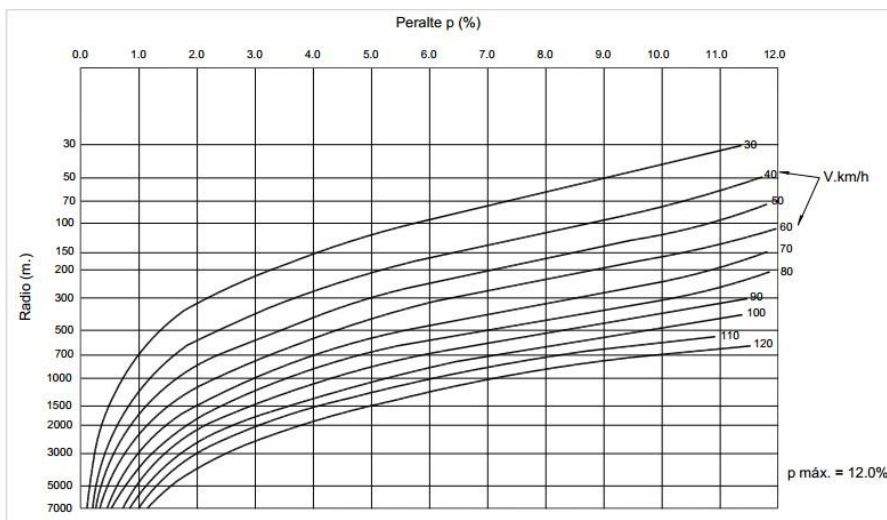
Peralte en zona rural (Tipo 1, 2 o 3)



Nota. Adaptado de la figura 302.03 del *Manual de Carreteras DG-2018*. (p. 130)

Figura 18

Peralte en zona rural (tipo 3 o 4)



Nota. Adaptado de la figura 302.04 del *Manual de Carreteras DG-2018.* (p. 131)

El Gráfico 19 permite ubicar la fricción transversal de máximo valor para velocidades de diseño específicas.

Figura 19

Fricción transversal

Velocidad de diseño Km/h	$f_{m\acute{a}x}$
30 (ó menos)	0.17
40	0.17
50	0.16
60	0.15

Nota. Adaptado de la tabla 302.03 del *Manual de Carreteras DG-2018.* (p. 132)

El Gráfico 20 permite ubicar el peralte máximo y la fricción transversal máximo para cada valor de velocidades de diseño específicas y radio mínimo específica.

Figura 20

Valores de $R_{m\acute{i}n}$ para V_d , $p_{m\acute{a}x}$ y $f_{m\acute{a}x}$

Velocidad específica Km/h	Peralte máximo e (%)	Valor límite de fricción $f_{\text{máx}}$	Calculado radio mínimo (m)	Redondeo radio mínimo (m)
30	4.0	0.17	33.7	35
40	4.0	0.17	60.0	60
50	4.0	0.16	98.4	100
60	4.0	0.15	149.1	150
30	6.0	0.17	30.8	30
40	6.0	0.17	54.7	55
50	6.0	0.16	89.4	90
60	6.0	0.15	134.9	135
30	8.0	0.17	28.3	30
40	8.0	0.17	50.4	50
50	8.0	0.16	82.0	80
60	8.0	0.15	123.2	125
30	10.0	0.17	26.2	25
40	10.0	0.17	46.6	45
50	10.0	0.16	75.7	75
60	10.0	0.15	113.3	115
30	12.0	0.17	24.4	25
40	12.0	0.17	43.4	45
50	12.0	0.16	70.3	70
60	12.0	0.15	104.9	105

Nota. Adaptado de la tabla 302.04 del *Manual de Carreteras DG-2018*. (p. 132)

2.2.8.8. Coordinación entre curvas circulares

Según el manual DG-2018, para todo tipo de carreteras, cuando se unan curvas circulares consecutivas sin una tangente intermedia o con una tangente de longitud menor o igual a 200 metros, la relación entre los radios de las curvas circulares no debe superar los valores especificados en las tablas 7 y 8, los cuales están divididos en diferentes grupos:

Grupo 1: Autopistas y carreteras de Primera Clase.

Grupo 2: Carreteras de Segunda y Tercera Clase.

Figura 21

Relación entre radios consecutivos – grupo 1

Radio Entrada (m)	Radio Salida (m)		Radio Entrada (m)	Radio Salida (m)	
	Máximo	Mínimo		Máximo	Mínimo
250	375	250	820	> 1720	495
260	390	250	840	> 1720	503
270	405	250	880	> 1720	510
280	420	250	880	> 1720	517
290	435	250	900	> 1720	524
300	450	250	920	> 1720	531
310	466	250	940	> 1720	537
320	481	250	960	> 1720	544
330	497	250	980	> 1720	550
340	513	250	1000	> 1720	558

350	529	250	1020	> 1720	561
360	545	250	1040	> 1720	567
370	562	250	1060	> 1720	572
380	579	253	1080	> 1720	578
390	596	260	1100	> 1720	583
400	614	267	1120	> 1720	588
410	633	273	1140	> 1720	593
420	652	280	1160	> 1720	598
430	671	287	1180	> 1720	602
440	692	293	1200	> 1720	607
450	713	300	1220	> 1720	611
460	735	306	1240	> 1720	616
470	758	313	1260	> 1720	620
480	781	319	1280	> 1720	624
490	806	326	1300	> 1720	628
500	832	332	1320	> 1720	632
510	859	338	1340	> 1720	636
520	887	345	1360	> 1720	640

Nota. Adaptado de la tabla 302.07 del *Manual de Carreteras DG-2018*. (p. 135)

Figura 22

Relación entre radios consecutivos – grupo 2

Radio Entrada (m)	Radio Salida (m)		Radio Entrada (m)	Radio Salida (m)	
	Máximo	Mínimo		Máximo	Mínimo
40	60	50	360	> 670	212
50	75	50	370	> 670	216
60	90	50	380	> 670	220
70	105	50	390	> 670	223
80	120	53	400	> 670	227
90	135	60	410	> 670	231
100	151	67	420	> 670	234
110	166	73	430	> 670	238
120	182	80	440	> 670	241
130	198	87	450	> 670	244
140	215	93	460	> 670	247
150	232	100	470	> 670	250
160	250	106	480	> 670	253
170	269	112	490	> 670	256
180	289	119	500	> 670	259
190	309	125	510	> 670	262
200	332	131	520	> 670	265
210	355	137	530	> 670	267
220	381	143	540	> 670	270
230	408	149	550	> 670	273
240	437	154	560	> 670	275
250	469	160	570	> 670	278
260	503	165	580	> 670	280
270	540	171	590	> 670	282
280	580	176	600	> 670	285
290	623	181	610	> 670	287
300	670	186	620	> 670	289
310	> 670	190	640	> 670	294
320	> 670	195	660	> 670	298
330	> 670	199	680	> 670	302
340	> 670	204	700	> 670	306
350	> 670	208		> 670	

Nota. Adaptado de la tabla 302.08 del *Manual de Carreteras DG-2018*. (p. 137)

2.2.8.8. Curvas de Transición

La curva de transición es una espiral que tiene como objetivo evitar las discontinuidades en la curvatura del trazo. El diseño debe garantizar las mismas

condiciones de seguridad, comodidad y estética que el resto de los elementos del trazo. Con tal fin, se intercala un elemento de diseño conocido como longitud de transición, para lograr un cambio gradual entre la sección transversal con bombeo en los tramos en tangente y la sección de los tramos en curva provistos de peralte y sobreechancho.

La ecuación de la Clotoide (Euler) está dada por:

E 9: Ecuación de la clotoide o espiral (Euler)

$$R * L = A^2$$

Dónde:

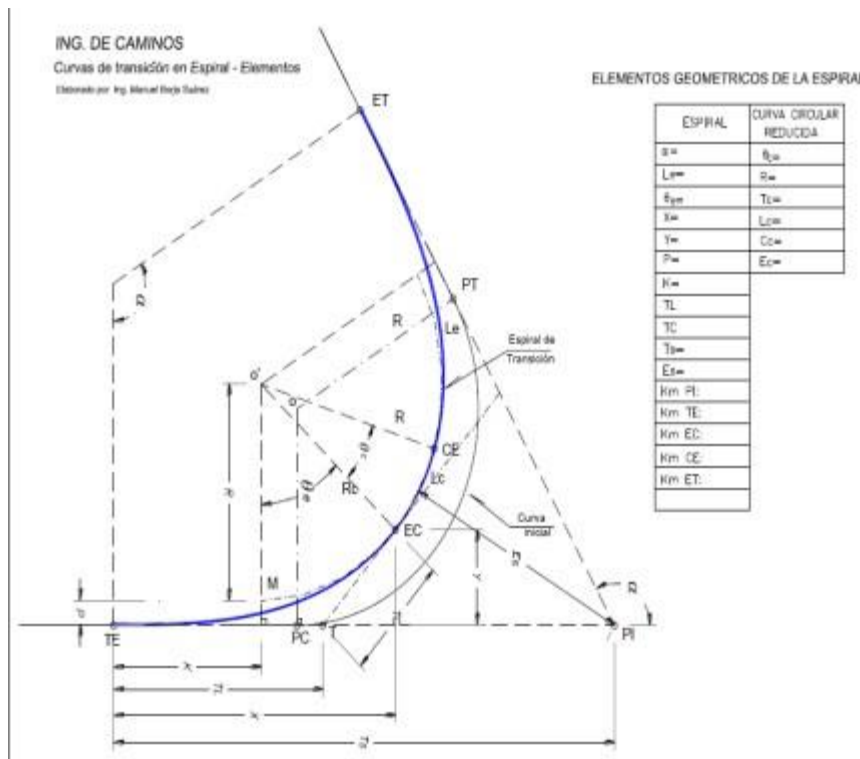
R: radio de curvatura en punto cualquiera.

L: Longitud de la curva

A: Parámetro de la clotoide, característico de la misma.

Figura 23

Elementos de una curva de transición



Nota. Adaptado de *Análisis del diseño geométrico de carreteras*, (p. 13) por Manuel Borja, 2017.

Figura 24

Fórmulas para el cálculo de elementos de una curva de transición

Elementos geométricos de la espiral de transición:

$$\theta = \frac{Le}{2R}$$

$$X = Le \cdot \left(1 - \frac{\theta^2}{10} + \frac{\theta^4}{216} - \frac{\theta^6}{9360} + \frac{\theta^8}{685440} - \frac{\theta^{10}}{76204800} + \dots\right)$$

$$Y = Le \cdot \left(\frac{\theta}{3} - \frac{\theta^3}{42} + \frac{\theta^5}{1320} - \frac{\theta^7}{75600} + \frac{\theta^9}{6894720} - \dots\right)$$

$$\theta_e = \frac{90Le}{\pi R} \rightarrow \text{Verificar: } \theta_e \leq \frac{\alpha}{2}$$

$$\theta_c = \alpha - 2\theta_e$$

$$P = Y - R \cdot (1 - \text{Cos}\theta_e)$$

$$K = X - R \cdot \text{Sen}\theta_e$$

$$TL = X - \left(\frac{Y}{\text{Tang}(\theta_e)}\right)$$

$$TC = \frac{Y}{\text{Sen}(\theta_e)}$$

$$Ts = (R + P) \text{Tang}\left(\frac{\alpha}{2}\right) + K$$

$$Es = \frac{R \cdot (1 - \text{Cos}\frac{\alpha}{2}) + P}{\text{Cos}(\alpha/2)}$$

Kilometrajes:

$$\text{Km TE} = \text{Km PI} - Ts$$

$$\text{Km CE} = \text{Km EC} + Lc$$

$$\text{Km EC} = \text{Km TE} + Le$$

$$\text{Km ET} = \text{Km CE} + Le$$

Donde:

X = Coordenada X del fin de la Espiral

Y = Coordenada Y del fin de la Espiral

θ = Angulo en decimales

θ_e = Angulo central de la espiral

θ_c = Angulo central en la nueva curva circular

α = Angulo de deflexión de la curva circular

Le = Longitud de la espiral entrada = salida

R = Radio de la curva circular inicial

P = Retraqueo

K = Desplazamiento

TL = Tangente larga

TC = Tangente Corta

Ts = Tangente de la espiral

Es = Externa de la espiral

Km TE = Punto de inicio de la transición en espiral

Km ET = Punto final de la transición en espiral

Km EC = Punto de transición entre la Espiral y la

Curva circular nueva

Km CE = Punto de transición entre Curva circular

nueva y la Espiral

Nota. Adaptado de *Análisis del diseño geométrico de carreteras*, (p. 14) por Manuel Borja, 2017.

Figura 25

Fórmulas para el replanteo de una curva de transición

Datos para replanteo de la transición en espiral:

$$\theta_i = \frac{Li^2}{2R \cdot Le} \rightarrow (\text{en decimales})$$

$$Xi = Li \cdot \left(1 - \frac{\theta_i^2}{10} + \frac{\theta_i^4}{216} - \frac{\theta_i^6}{9360} + \frac{\theta_i^8}{685440} - \frac{\theta_i^{10}}{76204800}\right)$$

$$Yi = Li \cdot \left(\frac{\theta_i}{3} - \frac{\theta_i^3}{42} + \frac{\theta_i^5}{1320} - \frac{\theta_i^7}{75600} + \frac{\theta_i^9}{6894720}\right)$$

$$Ci = \sqrt{Xi^2 + Yi^2}$$

$$\phi_i = \text{Arctg} \frac{Yi}{Xi}$$

Donde:

θ_i = Angulo en decimales

Xi = Coordenada X de cualquier punto de la espiral

Yi = Coordenada Y de cualquier punto de la espiral

Le = Longitud de la espiral entrada = salida

Li = Longitud parcial de la espiral desde el TE hasta el kilometraje buscado

R = Radio de la curva circular inicial

Ci = Cuerda a medir desde el TE

ϕ_i = Angulo a medir desde el alineamiento TE-PI

Nota. Adaptado de *Análisis del diseño geométrico de carreteras*, (p. 14) por Manuel Borja, 2017.

El parámetro mínimo de la curva de transición se obtiene con la siguiente ecuación:

E 10: Ecuación de parámetro de curva de transición

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

Donde:

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. (%)

Figura 26

Valores de variación uniforme de aceleración transversal(J)

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

Nota. Adaptado de la tabla 302.09 del *Manual de Carreteras DG-2018*. (p. 139)

La longitud mínima de curva de transición se determina con la siguiente ecuación:

E 11: Ecuación de longitud de curva de transición

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

Donde:

V: (km/h)

R: (m)

J: m / s³

p: %

En la Figura 25, se observan algunos valores mínimos de longitudes de transición

(L).

Figura 27

Longitud mínima de curva de transición

Velocidad Km/h	Radio mín. m	J m/s ³	Peralte máx. %	A _{mín.} m ²	Longitud de transición (L)	
					Calculada m	Redondeada m
30	24	0.5	12	26	28	30
30	26	0.5	10	27	28	30
30	28	0.5	8	28	28	30
30	31	0.5	6	29	27	30
30	34	0.5	4	31	28	30
30	37	0.5	2	32	28	30
40	43	0.5	12	40	37	40
40	47	0.5	10	41	36	40
40	50	0.5	8	43	37	40
40	55	0.5	6	45	37	40
40	60	0.5	4	47	37	40
40	66	0.5	2	50	38	40
50	70	0.5	12	55	43	45
50	76	0.5	10	57	43	45
50	82	0.5	8	60	44	45
50	89	0.5	6	62	43	45
50	98	0.5	4	66	44	45
50	109	0.5	2	69	44	45
60	105	0.5	12	72	49	50
60	113	0.5	10	75	50	50
60	123	0.5	8	78	49	50
60	135	0.5	6	81	49	50
60	149	0.5	4	86	50	50
60	167	0.5	2	90	49	50
70	148	0.5	12	89	54	55
70	161	0.5	10	93	54	55
70	175	0.5	8	97	54	55
70	193	0.5	6	101	53	55
70	214	0.5	4	107	54	55
70	241	0.5	2	113	53	55
80	194	0.4	12	121	75	75
80	210	0.4	10	126	76	75
80	229	0.4	8	132	76	75
80	252	0.4	6	139	77	75
80	280	0.4	4	146	76	75
80	314	0.4	2	155	76	75
90	255	0.4	12	143	80	80
90	277	0.4	10	149	80	80
90	304	0.4	8	155	79	80
90	336	0.4	6	163	79	80
90	375	0.4	4	173	80	80
90	425	0.4	2	184	80	80

Velocidad Km/h	Radio mín. m	J m/s ³	Peralte máx. %	A _{mín.} m ²	Longitud de transición (L)	
					Calculada m	Redondeada m
100	328	0.4	12	164	82	85
100	358	0.4	10	171	82	85
100	394	0.4	8	179	81	85
100	437	0.4	6	189	82	82
100	492	0.4	4	200	81	85
100	582	0.4	2	214	81	85
110	414	0.4	12	185	83	90
110	454	0.4	10	193	82	90
110	501	0.4	8	203	82	90
110	560	0.4	6	215	83	90
110	635	0.4	4	229	83	90
110	733	0.4	2	246	83	90
120	540	0.4	12	169	73	75
120	597	0.4	10	209	73	75
120	667	0.4	8	221	73	75
120	756	0.4	6	236	74	75
120	872	0.4	4	253	73	75
120	1031	0.4	2	275	73	75
130	700	0.4	12	208	62	65
130	783	0.4	10	220	62	65
130	887	0.4	8	234	62	65
130	1024	0.4	6	252	62	65
130	1210	0.4	4	274	62	65
130	1479	0.4	2	303	62	65

Nota. Adaptado de la tabla 302.10 del *Manual de Carreteras DG-2018*. (p. 140, 141)

2.2.9. Parámetros de Diseño Geométrico en Perfil

El diseño geométrico en perfil se refiere a cómo se proyecta el eje real o espacial de la carretera sobre una superficie vertical paralela a él, según el Manual de Carreteras "Diseño Geométrico (DG-2018)".

Similar al diseño en planta, El alineamiento vertical se compone de una serie de tramos rectos conocidos como tangentes, que están conectados entre sí mediante curvas verticales.

Estos elementos son fundamentales para integrar el alineamiento vertical y asegurar una transición suave entre los diferentes tramos de la carretera.

2.2.9.1. Pendiente

Se recomienda proporcionar una pendiente mínima de aproximadamente 0.5%, para garantizar el correcto drenaje de las aguas superficiales en todo punto de la carretera. MCDG (2018)

Es recomendable tener en cuenta las pendientes máximas que se indican en la figura 26 al momento de diseñar la carretera. Esto ayudará a garantizar que la pendiente no sea demasiado pronunciada y que se mantenga un buen drenaje de las aguas superficiales. MCDG (2018).

En caso de que la carretera tenga un bombeo de 2% y carezca de cunetas y/o bermas, será posible permitir en casos excepcionales tramos con pendientes de hasta 0.2%.

Figura 28

Pendientes máximas

Demanda	Autopistas								Carretera				Carretera				Carretera			
	> 6.000				6.000 - 4001				4.000-2.001				2.000-400				< 400			
Vehículos/día	Primera clase				Segunda clase				Primera clase				Segunda clase				Tercera clase			
Características	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
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	10.00
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																			

Nota. Adaptado de la tabla 303.01 del *Manual de Carreteras DG-2018*. (p. 171)

2.2.9.2. Longitud de curvas verticales

La transición entre los tramos consecutivos de rasante en una carretera se realiza mediante curvas verticales parabólicas cuando la diferencia en las pendientes supera el 1% para carreteras pavimentadas y del 2% para las carreteras no pavimentadas.

La curvatura vertical parabólica es determinada por un parámetro llamado K, el cual representa la longitud de la curva en el plano horizontal en metros para cada 1% de cambio en la pendiente, así:

E 12: Ecuación de longitud de curva vertical

$$K = L/A$$

K: Parámetro de curvatura

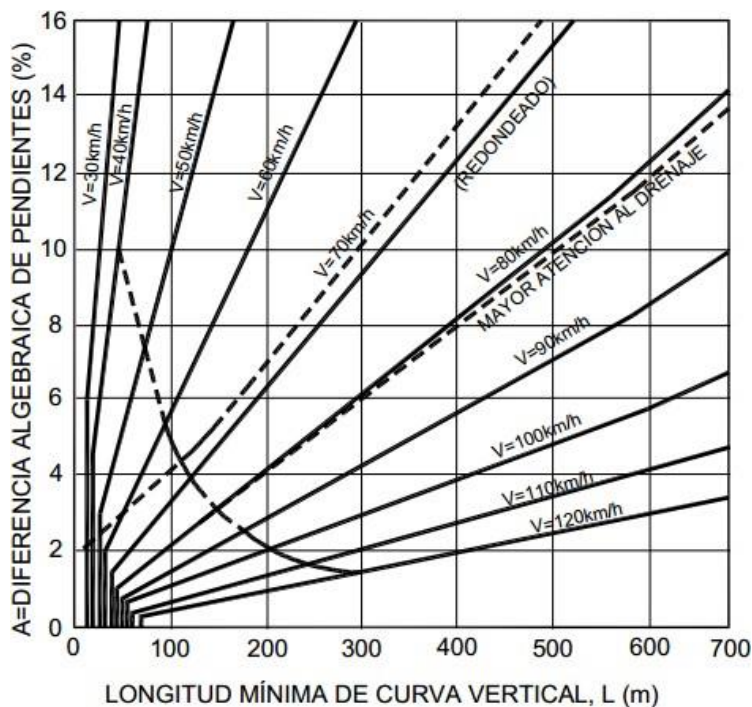
L: Longitud de la curva vertical

A: Valor Absoluto de la diferencia algebraica de las pendientes

Las curvas verticales se pueden clasificar en dos tipos: convexas y cóncavas, dependiendo de la forma de la curva. Además, también se pueden clasificar en función de la proporción entre sus ramas: simétricas o asimétricas.

Figura 29

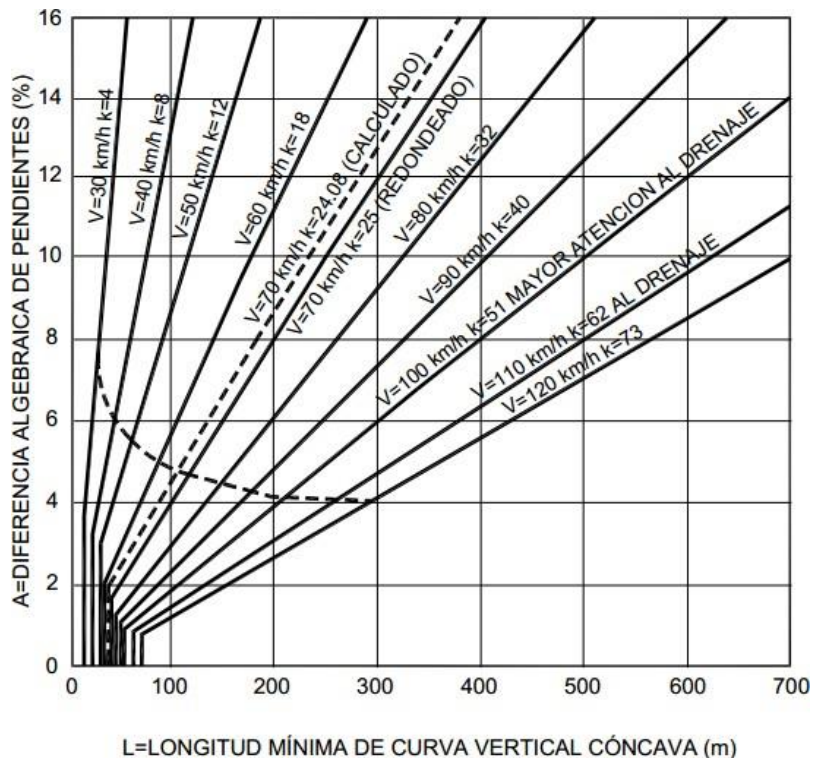
Valores mínimos de la longitud de curva vertical convexa



Nota. Adaptado de la figura 303.06 del *Manual de Carreteras DG-2018*. (p. 178)

Figura 30

Valores mínimos de la longitud de curva vertical cóncava



Nota. Adaptado de la figura 303.08 del *Manual de Carreteras DG-2018*. (p. 181)

2.2.10. DISEÑO GEOMÉTRICO DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL

El diseño de la sección transversal describe cómo se organizan y miden los elementos de la carretera en un plano vertical que es normal al alineamiento horizontal. Esto permite determinar cómo están dispuestos estos elementos en cada sección y cómo se relacionan con el terreno natural.

La sección transversal se refiere a la disposición y dimensiones de los elementos de una carretera en un plano de corte vertical, normal al alineamiento horizontal. La superficie de rodadura o calzada es el elemento principal de esta sección y debe cumplir con las dimensiones necesarias para el nivel de servicio previsto en el proyecto. Otros

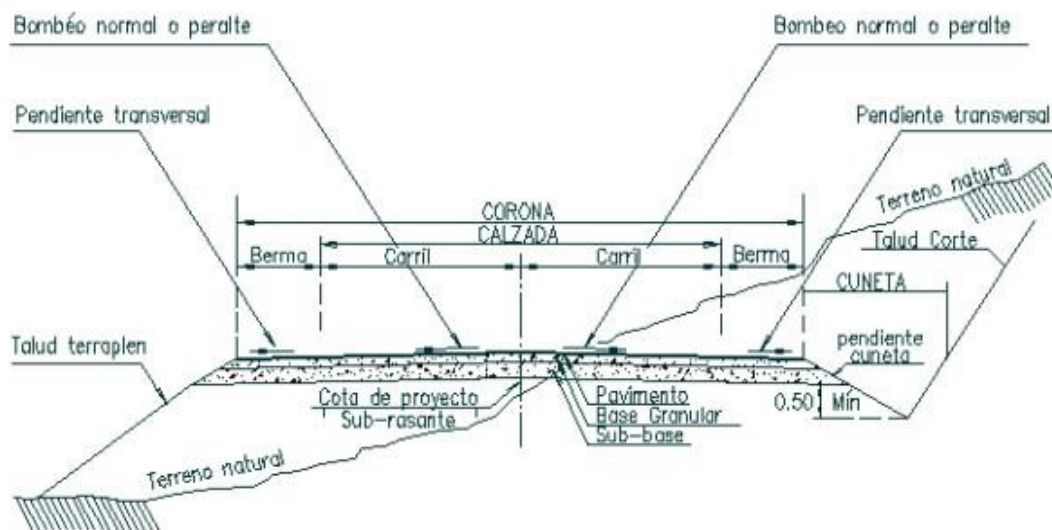
elementos importantes incluyen bermas, aceras, cunetas, taludes y elementos complementarios.

2.2.10.1. Elementos de la sección transversal

La sección transversal de la carretera está compuesta por varios elementos esenciales, como los carriles, la calzada o superficie de rodadura, las bermas, las cunetas, los taludes y otros elementos complementarios como las barreras de seguridad, ductos para fibra óptica, guardavías, entre otros. Todos estos elementos se encuentran dentro del Derecho de Vía del proyecto.

Figura 31

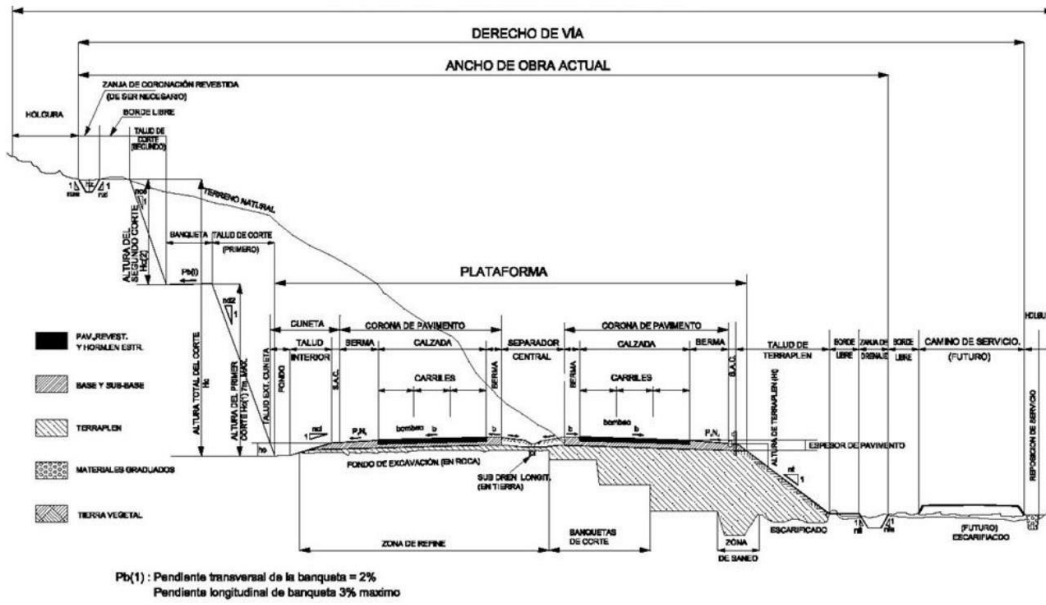
Sección transversal típica en carreteras



Nota. Adaptado de la figura 304.02 del *Manual de Carreteras DG-2018*. (p. 185)

Figura 32

Sección transversal típica en autopistas



Nota. Adaptado de la figura 304.01 del *Manual de Carreteras DG-2018*. (p. 184)

2.2.10.2. Calzada o superficie de rodadura

La calzada es la parte de la carretera destinada a la circulación de vehículos, compuesta por uno o más carriles. Estos carriles están diseñados para permitir el movimiento de una fila de vehículos en un mismo sentido de tránsito, y no incluyen la berma.

Figura 33

Anchos mínimos de calzada en tangente

Nota. Orografía: Plano (1), Ondulado (2), Accidentado (3), y Escarpado (4). Adaptado de la tabla 304.02 del *Manual de Carreteras DG-2018*. (p. 193)

2.2.10.4. Bombeo

La inclinación transversal mínima de las calzadas en tramos en tangente o en curvas en contraperalte, conocida como bombeo, se utiliza para drenar las aguas superficiales. El bombeo varía dependiendo del tipo de superficie de rodadura y los niveles de lluvia de la región.

En esta investigación se considera un rango de valores de bombeo de la calzada entre 2.0% y 2.5%, en función del tipo de superficie de rodadura y los niveles de precipitación pluvial en la zona.

Figura 35

Bombeo en calzadas

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

Nota. Adaptado de la tabla 304.03 del *Manual de Carreteras DG-2018*. (p. 195)

Según SENAMHI (2019) la precipitación pluvial para la estación de control más cercana a Molino, la estación de control Chaglla, ubicada a 3036 msnm, el promedio de la precipitación para el 2019 es de 80 mm/año.

2.2.10.5. Cunetas y Drenajes

Las cunetas son estructuras construidas a los lados de la carretera para desviar el agua de lluvia y los escurrimientos del suelo, para evitar daños en la estructura del

pavimento. Estos canales son ubicados en la plataforma vial, taludes y áreas adyacentes para proteger la estructura del camino.

La sección transversal de una carretera puede variar en su geometría, revestimiento, apertura o cierre, y ubicación, dependiendo de los requerimientos del proyecto. Puede ser triangular, trapezoidal, rectangular, entre otras, y en algunas zonas urbanas donde hay limitaciones de espacio, las cunetas cerradas pueden ser diseñadas como parte de la berma.

Las medidas de las cunetas se determinan a través de cálculos relacionados con el agua, teniendo en cuenta su pendiente en el sentido longitudinal, la cantidad de lluvia, el área de drenaje y las características del terreno, entre otros factores.

La cuneta está compuesta por un talud interior, un fondo y un talud exterior. El talud exterior suele coincidir con el talud de corte. Se deben seguir pendientes longitudinales mínimas de 0.2% para cunetas revestidas y 0.5% para cunetas no revestidas.

Si la cuneta está hecha de un material propenso a la erosión y se proyecta con una pendiente que causaría una velocidad mayor a la máxima permitida para ese material, se debe proteger con un revestimiento resistente a la erosión.

Los puntos de drenaje de las cunetas serán limitados y dirigidos hacia los cursos naturales del terreno, estructuras de drenaje transversal existentes o mediante la construcción de nuevos puntos de desagüe donde no haya ya existentes.

Según el MDCNPBVT (2008), estipula las medidas mínimas de las cunetas, siendo las medidas para regiones secas una profundidad (m) de 0.20 m y ancho de 0.50 (m); para regiones lluviosas se necesita una profundidad de 0.20 m y un ancho de 0.75 (m); y para regiones muy lluviosas una profundidad de 0.50 m y un ancho de 1.00 m.

2.2.11. Consistencia del Diseño Geométrico

La consistencia del diseño geométrico de una carretera se refiere a la relación de coherencia entre los elementos geométricos de la vía y las expectativas del conductor mientras la recorre. Esto según el Manual de Carreteras "Diseño Geométrico (DG-2018)" enfatiza en la importancia de las características geométricas y condiciones de seguridad que el conductor espera encontrar mientras circula por ella.

Entre los factores que contribuyen a la frecuencia de accidentes en las carreteras, se destaca que los conductores representan el 95% de los casos, los vehículos el 8% y la infraestructura vial el 30%, siendo esta última responsable de la inseguridad en las carreteras. La infraestructura vial está directamente relacionada con la calidad del diseño geométrico, que a su vez influye en la comodidad del conductor y en la velocidad de operación del vehículo. Es importante evitar cambios bruscos en el diseño geométrico para reducir los accidentes viales. Para evaluar la calidad del diseño en una vía, se utiliza principalmente el perfil de velocidad de operación, que corresponde al percentil 85 de la distribución de velocidades de los vehículos que circulan en condiciones de flujo libre en un tramo de la carretera. (Arias y Remolina, 2018)

2.2.11.1. Evaluación de la Consistencia según el Criterio de la Velocidad de Operación

La consistencia de una carretera se evalúa mediante cuatro criterios: velocidad de operación, índices del trazado, estabilidad del vehículo y carga del trabajo del conductor. El criterio de velocidad de operación es el más comúnmente utilizado, ya que es fácil de medir. El indicador aceptado para estimar la velocidad de operación es el percentil 85 de la distribución de velocidades (V_{85}), lo que significa que el 85% de los vehículos operan a una velocidad considerada segura en un tramo de la carretera. Este parámetro se obtiene mediante modelos de velocidad de operación, los cuales relacionan la velocidad con las características geométricas de los elementos de la vía.

La existencia de varios modelos de velocidad de operación es una realidad actual, los cuales se aplican en diferentes situaciones geométricas de la vía, como por ejemplo en curvas horizontales y en rectas.

2.2.11.2. Modelos de Velocidad de Operación

2.2.11.2.1. Modelo de Fitzpatrick

El modelo mencionado ha sido aceptado por las regulaciones peruanas en el Manual de Carreteras "Diseño Geométrico (DG-2018)" (1). En la figura 34 se presenta una selección de las ecuaciones desarrolladas por Fitzpatrick, las cuales permiten calcular las velocidades de operación (V_{85}) en función de diferentes características geométricas de la carretera.

Figura 36

Ecuaciones de Fitzpatrick para el cálculo de las 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 ($K \leq 43$ m / %)	$V_{85} = 103.24 - \frac{3376.51}{R}$; (nota 2)
8	Curva vertical cóncava sobre recta horizontal	V_{85} se asume como la velocidad deseada
9	Curva vertical convexa con distancia de visibilidad no limitada ($K > 43$ m / %) sobre recta horizontal	V_{85} se asume como la velocidad deseada
10	Curva vertical convexa con distancia de visibilidad limitada ($K \leq 43$ m / %) sobre recta horizontal	$V_{85} = 105.08 - \frac{149.69}{K}$

Nota. Adaptado de la tabla 204.03 del *Manual de Carreteras DG-2018*. (p. 101)

Notas:

1) Se debe utilizar la velocidad más baja estimada con las ecuaciones 1 o 2 (para pendientes descendentes) y 3 o 4 (para pendientes ascendentes).

2) Además, se compara la velocidad estimada con las ecuaciones 1 o 2 (para pendientes descendentes) y 3 o 4 (para pendientes ascendentes) y se usará la menor. Esto garantizará que la velocidad estimada en curvas combinadas no sea mayor que si solo estuviera presente la curva horizontal. Es decir, se evitará que 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)

Los valores de las velocidades máximas de operación se presentan en la figura 35 de la presente investigación, extraída del Manual de Carreteras DG-2018, en función a la clasificación de la carretera, el tipo de vehículo y las condiciones orográficas, basándose en los conceptos, criterios y parámetros técnicos de diseño establecidos en el manual.

Tabla 17. Valores de velocidades máximas de operación

Figura 37

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

Nota. Adaptado de la tabla 204.04 del *Manual de Carreteras DG-2018*. (p. 102)

2.2.11.2.2. Modelo Colombiano

Según estudios realizados por Sánchez, citado por Manríquez, se desarrolló un modelo de velocidad en Colombia basado en datos recolectados en carreteras rurales de los departamentos de Cauca, Valle y Quindío. En la Tabla 2 se presentan las ecuaciones del Modelo Colombiano, que permiten calcular las velocidades de operación (V_{85}).

Tabla 2

Ecuaciones del Modelo de velocidad colombiano

Condiciones de alineamiento	Ecuación
Curva horizontal sobre pendiente ($0% < i < 4%$)	$V_{85} = 94.398 - 3188.656/R$
Curva horizontal sobre pendiente ($4% < i < 9%$)	$V_{85} = 36.054 + 0.141R$
Curva horizontal sobre pendiente ($-4% < i < 0%$)	$V_{85} = 30.944 + 0.294R$
Curva horizontal sobre pendiente ($-9% < i < -4%$)	$V_{85} = 33.919 + 0.186R + 0.035R_{n-1}$

V_{85} : velocidad de operación (km/h)
 R: radio de la curva horizontal en estudio (m)
 R_{n-1} : radio de la curva horizontal anterior (m)

Nota. Fuente: Sánchez citado por Manríquez

En el año 1995, Lamm et al. propusieron tres criterios para medir la consistencia del diseño geométrico de una carretera. Los tres criterios se basan en la velocidad de operación, es decir, la velocidad a la que los conductores circulan por la vía. Según estos autores, el criterio II es el más ampliamente utilizado. Los dos criterios que se mencionan a continuación son parte de los tres propuestos:

Criterio I: Compara la velocidad de Diseño (V_d) con la de operación.

Criterio II: Compara la variabilidad de velocidades de operación entre elementos sucesivos.

Tabla 3

Criterio II de Lamm

GRADO DE CONSISTENCIA	CRITERIO II (Km/h)
BUENA	$ \Delta V_{85} \leq 10$
ACEPTABLE	$10 < \Delta V_{85} \leq 20$
POBRE	$ \Delta V_{85} > 20$

Nota. Fuente: Lamm, R., Guenther, A. K. y Choueiri, E. M.

Lamm califica el grado de consistencia en tres niveles:

Buena: La consistencia del diseño geométrico se considera adecuada si la diferencia en velocidad de operación entre elementos consecutivos es igual o menor a 10 km/h, o si la variación entre la velocidad de diseño y la velocidad de operación es igual o menor a 10 km/h. No se recomienda ninguna solución debido a que tiene un grado de consistencia BUENA.

Aceptable: Si la diferencia en velocidad de operación entre dos elementos consecutivos es mayor a 10 km/h y menor o igual a 20 km/h, o si la diferencia entre la velocidad de diseño y la velocidad de operación es mayor a 10 km/h y menor o igual a 20 km/h. Se recomienda implementar señalizaciones horizontales y verticales para poder mejorar la seguridad vial de la progresiva determinada con grado de consistencia ACEPTABLE.

Pobre: Si la diferencia en la velocidad de operación entre elementos consecutivos es mayor a 20km/h o la diferencia entre la velocidad de diseño y la velocidad de operación es mayor a 20km/h. Se recomienda rediseñar la vía, en pocas palabras, mejorar el trazo de las progresivas determinadas con grado de consistencia POBRE.

2.3. BASES CONCEPTUALES

Accidente De Transito

Un acontecimiento imprevisto o un incidente entre varios automóviles en una carretera pública o privada.

Banqueta

O La estabilización de taludes mediante la construcción de varias plataformas escalonadas en la ladera

Berma

La berma es una zona contigua a la calzada, de ancho variable, cuya función es proteger los bordes de la calzada de la erosión. La circulación de vehículos por esta zona solo se permite en situaciones especiales.

Bombeo

Es la inclinación transversal de la superficie de la carretera, en los tramos rectos, para permitir el drenaje de agua de lluvia y evitar la acumulación en la plataforma.

Calzada

La calzada es la sección de la carretera donde se lleva a cabo el tráfico vehicular, la cual está compuesta de dos o más carriles para el desplazamiento de los vehículos.

Carril

La franja longitudinal que divide la calzada se conoce como carril. Su ancho varía con el objetivo de garantizar una circulación fluida y segura para los vehículos, tanto en una como en dos direcciones.

Carretera Pavimentada

Carretera con una carpeta de rodadura que está compuesta por mezcla asfáltica o concreto Pórtland, que ofrece una mayor resistencia y durabilidad en comparación con otras superficies de rodadura.

Carretera Afirmada

Carretera con carpeta de rodadura que está compuesta por una o varias capas de AFIRMADO.

Carretera no Afirmada

Carretera que se encuentra a nivel de subrasante o la misma donde la carpeta de rodadura ha deteriorado o perdido el AFIRMADO.

Derecho de Vía

La sección transversal de la carretera incluye la calzada, la berma y el sobreancho de compactación, y es la zona en la que se realizan las obras necesarias para dotar a la vía de todos sus elementos. El ancho de esta faja varía según las necesidades del proyecto.

El estado tiene la capacidad de obtener el derecho de vía de terrenos privados mediante el proceso de negociación o expropiación.

Explanación

La zona de terreno que se ha modificado mediante la construcción de la carretera, es la zona ocupada efectivamente por la misma, ya que se han llevado a cabo las obras necesarias para adaptar el terreno original a las características de la vía.

Plataforma

La plataforma es el ancho total de la carretera que se encuentra al nivel de la subrasante.

Rasante

La rasante es el nivel del terreno de una vía terminada.

Sección Transversal

La sección transversal es un corte ideal de la carretera que se realiza a través de un plano vertical y normal al eje de la carretera, el cual permite visualizar las diferentes características geométricas y de seguridad de la vía en un punto específico.

Subrasante

La subrasante es la superficie del terreno sobre la que se implementará la construcción de la estructura del pavimento.

Terraplén

El terraplén es parte de la explanación situada en el terreno inicial.

Intersección a Desnivel

Zona en la que dos o más carreteras se cruzan a diferentes alturas y que incluye las ramificaciones que los vehículos pueden utilizar para cambiar de una carretera a otra.

Intersección a Nivel

Una intersección a nivel es un área en la que dos o más carreteras se encuentran o cruzan al mismo nivel, y donde se incluyen las salidas y entradas que permiten a los vehículos cambiar de una carretera a otra.

Pendiente

La pendiente es la inclinación de la rasante en la dirección de avance.

Peralte

El peralte es la inclinación de la superficie de la carretera en los tramos curva.

Visibilidad de Adelantamiento

La distancia de visibilidad de adelantamiento es la medida de espacio entre dos vehículos mientras uno está realizando una maniobra de adelantamiento en relación a otro vehículo que circula en sentido opuesto, desde el momento en que el conductor puede ver al otro vehículo hasta el momento en que finaliza la maniobra de adelantamiento.

Visibilidad de Cruce

La distancia necesaria para cruzar una vía es aquella que permite al conductor del vehículo en espera detectar si otro vehículo se acerca y evaluar si tiene suficiente tiempo para completar la maniobra de cruce antes de que el otro vehículo llegue a su posición.

Velocidad de Parada

La distancia entre un obstáculo en la carretera y un vehículo que se acerca a ese obstáculo, cuando no hay otros vehículos en medio, en el momento en que el conductor puede verlo y seguir viéndolo hasta llegar a él.

2.4. Bases Epistemológicas, Bases Filosóficas y/o Bases Antropológicas

A raíz de la presente investigación será posible comprender y visualizar desde una perspectiva ingenieril, el nivel de consistencia del diseño geométrico, el grado de cumplimiento de los parámetros de diseño geométrico de la carretera, ya que en la vía en estudio se vienen acaeciendo constantes accidentes de tránsito, otras declaradas en la comisaría y otras conciliadas entre los conductores que transitan en la vía, pese al conocimiento del policía de tránsito, por ende, luego del estudio a realizar se reflejará la realidad del problema, a la esencia de la misma, y se planteará las soluciones factibles, tanto económicas como funcionales que serán presentadas a la Dirección Regional de Transportes y Comunicaciones DRTC – Hco, cabe indicar que también será presentado a la Municipalidad Distrital de Molino para su posible intervención posterior ya que el tramo en estudio pese a ser carretera departamental está situada en el distrito de Molino y une dos Nodos principales del distrito siendo este la Capital Molino con el centro poblado de Huarichaca.

CAPÍTULO III.

METODOLOGÍA

3.1 Ámbito

Distrito de Molino – Provincia de Pachitea – Departamento de Huánuco – Perú

3.1.1. Ámbito Geográfico

Progresiva 0 + 000 de la carretera HU-112

Lugar : C.P. Molino
Coordenadas : Este(X): 388495.558 E
Norte(Y): 89044128.930 N
Cota(Z): 2388.622 m.s.n.m.

Progresiva 4 + 525 de la carretera HU-112

Lugar : C.P. Huarichaca
Coordenadas : Este(X): 386592.705 E
Norte(Y): 8900324.122 N
Cota(Z): 2451.370 m.s.n.m.

3.2 Caracterización del participante

En este apartado los participantes estarán caracterizados por los vehículos que transitan por la vía de la carretera HU – 112 tramo Molino Huarichaca.

3.3 Población y selección de la muestra

3.3.1 Universo/Población

La población son las vías de segunda clase asfaltadas de la región Huánuco - Perú

3.3.2 Selección de la Muestra

La muestra comprende la carretera HU-112 en el tramo Molino – Huarichaca desde el km 0+000 hasta el km 4 + 445, los cuales son los únicos kilómetros que se

encuentran actualmente asfaltados. Cabe resaltar que, para la selección de la muestra se realizó por muestreo no probabilístico.

3.4 Nivel, tipo y diseño de estudio

3.4.1. Nivel de estudio

El nivel o alcance de la investigación es de tipo descriptiva ya que según Hernández, Fernández y Baptista (2014) el propósito de un alcance de la investigación de tipo descriptiva es identificar y describir en detalle las propiedades, características y perfiles de individuos, colectivos, comunidades, procedimientos, objetos o cualquier otro fenómeno que sea sometido a un examen exhaustivo, en la presente investigación se evaluarán dos variables de análisis, dónde el resultado de la evaluación de la variable de análisis 1 sobre el diseño geométrico determinará si el grado de cumplimiento es bueno o malo, y con respecto a la variable de análisis 2 se determinará el resultado del nivel de consistencia del diseño geométrico, en este caso, ya sea consistente o no consistente.

3.4.2. Tipo de Investigación

La presenta investigación se ajusta a una investigación de tipo aplicada, dónde se emplea conocimientos teóricos en relación al tema en investigación para obtener conocimientos prácticos al analizar los parámetros de diseño de la carretera HU-112 tramo Molino-Huarichaca, mientras que el enfoque de la investigación sería de tipo cuantitativo, ya que, mediante esta investigación se obtendrán datos numéricos y se describirá los resultados, por lo que se logrará la objetividad, es decir busca la descripción de la naturaleza de su objetivo a partir de la observación, comprobación y la toma de datos; basándose en la búsqueda de resultados proyectados. Tipo de investigación en la que se emplea procedimientos cuantitativos, para recoger información y procesarla. (Sánchez H. & Reyes C. 2018)

3.4.3. Tipo de Diseño

La presente investigación en desarrollo se considerará como no experimental, ya que esta será sin la manipulación deliberada de variables ya que, solo se observan los fenómenos en su ambiente natural para analizarlos.

3.5. Métodos, técnicas e instrumentos (incluye la validación y confiabilidad del instrumento)

3.5.1. Método de Investigación

El método de investigación a emplearse será el método deductivo, ya que partiremos de un problema general que sería la inseguridad vial causada por vehículos, vías y usuarios, de la cual nos enfocaremos en un problema particular que son las vías, para lo cual nos centraremos en analizar el diseño geométrico de la vía y la consistencia de la vía.

3.5.2. Técnicas bibliográficas

Se va a contar con un compendio de información de fuentes bibliográficas, libros, blogs, revistas, manuales, normas tanto nacionales como internacionales.

3.5.3. Técnicas de campo

Se tomarán datos de campo mediante un levantamiento topográfico de la carretera HU-112 tramo Huarichaca – Molino, cabe mencionar que se iniciará el levantamiento desde un punto geodésico de orden C como BM-01 inicial, para garantizar un mayor grado de detalle y una certera evaluación con los softwares planteados.

3.5.4. Técnicas estadísticas

Se realizará la validación de los parámetros de la DG-2018 con los parámetros obtenidos de analizar y elaborar el diseño geométrico en el Civil 3D por medio de las plantillas de Microsoft Excel.

3.5.5. Instrumentos

Según Vara (2015) se refiere a los instrumentos como los métodos empleados para obtener información, los cuales dependen de las técnicas consideradas en el estudio

de investigación, donde, al comenzar todo con la observación de diferentes fenómenos, se optó por utilizar herramientas que posibiliten la evaluación de los parámetros de diseño geométrico y la coherencia del diseño de la vía.

Índice Medio Diario Anual (IMDA)

Para determinar el IMDA se realiza el estudio de tráfico dónde se emplea la plantilla Excel del MTC, con la cual se realizará el conteo de tráfico en ambos sentidos en dos estaciones de conteo, la cual nos permite hallar el IMD y posteriormente el IMDA.

Levantamiento Topográfico

Para el proceso de levantamiento topográfico se emplea la estación total la cual permite la recolección de puntos geodésicos en UTM para su posterior proceso en trabajo de gabinete. Cabe mencionar que se empleó una estación total con certificado de calibración vigente.

Procesamiento de Datos

Los puntos recolectados con la estación total se procesa en el programa de Civil 3D, para lo cual se emplea plantillas predeterminadas de origen “.dwt” que ayudan en el óptimo y rápido procesamiento de datos para exportar los parámetros principales a la plantilla de Excel.

Validación de Parámetros de Diseño Geométrico

Se realiza la validación de los parámetros de la DG-2018 con los parámetros obtenidos de analizar y elaborar el diseño geométrico en el Civil 3D por medio de tablas Excel dónde se compara los parámetros mínimos estipulados en el Manual de Carreteras DG – 2018.

Consistencia del Diseño

Se realiza la obtención de la consistencia en tablas Excel empleando ecuaciones de Fitzpatrick para la velocidad de operación en tramos continuos.

3.5.5.1. Equipos y herramientas

Los equipos utilizados durante la presente investigación son los siguientes:

Figura 38

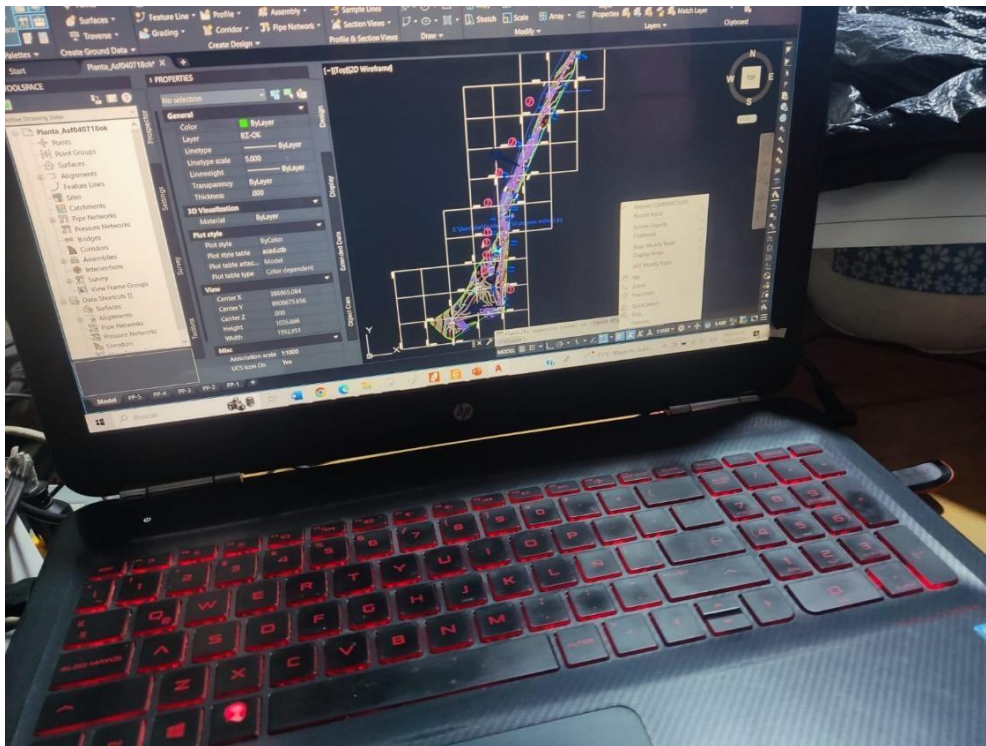
Estación total South N6



Nota. Toma durante el trazo de la poligonal abierta en el punto geodésico de orden C en la plaza de armas de Molino. La estación total incluye dos prismas.

Figura 39

Laptop Hp Omen 15



Nota. Toma durante el procesamiento de los planos a partir de los puntos tomados del levantamiento topográfico.

3.5.6. Validación de los Instrumentos Para la Recolección de Datos

Los instrumentos a emplearse para el acopio de datos, tanto para el estudio de tráfico como para el levantamiento topográfico, forman parte de procesos previamente validados por el MTC en la elaboración de expedientes técnicos y proyectos de inversión debidamente normados, por ende, se garantiza la calidad de dichos instrumentos.

3.5.7. Confiabilidad de los Instrumentos Para la Recolección de Datos

Previo a la recolección de datos, cada instrumento a emplearse se verificará la calidad bajo la normativa respectiva, para garantizar una recolección óptima de datos, con el objetivo de recolectar datos confiables que reflejen la problemática del área de estudio.

3.6. Procedimiento

Durante la presente investigación se emplearon los protocolos indicados en el Manual de Carreteras DG-2018, con el objetivo de establecer un enfoque de investigación validado y funcional.

a) Análisis de información:

Revisión de la bibliografía y reconocidos motores de búsqueda para obtener información relacionada al diseño geométrico de carreteras. Investigación de la consistencia del diseño de carreteras en el Perú y el extranjero.

b) Índice Medio Diario Anual (IMDA)

Para determinar el IMDA se siguió el proceso estipulado por el Manual de Carreteras DG-2018, para lo cual se usó la plantilla Excel del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), donde nos brinda el tipo de vehículos y los factores de corrección más cercanos a la vía en estudio, para nuestro caso el factor de corrección más cercano es el peaje de Ambo. Posterior al conteo vehicular de 7 días consecutivas, se procede a procesar los datos obtenidos en la plantilla de Excel, se procesa para determinar el IMD y luego de emplear el factor de corrección tanto para vehículos ligeros como pesados de obtiene el IMDA.

Figura 40

Proceso de conteo vehicular en la E1 - Barrio Auchí



Nota. Se visualiza el proceso de conteo vehicular en la estación 1 (E1) de la carretera HU-112 en la progresiva 0 + 089.

c) Levantamiento Topográfico

Previo al inicio del levantamiento topográfico se realiza la verificación de la calibración de equipos e instrumentos de medición, para poder garantizar la confiabilidad de cada uno de los puntos UTM obtenidos del tramo.

En seguida, se procede a establecer los puntos de inicio y fin en el tramo a investigar a modo de conocer todo el tramo de la carretera HU-112 Molino Huarichaca desde el Km 0+000 hasta el Km 4+525, para una óptima recolección de los puntos geodésicos UTM del tramo en estudio.

Posteriormente, se procede con el trazo de la poligonal conectando los 2 puntos geodésicos de orden C de la plaza de armas de Molino y los 2 puntos geodésicos de orden C de la plaza de armas de Huarichaca, estableciendo las estaciones en todo el tramo de la carretera HU-112 Molino Huarichaca. Km 0+000 hasta el Km 4+525.

Finalmente, se procede al levantamiento topográfico con la estación total de modelo South N6, la cual, nos permite la obtención de puntos geodésicos UTM de todo el tramo de la carretera HU-112 Molino Huarichaca. Km 0+000 hasta el Km 4+525. Cabe destacar que las estaciones de todo el tramo se monumentaron con tubo PVC de 4" con concreto en su interior más una varilla de 3/8".

Figura 41

Proceso de levantamiento topográfico en la carretera HU-112 km 0 al km 4+525



Nota. Se visualiza el proceso de levantamiento topográfico en la progresiva 0 + 980

Figura 42

Personal para el soporte de los prismas durante la toma de datos con la estación total



Nota. Se visualiza al personal encargado del soporte de los prismas.

Figura 43

Monumentación de BM con tubo de 4" y varilla de acero de 3/8"



Nota. Se visualiza el BM 2 monumentado con concreto en tuberías de 4" y varillas de 3/8"

d) Procesamiento de Datos

Los puntos geodésicos recolectados con la estación total se exporta en formato “.txt”, con dicho archivo se procede a la importación de puntos en el programa Civil 3D y se procede a procesar los datos para lo cual se emplea plantillas predeterminadas de origen “.dwt” que ayudan en el óptimo y rápido proceso de elaboración de los planos topográficos, planos clave, planos en planta, planos de perfil longitudinal, una vez elaborado los planos se procede a exportar los parámetros en planta, perfil longitudinal y sección transversal del programa Civil 3D, posterior a ello, se procede a analizar, validar y evaluar en las tablas Excel los parámetros de diseño geométrico obtenidos del procesamiento de datos de la carretera HU-112 tramo Molino Huarichaca. Km 0+000 hasta el Km 4+525.

Posterior a la comparación de parámetros obtenidos de la carretera HU-112 tramo Molino Huarichaca Km 0+000 hasta el Km 4+525 con los parámetros establecidos en el Manual de Carreteras DG-2018 se procede a analizar la consistencia del diseño de la vía basándonos en las velocidades de operación, para lo cual es indispensable hacer el uso de las ecuaciones de Fitzpatrick, la cual nos permitirá determinar las velocidades de operación en tramos continuos

e) Validación de Parámetros de Diseño Geométrico

Se realiza la validación de los parámetros de diseño geométrico estipulados en el Manual de Carreteras DG-2018 con los parámetros de diseño geométrico obtenidos de analizar y elaborar el diseño geométrico en el Civil 3D por medio de tablas Excel dónde se compara los parámetros mínimos estipulados en el Manual de Carreteras DG – 2018, determinándose el grado de cumplimiento de las mismas.

f) Consistencia del Diseño

Se realiza la obtención de la consistencia en tablas Excel empleando ecuaciones de Fitzpatrick para la velocidad de operación en tramos continuos, posterior a ello, se

corroborar si existe una variación brusca de velocidades de operación, y de existir se determinó la no consistencia y nivel de consistencia pobre.

3.7 Plan de Tabulación y Análisis de Datos Estadísticos

La presente investigación se ha desarrollado con métodos no probabilísticos por lo que se realizará la validación de los parámetros de la DG-2018 con los parámetros obtenidos de elaborar los planos en planta, perfil longitudinal y sección transversal, a los cuales se exporta los parámetros de diseño geométrico en tablas Excel, los parámetros de diseño geométrico obtenidos del civil 3D exportadas a las plantillas Excel se evalúan, validan y comparan con los parámetros de diseño geométricos establecidos en el Manual de Carreteras DG-2018.

Consecutivamente, haciendo uso de los radios horizontales y las pendientes continuas de la vía se procede mediante el uso de las ecuaciones de Fitzpatrick para determinar las Velocidades de operación en todos los tramos continuos, a raíz de todo, se procede a evaluar las velocidades de operación detectando cambios bruscos que indican la no consistencia de diseño del tramo continuo evaluado.

Los resultados del análisis de datos obtenidos luego de un proceso óptimo se muestran en tablas y/o figuras en la presente investigación.

3.8. Consideraciones Éticas

La presente investigación buscó ser original, evitando el plagio y que todas las referencias sean citadas dándole merito a los investigadores consultados, evitándose así apropiarse de ideas ajenas.

Los parámetros de diseño obtenidos tanto para determinar el IMDA así como para determinar los parámetros de diseño en planta, perfil longitudinal y sección transversal fueron recopilados mediante instrumentos y equipos planteados para la presente

investigación, para lo cual, se ha respetado los procedimientos de obtención de parámetros de diseño geométrico estipuladas en el Manual de Carreteras DG-2018 y distintas bibliografías utilizadas, y para garantizar estrictamente la certeza de los parámetros se verificó que los equipos empleados durante la investigación cuenten con la calibración actualizada al periodo dónde se efectúa la presente investigación.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS

4.1. Resultado de la Orografía Predominante

De acuerdo al levantamiento topográfico generado y luego de haber evaluado las pendientes transversales al trazo, se ha determinado una orografía predominante de terreno ondulado (tipo 2), en la tabla 4 dónde se analizó la inclinación transversal del terreno donde predominan las pendientes de 10 por ciento a 50 por ciento, por lo que corresponde a una clasificación por orografía de terreno ondulado (tipo 2) cuyos datos se muestran en la tabla 4.

Tabla 4

Pendientes transversales de la carretera HU-112 Km. 0 al Km. 4+525

Progresiva	Pendiente transversal %	Tipo de terreno
0+000	6.58	Plano
0+100	8.85	Plano
0+200	7.64	Plano
0+300	18.18	Ondulado
0+400	8.38	Plano
0+500	15.09	Ondulado
0+600	6.02	Plano
0+700	13.13	Ondulado
0+800	29.03	Ondulado
0+900	15.57	Ondulado
1+000	37.34	Ondulado
1+100	14.93	Ondulado
1+200	27.82	Ondulado
1+300	13.04	Ondulado
1+400	35.35	Ondulado
1+500	14.1	Ondulado
1+600	30.28	Ondulado
1+700	10.29	Ondulado
1+800	7.79	Plano
1+900	17.77	Ondulado
2+000	23.47	Ondulado
2+100	29.9	Ondulado
2+200	10.48	Ondulado
2+300	15.39	Ondulado
2+400	35.2	Ondulado

2+500	16.75	Ondulado
2+600	16.12	Ondulado
2+700	10.68	Ondulado
2+800	15.18	Ondulado
2+900	13.54	Ondulado
3+000	18.93	Ondulado
3+100	15.27	Ondulado
3+200	13.11	Ondulado
3+300	15.19	Ondulado
3+400	15.48	Ondulado
3+500	13.83	Ondulado
3+600	13.61	Ondulado
3+700	14.56	Ondulado
3+800	5.34	Plano
3+900	5.97	Plano
4+000	6.49	Plano
4+100	14.38	Ondulado
4+200	13.89	Ondulado
4+300	14.58	Ondulado
4+400	10.48	Ondulado
4+500	11.74	Ondulado
4+525	11.3	Ondulado

Nota. Fuente: elaboración propia.

Se evalúa la predominancia de las pendientes transversales en la tabla 5

Tabla 5

Porcentaje de predominancia de pendientes transversales

<u>Terreno S</u>	<u>S. Predominante %</u>
Plano (Tipo 1)	19.15
Ondulado (Tipo 2)	80.85
Accidentado (Tipo 3)	0.00
Muy accidentado (Tipo 4)	0.00
Total	100.00

Nota. Se determinó la predominancia de terreno ondulado al 80.85%. Fuente: elaboración propia

4.2. Resultados del Estudio de Tráfico (IMDA)

Índice Medio Diario Anual (IMDA)

Para el tramo en estudio se determinó un IMDA de 1277 veh/día, por lo que la clasificación de la vía de acuerdo al IMDA está en una carretera de segundo nivel, donde

corresponde un ancho de carril mínimo de 3.30 m, con un mínimo de 2 carriles, y donde necesariamente la vía deberá de estar pavimentada, como se pudo evidenciar en el levantamiento topográfico.

Figura 44

Cálculo del Índice Medio Diario Anual (IMDA)

TRAMO DE LA CARRETERA		HU-112 tramo Molino Huarichaca										ESTACION		E1									
SENTIDO		Molino - Huarichaca										CODIGO DE LA ESTACION											
UBICACION		Calle Audi										DIA Y FECHA		30	30	03	23						
DIAS	MOTO LINEAL	MOTO CAR	AUTO	STATION WAGON	PICK UP	CAMIONETAS			BUS			CAMION			SEMI TRAYLER				TRAYLER				TOTAL
DIAGRAMA VEH.						PANEL	RURAL Combi	MICRO	2 E	>=3 E	2 E	3 E	4 E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>= 3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3		
LUNES	1109	1069	190	262	184	16	3	5	5	4	155	20	9	10	1	1	0	0	0	0	0	0	1518
MARTES	1124	1042	208	209	178	11	6	5	7	3	126	20	14	9	1	1	0	1	0	0	0	0	1449
MERCOLES	1082	1114	172	199	155	4	3	2	2	2	111	10	4	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1325
JUEVES	1168	1056	179	227	184	14	6	7	4	4	125	11	13	7	1	1	0	0	0	0	0	0	1450
VIERNES	1143	1108	184	218	191	12	6	7	5	3	150	17	17	7	1	1	0	2	0	0	0	0	1496
SABADO	1318	1070	254	217	187	15	4	7	2	7	131	23	11	10	1	1	0	1	0	0	0	0	1587
DOMINGO	1289	1055	204	206	188	14	7	6	4	5	148	17	13	11	1	1	0	0	0	0	0	0	1528
TOTAL	2470	2254	1391	1538	1267	86	35	39	29	28	946	118	81	55	6	6	0	5	0	0	0	0	1354
%	23.85%	21.77%	13.43%	14.85%	12.24%	0.83%	0.34%	0.38%	0.28%	0.27%	9.14%	1.14%	0.78%	0.53%	0.06%	0.06%	0.00%	0.05%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100%
IMD	353	322	199	220	181	12	5	6	4	4	135	17	12	8	1	1	0	1	0	0	0	0	1479
FC				0.87													0.82						
IMDa=IMD*FC	307	280	173	191	157	11	4	5	3	3	111	14	9	6	1	1	0	1	0	0	0	0	1277
	24.03%	21.93%	13.53%	14.96%	12.33%	0.84%	0.34%	0.36%	0.27%	0.26%	8.67%	1.08%	0.74%	0.50%	0.05%	0.05%	0.00%	0.05%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100%

Nota. Se ha determinado un IMDA de 1277 veh/día. *Instrumento sustraído de los instrumentos de estudios de tráfico del MTC.* Datos de elaboración propia.

Crecimiento del Tránsito

Según la Ficha Técnica Estándar (2019) del MTC, para Huánuco se tiene una tasa de crecimiento de vehículos ligeros $T_c = 0.91\%$ y una tasa de crecimiento de vehículos pesados $T_c = 3.85\%$.

Por ende, para calcular el crecimiento de tránsito del tramo se empleará la ecuación 1.

Se tiene para:

Vehículos ligeros $T_c = 0.91\%$, $P_0 = 1123$ y $n = 20$ años.

Vehículos pesados $T_c = 3.85\%$, $P_0 = 154$ y $n = 20$ años.

Tránsito final de vehículos ligeros

$$P_f = P_0 * (1 + T_c)^n$$

$$P_f = 1123 * (1 + 0.0091)^{20}$$

$$P_f = 1123 * 1.1986$$

$$P_f = 1346.058$$

Tránsito final de vehículos pesados

$$P_f = P_0 * (1 + T_c)^n$$

$$P_f = 154 * (1 + 0.0385)^{20}$$

$$P_f = 154 * 2.1288$$

$$P_f = 327.832$$

Cálculo final de $P_f = 327.832 + 1346.058 = 1673.89$

Luego de la proyección del crecimiento de tránsito se obtiene un $P_f = 1674$ veh/día, por lo que la carretera se ubicará en la misma tipología de carretera de segunda clase, ya que tanto 1277 veh/día y 1674 veh/día de acuerdo a la clasificación de carreteras por demanda se encuentra en el margen entre 400 veh/día y 2000 veh/día.

4.3. Resultado de velocidad de diseño (Vd)

Según el Manual de Carreteras DG-2018, basándonos en la orografía predominante de terreno ondulado (tipo 2) y el IMDA de 1277 veh/día del tramo de la carretera HU-112 Km 0 al Km 4+525, por lo que, analizando el IMDA del tramo en estudio nos ubicaríamos en una carretera de segunda clase, a continuación, situándonos en la figura 2 se observa que el rango de velocidad de diseño para el tramo de la carretera en estudio está situado en un rango de 60 km/h, 70 km/h y 80 km/h.

Para el desarrollo de la presente investigación se adopta la velocidad de diseño de 60 km/h, ya que se pretende evaluar los parámetros de la carretera y su cumplimiento de acuerdo a los parámetros mínimos establecidos en el Manual de Carreteras DG-2018.

4.4. Resultado del Diseño Geométrico en Planta

Una vez realizado el levantamiento topográfico y realizado el conteo vehicular de donde se obtiene el IMDA, se procede a realizar los planos en planta de dónde luego de un exhaustivo proceso se logra obtener los parámetros de diseño geométrico en planta de la carretera HU-112 km 0 al km 4 + 525.

4.4.1. Resultados de Radio de Curvatura

Haciendo uso de los datos de la Figura 15, de los apartados de área rural (plano u ondulada), para velocidad de diseño con 60 km/hora se calcula el radio mínimo a 123.2 m, para el presente estudio se toma el radio mínimo redondeado a 125 m, como lo indica la normativa.

En la Tabla 6 se muestra los radios mínimos de las 47 curvas encontradas en la carretera HU-112 km 0 al km 4 + 525, las cuales se comparan con el radio mínimo de 125 m estipulado en el Manual de Carreteras DG-2018 para velocidad de diseño de 60 km/h.

Tabla 6

Radio calculado frente al Rmin del MCDG-2018

N° curva	Progresiva	R (m)	R min MCDG-2018	Análisis
PI-47	4,456.95	160.00	125.00	Cumple
PI-46	4,383.72	80.00	125.00	No cumple
PI-45	4,327.77	80.00	125.00	No cumple
PI-44	4,282.95	80.00	125.00	No cumple
PI-43	4,243.83	80.00	125.00	No cumple
PI-42	4,148.37	100.00	125.00	No cumple
PI-41	4,051.49	250.00	125.00	Cumple
PI-40	3,938.75	250.00	125.00	Cumple
PI-39	3,795.53	250.00	125.00	Cumple
PI-38	3,559.87	60.00	125.00	No cumple
PI-37	3,499.11	60.00	125.00	No cumple
PI-36	3,412.45	160.00	125.00	Cumple
PI-35	3,322.52	80.00	125.00	No cumple
PI-34	3,160.42	85.00	125.00	No cumple
PI-33	3,003.39	100.00	125.00	No cumple
PI-32	2,936.11	80.00	125.00	No cumple

PI-31	2,898.02	80.00	125.00	No cumple
PI-30	2,674.37	250.00	125.00	Cumple
PI-29	2,552.14	200.00	125.00	Cumple
PI-28	2,416.48	60.00	125.00	No cumple
PI-27	2,337.11	160.00	125.00	Cumple
PI-26	2,242.37	60.00	125.00	No cumple
PI-25	2,182.49	160.00	125.00	Cumple
PI-24	2,110.58	45.00	125.00	No cumple
PI-23	2,038.45	45.00	125.00	No cumple
PI-22	1,859.34	160.00	125.00	Cumple
PI-21	1,773.09	80.00	125.00	No cumple
PI-20	1,614.07	50.00	125.00	No cumple
PI-19	1,561.60	80.00	125.00	No cumple
PI-18	1,522.05	60.00	125.00	No cumple
PI-17	1,459.65	60.00	125.00	No cumple
PI-16	1,413.92	45.00	125.00	No cumple
PI-15	1,344.34	45.00	125.00	No cumple
PI-14	1,244.75	45.00	125.00	No cumple
PI-13	1,205.27	45.00	125.00	No cumple
PI-12	1,151.82	60.00	125.00	No cumple
PI-11	1,042.43	50.00	125.00	No cumple
PI-10	927.77	45.00	125.00	No cumple
PI-9	854.01	60.00	125.00	No cumple
PI-8	727.89	160.00	125.00	Cumple
PI-7	569.63	80.00	125.00	No cumple
PI-6	426.42	80.00	125.00	No cumple
PI-5	362.75	80.00	125.00	No cumple
PI-4	288.99	50.00	125.00	No cumple
PI-3	223.94	150.00	125.00	Cumple
PI-2	176.23	80.00	125.00	No cumple
PI-1	39.45	45.00	125.00	No cumple

Nota. Fuente: Elaboración propia

En la tabla 7 se elabora un cuadro de resumen del análisis de porcentaje de cumplimiento de las dimensiones de radios en las curvas horizontales.

Tabla 7

Cuadro resumen de análisis de Radios en curvas Horizontales

Condicional	Radio de Curvatura	%
Cumple	12	25.53%
Incumple	35	74.47%
Total	47	100.00%

Nota. Se detecta un grado de cumplimiento deficiente. Fuente: elaboración propia.

Se determina un grado de cumplimiento de 25.53% de las dimensiones mínimas de radios en curva horizontal. Por lo que se deduce que solamente 12 de los 47 radios de curvatura cumplen los estándares de la norma.

4.4.2. Resultados de Sobreancho

Para determinar los sobreanchos de las 47 curvas horizontales, se hace uso de la ecuación 4 (E4) Fórmula para hallar el sobreancho, donde debido al numeroso tráfico de camiones se toma una el factor L de 10.55, siendo L (m) un factor determinado de la distancia entre eje posterior y parte frontal del vehículo.

En la Tabla 8 se muestra el cálculo de sobreancho de las 47 curvas encontradas en la carretera HU-112 km 0 al km 4 + 525, las cuales se comparan con el sobreancho mínimo de 1.97 m, calculado de consignar un radio mínimo de 125 m, velocidad de diseño de 60 km/h, número de carriles 2, y factor L = 10.55 m todo bajo estricto cumplimiento de los procesos de cálculo indicado en el Manual de Carreteras DG-2018.

Teniéndose de dato el radio mínimo (R_{mín}) de 125 m para una velocidad de diseño de 60 km/h en terrenos rurales de superficie tipo 1, 2 o 3, por lo que, al detectar un radio menor al mencionado, el Sa calculado queda invalidado al no cumplir los estándares mínimos de la norma.

Tabla 8

Sobreancho calculado frente a sobreancho mínimo del MCDG-2018

N° curva	R (m)	Número de carriles (n)	Vd	L	Sa (m)	Sa (m) min	Análisis	Análisis Rmin
PI-47	160.00	2	60	10.55	1.65	1.97	Incumple	Cumple
PI-46	80.00	2	60	10.55	2.74	1.97	Cumple	Incumple
PI-45	80.00	2	60	10.55	2.74	1.97	Cumple	Incumple
PI-44	80.00	2	60	10.55	2.74	1.97	Cumple	Incumple
PI-43	80.00	2	60	10.55	2.74	1.97	Cumple	Incumple
PI-42	100.00	2	60	10.55	2.32	1.97	Cumple	Incumple
PI-41	250.00	2	60	10.55	1.20	1.97	Incumple	Cumple
PI-40	250.00	2	60	10.55	1.20	1.97	Incumple	Cumple
PI-39	250.00	2	60	10.55	1.20	1.97	Incumple	Cumple

PI-38	60.00	2	60	10.55	3.42	1.97	Cumple	Incumple
PI-37	60.00	2	60	10.55	3.42	1.97	Cumple	Incumple
PI-36	160.00	2	60	10.55	1.65	1.97	Incumple	Cumple
PI-35	80.00	2	60	10.55	2.74	1.97	Cumple	Incumple
PI-34	85.00	2	60	10.55	2.62	1.97	Cumple	Incumple
PI-33	100.00	2	60	10.55	2.32	1.97	Cumple	Incumple
PI-32	80.00	2	60	10.55	2.74	1.97	Cumple	Incumple
PI-31	80.00	2	60	10.55	2.74	1.97	Cumple	Incumple
PI-30	250.00	2	60	10.55	1.20	1.97	Incumple	Cumple
PI-29	200.00	2	60	10.55	1.41	1.97	Incumple	Cumple
PI-28	60.00	2	60	10.55	3.42	1.97	Cumple	Incumple
PI-27	160.00	2	60	10.55	1.65	1.97	Incumple	Cumple
PI-26	60.00	2	60	10.55	3.42	1.97	Cumple	Incumple
PI-25	160.00	2	60	10.55	1.65	1.97	Incumple	Cumple
PI-24	45.00	2	60	10.55	4.30	1.97	Cumple	Incumple
PI-23	45.00	2	60	10.55	4.30	1.97	Cumple	Incumple
PI-22	160.00	2	60	10.55	1.65	1.97	Incumple	Cumple
PI-21	80.00	2	60	10.55	2.74	1.97	Cumple	Incumple
PI-20	50.00	2	60	10.55	3.95	1.97	Cumple	Incumple
PI-19	80.00	2	60	10.55	2.74	1.97	Cumple	Incumple
PI-18	60.00	2	60	10.55	3.42	1.97	Cumple	Incumple
PI-17	60.00	2	60	10.55	3.42	1.97	Cumple	Incumple
PI-16	45.00	2	60	10.55	4.30	1.97	Cumple	Incumple
PI-15	45.00	2	60	10.55	4.30	1.97	Cumple	Incumple
PI-14	45.00	2	60	10.55	4.30	1.97	Cumple	Incumple
PI-13	45.00	2	60	10.55	4.30	1.97	Cumple	Incumple
PI-12	60.00	2	60	10.55	3.42	1.97	Cumple	Incumple
PI-11	50.00	2	60	10.55	3.95	1.97	Cumple	Incumple
PI-10	45.00	2	60	10.55	4.30	1.97	Cumple	Incumple
PI-9	60.00	2	60	10.55	3.42	1.97	Cumple	Incumple
PI-8	160.00	2	60	10.55	1.65	1.97	Incumple	Cumple
PI-7	80.00	2	60	10.55	2.74	1.97	Cumple	Incumple
PI-6	80.00	2	60	10.55	2.74	1.97	Cumple	Incumple
PI-5	80.00	2	60	10.55	2.74	1.97	Cumple	Incumple
PI-4	50.00	2	60	10.55	3.95	1.97	Cumple	Incumple
PI-3	150.00	2	60	10.55	1.72	1.97	Incumple	Cumple
PI-2	80.00	2	60	10.55	2.74	1.97	Cumple	Incumple
PI-1	45.00	2	60	10.55	4.30	1.97	Cumple	Incumple

Nota. Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 9 se elabora un cuadro de resumen del grado de cumplimiento de las dimensiones de los sobreeanchos de las curvas horizontales.

Tabla 9

Cuadro resumen de análisis de dimensiones de Sobreancho Sa

Condicional	Sobreancho (Sa)	%
Cumple	12	25.53%
Incumple	35	74.47%
Total	47	100.00%

Nota. Se detecta un grado de cumplimiento deficiente de 25.53%. Fuente: elaboración propia.

De la Tabla 9 se detecta un grado de cumplimiento de 25.53% de las dimensiones mínimas de sobreancho (Sa) establecidas por el Manual de Carreteras DG-2018. Se deduce que solo 12 de las 47 longitudes de sobreancho cumplen los estándares normativos.

4.4.3. Resultados de Peralte

Debido a la inexistencia de una ecuación en específico para determinar el peralte, procederemos a desglosar la ecuación 8 (E8) usado para determinar radios mínimos en curvas horizontales.

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

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

$$127 * R_{\min} * \rho_{\max} + 127 * R_{\min} * f_{\max} = V^2$$

$$127 * R_{\min} * \rho_{\max} = V^2 - 127 * R_{\min} * f_{\max}$$

$$\rho_{\max} = \frac{V^2 - 127 * R_{\min} * f_{\max}}{127 * R_{\min}}$$

Posterior al desglose de la ecuación 8 (E8) obtenemos una ecuación para determinar el peralte de una vía. Como indica la ecuación, es indispensable conocer el radio mínimo de la carretera, en este caso, para una velocidad de 60 km/h, el radio mínimo es de 125 m.

En la tabla 6 se determinó que solamente 12 de los 47 radios cumplen el estándar mínimo de la longitud de radio. Por ende, será imposible calcular el peralte para radios menores a 125 m.

A raíz de ello, se procede a utilizar el ábaco de la Figura 17 Peral en zona rural (tipo 1, 2 y 3) de dónde se concluye que no existe manera de calcular peralte (%) en radios menores a 125 m, ya que 125 es el límite mínimo en el ábaco para determinar el peralte en función a la velocidad de diseño V_d y el radio.

La tabla 10 muestra el cálculo de los peraltes (%) de las curvas, dónde se ha obviado el cálculo de curvas cuyo radio es menor a 125 m, por incumplir el parámetro mínimo de la norma.

Tabla 10

Peralte % frente a peral máximo para $V_d = 60$

N° curva	R (m)	R _{min}	V _d	p_{max} (%)	Peralte %	Análisis
PI-47	160.00	125	60	8.00	7.45	Cumple
PI-46	80.00	125	60	8.00	Inseguro	Incumple
PI-45	80.00	125	60	8.00	Inseguro	Incumple
PI-44	80.00	125	60	8.00	Inseguro	Incumple
PI-43	80.00	125	60	8.00	Inseguro	Incumple
PI-42	100.00	125	60	8.00	8.70	Cumple
PI-41	250.00	125	60	8.00	6.10	Cumple
PI-40	250.00	125	60	8.00	6.10	Cumple
PI-39	250.00	125	60	8.00	6.10	Cumple
PI-38	60.00	125	60	8.00	Inseguro	Incumple
PI-37	60.00	125	60	8.00	Inseguro	Incumple
PI-36	160.00	125	60	8.00	7.45	Cumple
PI-35	80.00	125	60	8.00	Inseguro	Incumple
PI-34	85.00	125	60	8.00	Inseguro	Incumple
PI-33	100.00	125	60	8.00	Inseguro	Incumple
PI-32	80.00	125	60	8.00	Inseguro	Incumple
PI-31	80.00	125	60	8.00	Inseguro	Incumple
PI-30	250.00	125	60	8.00	6.10	Cumple
PI-29	200.00	125	60	8.00	6.80	Cumple
PI-28	60.00	125	60	8.00	Inseguro	Incumple
PI-27	160.00	125	60	8.00	Inseguro	Incumple
PI-26	60.00	125	60	8.00	Inseguro	Incumple

PI-25	160.00	125	60	8.00	7.45	Cumple
PI-24	45.00	125	60	8.00	Inseguro	Incumple
PI-23	45.00	125	60	8.00	Inseguro	Incumple
PI-22	160.00	125	60	8.00	7.45	Cumple
PI-21	80.00	125	60	8.00	Inseguro	Incumple
PI-20	50.00	125	60	8.00	Inseguro	Incumple
PI-19	80.00	125	60	8.00	Inseguro	Incumple
PI-18	60.00	125	60	8.00	Inseguro	Incumple
PI-17	60.00	125	60	8.00	Inseguro	Incumple
PI-16	45.00	125	60	8.00	Inseguro	Incumple
PI-15	45.00	125	60	8.00	Inseguro	Incumple
PI-14	45.00	125	60	8.00	Inseguro	Incumple
PI-13	45.00	125	60	8.00	Inseguro	Incumple
PI-12	60.00	125	60	8.00	Inseguro	Incumple
PI-11	50.00	125	60	8.00	Inseguro	Incumple
PI-10	45.00	125	60	8.00	Inseguro	Incumple
PI-9	60.00	125	60	8.00	Inseguro	Incumple
PI-8	160.00	125	60	8.00	7.45	Cumple
PI-7	80.00	125	60	8.00	Inseguro	Incumple
PI-6	80.00	125	60	8.00	Inseguro	Incumple
PI-5	80.00	125	60	8.00	Inseguro	Incumple
PI-4	50.00	125	60	8.00	Inseguro	Incumple
PI-3	150.00	125	60	8.00	7.50	Cumple
PI-2	80.00	125	60	8.00	Inseguro	Incumple
PI-1	45.00	125	60	8.00	Inseguro	Incumple

Nota. Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 11 muestra un cuadro resumen del grado de cumplimiento de las dimensiones de los peraltes analizando con las dimensiones máximas y mínimas normadas.

Tabla 11

Cuadro resumen del análisis de las dimensiones de peralte

Condicional	peralte	%
Cumple	12	25.53%
Incumple	35	74.47%
Total	47	100.00%

Nota. Se detecta un grado de cumplimiento deficiente de 25.53%. Fuente: elaboración propia.

De la Tabla 11 se detecta un grado de cumplimiento de 25.53% de las dimensiones mínimas de peralte (p%) establecidas por el Manual de Carreteras DG-2018. Se deduce que solo 12 de los 47 pendientes cumplen los estándares normativos.

4.4.4. Resultados de Longitud de Transición de Peralte (Ltp)

Se determina la longitud de curva de transición de peralte restando las progresivas “PC & EC” - “ET”, siendo la progresiva de inicio de la longitud de curva y la progresiva de inicio de la curva de transición respectivamente. Cabe mencionar que dichas progresivas se extrajeron luego de la elaboración del plano de planta de la carretera HU-112 km 0 al km 4 + 525.

Para el análisis se toma en cuenta la Figura 27 dónde estipula la longitud mínima de curva de transición para cada tipo de velocidad de diseño, en el presente análisis se tiene una Velocidad de diseño de 60 km/h, por ende, la longitud de curva de transición mínima será de 50 m.

En la Tabla 12 se calcula la longitud de transición de peralte y se procede a analizar la longitud de transición de peralte de la carretera HU-112 km 0 al km 4 + 525 frente a la longitud de transición de peralte mínima según el manual de carreteras.

Tabla 12

Longitud de transición de peralte

N° PI	Vd km/h	ET	P.C. & EC	R (m)	LCT	LCTmin	Análisis
PI-47	60.00	4454.010	4,454.01	160	0.00	50.00	No cumple
PI-46	60.00	4377.250	4,377.25	80	0.00	50.00	No cumple
PI-45	60.00	4322.640	4,322.64	80	0.00	50.00	No cumple
PI-44	60.00	4276.990	4,276.99	80	0.00	50.00	No cumple
PI-43	60.00	4236.240	4,236.24	80	0.00	50.00	No cumple
PI-42	60.00	4105.290	4,141.29	100	36.00	50.00	No cumple
PI-41	60.00	4048.110	4,048.11	250	0.00	50.00	No cumple
PI-40	60.00	3936.050	3,936.05	250	0.00	50.00	No cumple
PI-39	60.00	3785.550	3,785.55	250	0.00	50.00	No cumple
PI-38	60.00	3530.210	3,551.21	60	21.00	50.00	No cumple
PI-37	60.00	3477.440	3,498.44	60	21.00	50.00	No cumple
PI-36	60.00	3391.190	3,391.19	160	0.00	50.00	No cumple

PI-35	60.00	3298.040	3,314.04	80	16.00	50.00	No cumple
PI-34	60.00	3133.500	3,152.50	85	19.00	50.00	No cumple
PI-33	60.00	2988.560	2,998.56	100	10.00	50.00	No cumple
PI-32	60.00	2916.720	2,928.72	80	12.00	50.00	No cumple
PI-31	60.00	2881.860	2,893.86	80	12.00	50.00	No cumple
PI-30	60.00	2646.410	2,646.41	250	0.00	50.00	No cumple
PI-29	60.00	2523.910	2,523.91	200	0.00	50.00	No cumple
PI-28	60.00	2395.660	2,410.66	60	15.00	50.00	No cumple
PI-27	60.00	2313.610	2,313.61	160	0.00	50.00	No cumple
PI-26	60.00	2213.740	2,234.74	60	21.00	50.00	No cumple
PI-25	60.00	2176.490	2,176.49	160	0.00	50.00	No cumple
PI-24	60.00	2079.790	2,099.79	45	20.00	50.00	No cumple
PI-23	60.00	2001.410	2,021.41	45	20.00	50.00	No cumple
PI-22	60.00	1841.560	1,841.56	160	0.00	50.00	No cumple
PI-21	60.00	1756.000	1,761	80	5.00	50.00	No cumple
PI-20	60.00	1591.280	1,604.28	50	13.00	50.00	No cumple
PI-19	60.00	1545.730	1,557.73	80	12.00	50.00	No cumple
PI-18	60.00	1506.700	1,517.70	60	11.00	50.00	No cumple
PI-17	60.00	1446.650	1,457.65	60	11.00	50.00	No cumple
PI-16	60.00	1393.910	1,407.91	45	14.00	50.00	No cumple
PI-15	60.00	1314.540	1,328.54	45	14.00	50.00	No cumple
PI-14	60.00	1226.050	1,240.05	45	14.00	50.00	No cumple
PI-13	60.00	1184.720	1,198.72	45	14.00	50.00	No cumple
PI-12	60.00	1119.410	1,134.41	60	15.00	50.00	No cumple
PI-11	60.00	1011.510	1,029.51	50	18.00	50.00	No cumple
PI-10	60.00	891.310	911.31	45	20.00	50.00	No cumple
PI-9	60.00	835.860	850.86	60	15.00	50.00	No cumple
PI-8	60.00	718.890	718.89	160	0.00	50.00	No cumple
PI-7	60.00	545.840	561.84	80	16.00	50.00	No cumple
PI-6	60.00	403.370	419.37	80	16.00	50.00	No cumple
PI-5	60.00	343.190	359.19	80	16.00	50.00	No cumple
PI-4	60.00	264.320	282.32	50	18.00	50.00	No cumple
PI-3	60.00	213.660	213.66	150	0.00	50.00	No cumple
PI-2	60.00	155.440	171.44	80	16.00	50.00	No cumple
PI-1	60.00	16.030	36.03	45	20.00	50.00	No cumple

Nota. Fuente: Elaboración propia

Tabla 13

Cuadro resumen del análisis de las dimensiones de LTP

Condiciona	Longitud de T de P	%
Cumple	0	0.00%
No cumple	47	100.00%
Total	47	100.00%

Nota. Se detecta un grado de cumplimiento deficiente al 0.00%. Fuente: elaboración propia.

En la Tabla 13 se determina un grado de cumplimiento en extremo deficiente de las dimensiones mínimas de las longitudes de transición de peralte al 0.00%. Por lo que se deduce que 47 de las 47 longitudes de transición de peralte incumplen los estándares de la norma.

4.4.5. Resultados de Longitud de Curva (Lc)

Se determina la longitud de curva restando las progresivas “PT & CE” Y “PC & EC”, siendo la progresiva final de la longitud de curva y la progresiva de inicio de la longitud de curva respectivamente. Cabe mencionar que dichas progresivas se extrajeron luego de la elaboración del plano de planta de la carretera HU-112 km 0 al km 4 + 525.

Para el análisis se toma en cuenta la Ecuación de grado de curvatura (E5), a lo cual se procede a desglosar “S”, cabe mencionar que S es la longitud del arco Lc.

$$G_s = \frac{180 * S}{\pi * R}$$

$$G_s * \pi * R = 180 * S$$

$$S = \frac{G_s * \pi * R}{180}$$

Una vez desglosado, en la Tabla 14 se procede a calcular con los datos de Radio y ángulo delta (G_s) de cada curva horizontal.

Tabla 14

Cálculo de longitud de las 47 curvas horizontales

N° PI	Vd km/h	P.C. & EC	P.T. & CE	RADIO	L.C.	L = R*Delta(rad)	Análisis	Análisis con Rmin
PI-47	60.00	4,454.01	4,459.90	160.00	5.892	5.585	Cumple	Cumple
PI-46	60.00	4,377.25	4,390.16	80.00	12.919	12.566	Cumple	Incumple
PI-45	60.00	4,322.64	4,332.87	80.00	10.229	9.774	Cumple	Incumple
PI-44	60.00	4,276.99	4,288.89	80.00	11.897	11.170	Cumple	Incumple
PI-43	60.00	4,236.24	4,251.38	80.00	15.134	13.963	Cumple	Incumple

PI-42	60.00	4,141.29	4,155.42	100.00	14.128	13.963	Cumple	Incumple
PI-41	60.00	4,048.11	4,054.88	250.00	6.774	4.363	Cumple	Cumple
PI-40	60.00	3,936.05	3,941.46	250.00	5.412	4.363	Cumple	Cumple
PI-39	60.00	3,785.55	3,805.49	250.00	19.942	17.453	Cumple	Cumple
PI-38	60.00	3,551.21	3,568.42	60.00	17.209	16.755	Cumple	Incumple
PI-37	60.00	3,498.44	3,499.78	60.00	1.345	1.047	Cumple	Incumple
PI-36	60.00	3,391.19	3,433.47	160.00	42.287	41.888	Cumple	Cumple
PI-35	60.00	3,314.04	3,330.95	80.00	16.909	16.755	Cumple	Incumple
PI-34	60.00	3,152.50	3,168.29	85.00	15.793	14.835	Cumple	Incumple
PI-33	60.00	2,998.56	3,008.22	100.00	9.661	8.727	Cumple	Incumple
PI-32	60.00	2,928.72	2,943.46	80.00	14.740	13.963	Cumple	Incumple
PI-31	60.00	2,893.86	2,902.18	80.00	8.318	6.981	Cumple	Incumple
PI-30	60.00	2,646.41	2,702.10	250.00	55.689	52.360	Cumple	Cumple
PI-29	60.00	2,523.91	2,580	200.00	56.085	55.851	Cumple	Cumple
PI-28	60.00	2,410.66	2,422.26	60.00	11.607	11.519	Cumple	Incumple
PI-27	60.00	2,313.61	2,360.28	160.00	46.678	44.680	Cumple	Cumple
PI-26	60.00	2,234.74	2,249.93	60.00	15.191	14.661	Cumple	Incumple
PI-25	60.00	2,176.49	2,188.48	160.00	11.988	11.170	Cumple	Cumple
PI-24	60.00	2,099.79	2,120.98	45.00	21.186	20.420	Cumple	Incumple
PI-23	60.00	2,021.41	2,053.99	45.00	32.579	32.201	Cumple	Incumple
PI-22	60.00	1,841.56	1,876.97	160.00	35.406	33.510	Cumple	Cumple
PI-21	60.00	1,761	1,784.99	80.00	23.994	23.736	Cumple	Incumple
PI-20	60.00	1,604.28	1,623.62	50.00	19.338	19.199	Cumple	Incumple
PI-19	60.00	1,557.73	1,585.47	80.00	7.738	6.981	Cumple	Incumple
PI-18	60.00	1,517.70	1,526.38	60.00	8.677	8.378	Cumple	Incumple
PI-17	60.00	1,457.65	1,461.65	60.00	4.000	3.142	Cumple	Incumple
PI-16	60.00	1,407.91	1,419.85	45.00	11.939	11.781	Cumple	Incumple
PI-15	60.00	1,328.54	1,358.93	45.00	30.389	29.845	Cumple	Incumple
PI-14	60.00	1,240.05	1,249.41	45.00	9.364	8.639	Cumple	Incumple
PI-13	60.00	1,198.72	1,211.73	45.00	13.006	12.566	Cumple	Incumple
PI-12	60.00	1,134.41	1,168.31	60.00	33.899	33.510	Cumple	Incumple
PI-11	60.00	1,029.51	1,054.79	50.00	25.277	24.435	Cumple	Incumple
PI-10	60.00	911.31	942.86	45.00	31.547	31.416	Cumple	Incumple
PI-9	60.00	850.86	857.15	60.00	6.295	6.283	Cumple	Incumple
PI-8	60.00	718.89	736.88	160.00	17.989	16.755	Cumple	Cumple
PI-7	60.00	561.84	577.36	80.00	15.52	15.359	Cumple	Incumple
PI-6	60.00	419.37	433.44	80.00	14.064	13.963	Cumple	Incumple
PI-5	60.00	359.19	366.31	80.00	7.118	6.981	Cumple	Incumple
PI-4	60.00	282.32	295.59	50.00	13.272	13.090	Cumple	Incumple
PI-3	60.00	213.66	234.19	150.00	20.535	18.326	Cumple	Cumple
PI-2	60.00	171.44	181.02	80.00	9.579	8.378	Cumple	Incumple
PI-1	60.00	36.03	42.85	45.00	6.823	6.283	Cumple	Incumple

Nota. Fuente: Elaboración propia

Tabla 15

Cuadro resumen del análisis de las dimensiones de Lc

Condicional	Longitud de Curva (Lc)	%
Cumple	12	25.53%
Incumple	35	74.47%
Total	47	100.00%

Nota. Se detecta un grado de cumplimiento deficiente. Fuente: elaboración propia.

En la Tabla 15 se determina un grado de cumplimiento deficiente de las dimensiones mínimas de las longitudes de curva al 25.53%. Por lo que se deduce que solamente 12 de las 47 longitudes de curva cumplen los estándares de la norma.

4.4.6. Resultados de Tramos en Tangente

Para el cálculo y análisis de las longitudes de los tramos en tangente nos enfocamos en los datos exportados del Civil 3D de los progresivas TE finales y puntos TE iniciales de cada curva, siendo las “TE” las progresivas finales e iniciales de las curvas de transición de las 47 curvas determinadas en la carretera HU-112 km 0 al km 4 + 525, de dónde para calcular la longitud de tramos en tangente se toma la progresiva inicial inmediato superior y se le resta la progresiva final de la curva a calcular, resultando al final la longitud del tramo tangente (LTT), dónde se expresaría mediante la siguiente ecuación:

$$TE_{inicial(n+1)} - TE_{final(n)} = LTT_n$$

Para el cálculo de las longitudes de tramos en tangente mínimos establecidos por el manual de carretera, nos basaremos en la Figura 9, dónde para una $V_d = 60$ km/h, para curvas en S, la LTT mínima será de 83 metros, y para curvas en O la LTT mínima será de 167 metros.

En la Tabla 16 se realizó el cálculo de la longitud de tramos en tangente iniciando desde la progresiva inicial, culminando en la progresiva final, determinándose 48 longitudes de tramos en tangente.

Tabla 16*Cálculo de longitud de tramos en tangente*

N°	TRAMO	Vd km/h	TEf	TEo	L tramo en tangente	Tipo de LTT	LTT min	Análisis
1	PI-47 al FIN	60.00	4,459.90	4454.010	65.10	S	83.00	Incumple
2	PI-46 al PI-47	60.00	4,390.16	4377.250	63.85	S	83.00	Incumple
3	PI-45 al PI-46	60.00	4,332.87	4322.640	44.38	S	83.00	Incumple
4	PI-44 al PI-45	60.00	4,288.89	4276.990	33.75	S	83.00	Incumple
5	PI-43 al PI-44	60.00	4,251.38	4236.240	25.61	S	83.00	Incumple
6	PI-42 al PI-43	60.00	4,191.42	4105.290	44.82	S	83.00	Incumple
7	PI-41 al PI-42	60.00	4,054.88	4048.110	50.41	S	83.00	Incumple
8	PI-40 al PI-41	60.00	3,941.46	3936.050	106.65	S	83.00	Cumple
9	PI-39 al PI-40	60.00	3,805.49	3785.550	130.56	S	83.00	Cumple
10	PI-38 al PI-39	60.00	3,589.42	3530.210	196.13	S	83.00	Cumple
11	PI-37 al PI-38	60.00	3,520.78	3477.440	9.43	S	83.00	Incumple
12	PI-36 al PI-37	60.00	3,433.47	3391.190	43.97	O	167.00	Incumple
13	PI-35 al PI-36	60.00	3,346.95	3298.040	44.24	S	83.00	Incumple
14	PI-34 al PI-35	60.00	3,187.29	3133.500	110.75	S	83.00	Cumple
15	PI-33 al PI-34	60.00	3,018.22	2988.560	115.28	S	83.00	Cumple
16	PI-32 al PI-33	60.00	2,955.46	2916.720	33.10	S	83.00	Incumple
17	PI-31 al PI-32	60.00	2,914.18	2881.860	2.54	S	83.00	Incumple
18	PI-30 al PI-31	60.00	2,702.10	2646.410	179.76	S	83.00	Cumple
19	PI-29 al PI-30	60.00	2,580.00	2523.910	66.41	S	83.00	Incumple
20	PI-28 al PI-29	60.00	2,437.26	2395.660	86.65	S	83.00	Cumple
21	PI-27 al PI-28	60.00	2,360.28	2313.610	35.38	S	83.00	Incumple
22	PI-26 al PI-27	60.00	2,270.93	2213.740	42.68	S	83.00	Incumple
23	PI-25 al PI-26	60.00	2,188.48	2176.490	25.26	S	83.00	Incumple
24	PI-24 al PI-25	60.00	2,140.98	2079.790	35.51	S	83.00	Incumple
25	PI-23 al PI-24	60.00	2,073.99	2001.410	5.80	S	83.00	Incumple
26	PI-22 al PI-23	60.00	1,876.97	1841.560	124.44	S	83.00	Cumple
27	PI-21 al PI-22	60.00	1,789.99	1756.000	51.57	O	167.00	Incumple
28	PI-20 al PI-21	60.00	1,636.62	1591.280	119.38	S	83.00	Cumple
29	PI-19 al PI-20	60.00	1,597.47	1545.730	-6.19	S	83.00	Incumple
30	PI-18 al PI-19	60.00	1,537.38	1506.700	8.35	S	83.00	Incumple
31	PI-17 al PI-18	60.00	1,472.65	1446.650	34.05	S	83.00	Incumple
32	PI-16 al PI-17	60.00	1,433.85	1393.910	12.80	S	83.00	Incumple
33	PI-15 al PI-16	60.00	1,372.93	1314.540	20.98	S	83.00	Incumple
34	PI-14 al PI-15	60.00	1,263.41	1226.050	51.13	S	83.00	Incumple
35	PI-13 al PI-14	60.00	1,225.73	1184.720	0.32	S	83.00	Incumple
36	PI-12 al PI-13	60.00	1,183.31	1119.410	1.41	S	83.00	Incumple
37	PI-11 al PI-12	60.00	1,072.79	1011.510	46.62	S	83.00	Incumple
38	PI-10 al PI-11	60.00	962.86	891.310	48.65	S	83.00	Incumple

39	PI-9 al PI-10	60.00	872.15	835.860	19.16	S	83.00	Incumple
40	PI-8 al PI-9	60.00	736.88	718.890	98.98	S	83.00	Cumple
41	PI-7 al PI-8	60.00	593.36	545.840	125.53	S	83.00	Cumple
42	PI-6 al PI-7	60.00	449.44	403.370	96.40	S	83.00	Cumple
43	PI-5 al PI-6	60.00	382.31	343.190	21.06	S	83.00	Incumple
44	PI-4 al PI-5	60.00	313.59	264.320	29.60	S	83.00	Incumple
45	PI-3 al PI-4	60.00	234.19	213.660	30.13	S	83.00	Incumple
46	PI-2 al PI-3	60.00	197.02	155.440	16.64	S	83.00	Incumple
47	PI-1 al PI-2	60.00	62.85	16.030	92.59	S	83.00	Cumple
48	INICIO AL PI-1	60.00	0.00	0.000	16.03	S	83.00	Incumple

Nota. Fuente: elaboración propia.

Tabla 17

Cuadro resumen del análisis de las dimensiones de TT

Condicional	Tramo en tangente	%
Cumple	13	27.08%
Incumple	35	72.92%
Total	48	100.00%

Nota. Se detecta un grado de cumplimiento deficiente al 27.08%. Fuente: elaboración propia.

En la Tabla 17 se determina un grado de cumplimiento deficiente de las dimensiones mínimas de las longitudes de tramos en tangente al 27.08%. Por lo que se deduce que solamente 13 de las 48 longitudes de tramos en tangente cumplen los estándares de la norma.

4.5. Resultado del Diseño Geométrico en Perfil Longitudinal

Una vez realizado los planos en planta se procede a elaborar los perfiles longitudinales de la carretera HU-112 km 0 al km 4 + 525 usando el programa Civil 3D, en donde se puede calcular las pendientes y la longitud de curva vertical, tanto cóncava como convexa, donde luego de un exhaustivo proceso se logra obtener los parámetros de diseño geométrico en perfil longitudinal de la carretera HU-112 km 0 al km 4 + 525.

4.5.1. Resultados de Pendiente Longitudinal

Para obtener los datos de la pendiente de los tramos de perfil longitudinal, es menester de acuerdo a la norma tener en claro los parámetros máximos y mínimos de la pendiente de los tramos en perfil. Por ende, es menester aclarar el pendiente mínimo de 0.5 % y guiándonos de la Figura 28 sobre pendientes máximas, dónde para velocidades de diseño de 60 km/h y carreteras de segunda clase, se obtiene la pendiente máxima de 7%, las cuales nos servirán para detectar pendientes que no cumplen con los parámetros establecidos por el Manual de Carreteras DG-2018.

En la tabla 18 se calcula las pendientes en tramos del perfil longitudinal, detectándose pendientes que sobrepasan el valor mínimo y máximo establecido por la norma para carreteras de segunda clase y con velocidad de diseño de 60 km/h.

Tabla 18

Cálculo de pendientes en tramos en perfil longitudinal

Punto i	Punto f	PIV	Longitud de tramo	Pendiente	Pendiente min	pendiente max	Análisis
Inicio	CV1	27.59	27.59	2.62	0.50	7.00	Cumple
CV1	CV2	218.36	190.77	0.52	0.50	7.00	Cumple
CV2	CV3	406.40	188.04	-1.61	0.50	7.00	Cumple
CV3	CV4	495.89	89.49	0.27	0.50	7.00	Incumple
CV4	CV5	900.36	404.47	2.73	0.50	7.00	Cumple
CV5	CV6	1276.01	375.65	1.86	0.50	7.00	Cumple
CV6	CV7	1370.46	94.45	2.90	0.50	7.00	Cumple
CV7	CV8	1525.03	154.57	0.46	0.50	7.00	Incumple
CV8	CV9	1647.54	122.51	2.22	0.50	7.00	Cumple
CV9	CV10	1735.28	87.74	1.02	0.50	7.00	Cumple
CV10	CV11	1822.77	87.49	0.08	0.50	7.00	Incumple
CV11	CV12	1849.40	26.63	6.92	0.50	7.00	Cumple
CV12	CV13	1884.51	35.11	0.23	0.50	7.00	Incumple
CV13	CV14	1981.25	96.74	1.93	0.50	7.00	Cumple
CV14	CV15	2042.28	61.03	-0.49	0.50	7.00	Incumple
CV15	CV16	2148.24	105.96	6.03	0.50	7.00	Cumple
CV16	CV17	2263.18	114.94	-3.30	0.50	7.00	Cumple
CV17	CV18	2339.68	76.50	0.79	0.50	7.00	Cumple
CV18	CV19	2508.32	168.64	3.20	0.50	7.00	Cumple
CV19	CV20	2717.01	208.69	0.37	0.50	7.00	Incumple
CV20	CV21	2934.71	217.70	3.03	0.50	7.00	Cumple

CV21	CV22	3231.33	296.62	0.40	0.50	7.00	Incumple
CV22	CV23	3568.16	336.83	2.44	0.50	7.00	Cumple
CV23	CV24	3782.78	214.62	1.56	0.50	7.00	Cumple
CV24	CV25	4164.71	381.93	3.00	0.50	7.00	Cumple
CV25	CV26	4293.74	129.03	1.96	0.50	7.00	Cumple
CV26	CV27	4345.80	52.06	4.10	0.50	7.00	Cumple
CV27	CV28	4510.46	164.66	1.78	0.50	7.00	Cumple
CV28	Fin	4524.68	14.22	-3.00	0.50	7.00	Cumple

Nota. Fuente: elaboración propia.

Tabla 19

Cuadro resumen de análisis de dimensiones de pendientes

Condicional	Pendiente Vertical	%
Cumple	22	75.86%
Incumple	7	24.14%
Total	29	100.00%

Nota. Se detecta un grado de cumplimiento al 75.86%. Fuente: elaboración propia.

En la Tabla 19 se determina un grado de cumplimiento de las dimensiones mínimas de las pendientes verticales al 75.86%. Por lo que se deduce que 22 de las 29 dimensiones de pendiente vertical cumplen los estándares de la norma.

4.5.2. Resultados de Longitud de Curva Vertical

Para determinar los valores de la longitud de curva vertical, se procesa los planos de los perfiles longitudinales para que determine los valores existentes de la longitud de curva vertical, a las se les detecta el cumplimiento de la longitud mínimo de acuerdo a los estándares del Manual de Carreteras DG-2018.

Para determinar las longitudes mínimas de curva vertical, es necesario utilizar el ábaco de la Figura 29 para longitudes mínimas de curva vertical convexa, y el ábaco de la Figura 30 para determinar las longitudes mínimas de curva vertical cóncava.

Al emplear los ábacos de la Figura 29 y la Figura 30 es necesario contar con las pendientes del perfil longitudinal para determinar los valores mínimos de cada longitud de curva vertical.

En la Tabla 20 se calcula y se detecta el cumplimiento mínimo de las longitudes de las curvas verticales de la carretera HU-112 km 0 al km 4 + 525

Tabla 20

Cálculo de longitud de curva y detección de valores mínimos

CURVA VERTICAL	Tipo de curva	LCV	Pendiente	LCVmín	Análisis
PUNTO INICIAL			2.62		
CV1	Convexa	31.54	0.52	35	Incumple
CV2	Convexa	31.89	-1.61	35	Incumple
CV3	Concava	37.66	0.27	35	Cumple
CV4	Concava	49.04	2.73	45	Cumple
CV5	Convexa	12.94	1.86	35	Incumple
CV6	Concava	20.75	2.9	48	Incumple
CV7	Convexa	36.61	0.46	35	Cumple
CV8	Concava	26.38	2.22	39	Incumple
CV9	Convexa	23.93	1.02	35	Incumple
CV10	Convexa	21.98	0.08	35	Incumple
CV11	Concava	34.96	6.92	125	Incumple
CV12	Convexa	6.69	0.23	35	Incumple
CV13	Concava	25.59	1.93	35	Incumple
CV14	Convexa	36.40	-0.49	35	Cumple
CV15	Concava	65.23	6.03	115	Incumple
CV16	Convexa	139.95	-3.3	68	Cumple
CV17	Concava	12.55	0.79	35	Incumple
CV18	Convexa	12.05	3.2	67	Incumple
CV19	Concava	53.54	0.37	35	Cumple
CV20	Concava	39.93	3.03	65	Incumple
CV21	Convexa	39.50	0.4	35	Cumple
CV22	Concava	30.63	2.44	50	Incumple
CV23	Convexa	22.08	1.56	35	Incumple
CV24	Concava	36.03	3	63	Incumple
CV25	Convexa	15.56	1.96	35	Incumple
CV26	Concava	32.11	4.1	81	Incumple
CV27	Convexa	34.81	1.78	35	Incumple
CV28	Convexa	23.90	-3	58	Incumple

Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 21

Cuadro de análisis de longitudes de curvas verticales

Condicional	Longitudes de Curvas Verticales	%
Cumple	7	25.00%
Incumple	21	75.00%
Total	28	100.00%

Nota. Se detecta un grado de cumplimiento deficiente al 25.00%. Fuente: elaboración propia.

En la Tabla 21 se determina un grado de cumplimiento deficiente de las dimensiones mínimas de las longitudes de curvas verticales al 25.00%. Por lo que se deduce que 7 de las 28 dimensiones de pendiente vertical cumplen los estándares de la norma.

4.6. Resultado del Diseño Geométrico en Sección Transversal

Para analizar y evaluar los parámetros de diseño en sección transversal de la carretera HU-112 km 0 al km 4+525 ha sido fundamental la elaboración de los planos de secciones transversales, dichos planos nacen a partir del alineamiento que se crea en el programa Civil 3D.

4.6.1. Resultados de Calzada

Posterior a la elaboración del plano de secciones transversales, se procede a analizar los anchos de cada carril de la carretera HU-112 km 0 al km 4+525, de dónde se obtiene las medidas de cada carril tanto izquierdo y derecho de cada progresiva implementada en los planos de secciones transversales.

De acuerdo a la Figura 33, donde se consigna los valores mínimos para el ancho de calzada en función al tipo de carretera y a al tipo de superficie. Siendo los datos para la carretera HU-112 km 0 al km 4+525, en cuanto a clasificación de carretera de acuerdo

al IMDA, se ubica como carretera de segunda clase, con velocidad de diseño de 60 km/h, y la orografía predominante de la carretera es de tipo ondulado (tipo 2).

Tomándose en referencia los datos de la vía, las cuales son carretera de segunda clase, con velocidad de diseño de 60 km/h, y la orografía predominante de la carretera de tipo ondulado (tipo 2) se logra ubicar en la Figura 33, un ancho mínimo de calzada de 7.2 m para la carretera HU-112 km 0 al km 4+525.

En la tabla 22 se desarrolla un comparativo entre ancho de calzada determinada de los planos y el ancho mínimo de calzada de acuerdo al manual de carretera detectándose el cumplimiento o incumplimiento de las mismas.

Tabla 22

Cálculo de la calzada de la carretera HU-112 km 0 al km 4+525

N°	Progresiva	Carril Izq.	Carril Der.	Ancho calzada	Ancho Mín.	Análisis
1	4525	3.001	3.001	6.002	7.2	Incumple
2	4,459.90	3.001	3.801	6.802	7.2	Incumple
3	4,456.95	3.001	3.802	6.803	7.2	Incumple
4	4,454.01	3.001	3.801	6.802	7.2	Incumple
5	4,390.16	3.801	3.001	6.802	7.2	Incumple
6	4,383.72	3.803	3.002	6.805	7.2	Incumple
7	4,377.25	3.801	3.001	6.802	7.2	Incumple
8	4,332.87	3.001	3.802	6.803	7.2	Incumple
9	4,327.77	3.002	3.803	6.805	7.2	Incumple
10	4,322.64	3.001	3.802	6.803	7.2	Incumple
11	4,288.89	3.801	3.001	6.802	7.2	Incumple
12	4,282.95	3.803	3.002	6.805	7.2	Incumple
13	4,276.99	3.801	3.001	6.802	7.2	Incumple
14	4,251.38	3.001	3.801	6.802	7.2	Incumple
15	4,243.83	3.002	3.803	6.805	7.2	Incumple
16	4,236.24	3.001	3.801	6.802	7.2	Incumple
17	4,191.42	3.001	3.001	6.002	7.2	Incumple
18	4,148.37	3.802	3.002	6.804	7.2	Incumple
19	4,105.29	3.001	3.001	6.002	7.2	Incumple
20	4,054.88	3.001	3.801	6.802	7.2	Incumple
21	4,051.49	3.001	3.801	6.802	7.2	Incumple
22	4,048.11	3.000	3.801	6.801	7.2	Incumple
23	3,941.46	3.000	3.801	6.801	7.2	Incumple

24	3,938.75	3.001	3.801	6.802	7.2	Incumple
25	3,936.05	3.000	3.801	6.801	7.2	Incumple
26	3,805.49	3.801	3.000	6.801	7.2	Incumple
27	3,795.53	3.801	3.001	6.802	7.2	Incumple
28	3,785.55	3.801	3.000	6.801	7.2	Incumple
29	3,589.42	3.000	3.001	6.001	7.2	Incumple
30	3,559.87	3.002	3.803	6.805	7.2	Incumple
31	3,530.21	3.000	3.000	6.000	7.2	Incumple
32	3,520.78	3.001	3.000	6.001	7.2	Incumple
33	3,499.11	3.803	3.002	6.805	7.2	Incumple
34	3,477.44	3.001	3.000	6.001	7.2	Incumple
35	3,433.47	3.801	3.001	6.802	7.2	Incumple
36	3,412.45	3.802	3.001	6.803	7.2	Incumple
37	3,391.19	3.801	3.001	6.802	7.2	Incumple
38	3,346.95	3.161	3.000	6.161	7.2	Incumple
39	3,322.52	3.803	3.002	6.805	7.2	Incumple
40	3,298.04	3.161	3.000	6.161	7.2	Incumple
41	3,187.29	3.000	3.041	6.041	7.2	Incumple
42	3,160.42	3.002	3.802	6.804	7.2	Incumple
43	3,133.50	3.000	3.041	6.041	7.2	Incumple
44	3,018.22	3.401	3.000	6.401	7.2	Incumple
45	3,003.39	3.802	3.002	6.804	7.2	Incumple
46	2,988.56	3.401	3.000	6.401	7.2	Incumple
47	2,955.46	3.000	3.321	6.321	7.2	Incumple
48	2,936.11	3.002	3.803	6.805	7.2	Incumple
49	2,916.72	3.219	3.320	6.539	7.2	Incumple
50	2,914.18	3.320	3.219	6.539	7.2	Incumple
51	2,898.02	3.800	3.002	6.802	7.2	Incumple
52	2,881.86	3.210	3.000	6.210	7.2	Incumple
53	2,702.10	3.000	3.801	6.801	7.2	Incumple
54	2,674.37	3.001	3.801	6.802	7.2	Incumple
55	2,646.41	3.000	3.801	6.801	7.2	Incumple
56	2,580.00	3.000	3.801	6.801	7.2	Incumple
57	2,552.14	3.001	3.801	6.802	7.2	Incumple
58	2,523.91	3.001	3.801	6.802	7.2	Incumple
59	2,437.26	3.201	3.000	6.201	7.2	Incumple
60	2,416.48	3.803	3.002	6.805	7.2	Incumple
61	2,395.66	3.201	3.000	6.201	7.2	Incumple
62	2,360.28	3.801	3.001	6.802	7.2	Incumple
63	2,337.11	3.802	3.001	6.803	7.2	Incumple
64	2,313.61	3.781	3.001	6.782	7.2	Incumple
65	2,270.93	3.000	3.001	6.001	7.2	Incumple
66	2,242.37	3.002	3.803	6.805	7.2	Incumple
67	2,213.74	3.000	3.001	6.001	7.2	Incumple

68	2,188.48	3.001	3.801	6.802	7.2	Incumple
69	2,182.49	3.001	3.802	6.803	7.2	Incumple
70	2,176.49	3.001	3.801	6.802	7.2	Incumple
71	2,140.98	3.001	3.000	6.001	7.2	Incumple
72	2,110.58	3.803	3.002	6.805	7.2	Incumple
73	2,079.79	3.009	3.000	6.009	7.2	Incumple
74	2,073.99	3.000	3.000	6.000	7.2	Incumple
75	2,038.45	3.002	3.803	6.805	7.2	Incumple
76	2,001.41	3.000	3.001	6.001	7.2	Incumple
77	1,876.97	3.801	3.001	6.802	7.2	Incumple
78	1,859.34	3.802	3.001	6.803	7.2	Incumple
79	1,841.56	3.781	3.001	6.782	7.2	Incumple
80	1,789.99	3.601	3.001	6.602	7.2	Incumple
81	1,773.09	3.803	3.002	6.805	7.2	Incumple
82	1,756.00	3.601	3.001	6.602	7.2	Incumple
83	1,636.62	3.281	3.000	6.281	7.2	Incumple
84	1,614.07	3.803	3.002	6.805	7.2	Incumple
85	1,597.47	3.472	3.001	6.473	7.2	Incumple
86	1,591.28	3.280	3.000	6.280	7.2	Incumple
87	1,561.60	3.002	3.803	6.805	7.2	Incumple
88	1,545.73	3.026	3.320	6.346	7.2	Incumple
89	1,537.38	3.360	3.001	6.361	7.2	Incumple
90	1,522.05	3.803	3.002	6.805	7.2	Incumple
91	1,506.70	3.381	3.001	6.382	7.2	Incumple
92	1,472.65	3.381	3.001	6.382	7.2	Incumple
93	1,459.65	3.803	3.002	6.805	7.2	Incumple
94	1,446.65	3.360	3.001	6.361	7.2	Incumple
95	1,433.85	3.000	3.240	6.240	7.2	Incumple
96	1,413.92	3.002	3.803	6.805	7.2	Incumple
97	1,393.91	3.000	3.241	6.241	7.2	Incumple
98	1,372.93	3.000	3.241	6.241	7.2	Incumple
99	1,344.34	3.002	3.803	6.805	7.2	Incumple
100	1,314.54	3.000	3.241	6.241	7.2	Incumple
101	1,263.41	3.241	3.000	6.241	7.2	Incumple
102	1,244.75	3.803	3.002	6.805	7.2	Incumple
103	1,226.05	3.240	3.227	6.467	7.2	Incumple
104	1,225.73	3.227	3.240	6.467	7.2	Incumple
105	1,205.27	3.002	3.803	6.805	7.2	Incumple
106	1,184.72	3.144	3.240	6.384	7.2	Incumple
107	1,183.31	3.200	3.184	6.384	7.2	Incumple
108	1,151.82	3.803	3.002	6.805	7.2	Incumple
109	1,119.41	3.201	3.000	6.201	7.2	Incumple
110	1,072.79	3.000	3.081	6.081	7.2	Incumple
111	1,042.43	3.002	3.803	6.805	7.2	Incumple

112	1,011.51	3.000	3.081	6.081	7.2	Incumple
113	962.86	3.001	3.000	6.001	7.2	Incumple
114	927.77	3.803	3.002	6.805	7.2	Incumple
115	891.31	3.000	3.000	6.000	7.2	Incumple
116	872.15	3.000	3.201	6.201	7.2	Incumple
117	854.01	3.002	3.803	6.805	7.2	Incumple
118	835.86	3.000	3.201	6.201	7.2	Incumple
119	736.88	3.001	3.781	6.782	7.2	Incumple
120	727.89	3.001	3.802	6.803	7.2	Incumple
121	718.89	3.001	3.801	6.802	7.2	Incumple
122	593.36	3.161	3.000	6.161	7.2	Incumple
123	569.63	3.803	3.002	6.805	7.2	Incumple
124	545.84	3.161	3.000	6.161	7.2	Incumple
125	449.44	3.000	3.161	6.161	7.2	Incumple
126	426.42	3.002	3.803	6.805	7.2	Incumple
127	403.37	3.000	3.161	6.161	7.2	Incumple
128	382.31	3.161	3.000	6.161	7.2	Incumple
129	362.75	3.803	3.002	6.805	7.2	Incumple
130	343.19	3.161	3.000	6.161	7.2	Incumple
131	313.59	3.000	3.081	6.081	7.2	Incumple
132	288.99	3.002	3.803	6.805	7.2	Incumple
133	264.32	3.000	3.081	6.081	7.2	Incumple
134	234.19	3.801	3.001	6.802	7.2	Incumple
135	223.94	3.802	3.001	6.803	7.2	Incumple
136	213.66	3.801	3.001	6.802	7.2	Incumple
137	197.02	3.134	3.160	6.294	7.2	Incumple
138	176.23	3.002	3.803	6.805	7.2	Incumple
139	155.44	3.000	3.161	6.161	7.2	Incumple
140	141.00	2.250	2.250	4.500	7.2	Incumple
141	62.85	2.250	2.250	4.500	7.2	Incumple
142	39.45	2.252	3.052	5.304	7.2	Incumple
143	16.03	2.250	2.250	4.500	7.2	Incumple
144	0.00	2.250	2.250	4.500	7.2	Incumple

Nota. Fuente: elaboración propia.

Tabla 23

Cuadro de análisis de las dimensiones de la calzada

Condicional	Calzada	%
Cumple	0	0.00%
Incumple	144	100.00%
Total	144	100.00%

Nota. Se detecta un grado de cumplimiento deficiente al 0.00%. Fuente: elaboración propia.

En la Tabla 23 se determina un grado de cumplimiento en extremo deficiente de las dimensiones mínimas del ancho de las calzadas al 0.00%. Por lo que se deduce que todo el tramo de la carretera HU-112 km 0 al km 4 + 525 incumplen en su totalidad con los estándares de la norma.

4.6.2. Resultados de Berma

Durante el levantamiento topográfico, y al registro en la estación total de la descripción de los puntos, se detectó la inexistencia de las bermas, aunándose a ello, en la elaboración de los planos de secciones transversales no se visualiza las bermas tanto al margen izquierdo como al margen derecho de la calzada.

Por lo tanto, debido a la inexistencia de las bermas, se incumple este parámetro en todo el tramo de la carretera HU-112 km 0 al km 4 + 525.

Tabla 24

Cuadro resumen de análisis de las dimensiones de las bermas

Condicional	Berma Izq.	Berma Der.	%
Cumple	0	0	0.00%
Incumple	100.00%	100.00%	100.00%
Total	100.00%	100.00%	100.00%

Nota. Se resume el grado de cumplimiento deficiente al 0.00%. Fuente: elaboración propia.

En la Tabla 24 se determina un grado de cumplimiento en extremo deficiente de las dimensiones mínimas del ancho de las bermas tanto en margen izquierdo como derecho al 0.00%. Por lo que se deduce que todo el tramo de la carretera HU-112 km 0 al km 4 + 525 incumplen en su totalidad con los estándares de la norma.

Figura 45

Margen derecho de la calzada progresiva 3+540



Nota. Se evidencia la inexistencia de la berma tanto en el margen derecho como en el margen izquierdo. De fecha 23/05/2023.

Figura 46

Margen Izquierda de la carretera HU-112 progresiva 2+535



Nota. Se evidencia la inexistencia de la berma tanto en el margen izquierdo como en el margen derecho. De fecha 23/05/2023.

4.6.3. Resultados de Bombeo

En la Figura 35 se estipula la pendiente de bombeo para el tipo de material de la carpeta de rodadura y al rango de precipitaciones promedio al año.

El material de la carpeta de rodadura de

Teniéndose en cuenta los datos de la precipitación pluvial para la estación de control más cercana a Molino, la estación de control Chaglla, ubicada a 3036 msnm, el promedio de la precipitación para el 2019 es de 80 mm/año.

Por lo tanto, la pendiente de bombeo para la carretera HU-112 km 0 al km 525 en función al tipo de carpeta de rodadura y la precipitación promedio que no supera los 500 mm/año que establece la norma, será de 2.0 %.

En la Tabla 25 se efectúa el cálculo del bombeo y el análisis comparativo con el bombeo mínimo según el Manual de Carreteras DG-2018.

Tabla 25*Cálculo del bombeo de la carretera HU-112 km 0 al km 4 + 525*

N°	Progresiva	Tipo Bombeo	Bombeo %	Bombeo Mín.	Análisis
1	4525	1	2.00	2.00	Cumple
2	4,459.90	2	2.00	2.00	Cumple
3	4,456.95	2	2.78	2.00	Cumple
4	4,454.01	2	2.26	2.00	Cumple
5	4,390.16	2	2.66	2.00	Cumple
6	4,383.72	2	3.80	2.00	Cumple
7	4,377.25	2	2.66	2.00	Cumple
8	4,332.87	2	2.81	2.00	Cumple
9	4,327.77	2	3.80	2.00	Cumple
10	4,322.64	2	2.81	2.00	Cumple
11	4,288.89	2	2.67	2.00	Cumple
12	4,282.95	2	3.80	2.00	Cumple
13	4,276.99	2	2.67	2.00	Cumple
14	4,251.38	2	2.66	2.00	Cumple
15	4,243.83	2	3.80	2.00	Cumple
16	4,236.24	2	2.66	2.00	Cumple
17	4,191.42	1	2.00	2.00	Cumple
18	4,148.37	2	3.34	2.00	Cumple
19	4,105.29	1	2.00	2.00	Cumple
20	4,054.88	2	2.00	2.00	Cumple
21	4,051.49	2	2.60	2.00	Cumple
22	4,048.11	1	1.92	2.00	Incumple
23	3,941.46	1	1.92	2.00	Incumple
24	3,938.75	2	2.60	2.00	Cumple
25	3,936.05	1	1.92	2.00	Incumple
26	3,805.49	2	1.84	2.00	Incumple
27	3,795.53	2	2.52	2.00	Cumple
28	3,785.55	2	1.84	2.00	Incumple
29	3,589.42	1	2.00	2.00	Cumple
30	3,559.87	2	3.99	2.00	Cumple
31	3,530.21	1	1.80	2.00	Incumple
32	3,520.78	1	1.94	2.00	Incumple
33	3,499.11	2	3.98	2.00	Cumple
34	3,477.44	1	0.68	2.00	Incumple
35	3,433.47	2	2.03	2.00	Cumple
36	3,412.45	2	3.00	2.00	Cumple
37	3,391.19	2	2.03	2.00	Cumple
38	3,346.95	1	1.47	2.00	Incumple
39	3,322.52	2	3.66	2.00	Cumple

40	3,298.04	1	1.71	2.00	Incumple
41	3,187.29	1	1.96	2.00	Incumple
42	3,160.42	2	3.59	2.00	Cumple
43	3,133.50	1	2.00	2.00	Cumple
44	3,018.22	1	1.72	2.00	Incumple
45	3,003.39	2	3.40	2.00	Cumple
46	2,988.56	1	1.72	2.00	Incumple
47	2,955.46	1	1.77	2.00	Incumple
48	2,936.11	2	3.79	2.00	Cumple
49	2,916.72	2	1.52	2.00	Incumple
50	2,914.18	2	1.04	2.00	Incumple
51	2,898.02	2	2.53	2.00	Cumple
52	2,881.86	2	1.77	2.00	Incumple
53	2,702.10	1	1.91	2.00	Incumple
54	2,674.37	2	2.60	2.00	Cumple
55	2,646.41	1	1.84	2.00	Incumple
56	2,580.00	1	1.92	2.00	Incumple
57	2,552.14	2	2.80	2.00	Cumple
58	2,523.91	1	1.91	2.00	Incumple
59	2,437.26	2	1.66	2.00	Incumple
60	2,416.48	2	3.92	2.00	Cumple
61	2,395.66	1	1.66	2.00	Incumple
62	2,360.28	2	2.03	2.00	Cumple
63	2,337.11	2	3.00	2.00	Cumple
64	2,313.61	2	1.94	2.00	Incumple
65	2,270.93	2	2.00	2.00	Cumple
66	2,242.37	2	3.97	2.00	Cumple
67	2,213.74	1	2.00	2.00	Cumple
68	2,188.48	2	2.10	2.00	Cumple
69	2,182.49	2	3.00	2.00	Cumple
70	2,176.49	2	2.10	2.00	Cumple
71	2,140.98	1	1.10	2.00	Incumple
72	2,110.58	2	4.00	2.00	Cumple
73	2,079.79	1	0.59	2.00	Incumple
74	2,073.99	1	0.55	2.00	Incumple
75	2,038.45	2	4.00	2.00	Cumple
76	2,001.41	1	1.10	2.00	Incumple
77	1,876.97	2	2.03	2.00	Cumple
78	1,859.34	2	3.00	2.00	Cumple
79	1,841.56	2	1.94	2.00	Incumple
80	1,789.99	2	2.80	2.00	Cumple
81	1,773.09	2	3.80	2.00	Cumple
82	1,756.00	2	2.80	2.00	Cumple
83	1,636.62	1	1.91	2.00	Incumple

84	1,614.07	2	4.00	2.00	Cumple
85	1,597.47	2	2.42	2.00	Cumple
86	1,591.28	1	1.30	2.00	Incumple
87	1,561.60	2	3.80	2.00	Cumple
88	1,545.73	2	0.56	2.00	Incumple
89	1,537.38	2	1.90	2.00	Incumple
90	1,522.05	2	4.00	2.00	Cumple
91	1,506.70	2	2.25	2.00	Cumple
92	1,472.65	2	2.25	2.00	Cumple
93	1,459.65	2	4.00	2.00	Cumple
94	1,446.65	2	1.48	2.00	Incumple
95	1,433.85	1	0.92	2.00	Incumple
96	1,413.92	2	3.92	2.00	Cumple
97	1,393.91	1	1.78	2.00	Incumple
98	1,372.93	1	1.78	2.00	Incumple
99	1,344.34	2	4.00	2.00	Cumple
100	1,314.54	1	1.78	2.00	Incumple
101	1,263.41	1	1.78	2.00	Incumple
102	1,244.75	2	4.00	2.00	Cumple
103	1,226.05	2	1.27	2.00	Incumple
104	1,225.73	1	1.33	2.00	Incumple
105	1,205.27	2	3.94	2.00	Cumple
106	1,184.72	1	1.33	2.00	Incumple
107	1,183.31	1	1.06	2.00	Incumple
108	1,151.82	2	4.00	2.00	Cumple
109	1,119.41	1	1.66	2.00	Incumple
110	1,072.79	1	1.31	2.00	Incumple
111	1,042.43	2	4.00	2.00	Cumple
112	1,011.51	2	2.03	2.00	Cumple
113	962.86	1	2.08	2.00	Cumple
114	927.77	2	4.00	2.00	Cumple
115	891.31	1	1.74	2.00	Incumple
116	872.15	2	1.66	2.00	Incumple
117	854.01	2	4.00	2.00	Cumple
118	835.86	2	2.14	2.00	Cumple
119	736.88	2	2.00	2.00	Cumple
120	727.89	2	3.00	2.00	Cumple
121	718.89	2	2.10	2.00	Cumple
122	593.36	2	2.00	2.00	Cumple
123	569.63	2	3.80	2.00	Cumple
124	545.84	1	2.00	2.00	Cumple
125	449.44	1	2.00	2.00	Cumple
126	426.42	2	3.80	2.00	Cumple
127	403.37	1	2.00	2.00	Cumple

128	382.31	1	2.00	2.00	Cumple
129	362.75	2	3.80	2.00	Cumple
130	343.19	1	2.00	2.00	Cumple
131	313.59	1	2.03	2.00	Cumple
132	288.99	2	3.80	2.00	Cumple
133	264.32	1	2.03	2.00	Cumple
134	234.19	2	2.10	2.00	Cumple
135	223.94	2	3.00	2.00	Cumple
136	213.66	2	2.10	2.00	Cumple
137	197.02	1	1.23	2.00	Incumple
138	176.23	2	3.80	2.00	Cumple
139	155.44	1	2.00	2.00	Cumple
140	141.00	1	1.53	2.00	Incumple
141	62.85	1	1.53	2.00	Incumple
142	39.45	2	4.00	2.00	Cumple
143	16.03	2	2.15	2.00	Cumple
144	0.00	2	2.00	2.00	Cumple

Nota. Fuente: elaboración propia.

Tabla 26

Cuadro resumen del análisis de bombeo

Condicional	Bombeo	%
Cumple	94	65.28%
Incumple	50	34.72%
Total	144	100.00%

Nota. Se resume el grado de cumplimiento al 65.28%. Fuente: elaboración propia.

En la Tabla 26 se determina el grado de cumplimiento de las dimensiones mínimas de la pendiente de bombeo al 65.28%. Por lo que se deduce que solamente 65.28% de todo el tramo de la carretera HU-112 km 0 al km 4 + 525 cumple con los estándares de la norma en lo referente a pendientes de bombeo.

4.6.4. Resultados de Cunetas

Se evalúa los planos de secciones transversales de la carretera HU-112 km 0 al km de dónde se obtuvo el ancho y profundidad de las cunetas existentes solo en el margen izquierdo de la vía.

Tomándose en cuenta las cunetas halladas en el tramo, las cuales era cunetas no revestidas, se estipula los parámetros mínimos de 0.30 m de profundidad y 0.75 m de ancho, según el MDCNPBVT.

En la Tabla 27 se realiza el comparativo de las dimensiones de las cunetas de la carretera HU-112 km 0 al km 4 + 525 con las dimensiones mínimas establecidas según norma.

Tabla 27

Proceso de cálculo y análisis de las dimensiones de la cuneta de la carretera HU-112 km 0 al km 4+525

N°	PROGRESIVA	Ancho de Cunetas	profundidad	Análisis
1	4525	55.20	42.00	Incumple
2	4,459.90	85.70	39.10	Cumple
3	4,456.95	84.90	38.60	Cumple
4	4,454.01	85.70	38.10	Cumple
5	4,390.16	79.90	35.10	Cumple
6	4,383.72	78.40	32.40	Cumple
7	4,377.25	83.00	32.40	Cumple
8	4,332.87	57.50	28.20	Incumple
9	4,327.77	45.90	21.20	Incumple
10	4,322.64	46.30	23.20	Incumple
11	4,288.89	92.20	43.10	Cumple
12	4,282.95	91.70	33.50	Cumple
13	4,276.99	90.40	43.80	Cumple
14	4,251.38	85.30	43.20	Cumple
15	4,243.83	84.20	41.30	Cumple
16	4,236.24	85.30	39.20	Cumple
17	4,191.42	92.40	40.30	Cumple
18	4,148.37	92.40	32.80	Cumple
19	4,105.29	92.40	31.40	Cumple
20	4,054.88	68.70	28.20	Incumple
21	4,051.49	68.70	28.20	Incumple
22	4,048.11	81.90	39.20	Cumple
23	3,941.46	81.90	33.70	Cumple
24	3,938.75	68.20	29.50	Incumple
25	3,936.05	62.80	29.50	Incumple
26	3,805.49	92.40	34.60	Cumple
27	3,795.53	92.40	36.20	Cumple

28	3,785.55	92.40	32.30	Cumple
29	3,589.42	88.00	36.40	Cumple
30	3,559.87	84.00	38.00	Cumple
31	3,530.21	88.00	34.80	Cumple
32	3,520.78	90.10	33.00	Cumple
33	3,499.11	92.40	30.20	Cumple
34	3,477.44	92.40	35.40	Cumple
35	3,433.47	92.40	41.70	Cumple
36	3,412.45	92.40	38.70	Cumple
37	3,391.19	92.40	42.20	Cumple
38	3,346.95	92.40	35.20	Cumple
39	3,322.52	92.40	36.90	Cumple
40	3,298.04	92.40	33.20	Cumple
41	3,187.29	88.00	42.40	Cumple
42	3,160.42	79.20	37.90	Cumple
43	3,133.50	88.00	44.00	Cumple
44	3,018.22	89.30	30.20	Cumple
45	3,003.39	92.40	41.50	Cumple
46	2,988.56	92.20	31.40	Cumple
47	2,955.46	76.70	30.90	Cumple
48	2,936.11	78.00	43.80	Cumple
49	2,916.72	86.40	44.20	Cumple
50	2,914.18	86.90	44.80	Cumple
51	2,898.02	90.20	42.90	Cumple
52	2,881.86	92.30	37.50	Cumple
53	2,702.10	86.30	38.70	Cumple
54	2,674.37	85.30	36.60	Cumple
55	2,646.41	86.30	30.10	Cumple
56	2,580.00	0.00	0.00	Incumple
57	2,552.14	0.00	0.00	Incumple
58	2,523.91	40.00	15.00	Incumple
59	2,437.26	92.40	37.40	Cumple
60	2,416.48	92.40	30.20	Cumple
61	2,395.66	92.40	31.80	Cumple
62	2,360.28	92.40	44.20	Cumple
63	2,337.11	89.60	36.00	Cumple
64	2,313.61	92.40	40.90	Cumple
65	2,270.93	88.00	41.30	Cumple
66	2,242.37	84.00	35.00	Cumple
67	2,213.74	88.00	30.50	Cumple
68	2,188.48	85.80	39.60	Cumple
69	2,182.49	51.40	24.30	Incumple
70	2,176.49	85.80	34.30	Cumple
71	2,140.98	92.30	39.00	Cumple

72	2,110.58	92.40	35.50	Cumple
73	2,079.79	89.00	31.10	Cumple
74	2,073.99	87.80	39.00	Cumple
75	2,038.45	84.00	31.70	Cumple
76	2,001.41	87.80	39.00	Cumple
77	1,876.97	92.40	41.30	Cumple
78	1,859.34	92.40	41.90	Cumple
79	1,841.56	90.70	41.40	Cumple
80	1,789.99	92.40	33.70	Cumple
81	1,773.09	92.40	39.70	Cumple
82	1,756.00	92.40	43.00	Cumple
83	1,636.62	92.40	39.90	Cumple
84	1,614.07	92.40	40.90	Cumple
85	1,597.47	90.20	44.00	Cumple
86	1,591.28	89.20	31.60	Cumple
87	1,561.60	84.20	31.20	Cumple
88	1,545.73	86.40	37.40	Cumple
89	1,537.38	88.10	33.30	Cumple
90	1,522.05	91.10	42.60	Cumple
91	1,506.70	92.40	34.50	Cumple
92	1,472.65	92.40	35.40	Cumple
93	1,459.65	91.60	32.10	Cumple
94	1,446.65	89.20	42.10	Cumple
95	1,433.85	86.60	38.80	Cumple
96	1,413.92	84.00	34.80	Cumple
97	1,393.91	86.60	33.70	Cumple
98	1,372.93	90.90	33.00	Cumple
99	1,344.34	84.00	42.50	Cumple
100	1,314.54	86.60	30.00	Cumple
101	1,263.41	92.40	41.10	Cumple
102	1,244.75	90.50	31.50	Cumple
103	1,226.05	86.70	43.70	Cumple
104	1,225.73	86.60	44.50	Cumple
105	1,205.27	46.70	25.20	Incumple
106	1,184.72	48.50	25.30	Incumple
107	1,183.31	49.30	25.30	Incumple
108	1,151.82	50.40	25.30	Incumple
109	1,119.41	51.50	25.40	Incumple
110	1,072.79	87.40	30.90	Cumple
111	1,042.43	0.00	0.00	Incumple
112	1,011.51	87.40	36.50	Cumple
113	962.86	92.40	40.20	Cumple
114	927.77	92.40	31.40	Cumple
115	891.31	90.70	32.80	Cumple

116	872.15	76.60	42.00	Cumple
117	854.01	48.00	21.70	Incumple
118	835.86	80.10	37.80	Cumple
119	736.88	85.90	38.00	Cumple
120	727.89	84.90	42.70	Cumple
121	718.89	85.80	39.10	Cumple
122	593.36	92.40	36.80	Cumple
123	569.63	92.40	42.10	Cumple
124	545.84	92.40	43.10	Cumple
125	449.44	87.20	30.60	Cumple
126	426.42	84.20	37.70	Cumple
127	403.37	87.20	31.90	Cumple
128	382.31	91.40	44.40	Cumple
129	362.75	92.40	34.10	Cumple
130	343.19	92.30	38.10	Cumple
131	313.59	87.40	34.80	Cumple
132	288.99	84.00	40.70	Cumple
133	264.32	87.40	44.80	Cumple
134	234.19	92.40	39.50	Cumple
135	223.94	92.10	44.20	Cumple
136	213.66	90.60	30.90	Cumple
137	197.02	87.20	31.30	Cumple
138	176.23	84.20	38.10	Cumple
139	155.44	87.20	42.30	Cumple
140	141.00	90.20	37.00	Cumple
141	62.85	87.80	34.90	Cumple
142	39.45	64.80	32.00	Incumple
143	16.03	87.80	31.40	Cumple
144	0.00	91.10	33.10	Cumple

Nota. Fuente: elaboración propia.

Tabla 28

Cuadro resumen de análisis de las dimensiones de las cunetas

Condicional	Secciones de Cuneta	%
Cumple	124	86.11%
Incumple	20	13.89%
Total	144	100.00%

Nota. Se resume el grado de cumplimiento al 86.11%. Fuente: elaboración propia.

En la Tabla 26 se determina el grado de cumplimiento de las dimensiones mínimas de las cunetas de la vía, evaluándose tanto la profundidad como el ancho, llegándose a obtener un grado de cumplimiento al 86.11%. Por lo que se deduce que

86.11% de todo el tramo de la carretera HU-112 km 0 al km 4 + 525 cumple con los estándares de la norma.

4.7. Resultado de la Consistencia del Diseño Geométrico

Posterior al desarrollo, cálculo y análisis del diseño geométrico en planta, perfil longitudinal y sección transversal, es menester, determinar la consistencia del diseño geométrico, de acuerdo al Manual de Carreteras DG-2018.

Para determinar la consistencia del diseño, es fundamental obtener el cálculo de las velocidades de operación mediante las ecuaciones de Fitzpatrick adaptado en la Figura 36.

Las cuatro ecuaciones de Fitzpatrick presentan sus propias condiciones de alineamiento, las cuales son: ecuación 1 para tramos con pendientes entre $-9 < P\% < -4$, ecuación 2 para tramos con pendientes entre $-4 < P\% < 0$, ecuación 3 para tramos con pendientes entre $0 < P\% < 4$, ecuación 4 para tramos con pendientes entre $4 < P\% < 9$.

Para determinar el tipo de ecuación de Fitzpatrick a utilizar, es necesario e indispensable, conocer la pendiente de los tramos de perfil longitudinal dónde se sitúa la progresiva del punto de intersección (PI) de cada curva horizontal. De la cual se determina el tipo de ecuación de Fitzpatrick a emplear.

Habiéndose determinado el tipo de ecuación de se procede a calcular la velocidad de operación $V_{(85)}$ y posterior a ello se determina la variación de la de la velocidad de operación $\Delta V_{(85)}$ en tramos de curva continuos, la cual, nos servirá para determinar el grado de consistencia del diseño de la vía.

Nos encontramos en una disyuntiva a analizar, dónde para la clasificación por demanda de las vías, la carretera HU-112 km 0 al km 4 + 525 se clasifica como carretera de segunda clase, en la tabla 6 de la presente investigación, se determina un radio mínimo de 125 metros para la carretera HU-112 tramo Molino – Huarichaca con V_d igual a 60 km/h, orografía predominante ondulada de tipo 2, y zona rural con terreno de tipo I o

II, y carretera de segunda clase. Por tanto, en la misma Tabla 6, se detecta que solo 12 de los 47 radios de curvatura determinados en la vía en el tramo en estudio cumplen el requisito del Manual de Carreteras de ser mayor que un radio mínimo de 125 metros, por lo que, se realizará 2 análisis de consistencia:

El primer análisis se realizará calculando la velocidad de operación con los datos de las radios de curvatura reales determinadas en la tabla 6, de donde posteriormente se determinará la variación de la velocidad de operación $\Delta V_{(85)}$ en tramos continuos.

El segundo análisis se realizará reemplazando a los 35 radios restantes con un valor mínimo de radio igual a 125 metros como lo sugiere la norma, de donde posteriormente se determinará la variación de la velocidad de operación $\Delta V_{(85)}$ en tramos continuos.

En la tabla 29 se calcula la velocidad de operación $V_{(85)}$ empleando las medidas reales de los 47 radios de curvatura horizontal y la variación de la velocidad de operación $\Delta V_{(85)}$ en tramos continuos mediante las ecuaciones 1, 2, 3 y 4 de Fitzpatrick.

Tabla 29

Cálculo de $V_{(85)}$ y la variación $\Delta V_{(85)}$ en tramos continuos con R reales

N° curva	Prog. Inicial	Prog. PI	Prog. Final	R (m)	Pendiente	Ecuación N°	$V_{(85)}$	$\Delta V_{(85)}$
PI-1	27.59	39.45	218.36	45.00	0.52	3.00	25.39	34.61
PI-2	27.59	176.23	218.36	80.00	0.52	3.00	60.14	34.75
PI-3	218.36	223.94	406.40	150.00	-1.61	2.00	81.25	21.11
PI-4	218.36	288.99	406.40	50.00	-1.61	2.00	31.78	49.47
PI-5	218.36	362.75	406.40	80.00	-1.61	2.00	59.61	27.82
PI-6	406.40	426.42	495.89	80.00	0.27	3.00	60.14	0.53
PI-7	495.89	569.63	900.36	80.00	2.73	3.00	60.14	0.00
PI-8	495.89	727.89	900.36	160.00	2.73	3.00	82.48	22.34
PI-9	495.89	854.01	900.36	60.00	2.73	3.00	45.24	37.23
PI-10	900.36	927.77	1276.01	45.00	1.86	3.00	25.39	19.86
PI-11	900.36	1042.43	1276.01	50.00	1.86	3.00	33.33	7.94
PI-12	900.36	1151.82	1276.01	60.00	1.86	3.00	45.24	11.92
PI-13	900.36	1205.27	1276.01	45.00	1.86	3.00	25.39	19.86
PI-14	900.36	1244.75	1276.01	45.00	1.86	3.00	25.39	0.00

PI-15	1276.01	1344.34	1370.46	45.00	2.90	3.00	25.39	0.00
PI-16	1370.46	1413.92	1525.03	45.00	0.46	3.00	25.39	0.00
PI-17	1370.46	1459.65	1525.03	60.00	0.46	3.00	45.24	19.86
PI-18	1370.46	1522.05	1525.03	60.00	0.46	3.00	45.24	0.00
PI-19	1525.03	1561.60	1647.54	80.00	2.22	3.00	60.14	14.89
PI-20	1525.03	1614.07	1647.54	50.00	2.22	3.00	33.33	26.81
PI-21	1735.28	1773.09	1822.77	80.00	0.08	3.00	60.14	26.81
PI-22	1849.40	1859.34	1884.51	160.00	0.23	3.00	82.48	22.34
PI-23	1981.25	2038.45	2042.28	45.00	-0.49	2.00	23.54	58.94
PI-24	2042.28	2110.58	2148.24	45.00	6.03	4.00	35.45	11.91
PI-25	2148.24	2182.49	2263.18	160.00	-3.30	2.00	82.79	47.34
PI-26	2148.24	2242.37	2263.18	60.00	-3.30	2.00	44.15	38.64
PI-27	2263.18	2337.11	2339.68	160.00	0.79	3.00	82.48	38.33
PI-28	2339.68	2416.48	2508.32	60.00	3.20	3.00	45.24	37.23
PI-29	2508.32	2552.14	2717.01	200.00	0.37	3.00	86.95	41.70
PI-30	2508.32	2674.37	2717.01	250.00	0.37	3.00	90.52	3.57
PI-31	2717.01	2898.02	2934.71	80.00	3.03	3.00	60.14	30.38
PI-32	2934.71	2936.11	3231.33	80.00	0.40	3.00	60.14	0.00
PI-33	2934.71	3003.39	3231.33	100.00	0.40	3.00	69.07	8.94
PI-34	2934.71	3160.42	3231.33	85.00	0.40	3.00	62.77	6.31
PI-35	3231.33	3322.52	3568.16	80.00	2.44	3.00	60.14	2.63
PI-36	3231.33	3412.45	3568.16	160.00	2.44	3.00	82.48	22.34
PI-37	3231.33	3499.11	3568.16	60.00	2.44	3.00	45.24	37.23
PI-38	3231.33	3559.87	3568.16	60.00	2.44	3.00	45.24	0.00
PI-39	3782.78	3795.53	4164.71	250.00	3.00	3.00	90.52	45.28
PI-40	3782.78	3938.75	4164.71	250.00	3.00	3.00	90.52	0.00
PI-41	3782.78	4051.49	4164.71	250.00	3.00	3.00	90.52	0.00
PI-42	3782.78	4148.37	4164.71	100.00	3.00	3.00	69.07	21.45
PI-43	4164.71	4243.83	4293.74	80.00	1.96	3.00	60.14	8.94
PI-44	4164.71	4282.95	4293.74	80.00	1.96	3.00	60.14	0.00
PI-45	4293.74	4327.77	4345.80	80.00	4.10	4.00	62.21	2.07
PI-46	4345.80	4383.72	4510.46	80.00	1.78	3.00	60.14	2.07
PI-47	4345.80	4456.95	4510.46	160.00	1.78	3.00	82.48	22.34

Nota. Se evidencia en gran medida cambios bruscos de la velocidad para tramos

continuos, detectando variaciones de hasta 58.94. Fuente: elaboración propia.

Con el resultado de la variación de la velocidad de operación $\Delta V_{(85)}$ se procede a evaluar de acuerdo a los criterios II de Lamm de la Tabla 30.

Es menester conocer los 3 grados de consistencia a detectar de acuerdo a los criterios II de Lamm detalladas a continuación: grado de consistencia buena cuando la

$\Delta V_{(85)} \leq 10$, grado de consistencia aceptable cuando la $\Delta V_{(85)}$ está entre $10 < \Delta V_{(85)} \leq 20$, y grado de consistencia pobre cuando la $\Delta V_{(85)} > 20$.

En la tabla 30 se determina el grado de consistencia del diseño de la carretera HU-112 km 0 al km 4 + 525.

Tabla 30

Evaluación del grado de consistencia de acuerdo a criterios II de Lamm

N° curva	R (m)	P%	V(85)	$\Delta V_{(85)}$	$\Delta V_{(85)} \leq 10$	$10 < \Delta V_{(85)} \leq 20$	$\Delta V_{(85)} > 20$	Grado de Consistencia	Solución
PI-1	45.00	0.52	25.39	34.61			Pobre	Pobre	Rediseñar
PI-2	80.00	0.52	60.14	34.75			Pobre	Pobre	Rediseñar
PI-3	150.00	-1.61	81.25	21.11			Pobre	Pobre	Rediseñar
PI-4	50.00	-1.61	31.78	49.47			Pobre	Pobre	Rediseñar
PI-5	80.00	-1.61	59.61	27.82			Pobre	Pobre	Rediseñar
PI-6	80.00	0.27	60.14	0.53	Buena			Buena	
PI-7	80.00	2.73	60.14	0.00	Buena			Buena	
PI-8	160.00	2.73	82.48	22.34			Pobre	Pobre	Rediseñar
PI-9	60.00	2.73	45.24	37.23			Pobre	Pobre	Rediseñar
PI-10	45.00	1.86	25.39	19.86		Aceptable		Aceptable	Señalizar
PI-11	50.00	1.86	33.33	7.94	Buena			Buena	
PI-12	60.00	1.86	45.24	11.92		Aceptable		Aceptable	Señalizar
PI-13	45.00	1.86	25.39	19.86		Aceptable		Aceptable	Señalizar
PI-14	45.00	1.86	25.39	0.00	Buena			Buena	
PI-15	45.00	2.90	25.39	0.00	Buena			Buena	
PI-16	45.00	0.46	25.39	0.00	Buena			Buena	
PI-17	60.00	0.46	45.24	19.86		Aceptable		Aceptable	Señalizar
PI-18	60.00	0.46	45.24	0.00	Buena			Buena	
PI-19	80.00	2.22	60.14	14.89		Aceptable		Aceptable	Señalizar
PI-20	50.00	2.22	33.33	26.81			Pobre	Pobre	Rediseñar
PI-21	80.00	0.08	60.14	26.81			Pobre	Pobre	Rediseñar
PI-22	160.00	0.23	82.48	22.34			Pobre	Pobre	Rediseñar
PI-23	45.00	-0.49	23.54	58.94			Pobre	Pobre	Rediseñar
PI-24	45.00	6.03	35.45	11.91		Aceptable		Aceptable	Señalizar
PI-25	160.00	-3.30	82.79	47.34			Pobre	Pobre	Rediseñar
PI-26	60.00	-3.30	44.15	38.64			Pobre	Pobre	Rediseñar
PI-27	160.00	0.79	82.48	38.33			Pobre	Pobre	Rediseñar
PI-28	60.00	3.20	45.24	37.23			Pobre	Pobre	Rediseñar
PI-29	200.00	0.37	86.95	41.70			Pobre	Pobre	Rediseñar
PI-30	250.00	0.37	90.52	3.57	Buena			Buena	
PI-31	80.00	3.03	60.14	30.38			Pobre	Pobre	Rediseñar
PI-32	80.00	0.40	60.14	0.00	Buena			Buena	

PI-33	100.00	0.40	69.07	8.94	Buena		Buena	
PI-34	85.00	0.40	62.77	6.31	Buena		Buena	
PI-35	80.00	2.44	60.14	2.63	Buena		Buena	
PI-36	160.00	2.44	82.48	22.34		Pobre	Pobre	Rediseñar
PI-37	60.00	2.44	45.24	37.23		Pobre	Pobre	Rediseñar
PI-38	60.00	2.44	45.24	0.00	Buena		Buena	
PI-39	250.00	3.00	90.52	45.28		Pobre	Pobre	Rediseñar
PI-40	250.00	3.00	90.52	0.00	Buena		Buena	
PI-41	250.00	3.00	90.52	0.00	Buena		Buena	
PI-42	100.00	3.00	69.07	21.45		Pobre	Pobre	Rediseñar
PI-43	80.00	1.96	60.14	8.94	Buena		Buena	
PI-44	80.00	1.96	60.14	0.00	Buena		Buena	
PI-45	80.00	4.10	62.21	2.07	Buena		Buena	
PI-46	80.00	1.78	60.14	2.07	Buena		Buena	
PI-47	160.00	1.78	82.48	22.34		Pobre	Pobre	Rediseñar

Nota. Se evidencia en mayor porcentaje el grado de consistencia POBRE. Fuente:

elaboración propia.

Tabla 31

Cuadro resumen del grado de consistencia de la vía

Condicional	Grado de Consistencia	%
Buena	19	40.43%
Aceptable	6	12.77%
Pobre	22	46.81%
Total	47	100.00%

Nota. Se detecta un grado de consistencia buena al 40.43%, grado de consistencia aceptable al 12.77% y grado de consistencia pobre al 46.81%. Fuente: elaboración propia.

En la Tabla 31 se resume la consistencia del diseño de acuerdo al criterio II de Lamm en sus 3 grados, bueno, aceptable y pobre, de 40.43%, 12.77% y 46.81% respectivamente. Por lo que se deduce que de todo el tramo de la carretera HU-112 km 0 al km 4 + 525 el grado bueno de la consistencia del diseño geométrico solamente se refleja en un 40.43% de todo el tramo. La solución que propone en los criterios II de Lamm, para grados de consistencia pobre es el de rediseñar la vía en todo caso, mejorar el trazo de la vía, por su alto índice de cambios bruscos de velocidad de operación $\Delta V_{(85)}$.

La solución inmediata que propone en los criterios II de Lamm para grados de consistencia ACEPTABLE es la implementación de señalización para prevenir el cambio brusco de velocidades de operación $\Delta V_{(85)}$ que fluctúan entre $10 < \Delta V_{(85)} \leq 20$.

En la tabla 32 se calcula la velocidad de operación $V_{(85)}$ y la variación de la velocidad de operación $\Delta V_{(85)}$ en tramos continuos mediante las ecuaciones 1, 2, 3 y 4 de Fitzpatrick, empleando las medidas de los 47 radios de curvatura horizontal, dónde para dar cumplimiento al manual de carreteras se propone la dimensión de la radio igual a 125 m a todos los radios que son menores a 125 metros, para dar cumplimiento a las carreteras de segunda clase. Dicho análisis solo se realiza con el único fin de demostrar que si los 47 radios de la carretera HU-112 km 0 al km 4 + 525 tienen valores de radios que cumplen la normativa de carreteras de segunda clase mejorará en gran medida el grado de consistencia de la carretera.

Tabla 32

Cálculo de $V_{(85)}$ y la variación $\Delta V_{(85)}$ en tramos continuos con R propuesto para carretera de segunda clase.

N° curva	Prog. Inicial	Prog. PI	Prog. Final	R real (m)	R (m) propuesto para carretera de 2da clase	P%	Ec. N°	V(85)	$\Delta V_{(85)}$
PI-1	27.59	39.45	218.36	45.00	125.00	0.52	3.00	76.22	16.22
PI-2	27.59	176.23	218.36	80.00	125.00	0.52	3.00	76.22	0.00
PI-3	218.36	223.94	406.40	150.00	150.00	-1.61	2.00	81.25	5.02
PI-4	218.36	288.99	406.40	50.00	125.00	-1.61	2.00	76.30	4.95
PI-5	218.36	362.75	406.40	80.00	125.00	-1.61	2.00	76.30	0.00
PI-6	406.40	426.42	495.89	80.00	125.00	0.27	3.00	76.22	0.08
PI-7	495.89	569.63	900.36	80.00	125.00	2.73	3.00	76.22	0.00
PI-8	495.89	727.89	900.36	160.00	160.00	2.73	3.00	82.48	6.26
PI-9	495.89	854.01	900.36	60.00	125.00	2.73	3.00	76.22	6.26
PI-10	900.36	927.77	1276.01	45.00	125.00	1.86	3.00	76.22	0.00
PI-11	900.36	1042.43	1276.01	50.00	125.00	1.86	3.00	76.22	0.00
PI-12	900.36	1151.82	1276.01	60.00	125.00	1.86	3.00	76.22	0.00

PI-13	900.36	1205.27	1276.01	45.00	125.00	1.86	3.00	76.22	0.00
PI-14	900.36	1244.75	1276.01	45.00	125.00	1.86	3.00	76.22	0.00
PI-15	1276.01	1344.34	1370.46	45.00	125.00	2.90	3.00	76.22	0.00
PI-16	1370.46	1413.92	1525.03	45.00	125.00	0.46	3.00	76.22	0.00
PI-17	1370.46	1459.65	1525.03	60.00	125.00	0.46	3.00	76.22	0.00
PI-18	1370.46	1522.05	1525.03	60.00	125.00	0.46	3.00	76.22	0.00
PI-19	1525.03	1561.60	1647.54	80.00	125.00	2.22	3.00	76.22	0.00
PI-20	1525.03	1614.07	1647.54	50.00	125.00	2.22	3.00	76.22	0.00
PI-21	1735.28	1773.09	1822.77	80.00	125.00	0.08	3.00	76.22	0.00
PI-22	1849.40	1859.34	1884.51	160.00	160.00	0.23	3.00	82.48	6.26
PI-23	1981.25	2038.45	2042.28	45.00	125.00	-0.49	2.00	76.30	6.18
PI-24	2042.28	2110.58	2148.24	45.00	125.00	6.03	4.00	74.59	1.71
PI-25	2148.24	2182.49	2263.18	160.00	160.00	-3.30	2.00	82.79	8.20
PI-26	2148.24	2242.37	2263.18	60.00	125.00	-3.30	2.00	76.30	6.49
PI-27	2263.18	2337.11	2339.68	160.00	160.00	0.79	3.00	82.48	6.18
PI-28	2339.68	2416.48	2508.32	60.00	125.00	3.20	3.00	76.22	6.26
PI-29	2508.32	2552.14	2717.01	200.00	200.00	0.37	3.00	86.95	10.72
PI-30	2508.32	2674.37	2717.01	250.00	250.00	0.37	3.00	90.52	3.57
PI-31	2717.01	2898.02	2934.71	80.00	125.00	3.03	3.00	76.22	14.30
PI-32	2934.71	2936.11	3231.33	80.00	125.00	0.40	3.00	76.22	0.00
PI-33	2934.71	3003.39	3231.33	100.00	125.00	0.40	3.00	76.22	0.00
PI-34	2934.71	3160.42	3231.33	85.00	125.00	0.40	3.00	76.22	0.00
PI-35	3231.33	3322.52	3568.16	80.00	125.00	2.44	3.00	76.22	0.00
PI-36	3231.33	3412.45	3568.16	160.00	160.00	2.44	3.00	82.48	6.26
PI-37	3231.33	3499.11	3568.16	60.00	125.00	2.44	3.00	76.22	6.26
PI-38	3231.33	3559.87	3568.16	60.00	125.00	2.44	3.00	76.22	0.00
PI-39	3782.78	3795.53	4164.71	250.00	250.00	3.00	3.00	90.52	14.30
PI-40	3782.78	3938.75	4164.71	250.00	250.00	3.00	3.00	90.52	0.00
PI-41	3782.78	4051.49	4164.71	250.00	250.00	3.00	3.00	90.52	0.00
PI-42	3782.78	4148.37	4164.71	100.00	125.00	3.00	3.00	76.22	14.30
PI-43	4164.71	4243.83	4293.74	80.00	125.00	1.96	3.00	76.22	0.00
PI-44	4164.71	4282.95	4293.74	80.00	125.00	1.96	3.00	76.22	0.00
PI-45	4293.74	4327.77	4345.80	80.00	125.00	4.10	4.00	74.59	1.63
PI-46	4345.80	4383.72	4510.46	80.00	125.00	1.78	3.00	76.22	1.63
PI-47	4345.80	4456.95	4510.46	160.00	160.00	1.78	3.00	82.48	6.26

Nota. Se evidencia en gran medida la disminución de la variación de $\Delta V_{(85)}$ en todas las

progresivas analizadas, donde se detecta gran cumplimiento del grado de consistencia de

la vía. Fuente: elaboración propia.

Con el resultado de la variación de la velocidad de operación $\Delta V_{(85)}$ de la Tabla 32, donde a diferencia de la Tabla 29, se trabajó con un caso propuesto con valores de radio que cumplen para carreteras de segunda clase, donde solo se tomó en cuenta los

radios que sean mayores a 125, y para los 35 radios que eran menores a 125 se reemplazó con el valor de 125 metros, de acuerdo al radio mínimo estándar para carreteras de segunda clase determinadas en la Tabla 6, y posteriormente, se procede a evaluar de acuerdo a los criterios II de Lamm de la Tabla 3.

Es menester conocer los 3 grados de consistencia a detectar de acuerdo a los criterios II de Lamm, detalladas a continuación: grado de consistencia buena cuando la $\Delta V_{(85)} \leq 10$, grado de consistencia aceptable cuando la $\Delta V_{(85)}$ está entre $10 < \Delta V_{(85)} \leq 20$, y grado de consistencia pobre cuando la $\Delta V_{(85)} > 20$.

En la tabla 33 se determina el grado de consistencia de la carretera HU-112 km 0 al km 4 + 525, mediante la variación de la velocidad de operación $\Delta V_{(85)}$ determinadas en la tabla 32, donde solo se emplearon valores de radios mayores a 125 metros, y para los radios reales menores a 125 se consideró un caso hipotético donde el radio es igual a 125 de acuerdo $R_{\text{mín}}$ igual a 125 determinado en la tabla 6, a diferencia de la tabla 29 donde se empleó los valores de los radios reales de todo el tramo de la carretera HU-112 km 0 al km 4 + 525.

Tabla 33

Evaluación de consistencia con los criterios de Lamm II con valores de R propuestos para carretera de segunda clase.

N° curva	R (m)	R (m) para carretera de 2da clase	P%	V(85)	$\Delta V_{(85)}$	$\Delta V_{(85)} \leq 10$	$10 < \Delta V_{(85)} \leq 20$	$\Delta V_{(85)} > 20$	Grado de consistencia	Solución
PI-1	45	125.00	0.52	76.22	16.22		Aceptable		Aceptable	Señalizar
PI-2	80	125.00	0.52	76.22	0.00	Buena			Buena	
PI-3	150	150.00	- 1.61	81.25	5.02	Buena			Buena	
PI-4	50	125.00	- 1.61	76.30	4.95	Buena			Buena	
PI-5	80	125.00	- 1.61	76.30	0.00	Buena			Buena	
PI-6	80	125.00	0.27	76.22	0.08	Buena			Buena	

PI-7	80	125.00	2.73	76.22	0.00	Buena	Buena	
PI-8	160	160.00	2.73	82.48	6.26	Buena	Buena	
PI-9	60	125.00	2.73	76.22	6.26	Buena	Buena	
PI-10	45	125.00	1.86	76.22	0.00	Buena	Buena	
PI-11	50	125.00	1.86	76.22	0.00	Buena	Buena	
PI-12	60	125.00	1.86	76.22	0.00	Buena	Buena	
PI-13	45	125.00	1.86	76.22	0.00	Buena	Buena	
PI-14	45	125.00	1.86	76.22	0.00	Buena	Buena	
PI-15	45	125.00	2.90	76.22	0.00	Buena	Buena	
PI-16	45	125.00	0.46	76.22	0.00	Buena	Buena	
PI-17	60	125.00	0.46	76.22	0.00	Buena	Buena	
PI-18	60	125.00	0.46	76.22	0.00	Buena	Buena	
PI-19	80	125.00	2.22	76.22	0.00	Buena	Buena	
PI-20	50	125.00	2.22	76.22	0.00	Buena	Buena	
PI-21	80	125.00	0.08	76.22	0.00	Buena	Buena	
PI-22	160	160.00	0.23	82.48	6.26	Buena	Buena	
PI-23	45	125.00	- 0.49	76.30	6.18	Buena	Buena	
PI-24	45	125.00	6.03	74.59	1.71	Buena	Buena	
PI-25	160	160.00	- 3.30	82.79	8.20	Buena	Buena	
PI-26	60	125.00	- 3.30	76.30	6.49	Buena	Buena	
PI-27	160	160.00	0.79	82.48	6.18	Buena	Buena	
PI-28	60	125.00	3.20	76.22	6.26	Buena	Buena	
PI-29	200	200.00	0.37	86.95	10.72		Aceptable	Señalizar
PI-30	250	250.00	0.37	90.52	3.57	Buena	Buena	
PI-31	80	125.00	3.03	76.22	14.30		Aceptable	Señalizar
PI-32	80	125.00	0.40	76.22	0.00	Buena	Buena	
PI-33	100	125.00	0.40	76.22	0.00	Buena	Buena	
PI-34	85	125.00	0.40	76.22	0.00	Buena	Buena	
PI-35	80	125.00	2.44	76.22	0.00	Buena	Buena	
PI-36	160	160.00	2.44	82.48	6.26	Buena	Buena	
PI-37	60	125.00	2.44	76.22	6.26	Buena	Buena	
PI-38	60	125.00	2.44	76.22	0.00	Buena	Buena	
PI-39	250	250.00	3.00	90.52	14.30		Aceptable	Señalizar
PI-40	250	250.00	3.00	90.52	0.00	Buena	Buena	
PI-41	250	250.00	3.00	90.52	0.00	Buena	Buena	
PI-42	100	125.00	3.00	76.22	14.30		Aceptable	Señalizar
PI-43	80	125.00	1.96	76.22	0.00	Buena	Buena	
PI-44	80	125.00	1.96	76.22	0.00	Buena	Buena	
PI-45	80	125.00	4.10	74.59	1.63	Buena	Buena	
PI-46	80	125.00	1.78	76.22	1.63	Buena	Buena	
PI-47	160	160.00	1.78	82.48	6.26	Buena	Buena	

Nota. Se evidencia una mejoría prominente al reemplazar los radios menores a 125 metros de todo el tramo de la carretera HU-125 km 0 al km 4 + 525. Fuente: elaboración propia.

Tabla 34

Cuadro resumen de grado de consistencia evaluado con R propuesto para carretera de segunda clase.

Condicional	Grado de Consistencia de Diseño	%
Buena	42	89.36%
Aceptable	5	10.64%
Pobre	0	0.00%
Total	47	100.00%

Nota. Se evidencia una mejora prominente del grado de consistencia al evaluar con valores de R propuestos para carreteras de segunda clase. Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 34 se resume la consistencia del diseño de acuerdo al criterio II de Lamm en sus 3 grados, bueno, aceptable y pobre, de 89.66%, 10.64% y 0.00% respectivamente. Por lo que, se deduce que, para el caso hipotético dónde los radios de curvatura superarían y/o serían iguales al $R_{mín}$ igual a 125 metros, determinada para la carretera HU-112 km 0 al km 4 + 525 en la Tabla 6, en dónde, luego del análisis de consistencia de acuerdo al criterio II de Lamm, se obtendría la predominancia del grado de consistencia BUENA, en un porcentaje de 89.36% superando al grado cumplimiento BUENA de la Tabla 31 por 48.94%, el grado de consistencia ACEPTABLE en un porcentaje de 10.64%, disminuyendo del grado de consistencia ACEPTABLE real calculado en la Tabla 31 en 2.13%, el grado de consistencia POBRE en un porcentaje de 0.00%, disminuyendo de manera prominente al grado de consistencia POBRE calculado en la Tabla 31 en un 46.81%. Por lo que se determinaría para este caso hipotético, una predominancia de la consistencia del diseño BUENA lo que se reflejaría en un 89.36% de todo el tramo. La solución que propone en los criterios II de Lamm, para grados de

consistencia pobre es el de rediseñar la vía en todo caso, mejorar el trazo de la vía, por su alto índice de cambios bruscos de velocidad de operación $\Delta V_{(85)}$. La solución inmediata que propone en los criterios II de Lamm para grados de consistencia ACEPTABLE es la implementación de señalización para prevenir el cambio brusco de velocidades de operación $\Delta V_{(85)}$ que fluctúan entre $10 < \Delta V_{(85)} \leq 20$.

CAPÍTULO V.

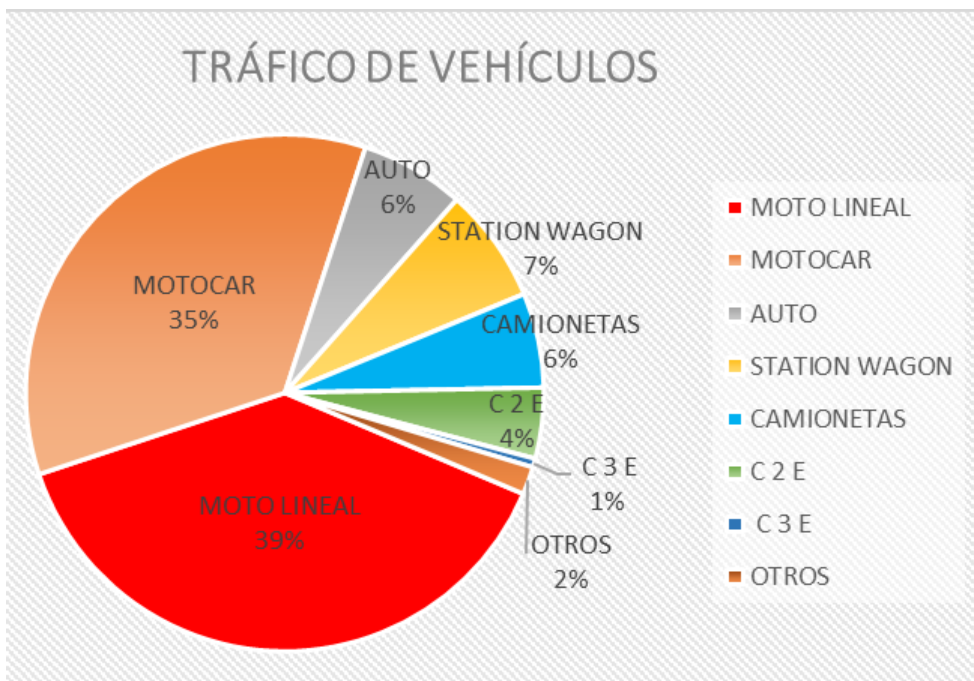
DISCUSIÓN

5.1. Discusión de Resultados del Estudio de Tráfico (IMDA)

Luego del conteo vehicular y la obtención del cálculo del IMDA = 1277 veh/día, se corrobora la clasificación de la carretera por demanda mediante la ecuación de crecimiento de tránsito, empleando las tasas de crecimiento de Huánuco de 0.91% y 3.85% para vehículos ligeros y vehículos pesados respectivamente, se obtiene un tránsito final $P_f = 1674$ veh/día, constatándose así, que tanto 1277 como 1674 se encuentran en el mismo rango de IMDA de 400 a 2000 veh/día para carreteras de segunda clase.

Figura 47

Promedio de tráfico de vehículos



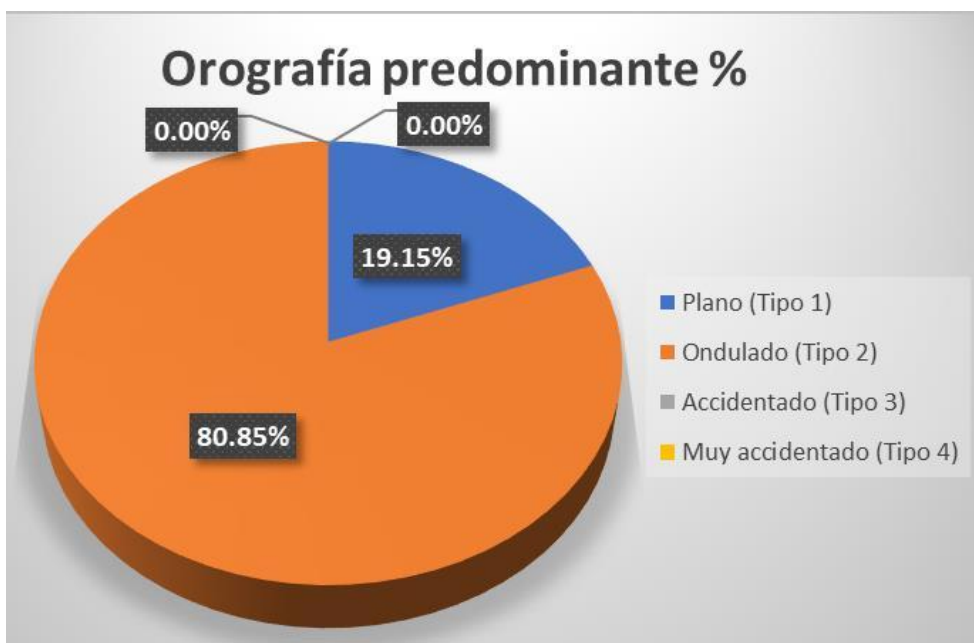
Nota. Se visualiza en mayor porcentaje el tránsito de motos lineales y motocares en el tramo de la carretera HU-112 km 0 al km 4 + 525.

5.2. Discusión de Resultados de Orografía Predominante

Se verifican las secciones transversales por donde pasa el trazo de la carretera HU-112 km 0 al km 4 + 525 y se constata que la orografía predominante en todo el trazo de la carretera es de tipo ondulado (tipo 2) en un 80.85 %, por lo que para el análisis del diseño geométrico se consideró el terreno ondulado de tipo 2.

Figura 48

Porcentaje de orografía en la carretera HU-112 km 0 al km 4 + 525



Nota. Se detecta en el tramo del terreno una orografía predominante de tipo ondulado (tipo 2) en un 80.85%.

5.3. Discusión de Resultados de Diseño Geométrico en Planta

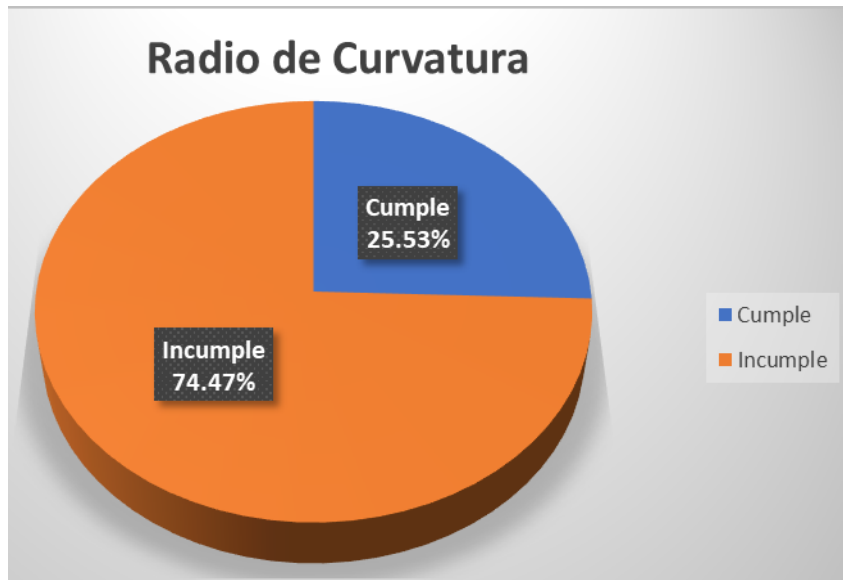
5.3.1. Verificación de Resultados de Radios de Curvatura

Luego del análisis comparativo de radio mínimo según el Manual de Carreteras DG-2018 con las longitudes de radios de curvatura de las 47 curvas horizontales de la carretera HU-112 km 0 al km 4 + 525, se verifica un grado de cumplimiento en exceso deficiente de tan solo 12 radios de curvatura equivalente al 25.53%, siendo este parámetro uno de los fundamentales para el tránsito seguro, por lo que urge una

actualización de las características geométricas de la carretera Hu-112 km 0 al km 4 + 525.

Figura 49

Grado de cumplimiento de radio de curvatura



Nota. Se detecta un grado de cumplimiento de las medidas de radios de curvatura en exceso deficientes al 25.53%.

En la Tabla 6, se detecta dimensiones de radios de curvatura de 60, 50, 45 m, siendo la dimensión mínima de $R_{\text{mín}} = 125$ m para carreteras de segunda clase, con $V_d = 60$ km/h, orografía ondulada, la cual nos lleva a detectar un posible diseño antiguo de la vía para carreteras de tercera clase y/o diseño antiguo como trochas carrozables.

En el análisis de posteriores parámetros se corroborará la certeza de dicha afirmación.

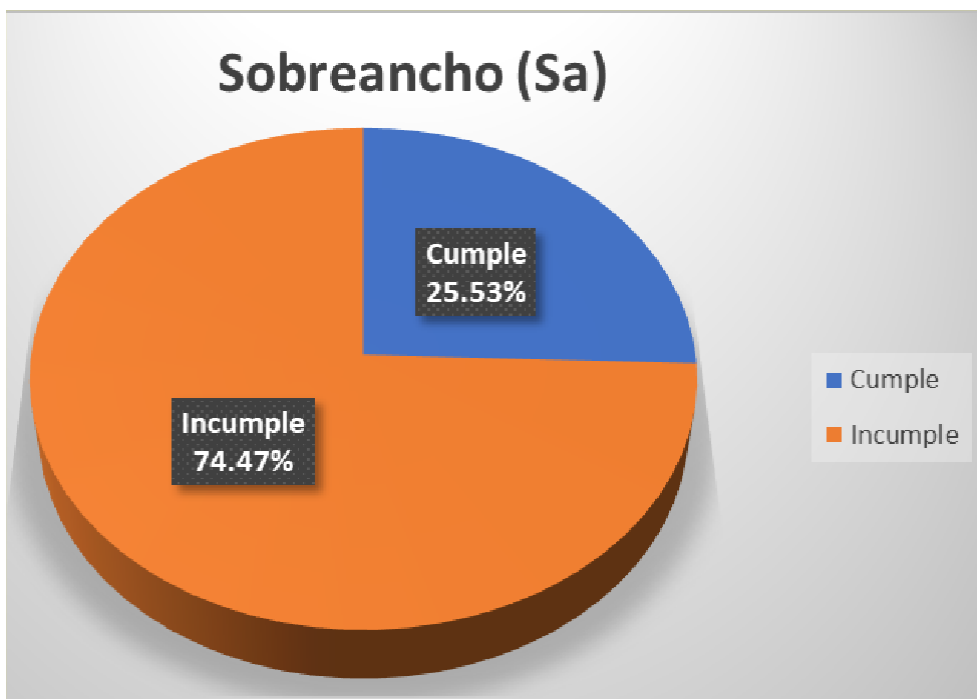
5.3.2. Verificación de Resultados de Sobreechancho

Al analizar la fórmula para determinar el sobreechancho de una curva se tiene un parámetro fundamental de $R_{\text{mín}}$, la cuál es de 125 m. No obstante, se percibe radios de curvatura menor al $R_{\text{mín}}$ estipulado para carreteras de segunda clase, $V_d = 60$ km/h,

orografía de tipo ondulado, por lo que automáticamente se invalidan las curvas con radios de curvatura menor a 125, ya que incumplen los parámetros establecidos de la norma.

Figura 50

Grado de cumplimiento del sobreecho Sa



Nota. Se detecta un deficiente grado de cumplimiento de los sobreechos de la carretera Hu-112 km 0 al km 4 + 525.

En la Tabla 8 se verifica que, de los 47 sobreechos de las 47 curvas horizontales, un grado de cumplimiento deficiente de tan solo 12 sobreechos óptimos equivalentes al 25.53%, las cuales cumplen los estándares mínimos de dimensiones de sobreecho.

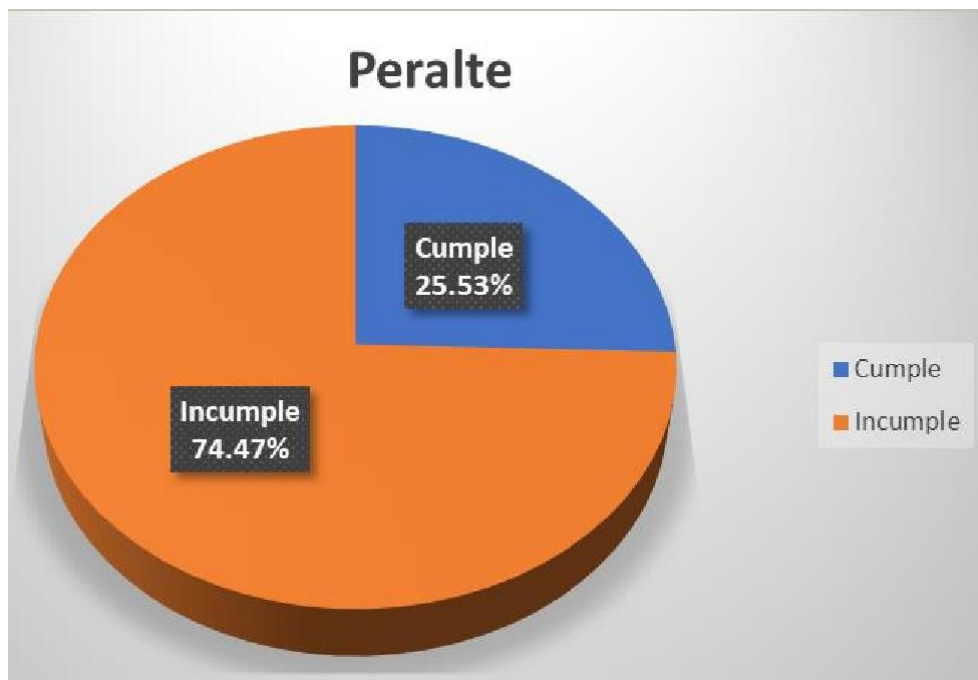
5.3.3. Verificación de Resultados de Peralte

Posterior al cálculo de las dimensiones del peralte de la carretera HU-112 km empleando ábacos de la figura 37, dónde solamente es posible determinar peraltes para

radios mayores o igual a 125 m, para $V_d = 60$ km/h, detectando solo 12 peraltes de 47 en todo el tramo de la carretera HU-112, posterior a ello, se procede a analizar el grado de cumplimiento de las dimensiones de los peraltes de la vía, dónde se observa un grado de cumplimiento de 12 de 47 dimensiones de peralte, siendo aquello equivalente a un grado de cumplimiento de 25.53%.

Figura 51

Grado de cumplimiento del Peralte



Nota. Se detecta un grado de cumplimiento de las dimensiones de peralte deficiente de 25.53%.

5.3.4. Verificación de Resultados de Longitud de Transición de Peralte

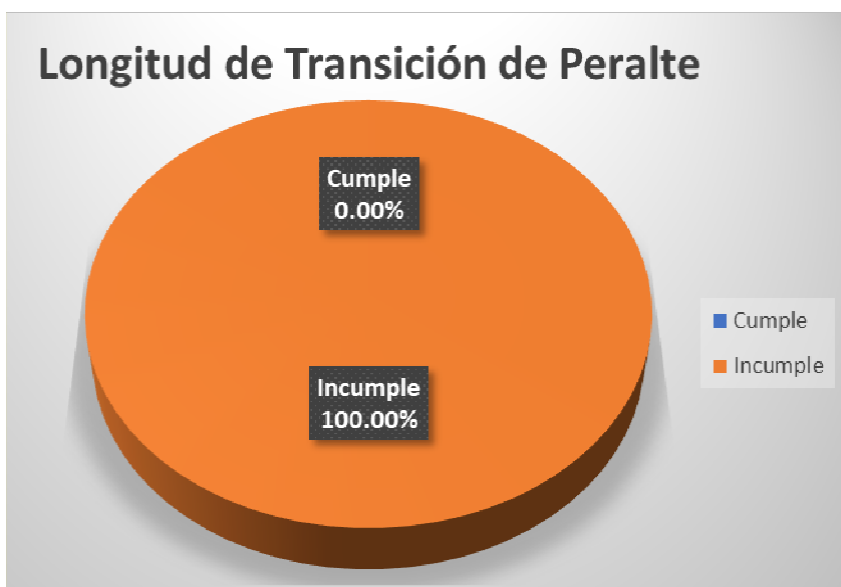
Se verifica un caso extremo en cuanto a longitud de transición de peralte, pues, de acuerdo al Manual de Carreteras DG-2018, para $V_d=60$ km/h, orografía de tipo 2, carretera de segunda clase; se tiene una longitud de transición de peralte mínima de 50 m, para poder cumplir los estándares de la norma, las longitudes de transición de peralte

de la vía debieron superar los 50 m. Cabe destacar que el 100.00% de las 47 longitudes de transición de peralte no superan los 50 m, por lo que, existe un incumplimiento crítico del 100.00%.

En cuanto al grado de cumplimiento de las longitudes de transición de peralte es del 0.00%, siendo este un caso crítico que debería de solucionarse de inmediato, proponiendo un proyecto de actualización de trazo de la carretera HU-112 km 0 al km 4 + 525.

Figura 52

Grado de cumplimiento de las longitudes de Transición de peralte



Nota. Se detecta un grado de cumplimiento crítico del 0.00%, por lo que 47 de 47 longitudes de transición de peralte incumplen los estándares de la norma.

Se entiende por curvas de transición de peralte como curvas de transición a la espiral cuyo objetivo es evitar las discontinuidades al acceder a una curva horizontal, por lo que, de manera gradual aborda tramos en tangente a la longitud de curva horizontal.

La Tabla 32 muestra los radios de curvatura que pueden prescindir de las longitudes de transición de peralte, limitado en función de la velocidad de diseño, de

dónde se evidencia que para $V_d = 60$ km/h, se puede prescindir de longitudes de transición de peralte a partir de radios mayores a 325 m.

En el segundo caso, para $V_d = 50$ km/h se puede prescindir desde radios mayores a 225 m, en $V_d = 40$ km/h, se puede prescindir desde radios mayores a 150 m, en $V_d = 30$ km/h, se puede prescindir de las longitudes de transición de peralte en radios mayores a 80 m.

Tabla 35

Radio para prescindir de longitudes de transición de peralte

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

Nota. Fuente: Manual de Carreteras DG-2018 (p. 146)

Continuando con la discusión sobre el posible diseño antiguo para clasificación de carretera de tercera clase o trocha carrozable de la carretera HU-112 km 0 al km 4 + 525.

Se sabe de acuerdo a la Figura 2 sobre rangos de velocidad de diseño, únicamente en las carreteras de tercera clase se visualiza velocidad de diseño de 30 km/h para terrenos accidentados y escarpados, y 40 km/h para terrenos planos y ondulados, cabe mencionar que la carretera HU-112 km 0 al km 4 + 525 tiene una orografía predominante de terreno ondulado de tipo 2.

En la Tabla 12 se detecta un primer caso de un radio de 100 metros en la progresiva 3003.39 en la curva 33, la cual presenta una longitud de transición de peralte de 10 m al ingreso y salida de la longitud de curva 33.

Se detecta un segundo caso en la Tabla 12, dónde se visualiza un radio de curvatura de 100 metros en la progresiva 4148.37 en la curva 42, la cual presenta una longitud de transición de peralte de 36 metros al ingreso y salida de la longitud de curva 42.

Conociéndose que para una velocidad de diseño igual a 40 km/h, es posible prescindir de las longitudes de transición de peralte para radios mayores a 150 metros, y debido a la imposibilidad de ubicar en la Figura 2 a las carreteras de tercera clase con velocidad de diseño igual a 30km/h para terrenos planos u ondulados, hallándose únicamente carreteras de tercera clase con velocidad de diseño igual a 40 km/h para terrenos con orografía predominante plano u ondulado.

Al analizar la Tabla 33, que es un extracto de la Tabla 12, dónde únicamente se muestra las longitudes de curva prescindidas, es posible detectar que se prescindió en su totalidad a los radios de curvatura mayores a 150, en cumplimiento de la norma para su antiguo diseño como carretera de tercera clase, a continuación se detalla las curvas con radios mayores o iguales a 150 m que prescindieron de las longitudes e transición: curva 3, con radio igual a 150 m; curva 8, con radio igual a 160 metros; curva 22, con radio igual a 160 metros; curva 25, con radio igual a 160 metros; curva 27, con radio igual a 160 metros; curva 29, con radio igual a 200 metros; curva 30, con radio igual a 250 metros; curva 36, con radio igual a 160 metros; curva 39, con radio igual a 250 metros; curva 40, con radio igual a 250 metros; curva 41, con radio igual a 160 metros; y por último curva 47, con radio igual a 160 metros.

Ante los casos presentados, es posible deducir un antiguo diseño de la carretera HU-112 km 0 al km 4 + 525 como carretera de tercera clase con velocidad de diseño de 40 km/h.

Tabla 36

Longitud de transición de peralte = 0

N° PI	P.I.	R (m)	LCT
PI-47	4,456.95	160	0.00
PI-46	4,383.72	80	0.00
PI-45	4,327.77	80	0.00

PI-44	4,282.95	80	0.00
PI-43	4,243.83	80	0.00
PI-41	4,051.49	250	0.00
PI-40	3,938.75	250	0.00
PI-39	3,795.53	250	0.00
PI-36	3,412.45	160	0.00
PI-30	2,674.37	250	0.00
PI-29	2,552.14	200	0.00
PI-27	2,337.11	160	0.00
PI-25	2,182.49	160	0.00
PI-22	1,859.34	160	0.00
PI-8	727.89	160	0.00
PI-3	223.94	150	0.00

Nota. Se muestra las progresivas de las curvas con radios que prescindieron de longitud de transición de peralte (LTP = 0). Fuente: Elaboración propia.

Al evaluar la longitud de transición de peralte de acuerdo a la carretera de tercera clase y $V_d = 40$ km/h, se detecta un ligero incremento en el grado de cumplimiento de las longitudes de transición de peralte.

Figura 53

Grado de cumplimiento de LTP - Carretera de tercera clase



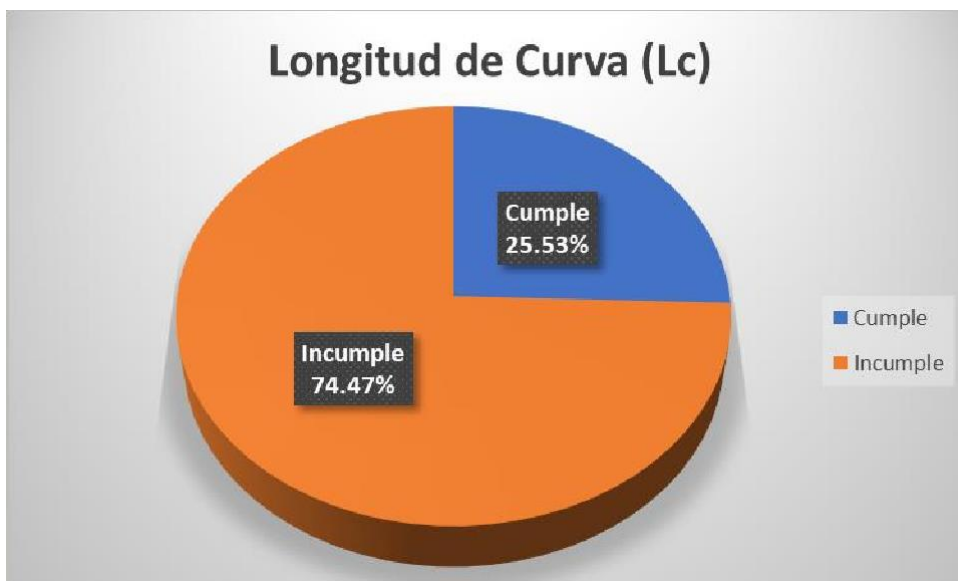
Nota. Al analizar las longitudes de transición de peralte con límites establecidos para carreteras de tercera clase y $V_d = 40$ km/h, se detecta un ligero incremento del grado de cumplimiento de las dimensiones de la longitud de transición de peralte.

5.3.5. Verificación de Resultados de Longitud de Curva

Para la verificación de resultados de longitud de curva horizontal, es necesario evaluar con dos condicionantes, la primera, que debe ser mayor a la longitud de curva mínima determinada para cada longitud de curva, el segundo, que el radio de la curva horizontal debe de ser mayor a 125 metros, de acuerdo a la clasificación como carretera de segunda clase, V_d igual a 60 km/h, y orografía plano u ondulado.

Figura 54

Grado de cumplimiento de la longitud de curva L_c



Nota. Se detecta un grado de cumplimiento deficiente con tan solo 25.53%.

En la Figura 34 se detecta un grado de cumplimiento deficiente de las longitudes de curva horizontal de tan solo 25.53 %, la cual significa que solo 12 de las 47 curvas horizontales cumplen con la norma.

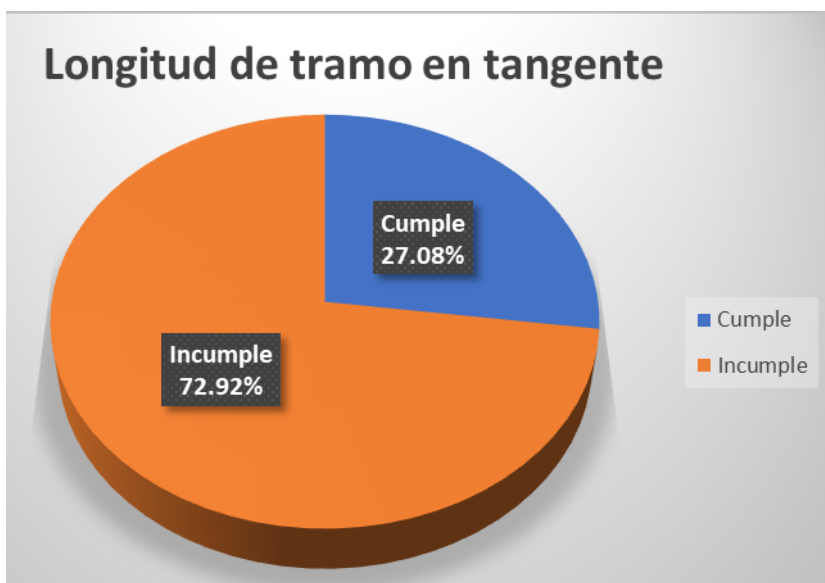
5.3.6. Verificación de Resultados de Tramos en Tangente

Para evaluar el cumplimiento de la longitud de tramo en tangente se determinó la tipología de las curvas ya sean de tipo S o de tipo O. para limitar el valor mínimo de las longitudes de los tramos en tangente.

Posterior a ello, se procede a comparar los valores de las longitudes con los valores mínimos para cada tipo de curva, lográndose obtener un grado de cumplimiento deficiente de 27.08% equivalente a 13 de 48 longitudes de tramo en tangente.

Figura 55

Grado de cumplimiento de las longitudes de de tramo en tangente LTT



Nota. Se detecta un grado de cumplimiento de las longitudes de tramo en tangente deficiente de 27.08%.

5.3.7. Verificación de Resultados de Parámetros de Diseño en Planta

Teniendo en conocimiento los porcentajes de cumplimiento de los parámetros de diseño geométrico en planta, se procede a sacar un promedio general para determinar el grado de cumplimiento de los parámetros de diseño geométrico en planta.

Tabla 37*Grado cumplimiento de los parámetros de diseño en planta*

Condicional	Radio de curvatura	Sobreeancho	Peralte	Long. De transición de peralte	Longitud de Curva	Tramo en tangente	Promedio
Cumple %	25.53%	25.53%	25.53%	0.00%	25.53%	27.08%	21.54%
Incumple %	74.47%	74.47%	74.47%	100.00%	74.47%	72.92%	78.46%

Nota. Se detecta un promedio deficiente de cumplimiento de 21.54%. Todos los

parámetros son incumplidos. Fuente elaboración propia.

Luego de analizar los parámetros de diseño geométrico en planta de la carretera HU-112 tramo Molino – Huarichaca (km 0 al km 4.525) se rechaza la hipótesis nula y se admite la hipótesis alterna.

Según Araujo (2020) en la evaluación de la carretera Celendín - El Suro se obtuvo 79.81% de cumplimiento de radios de curvatura, 1.92% de cumplimiento de longitud de curva, 14.42% de cumplimiento de peraltes, 35.58% de cumplimiento de transición de peralte, donde al igual que en la carretera Hu-112 se detecta incumplimiento de los parámetros de diseño geométrico en planta.

Según Calixto (2018) el radio mínimo depende de la disponibilidad predial, lo que concuerda con la presente investigación, ya que se encontraron más de 200 viviendas que impiden el ensanchamiento de las curvas y sus radios de curvatura.

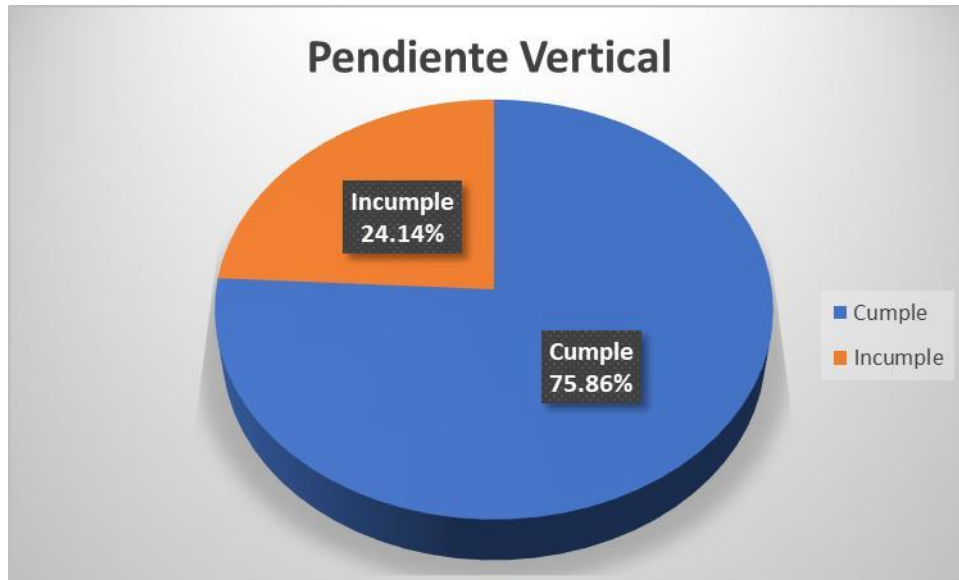
5.4. Discusión de Resultados de Diseño Geométrico en Perfil

5.4.1. Verificación de Resultados de Pendiente Longitudinal

Para evaluar el cumplimiento de las dimensiones de la pendiente longitudinal de la carretera HU-112 se determinó las pendientes longitudinales, llegándose a calcular en 29 tramos. Cabe mencionar que para su análisis se usó la Figura 28 donde estipula las pendientes máximas y mínimas de acuerdo a la Vd de la vía.

Figura 56

Grado de cumplimiento de las pendientes verticales



Nota. Se detecta un grado de cumplimiento favorable de las pendientes verticales

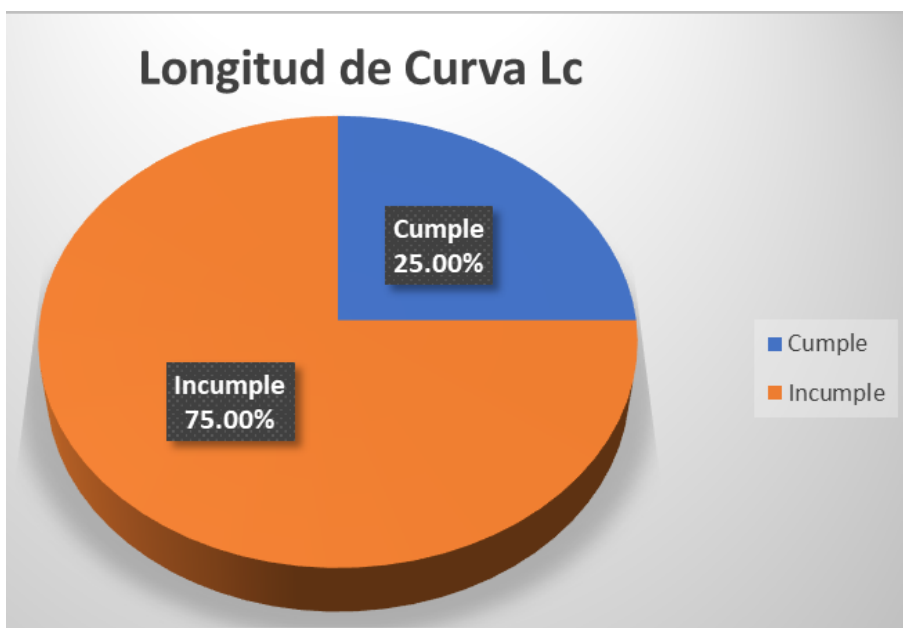
Se detecta un grado de cumplimiento de las dimensiones mínimas de las pendientes verticales al 75.86%, la cual hace a un equivalente de 22 de las 29 dimensiones de pendientes verticales que cumplen los estándares del Manual de Carreteras DG-2018.

5.4.2. Verificación de Resultados de la Longitud de Curva Vertical

Para evaluar el grado de cumplimiento de las longitudes mínimas de curva vertical, se limitó las longitudes mínimas mediante el ábaco de la Figura 29 para curvas verticales convexas y el ábaco de la Figura 30 para curvas cóncavas, con los cuales se logra determinar las longitudes mínimas de curvas verticales.

Figura 57

Grado de cumplimiento de las longitudes de curva vertical



Nota. Se detecta un grado de cumplimiento deficiente de las longitudes de curva vertical.

Se detecta un grado de cumplimiento deficiente de las dimensiones mínimas de las longitudes de curvas verticales al 25.00% equivaliendo a 7 de las 28 dimensiones de pendiente vertical, las cuales cumplen los estándares de la norma.

5.4.3. Verificación de Resultados de Parámetros de Diseño en Perfil Longitudinal

Teniendo en conocimiento los porcentajes de cumplimiento de los parámetros de diseño geométrico en perfil longitudinal, se procede a sacar un promedio general para determinar el grado de cumplimiento de los parámetros de diseño geométrico en sección en perfil longitudinal.

Tabla 38

Grado de cumplimiento de parámetros de diseño en perfil longitudinal

Condicional	Longitud de Curva	Longitud de Curva Lc	Promedio
	Lc		
Cumple	75.86%	25.00%	50.43%
Incumple	24.14%	75.00%	49.57%

Nota. Se visualiza un promedio de cumplimiento de 50.43%. Fuente. Elaboración propia.

Según Araujo (2020) al analizar la carretera Celendín - El Suro se determinó que el grado de cumplimiento de los parámetros de diseño en perfil longitudinal es de 43.24%,

lo que es similar en el nivel de cumplimiento de los parámetros de diseño en perfil longitudinal de la carretera HU-112 tramo Molino Huarichaca.

Según Carrera (2019) al analizar la carretera La Shita – Atumpata kilómetro 0 al kilómetro 5 determinó el grado de cumplimiento de los parámetros de diseño geométrico en perfil longitudinal es de 37.02%, por lo que se incumple en 62.98%.

5.5. Discusión de Resultados de Diseño Geométrico en Sección Transversal

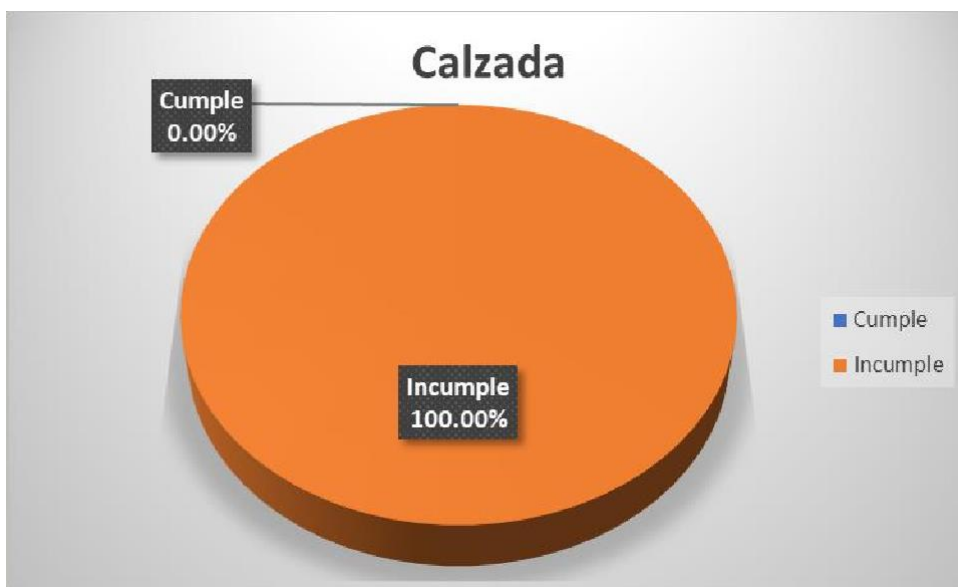
5.5.1. Verificación de Resultados de Calzadas

Para la verificación de los resultados del análisis del ancho de las calzadas de la carretera HU-112 km 0 al km 4 + 525, se limitó un ancho mínimo de 7.2 m, de acuerdo a la $V_d = 60$ km/h, orografía ondulada, y carretera de segunda clase.

Se visualiza que desde la progresiva 0 a la progresiva 0+150 el ancho de la calzada promedio es de 5 metros, y desde la progresiva 0+150 hasta la progresiva final 4 + 525 el ancho promedio de la calzada es de 6 metros.

Figura 58

Grado de cumplimiento del ancho de las calzadas

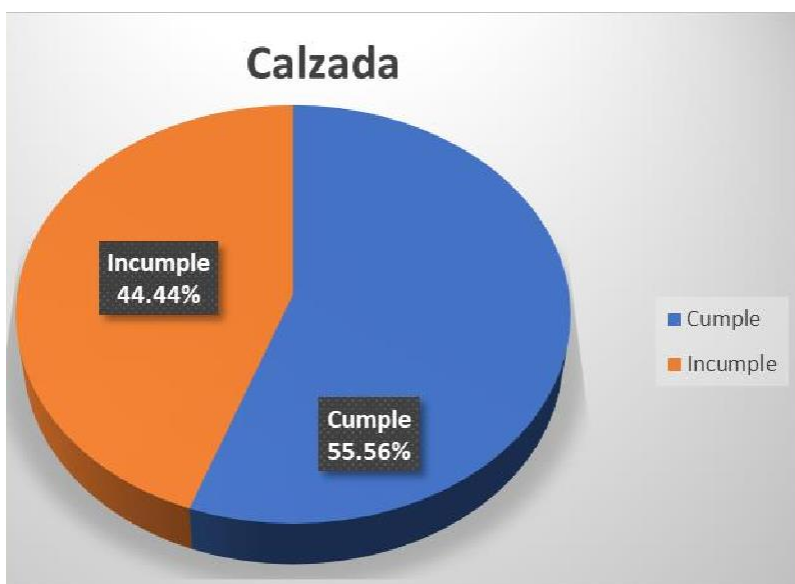


Nota. Se detecta un grado de cumplimiento crítico al 0.00% del ancho de la calzada de la carretera HU-112 km 0 al km 4 + 525.

Se sabe de acuerdo a la Figura 33, que, para carreteras de tercera clase, con velocidades de diseño de 40 km/h, es posible que el ancho de la carretera mida como mínimo 6.60 metros. A Continuación, se muestra una figura del grado de cumplimiento de la carretera si fuera evaluado para carretera de tercera clase con $V_d = 40$ km/h.

Figura 59

Grado de cumplimiento de ancho de calzada para carretera de 3era clase



Nota. Al evaluar la calzada con los estándares de carretera de tercera clase, y $V_d = 40$ kmh, se detecta un aumento en el grado de cumplimiento del ancho de la calzada según normativa.

5.5.2. Verificación de Resultados de Bermas

La primera detección de la inexistencia de la berma tanto al margen izquierdo como derecho de la calzada de la carretera HU-112 se da en el recorrido inicial para determinar la muestra para la investigación.

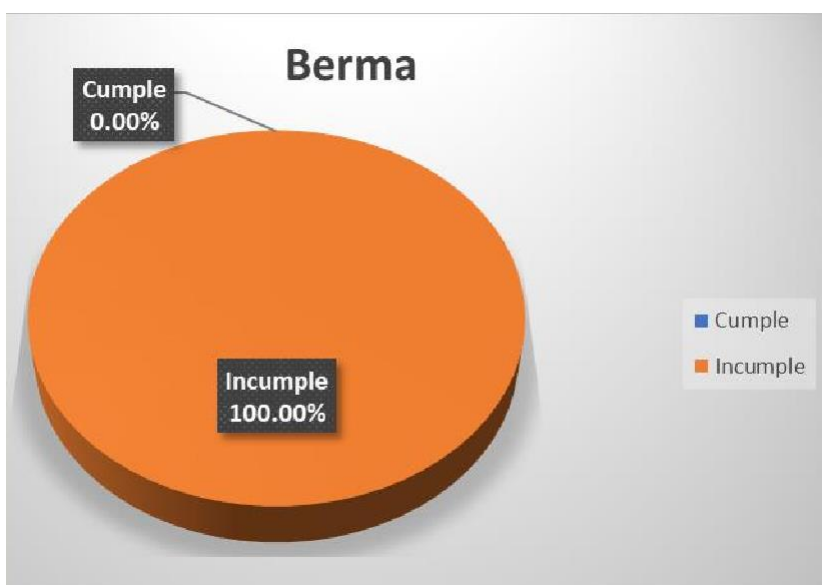
La segunda confirmación de la inexistencia de la berma tanto al margen izquierdo como derecho de la calzada de la carretera HU-112, se da en el levantamiento topográfico.

La Tercera confirmación de la inexistencia de la berma tanto al margen izquierdo como derecho de la calzada de la carretera HU-112 se produce al finalizar los planos de secciones transversales, producto del levantamiento topográfico.

La Figura 45 y la Figura 46 donde se evidencia la inexistencia de las bermas mediante fotografías tomadas a la carretera HU-112 tanto al margen izquierdo como derecho de la calzada.

Figura 60

Grado de cumplimiento de las bermas



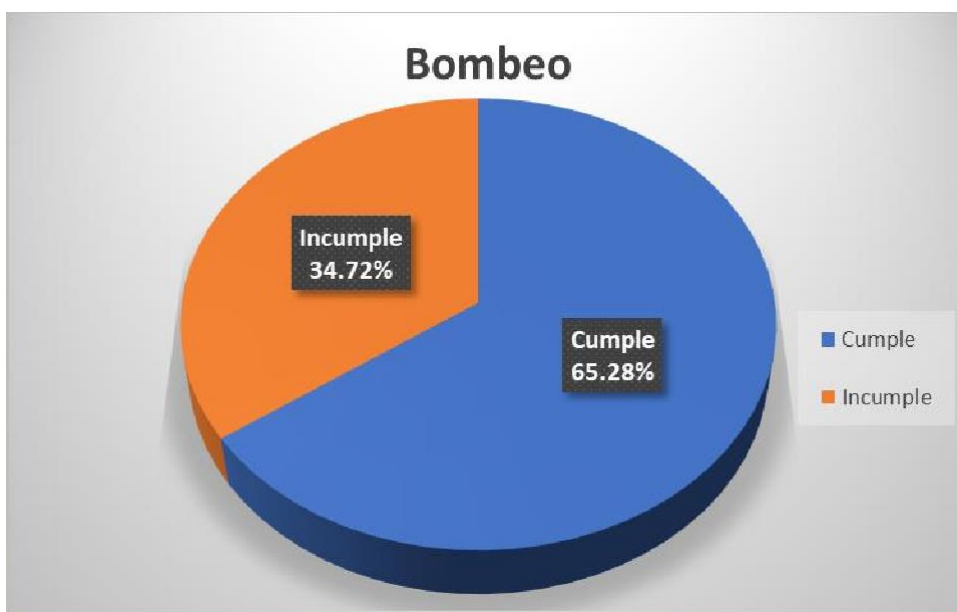
Nota. Al confirmarse tanto visualmente como documentariamente mediante los planos de la inexistencia de las bermas tanto al margen izquierdo como al margen derecho de la carretera HU-112 se consigna datos con grado de cumplimiento al 0.00%.

5.5.3. Verificación de Resultados de Bombeo

De acuerdo al material de la carpeta de rodadura, siendo pavimento flexible, y a la precipitación anual de 80 mm/año, la cual, es menor a 500 mm/año, situando al tipo de bombeo para la presente carretera HU-112 km 0 al km 4 + 525, se tipifica la pendiente de bombeo mínimo de 2.00%.

Figura 61

Grado de cumplimiento de bombeo de la carretera HU-112 km a km 4 + 525



Nota. Se detecta un grado de cumplimiento de 65.28%, superando la valla del 50%.

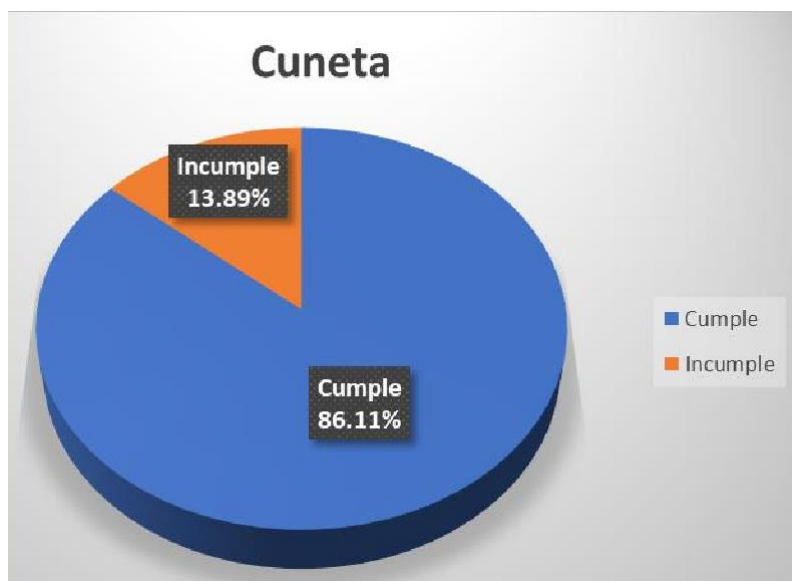
El grado de cumplimiento de las dimensiones mínimas del bombeo de la carretera HU-112 km 0 al km 4 + 525 es del 65.28%. Por lo que se deduce que solamente 65.28% de todo el tramo de la carretera HU-112 km 0 al km 4 + 525 cumple con los estándares de la norma en lo referente a pendientes de bombeo.

5.5.4. Verificación de Resultados de Cunetas

Se determina que las cunetas en la carretera HU-112 km 0 al km 4 + 525 solamente están situadas al margen izquierdo de la calzada de la vía.

Figura 62

Grado de cumplimiento de las dimensiones de la cuneta



Nota. Se detecta un grado de cumplimiento favorable de 86.11% de las dimensiones de la cuneta de la carretera HU-112 km 0 al km 4 + 525.

Se detecta el grado de cumplimiento de las dimensiones mínimas de las cunetas de la carretera HU-112 km 0 al km 4 + 525, evaluándose tanto la profundidad como el ancho, llegándose a obtener un grado de cumplimiento al 86.11%. Lo que significa que, 86.11% de todo el tramo de la carretera HU-112 km 0 al km 4 + 525 cumple con los estándares de la norma

5.5.4. Verificación de Resultados de Parámetros de Diseño en sección transversal

Teniendo en conocimiento los porcentajes de cumplimiento de los parámetros de diseño geométrico en sección transversal, se procede a sacar un promedio general para determinar el grado de cumplimiento de los parámetros de diseño geométrico en sección transversal.

Tabla 39

Grado de cumplimiento de los parámetros de diseño en sección transversal

Condición	Calzada	Berma	Bombeo	Cuneta	Promedio
Cumple	0.00%	0.00%	65.28%	86.11%	37.85%
Incumple	100.00%	100.00%	34.72%	13.89%	62.15%

Nota. Se visualiza un promedio de cumplimiento de 50.43%. Fuente. Elaboración propia.

Según Carrera (2019) en la evaluación de los parámetros de diseño en sección transversal de la carretera La Shita – Atumpata kilómetro 0 al kilómetro 5 se obtuvo un grado de cumplimiento de 44.90%, por lo que incumple 55.10%, siendo este resultado similar al obtenido en la carretera HU-112 tramo Molino Huarichaca (km a al km 4 + 525) ya que ambos no superan la valla de grado de cumplimiento del 50.00%.

5.6. Discusión de Resultados de Diseño Geométrico

Para un enfoque general de la problemática del diseño geométrico de carreteras, es necesario determinar un promedio general del cumplimiento de los parámetros de diseño en planta, parámetros de diseño en perfil longitudinal y parámetros de diseño en sección transversal.

En la tabla 37 se determina el promedio general de cumplimiento de los parámetros de diseño.

Tabla 40

Promedio general de cumplimiento de parámetros de diseño geométrico

Condicional	Diseño en planta	Diseño en perfil longitudinal	Diseño en sección transversal	Promedio
Cumple %	21.54%	50.43%	37.85%	36.60%
Incumple %	78.46%	49.57%	62.15%	63.40%

Nota. El grado de cumplimiento general es crítico, llegando solamente a 36.60%. Fuente: Elaboración propia.

De esta manera al obtener un 36.60% de cumplimiento de los parámetros de diseño tras examinar detenidamente los resultados de la comparación entre los parámetros de diseño geométrico de la carretera HU-112, tramo Molino - Huarichaca (km 00+000 - km 05+525), y los parámetros estipulados en el manual de carreteras Dg-2018, se llegó a la conclusión de que, la hipótesis planteada: los parámetros de diseño geométrico de la carretera HU-112, tramo Molino – Huarichaca no cumplen con los parámetros de diseño estipulados en el Manual de Diseño Geométrico de Carreteras DG-2018, al encontrar

solamente un 36.60% de cumplimiento de los parámetros de diseño, como resultado, se ha confirmado la hipótesis planteada.

De acuerdo a Meléndez (2019) en la investigación de la carretera PE-3N, tramo kilómetro 136 al kilómetro 141, dónde determinó un grado de cumplimiento deficiente al 47.9% siendo un resultado similar a la carretera HU-112 tramo Molino – Huarichaca, dónde se obtuvo un grado de cumplimiento de los parámetros de diseño geométrico de 36.60% y se evidencia que ambos no sobrepasan del 50% de grado de cumplimiento.

De acuerdo a Araujo (2020) al evaluar la carretera Celendín – El Suro se obtuvo un grado de cumplimiento de los parámetros de diseño geométrico de 37.02%, por lo que no cumple un 62.98% de los parámetros geométricos de la carretera.

5.7. Discusión de Resultados de la Consistencia del Diseño Geométrico

Para discutir el resultado de la consistencia del diseño geométrico es indispensable conocer la velocidad de operación $V_{(85)}$, la cual se determina con las ecuaciones de Fitzpatrick de la Figura 36, adaptada del Manual de Carreteras DG-2018.

5.7.1. Discusión de Resultados de Velocidad de Operación.

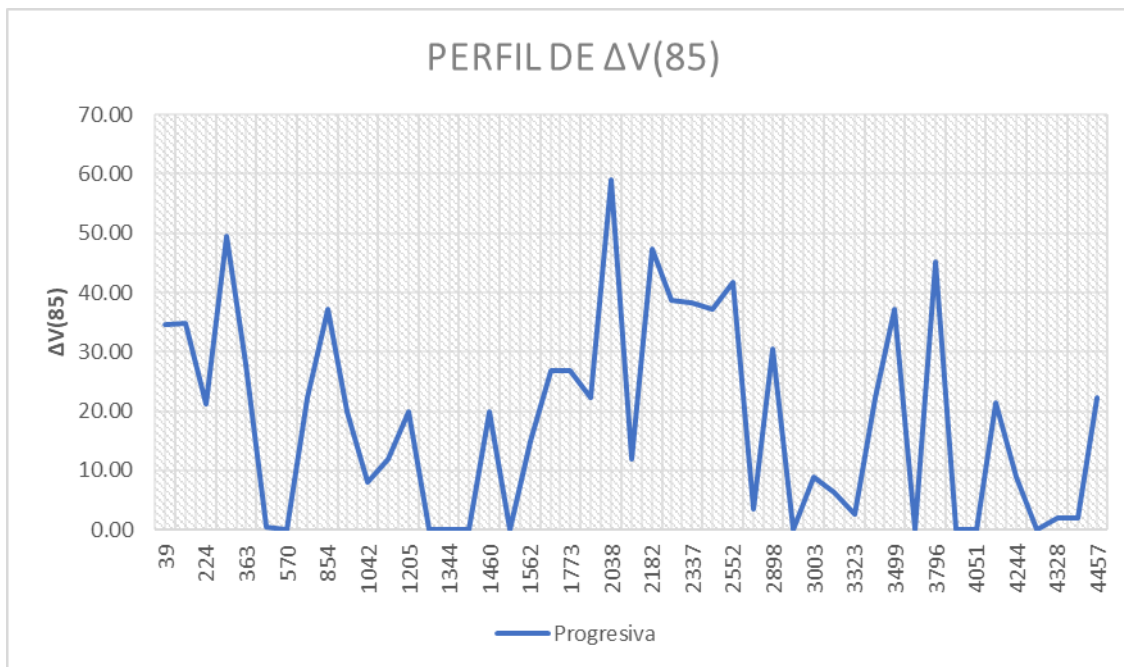
Para obtener la velocidad de operación es necesario ubicar las progresivas de los radios de curvatura en los tramos de pendientes longitudinales, para así poder detectar el tipo de ecuación a emplear, ecuación 1, ecuación 2, ecuación 3 y ecuación 4.

Una vez determinado el tipo de ecuación a emplear por cada radio de curvatura, se procede a calcular la $V_{(85)}$, posteriormente se calcula la variación de las velocidades de operación, las cuales se analizan de acuerdo a los criterios II de Lamm.

En la Figura 63 se visualiza el perfil de variación de las velocidades de operación, donde se observan fluctuaciones considerables. Determinado de la Tabla 32, donde se analizó el perfil de variación de velocidades de operación con datos de radios reales de las 47 curvas horizontales de la carretera HU-112 km 0 al km 4 + 525.

Figura 63

Perfil de variación de velocidades de operación con valores de radio reales

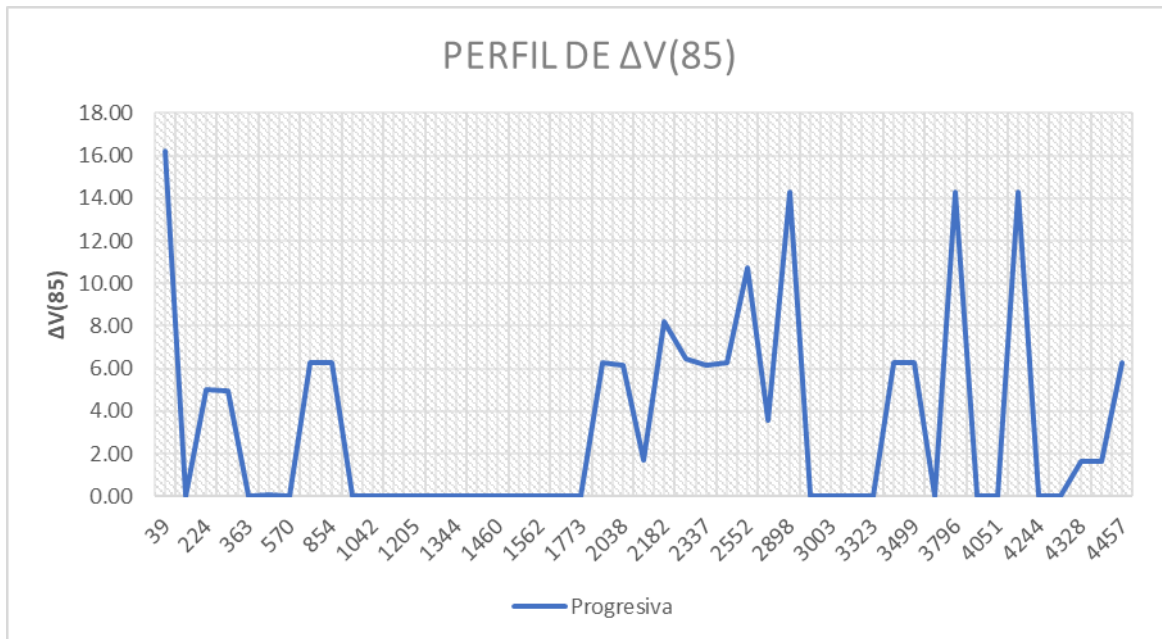


Nota. Originado a partir de los datos de variación de velocidad de operación en la Tabla 29, dónde se detecta fluctuaciones bruscas que varían desde 0 hasta los 58.

Al analizar las variaciones de velocidad de operación de la gráfica, se puede exponer por variaciones críticas en el punto 4 con una variación de 49.47 con progresiva 288.99, el punto 24 con una variación de 58.94 con progresiva 288.99, el punto 26 con una variación de 47.34 con progresiva 2182.49, el punto 29 con una variación de 41.70 con progresiva 2552.14, el punto 29 con una variación de 45.28 con progresiva 3795.53, siendo estos puntos los más críticos, ya que superan una variación de 40.

Figura 64

Perfil de variación de velocidades de operación con valores de R propuestos para carretera de 2da clase.



Nota. Se detecta variaciones de velocidad hasta de 16 km/h, por lo que se determinaría una vía consistente.

Al analizar la Figura 64, se detecta ligeras variaciones de velocidad de operación, por lo que en el análisis hipotético de la vía con radios de curvatura mayores o igual a 125 metros la carretera sería consistente.

5.7.2. **Discusión de Resultados de la Consistencia del Diseño Geométrico.**

La consistencia del diseño geométrico se analizó en los 3 grados de consistencia de acuerdo a los criterios II de Lamm limitadas en la siguiente: grado de consistencia buena, $\Delta V_{(85)} \leq 10$; grado de consistencia aceptable, $10 < \Delta V_{(85)} \leq 20$; y grado de consistencia pobre cuando la $\Delta V_{(85)} > 20$.

Figura 65

Grado de consistencia de diseño geométrico real



Nota. Se tiene una vía no consistente al detectarse el grado de consistencia POBRE al 46%, requiriéndose el mantenimiento.

Luego de extraer los datos de la Tabla 30 e insertarlo en una gráfica se puede visualizar en la Figura 65 donde la consistencia del diseño geométrico evaluado de acuerdo al criterio II de Lamm en sus 3 grados, para el grado de consistencia bueno de 40.43%, para el grado de consistencia aceptable de 12.77% y para el grado de consistencia pobre de 46.81% respectivamente. Por lo que se deduce que de todo el tramo de la carretera HU-112 km 0 al km 4 + 525 el grado de consistencia del diseño geométrico en criterio bueno solamente se refleja en un 40.43% de todo el tramo. Por el contrario, se detecta en mayor porcentaje del grado de consistencia del diseño en criterio pobre, con un porcentaje de 46.81%.

La solución que propone en los criterios II de Lamm, para grados de consistencia pobre es el de rediseñar la vía en todo caso, mejorar el trazo de la vía, por su alto índice de cambios bruscos de velocidad de operación $\Delta V_{(85)}$. La solución inmediata que propone en los criterios II de Lamm para grados de consistencia ACEPTABLE es la implementación de señalización para prevenir el cambio brusco de velocidades de operación $\Delta V_{(85)}$ que fluctúan entre $10 < \Delta V_{(85)} \leq 20$.

Figura 66

Grado de consistencia de la vía con radios propuestos para carretera de segunda clase.



Nota. Se detecta la predominancia del grado de consistencia BUENA en un 89.36%, por lo que la vía con los valores de radios propuestos para carretera de 2da clase llegaría a ser un tramo consistente.

Luego de extraer los datos de la Tabla 33 dónde se evaluó para un caso con radios propuestos para carreteras de segunda clase, las cuales luego de insertarlo en una gráfica se puede visualizar en la Figura 66 donde la consistencia del diseño geométrico evaluado de acuerdo al criterio II de Lamm en sus 3 grados, para el grado de consistencia bueno de 89.36%, para el grado de consistencia aceptable de 10.64% y para el grado de consistencia pobre de 0.00% respectivamente. Por lo que se deduce que de todo el tramo de la carretera HU-112 km 0 al km 4 + 525 el grado de consistencia del diseño geométrico en criterio BUENA se refleja en un 89.36% de todo el tramo. Por el contrario, se detecta el grado de consistencia del diseño en criterio POBRE, con un porcentaje de 0.00%.

La solución inmediata que propone en los criterios II de Lamm para grados de consistencia ACEPTABLE es la implementación de señalización para prevenir el cambio brusco de velocidades de operación $\Delta V_{(85)}$ que fluctúan entre $10 < \Delta V_{(85)} \leq 20$.

De acuerdo a Aquino (2019) dónde analizaron los caminos vecinales HU-937, HU-927, HU-888, HU-894, HU-847, HU-879, HU-918 y HU-924, de donde concluye de los caminos vecinales analizados tienen un grado de consistencia BUENA al 85.21%, 11.50% con grado de consistencia ACEPTABLE, y 3.29% con grado de consistencia MALA. Por lo que, se puede denotar la existencia del grado de consistencia pobre, por lo que se insta al estado adoptar las medidas de análisis del grado de consistencia en el manual de carreteras actualizada; así como lo tiene el vecino país de Colombia con su Modelo Colombiano de estimación de velocidades de operación y análisis del grado de

De acuerdo a Jacinto (2019) dónde analizó los caminos vecinales siguientes: camino vecinal: Huacachi – Piedra Grande, camino vecinal: Pampahuasi – Santa Virginia y el camino vecinal: Linda Linda – Parquencho, de donde concluye de los caminos vecinales analizados un grado de consistencia BUENA al 54.75%, 14.95% con grado de consistencia ACEPTABLE, y 30.30% con grado de consistencia MALA. Se puede inferir de la comparación de resultados que hay una deficiencia en las vías de Pachitea con respecto al grado de consistencia POBRE por lo que se debe de tomar cartas en el asunto con respecto a esos temas.

De acuerdo a Arias y Remolina (2018) dónde analizó la vía la Lizama kilómetro 12.938 al kilómetro 19.473, ubicado en el departamento de Santander, Colombia, dónde determinó un grado de consistencia BUENA al 100%, lo que difiere de los resultados obtenidos en la carretera HU-112 km 0 al km 4+525 dónde se obtuvo un grado de consistencia BUENA al 40.43%, ACEPTABLE en un 12.77% y POBRE en un 46.81%, de dónde se concluye que en la carretera HU-112 km 0 al km 4 + 525 existe una deficiencia en el diseño geométrico de la carretera a diferencia de la vía la Lizama en Colombia.

De acuerdo a Sánchez (2011) la consistencia del trazado por perfiles de variación de velocidades de operación basadas en varias investigaciones anteriores dónde se ha demostrado que es un método eficaz debido a la experiencia de otros investigadores previos, también se demuestra en su eficacia en su presente investigación de tesis doctoral, dónde también recomienda emplear modelos de velocidades que se ajusten a las condiciones del país, por lo que se puede concluir con la investigación realizada en la carretera HU-112 km 0 al km 4+ 525 que es importante la adaptación de un grado de consistencia con modelos de velocidad desarrollados he investigados en el Perú, ya que se sabe que existe un modelo Colombiano para determinar el grado de consistencia en dicho país, pero en el Perú carecemos de un modelo propio, por lo que se adopta un modelo general de evaluación de grado de consistencia, como en la presente investigación dónde se tomó el criterio II de evaluación de grado de consistencia de Lamm Ruediger de dónde se obtuvieron resultados puntuales durante todo el tramo de la vía, recomendando un rediseño para el grado de consistencia pobre y recomendando implementar señalizaciones para el grado de consistencia ACEPTABLE.

De acuerdo a Carrera (2019) en la evaluación de la consistencia geométrica de la vía la Shita - Atumpata desde el kilómetro 0 al kilómetro 5, por medio de la variación de velocidades de operación $V_{(85)}$ de dónde se obtuvo un 13.46% de grado de consistencia BUENA, 13.94% de grado de consistencia tolerable y 72.60% pobre, de dónde se infiere que la vía es no consistente e insegura. Por ende, al comprar los resultados de una carretera en la región de Cajamarca al norte del Perú y la carretera HU-112 situada en el centro del Perú se puede generalizar que en el Perú hay un deficiente nivel de diseño geométrico y la consistencia del diseño para la mayoría de las vías.

De acuerdo a Araujo (2020) al evaluar la vía Celendín – El Suro, se obtuvo un grado de consistencia Pobre en un 42.03% de grado de consistencia POBRE, 19.32% de grado de consistencia TOLERABLE y de grado de consistencia BUENA al 38.65%,

siendo estos resultados de la carretera Celendín - El Suro similares al grado de consistencia hallados en la carretera HU-112 tramo Molino – Huarichaca (km 0 al km 4.525).

CONCLUSIONES

- El objetivo general fue determinar el cumplimiento de los parámetros de diseño geométrico de la carretera HU-112 tramo Molino – Huarichaca de acuerdo al Manual de Diseño Geométrico de Carreteras DG-2018 para su análisis de consistencia, por lo que se concluye que, se evidencia el promedio general del grado de cumplimiento de los parámetros de diseño geométrico con un porcentaje de 36.60%. La carretera HU-112 km 0+000 al km 4 + 525 tiene una infraestructura vial con parámetros de diseño geométricos deficientes. Durante la evaluación de consistencia del diseño geométrico se determinó que la vía es no consistente, debido a que predomina el grado de consistencia POBRE con 46.81%.
- El primer objetivo específico fue determinar el grado de cumplimiento de los parámetros de diseño geométrico en planta de la carretera HU-112 tramo Molino – Huarichaca, de acuerdo al Manual de Carreteras DG-2018, por lo que se concluye que el grado de cumplimiento de los parámetros de diseño geométrico en planta de 21.54%. La carretera HU-112 km 0+000 al km 4+525 tiene parámetros de diseño geométrico en planta deficientes. El promedio general del grado de cumplimiento de los parámetros de diseño en planta, se obtuvo de promediar el grado de cumplimiento de cada parámetro de diseño geométrico en planta, detallándose a continuación: el grado de cumplimiento de los 47 radios de curvatura es 25.53%, reflejándose solo el cumplimiento en 12 de 47 radios de curvatura; el grado de cumplimiento de sobrecanchos de las 47 curvas horizontales es 25.53%, reflejándose solo el cumplimiento en 12 de 47 sobrecanchos; el grado de cumplimiento de los peraltes de las curvas horizontales es 25.53%, reflejándose solo el cumplimiento en 12 de 47 peraltes de las curvas horizontales; el grado de cumplimiento de las longitudes

de transición de peralte es en extremo crítico y deficiente al 0.00%, reflejándose el cumplimiento en 0 de 47 longitudes de transición de peralte de las curvas horizontales; el grado de cumplimiento de las longitudes de curva horizontal es 25.53%, reflejándose solo el cumplimiento en 12 de 47 longitudes de curva horizontal; y el grado de cumplimiento de las longitudes de tramos en tangente es 27.08%, reflejándose solo el cumplimiento en 13 de 48 longitudes de tramos en tangente.

- El segundo objetivo específico fue determinar el grado de cumplimiento de los parámetros de diseño geométrico en perfil longitudinal de la carretera HU-112 tramo Molino – Huarichaca, de acuerdo al Manual de Carreteras DG-2018, por lo que se concluye que se obtuvo un promedio de cumplimiento de los parámetros de diseño geométrico en perfil longitudinal de 50.43%. La carretera HU-112 km 0+000 al km 4+525 cuenta con parámetros de diseño geométrico en perfil longitudinal deficientes. Es importante acotar que el promedio del grado de cumplimiento de los parámetros de diseño en perfil longitudinal es el único en superar la valla del 50.00%, no obstante, los parámetros de diseño geométrico aún tienen un 40.57% de incumplimiento. Es necesario resaltar, que el promedio general del grado de cumplimiento de los parámetros de diseño en perfil longitudinal, se determinaron de promediar el grado de cumplimiento de cada parámetro de diseño geométrico en perfil longitudinal de la carretera HU-112 km 0 al km 4 + 525, detallándose a continuación: el grado de cumplimiento de los 29 pendientes longitudinales es 75.86%, reflejándose el cumplimiento en 22 de 29 tramos con pendientes longitudinales; y el grado de cumplimiento de los 28 longitudes de curva verticales es 25.00%, reflejándose el cumplimiento en 7 de 28 longitudes de

curva verticales, cabe destacar que, de las 28 curva verticales analizadas, se observó 15 curvas convexas y 13 curvas cóncavas.

- El tercer objetivo específico fue determinar el grado de cumplimiento de los parámetros de diseño geométrico en sección transversal de la carretera HU-112 tramo Molino – Huarichaca, de acuerdo al Manual de Carreteras DG-2018, por lo que se concluye que el promedio general del grado de cumplimiento de los parámetros de diseño en sección transversal es 37.85%. A continuación se presenta el porcentaje del grado de cumplimiento de cada parámetro de diseño geométrico en sección transversal de la carretera HU-112 km 0 al km 4 + 525; el grado de cumplimiento de los anchos de calzada en los 4.525 km es 0.00%, siendo un caso crítico reflejado luego de la investigación, por lo que el cumplimiento de los anchos de calzada en todo el tramo de la carretera HU-112 km 0 al km 4 + 525 es en absoluto deficiente; el grado de cumplimiento del parámetro de diseño geométrico en sección transversal, berma, es 0.00%, reflejándose su inexistencia en ambos márgenes de todo el tramo de la carretera HU-112 km 0 al km 4 + 525, la cual indica un caso crítico de incumplimiento en los parámetros de diseño de la infraestructura vial, es importante acotar que se evidencia la inexistencia de la berma en el tramo de la carretera HU-112 km 0 al km 4 + 525; el grado de cumplimiento del bombeo en las secciones transversales de la carretera HU-112 km 0 al km 4 + 525 es de 65.28%, lo que refleja el cumplimiento del bombeo en los 4.525 km de la carretera HU-112 en un 65.28% de todo el tramo; y el grado de cumplimiento de las dimensiones de la cuneta existente en el margen izquierdo de la carretera HU-112 km 0 al km 4 + 525 es de 86.11%, siendo las dimensiones de las cunetas el único parámetro de diseño

geométrico en sección transversal con un grado de cumplimiento favorable, ya que se acerca al 100.00% de grado de cumplimiento.

- El cuarto objetivo específico fue determinar la consistencia del diseño geométrico de la carretera HU-112 tramo Molino – Huarichaca, de acuerdo al Manual de Carreteras DG-2018, por lo que se concluye que, se determinó la consistencia de diseño de la carretera HU-112 km 0+000 al km 4+525 de acuerdo al Manual de Carreteras DG-2018 como NO CONSISTENTE, puesto que, se determinó el grado de consistencia de acuerdo a los criterios II de Lamm, donde solamente se obtuvo un 40.43% de grado de consistencia BUENA, predominando en un 46.81% el grado de consistencia POBRE, y en menor porcentaje el grado de consistencia ACEPTABLE con 12.77%.
- Se concluye que para el grado de consistencia POBRE de 43.43%, la carretera HU-112 tramo Molino – Huarichaca no garantiza un seguro y óptimo tránsito de vehículos, y usuarios que constantemente discurren por el tramo en mención, ya que ponen constantemente su vida y sus bienes en riesgo inminente, pues, para tipificar el grado de consistencia como POBRE, se tiene en cuenta una variación mayor a 20 de la velocidad de operación, generando ello un cambio brusco de los vehículos que transitan con una velocidad máxima permisible en el tramo de la carretera HU-112 km 0 al km 4 + 525.
- Se concluye que el anterior diseño geométrico de la vía, fue realizado con una velocidad de diseño de 40 km/h y una clasificación antigua de la vía como carretera de tercera clase, ya que, luego de un análisis exhaustivo de la Tabla 33 y de la figura 58, dónde se detectó un mayor grado de cumplimiento al analizar las longitudes de transición de peralte y el ancho de las calzadas de la carretera HU-112 km 0 al km 4 + 525 con los parámetros de diseño geométrico para carreteras de tercera clase.

RECOMENDACIONES

- Una vez concluido un grado deficiente de cumplimiento de los parámetros de diseño, además de determinar una vía No consistente, se sugiere actualizar los parámetros de diseño que incumplen el manual de carreteras DG-2018, ya que con los parámetros de diseño geométrico actualizados de acuerdo a los parámetros máximos y mínimos se obtendrá una vía con alto grado de cumplimiento de los parámetros de diseño de la carretera, garantizando una seguridad vial a nivel de infraestructura, óptima.
- Al determinarse un grado de cumplimiento deficiente de los parámetros de diseño en planta, se recomienda que los radios de curvatura que incumplen la norma, que los sobreeanchos que incumplen la norma, que los peraltes de la vía que incumplen la norma, que las longitudes de curva de la vía que incumplen la norma, y las longitudes de tramos en tangente que incumplen la norma, sean planteados y plasmados en un proyecto de mejoramiento de trazo de acuerdo a la Ficha Técnica Estándar del MTC con alto grado de cumplimiento de los parámetros de diseño geométrico horizontal en planta.
- Al determinarse el grado de deficiente de cumplimiento de los 2 parámetros de diseño geométrico en perfil longitudinal analizados, siendo peralte y longitud de curva vertical, se recomienda plantear el mejoramiento de las pendientes para lograr una vía con pendientes armoniosas dónde no pongan en riesgo a los transportistas que transitan por el tramo de la vía en estudio, con respecto al mejoramiento de las curvas verticales de la carretera HU-112 km 0 al km 4+525, es indispensable la actualización y mejoramiento de éstas para cumplir los estándares mínimos de carretera de segunda clase.
- Una vez determinado el cálculo y análisis del grado de cumplimiento de los parámetros de diseño geométrico en sección transversal, se recomienda

ensanchar el ancho de la calzada, siendo este requisito principal para la clasificación por demanda como segunda clase de la carretera HU-112 km 0 al km 4 + 525, con respecto a los parámetros de diseño geométrico de sección transversal como bermas a ambos márgenes de la vía, bombeos de la calzada de la vía y las dimensiones mínimas de la vía, se recomienda impulsar un proyecto de inversión ya sea en el DRTC o en los gobiernos locales, para el mejoramiento de la vía, tomando en cuenta los parámetros mínimos de diseño para carreteras de segunda clase en el Manual de Carreteras DG-2018.

- La solución que se propone luego de evaluar con los criterios II de Lamm, para grados de consistencia POBRE es el de rediseñar la vía, lo que significa, mejorar el trazo de la vía, por su alto índice de cambios bruscos de velocidad de operación $\Delta V(85)$ superiores a 20, por lo que para las progresivas incluidas en los 46.81% de grado de consistencia POBRE de la vía es necesario hacer un mejoramiento del trazo y la solución inmediata que propone en los criterios II de Lamm para grados de consistencia ACEPTABLE es la implementación de señalizaciones verticales y horizontales en las progresivas determinadas con grado de consistencia ACEPTABLE.
- Es necesario una actualización de la carretera HU-112 km 0 al km 4 + 525 de una clasificación por demanda como carretera de tercera clase, detectada de analizar el grado de cumplimiento de longitud de transición de peralte y el ancho de las calzadas, a una carretera de segunda clase, debido al IMDA igual a 1277 veh/día y a la proyección de tránsito con tránsito final Pf igual a 1674 veh/día, encajando tanto el IMDA como el Pf en la clasificación de la carretera HU-112 km 0 al km 4 + 525 como carretera de segunda clase, siendo esto un motivo primordial adicionando el alto grado de incumplimiento

de los parámetros de la carretera HU-112 km 0 al km 4 + 525, es indispensable realizar una actualización como carretera de segunda clase.

- Para soluciones a largo plazo de las deficiencias detectadas al analizar los parámetros de diseño y el grado de consistencia de diseño, se recomienda realizar un mejoramiento de trazo, para mitigar el bajo grado de cumplimiento de los parámetros de diseño y la No consistencia de la carretera HU-112 km 0 al km 4 + 525,
- Para soluciones a corto plazo de las deficiencias detectadas al analizar los parámetros de diseño y el grado de consistencia de diseño, se recomienda implementar señalizaciones tanto horizontales como verticales que puedan influir en los peatones y conductores que transitan por la vía, para influir de manera positiva en su calidad de manejo seguro y en la prevención de riesgos de accidentes por los cambios brusco de velocidad de operación en los tramos continuos.
- Se detecta viviendas paralelas al margen de la calzada las cuales serán un impedimento al momento del ensanchamiento, por lo que se recomienda considerar en el proyecto de mejoramiento de trazo realizar el Plan de Compensación y Reasentamiento Involuntario (PACRI).
- A las progresivas 0 + 000 y las progresivas 4 + 525 se detecta gran confluencia de viviendas aledañas a la vía, por lo que una solución inmediata sería la de implementar semáforos, señalizaciones verticales y horizontales, e implementar reductores de velocidad de tipo resalto.
- Es de conocimiento general el tiempo excesivamente prolongado de los proyectos de inversión, por lo que se sugiere para los grados de consistencia ACEPTABLE, implementar señalizaciones verticales en las progresivas con cambios bruscos de velocidad delimitados entre 10 y 20, para así evitar

posibles accidentes en la progresiva de la vía determinado con grado de consistencia ACEPTABLE.

- Se recomienda mejorar e implementar cunetas revestidas en todo el tramo para evitar desbordamiento de agua en tiempos de lluvia.
- Es importante que el estudio realizado llegue a la DRTC – Huánuco y a los gobiernos locales a donde pertenece la carretera HU-112 km 0 al km 4 + 525 para su pronta elaboración del proyecto de mejoramiento de trazo de los 4.525 km de la carretera.
- Durante la elaboración del proyecto de mejoramiento de trazo se recomienda abarcar la seguridad vial desde los 3 enfoques: los vehículos, los usuarios y las vías, ya que en el presente estudio solo nos enfocamos en la infraestructura vial, específicamente en sus parámetros de diseño geométrico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aquino Duran, J. (2019). *Análisis de la geometría del trazado en relación con la seguridad vial de caminos vecinales de la provincia de Pachitea*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Hermilio Valdizan].

<https://repositorio.unheval.edu.pe/handle/20.500.13080/6786>

Araujo Cachay, B. J. F. (2020). *Evaluación de las características geométricas de la carretera Celendín - El Suro de acuerdo con las normas de diseño geométrico DG - 2013*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca].

<http://hdl.handle.net/20.500.14074/3777>

Arias Mesa J. I. y Remolina Tirado I. C. (2018). *Análisis de consistencia del diseño geométrico en una carretera de dos carriles en terreno llano desde Km 12+938 vía la Fortuna hasta el Km 19+473 vía la Lizama en ambos sentidos en el departamento de Santander*. [Tesis de pregrado, Universidad Pontificia Bolivariana – Seccional Bucaramanga].

<https://repository.upb.edu.co/handle/20.500.11912/5622>

Calixto Hernández, J. S. (2018). *Análisis de geometría de retornos en dobles calzadas de los proyectos app. GICA, APP. Pereira – La victoria y Concesión Costera, para estandarizar los criterios de diseño geométrico de los mismos*. [Tesis de Maestría, Universidad Militar Nueva Granada].

<https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/20473>

Cárdenas Grisales, J. (2da edición). (2013). *Diseño Geométrico de Carreteras*. Ecoe Ediciones.

Carreta Terrones, J. W. (2019). *Evaluación de la seguridad vial de la carretera La Shita – Atumpata KM 00 + 00 – KM 05 + 00 en función a sus parámetros de diseño geométrico*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca].
<https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/3038>

Céspedes Abanto, J. (1era edición). (2001). *Carreteras Diseño Moderno*. Editorial Universitaria UNC.

Defensoría del Pueblo, (21 de diciembre de 2022). *Cifra de accidentes de tránsito en 2022 alcanza niveles registrados antes de la pandemia*.
<https://www.defensoria.gob.pe/defensoria-del-pueblo-cifra-de-accidentes-de-transito-en-2022-alcanza-niveles-registrados-antes-de-la-pandemia/>

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, Carlos y Baptista Lucio, M. P. (6ta edición). (2014). *Metodología de la Investigación*. McGraw-Hill / Interamericana Editores.

Illinois Center for Transportation. (2016). *Speed Harmonization—Design Speed Vs. Operating Speed*. <https://apps.ict.illinois.edu/projects/getfile.asp?id=5056>

Jacinto Valentín, G. E. (2019). *Análisis de la geometría del trazado en relación con la seguridad vial de caminos vecinales de la provincia de Pachitea*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Hermilio Valdizan].
<https://repositorio.unheval.edu.pe/handle/20.500.13080/6786>

- Lamm, R., Guenther, A. K. y Choueiri, E. M. (1995). *Safety Module For Highway Geometric Design*. Washington: *Transportation Research Record 1512*.
<https://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/trr/1995/1512/1512-002.pdf>
- Melendez Muñoz, M. A. (2019). *Análisis técnico del diseño geométrico de la carretera nacional PE-3N, con relación al manual de carreteras DG-2018, tramo: KM. 136+000 – KM. 141+000*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión]. <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/1654>
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2008). *Ficha Técnica Estándar para Formulación y Evaluación de Proyectos de Inversión de Carreteras Interurbanas*.
<https://www.gob.pe/es/i/345336>
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2008). *Manual de Diseño de Carreteras No Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito*.
https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/manuales.html
- Sánchez Ordóñez, J. F. (2011). *Metodología para la evaluación de la consistencia del trazado de carreteras interurbanas de dos carriles*. [Tesis de doctorado, Universidad Politécnica de Madrid]. <https://oa.upm.es/11371/>
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. (2019). *Pronóstico de riesgos agroclimáticos de cultivo de papa*.
<https://www.senamhi.gob.pe/load/file/04415SENA-28.pdf>

Vara Horna, A. A. (2015). *Los 7 pasos para elaborar una tesis: Como elaborar y asesorar una tesis para Ciencias Administrativas, Finanzas, Ciencias Sociales y Humanidades*. <http://www.ebooks7-24.com/?il=6177>

ANEXOS

Matriz de consistencia

Consentimiento informado

Matriz de Operacionalización de Variables

Plano de ubicación localización.

Planos clave

Planos de planta y perfil

Planos de secciones transversales

Plantilla de Excel para el estudio de tráfico del MTC.

Panel fotográfico



"Año de la Unidad, la Paz y el Desarrollo"

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN



CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

N°023-2023- DI/FICyA

El director de investigación de la Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura de la Universidad Nacional Hermilio Valdizán de Huánuco

HACE CONSTAR que:

La Tesis titulada **"ANÁLISIS DEL DISEÑO GEOMÉTRICO Y EVALUACIÓN DE CONSISTENCIA DE LA CARRETERA HU-112 TRAMO MOLINO – HUARICHACA DE ACUERDO AL MANUAL DE CARRETERAS DG-2018. PACHITEA, HUÁNUCO – 2022"** del (os) Bachiller (s) **MARVIN KENEDY, PEREZ ZUÑIGA** en Ingeniería Civil, Cuenta con un índice de similitud del 08% verificable en el Reporte de Originalidad del software antiplagio Turnitin. Luego del análisis se concluye que, cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio, por lo expuesto la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias, además de presentar un índice de similitud menor al 35% establecido en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional Hermilio Valdizán.

Huánuco, 22 de junio del 2023



Dr. **José Luis VILLAVICENCIO GUARDIA**
Director de Investigación FICyA

DI.JLVG 2023

NOMBRE DEL TRABAJO

TESIS - MARVIN PEREZ ZUÑIGA-G.pdf

AUTOR

MARVIN KENEDY PEREZ ZUÑIGA

RECUENTO DE PALABRAS

46573 Words

RECUENTO DE CARACTERES

220198 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

190 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

7.6MB

FECHA DE ENTREGA

Jun 15, 2023 10:31 AM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Jun 15, 2023 10:34 AM GMT-5

● 8% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de da

- 7% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 5% Base de datos de trabajos entregados
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Coincidencia baja (menos de 15 palabras)
- Material citado



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL

En la ciudad universitaria de Cayhuayna, a los 15 días del mes de junio de 2023, siendo las 17.00 pm, se dará cumplimiento a la Resolución de Decano N°391-2023-UNHEVAL-FICA-D (Designando a la Comisión de Revisión y sustentación de tesis) y la Resolución Virtual N°438-2023-UNHEVAL-FICA-D, de fecha 12.JUN.2023 (Fijando fecha y hora de sustentación de tesis), en concordancia con el Reglamento de Grados y Títulos, en virtud de la Resolución Consejo Universitario N°3412-2022-UNHEVAL (Aprobando el procedimiento de la Sustentación de Tesis), los Miembros del Jurado van a proceder a la evaluación de la sustentación en acto publico presencial de tesis titulada: **ANÁLISIS DEL DISEÑO GEOMÉTRICO Y EVALUACIÓN DE CONSISTENCIA DE LA CARRETERA HU-112 TRAMO MOLINO – HUARICHACA DE ACUERDO AL MANUAL DE CARRETERAS DG-2018. PACHITEA, HUÁNUCO – 2022**, para optar el Título de Ingeniero Civil del Bachiller **MARVIN KENEDY PEREZ ZUÑIGA**, reuniéndose en el Auditorio de la FICyA, el jurado examinador integrado por los Docentes: Dr. Est. Helí Mariano Santiago, PRESIDENTE – Ing. Mauro Antonio Dominguez Magino, SECRETARIO – Mg. Ing. Luis Fernando Narro Jara, VOCAL y el bachiller mencionado, a fin de proceder con la evaluación y calificación de la sustentación de tesis y obtener el TÍTULO de **INGENIERO CIVIL** de la carrera profesional de Ingeniería Civil, de la Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura.

Concluido el acto de defensa los miembros de jurado, procedió a la evaluación del aspirante al titulo profesional de Ingeniero Civil, obteniendo luego el resultado siguiente:

APELLIDOS Y NOMBRES	DICTAMEN	NOTA	CALIFICATIVO
PEREZ ZUÑIGA MARVIN KENEDY	APROBADO	14	BUENO

Calificación que se realizo de acuerdo al Resolución Consejo Universitario N°3412-2022-UNHEVAL - Título VII – Capítulo VI Art.78 Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional Hermilio Valdizán

Dándose por finalizado dicho acto a las: ^{10PM} del mismo día 15/06/2023 con lo que se dio por concluido, y en fe de lo cual firmamos.


HELÍ MARIANO SANTIAGO
 PRESIDENTE


MAURO ANTONIO DOMINGUEZ MAGINO
 SECRETARIO


LUIS FERNANDO NARRO JARA
 VOCAL

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DIGITAL Y DECLARACIÓN JURADA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA OPTAR UN GRADO ACADÉMICO O TÍTULO PROFESIONAL

1. Autorización de Publicación: (Marque con una "X")

Pregrado	<input checked="" type="checkbox"/>	Segunda Especialidad		Posgrado:	Maestría		Doctorado
Pregrado (tal y como está registrado en SUNEDU)							
Facultad	INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA						
Escuela Profesional	INGENIERIA CIVIL O ARQUITECTURA						
Carrera Profesional	INGENIERIA CIVIL O ARQUITECTURA						
Grado que otorga							
Título que otorga	INGENIERO CIVIL						
Segunda especialidad (tal y como está registrado en SUNEDU)							
Facultad	-----						
Nombre del programa	-----						
Título que Otorga	-----						
Posgrado (tal y como está registrado en SUNEDU)							
Nombre del Programa de estudio	-----						
Grado que otorga	-----						

2. Datos del Autor(es): (Ingrese todos los datos requeridos completos)

Apellidos y Nombres:	PEREZ ZUÑIGA MARVIN KENEDY							
Tipo de Documento:	DNI	<input checked="" type="checkbox"/>	Pasaporte		C.E.		Nro. de Celular:	975332106
Nro. de Documento:	75444552				Correo Electrónico:	marvinkenedyperez@gmail.com		
Apellidos y Nombres:								
Tipo de Documento:	DNI		Pasaporte		C.E.		Nro. de Celular:	
Nro. de Documento:					Correo Electrónico:			
Apellidos y Nombres:								
Tipo de Documento:	DNI		Pasaporte		C.E.		Nro. de Celular:	
Nro. de Documento:					Correo Electrónico:			

3. Datos del Asesor: (Ingrese todos los datos requeridos completos según DNI, no es necesario indicar el Grado Académico del Asesor)

¿El Trabajo de Investigación cuenta con un Asesor?: (marque con una "X" en el recuadro del costado, según corresponda)	SI	<input checked="" type="checkbox"/>	NO			
Apellidos y Nombres:	QUINTANILLA HERRERA ELISA RAQUEL			ORCID ID:	https://orcid.org/ 0000-0003-0442-0486	
Tipo de Documento:	DNI	<input checked="" type="checkbox"/>	Pasaporte		Nro. de documento:	22527428

4. Datos del Jurado calificador: (Ingrese solamente los Apellidos y Nombres completos según DNI, no es necesario indicar el Grado Académico del Jurado)

Presidente:	MARIANO SANTIAGO HELI
Secretario:	DOMINGUEZ MAGINO MAURO ANTONIO
Vocal:	NARRO JARA LUIS FERNANDO
Vocal:	
Vocal:	
Accesitario	LIRA CAMARGO LUIS GERONIMO



5. Declaración Jurada: *(Ingrese todos los datos requeridos completos)*

a) Soy Autor (a) (es) del Trabajo de Investigación Titulado: <i>(Ingrese el título tal y como está registrado en el Acta de Sustentación)</i>
ANÁLISIS DEL DISEÑO GEOMÉTRICO Y EVALUACIÓN DE CONSISTENCIA DE LA CARRETERA HU-112 TRAMO MOLINO – HUARICHACA DE ACUERDO AL MANUAL DE CARRETERAS DG-2018. PACHITEA, HUÁNUCO – 2022
b) El Trabajo de Investigación fue sustentado para optar el Grado Académico ó Título Profesional de: <i>(tal y como está registrado en SUNEDU)</i>
TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL
c) El Trabajo de investigación no contiene plagio (ninguna frase completa o párrafo del documento corresponde a otro autor sin haber sido citado previamente), ni total ni parcial, para lo cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias.
d) El trabajo de investigación presentado no atenta contra derechos de terceros.
e) El trabajo de investigación no ha sido publicado, ni presentado anteriormente para obtener algún Grado Académico o Título profesional.
f) Los datos presentados en los resultados (tablas, gráficos, textos) no han sido falsificados, ni presentados sin citar la fuente.
g) Los archivos digitales que entrego contienen la versión final del documento sustentado y aprobado por el jurado.
h) Por lo expuesto, mediante la presente asumo frente a la Universidad Nacional Hermilio Valdizan (en adelante LA UNIVERSIDAD), cualquier responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del contenido del Trabajo de Investigación, así como por los derechos de la obra y/o invención presentada. En consecuencia, me hago responsable frente a LA UNIVERSIDAD y frente a terceros de cualquier daño que pudiera ocasionar a LA UNIVERSIDAD o a terceros, por el incumplimiento de lo declarado o que pudiera encontrar causas en la tesis presentada, asumiendo todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse de ello. Asimismo, por la presente me comprometo a asumir además todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse para LA UNIVERSIDAD en favor de terceros con motivo de acciones, reclamaciones o conflictos derivados del incumplimiento de lo declarado o las que encontraren causa en el contenido del trabajo de investigación. De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que el trabajo haya sido publicado anteriormente; asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a la normatividad vigente de la Universidad Nacional Hermilio Valdizan.



6. Datos del Documento Digital a Publicar: *(Ingrese todos los datos requeridos completos)*

Ingrese solo el año en el que sustentó su Trabajo de Investigación: <i>(Verifique la Información en el Acta de Sustentación)</i>			2023
Modalidad de obtención del Grado Académico o Título Profesional: <i>(Marque con X según Ley Universitaria con la que inició sus estudios)</i>	Tesis	<input checked="" type="checkbox"/>	Tesis Formato Artículo
	Trabajo de Investigación		Trabajo de Suficiencia Profesional
	Trabajo Académico		Otros <i>(especifique modalidad)</i>
Palabras Clave: <i>(solo se requieren 3 palabras)</i>	Diseño geométrico	Consistencia del diseño	Grado de consistencia
Tipo de Acceso: <i>(Marque con X según corresponda)</i>	Acceso Abierto	<input checked="" type="checkbox"/>	Condición Cerrada (*)
	Con Periodo de Embargo (*)		Fecha de Fin de Embargo:
¿El Trabajo de Investigación, fue realizado en el marco de una Agencia Patrocinadora? <i>(ya sea por financiamientos de proyectos, esquema financiero, beca, subvención u otras; marcar con una "X" en el recuadro del costado según corresponda):</i>	SI	NO	<input checked="" type="checkbox"/>
Información de la Agencia Patrocinadora:			

El trabajo de investigación en digital y físico tienen los mismos registros del presente documento como son: Denominación del programa Académico, Denominación del Grado Académico o Título profesional, Nombres y Apellidos del autor, Asesor y Jurado calificador tal y como figura en el Documento de Identidad, Título completo del Trabajo de Investigación y Modalidad de Obtención del Grado Académico o Título Profesional según la Ley Universitaria con la que se inició los estudios.

7. Autorización de Publicación Digital:

A través de la presente. Autorizo de manera gratuita a la Universidad Nacional Hermilio Valdizán a publicar la versión electrónica de este Trabajo de Investigación en su Biblioteca Virtual, Portal Web, Repositorio Institucional y Base de Datos académica, por plazo indefinido, consintiendo que con dicha autorización cualquier tercero podrá acceder a dichas páginas de manera gratuita pudiendo revisarla, imprimirla o grabarla siempre y cuando se respete la autoría y sea citada correctamente. Se autoriza cambiar el contenido de forma, más no de fondo, para propósitos de estandarización de formatos, como también establecer los metadatos correspondientes.

Firma:			
Apellidos y Nombres:	PEREZ ZUÑIGA MARVIN KENEDY		Huella Digital
DNI:	75444552		
Firma:			
Apellidos y Nombres:			Huella Digital
DNI:			
Firma:			
Apellidos y Nombres:			Huella Digital
DNI:			
Fecha: 22/06/2023			

Nota:

- ✓ No modificar los textos preestablecidos, conservar la estructura del documento.
- ✓ Marque con una X en el recuadro que corresponde.
- ✓ Llenar este formato de forma digital, con tipo de letra **calibri**, **tamaño de fuente 09**, manteniendo la alineación del texto que observa en el modelo, sin errores gramaticales (*recuerde las mayúsculas también se tildan si corresponde*).
- ✓ La información que escriba en este formato debe coincidir con la información registrada en los demás archivos y/o formatos que presente, tales como: DNI, Acta de Sustentación, Trabajo de Investigación (PDF) y Declaración Jurada.
- ✓ Cada uno de los datos requeridos en este formato, es de carácter obligatorio según corresponda.