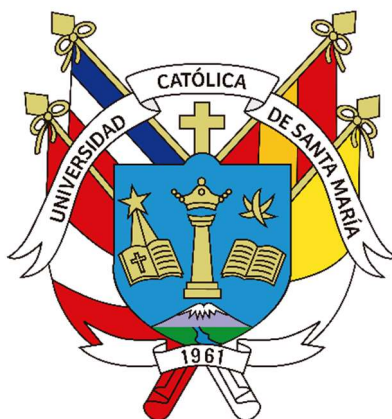


Universidad Católica de Santa María
Facultad de Arquitectura e Ingenierías Civil y del Ambiente
Escuela Profesional de Ingeniería Civil



Desarrollo de ecuaciones de predicción de velocidad de operación en carreteras rurales en terreno de pendiente variable en curvas horizontales y verticales en el departamento de Moquegua.

Tesis presentada por el bachiller:

Antezana Carrera, Sebastián Augusto

ORCID: 0009-0004-7964-8041

para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil

Asesor:

Mg. Gamarra Tuco, Rubén Francisco

ORCID: 0000-0003-1748-5887

Arequipa - Perú

2024

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

INGENIERIA CIVIL

TITULACIÓN CON TESIS

DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 21 de Mayo del 2024

Dictamen: 007737-C-EPIC-2024

Visto el borrador del expediente 007737, presentado por:

2016810101 - ANTEZANA CARRERA SEBASTIAN AUGUSTO

Titulado:

**DESARROLLO DE ECUACIONES DE PREDICCIÓN DE VELOCIDAD DE OPERACIÓN EN
CARRETERAS RURALES EN TERRENO DE PENDIENTE VARIABLE EN CURVAS HORIZONTALES Y
VERTICALES EN EL DEPARTAMENTO DE MOQUEGUA**

Nuestro dictamen es:

APROBADO

Título Profesional/Título de Segunda Especialidad/Grado Académico a optar:

INGENIERO CIVIL

**29439333 - TICONA BALDARRAGO AGUSTO ISRAEL
DICTAMINADOR**



**29676388 - TEJADA CALDERON JUAN CARLOS
DICTAMINADOR**



**71256920 - TORRES ALMIRON JENIFFER CARLA
DICTAMINADOR**



Desarrollo de ecuaciones de predicción de velocidad de operación en carreteras rurales en terreno de pendiente variable en curvas horizontales y verticales en el departamento de Moquegua.

INFORME DE ORIGINALIDAD

10%

INDICE DE SIMILITUD

9%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

4%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	tesis.pucp.edu.pe Fuente de Internet	1%
2	www.slideshare.net Fuente de Internet	1%
3	kipdf.com Fuente de Internet	1%
4	qdoc.tips Fuente de Internet	<1%
5	www.grafiati.com Fuente de Internet	<1%
6	repository.javeriana.edu.co Fuente de Internet	<1%
7	repositorio.ucsm.edu.pe Fuente de Internet	<1%
8	upc.aws.openrepository.com Fuente de Internet	<1%

DEDICATORIA

*Quiero dedicar esta investigación a mi madre, Delba, por su amor y apoyo incondicional,
que me ha motivado a seguir adelante a pesar de todo.*

*A mis abuelos Ana y Jaime que me criaron desde pequeño y me acompañaron siempre,
guiándome por el camino correcto.*

*A mi hermano Joaquín espero ser un buen ejemplo para ti y mostrarte que, con dedicación
y esfuerzo, todo es posible.*



AGRADECIMIENTOS

*Expreso mi más sincero agradecimiento a mi madre por sus sacrificios y apoyo para que
yo pudiera salir adelante.*

*A mi Asesor el ingeniero Rubén Gamarra Tuco por su apoyo y asesoría en el desarrollo de
esta investigación.*

*También quiero agradecer a todos mis amigos de la carrera, quienes han compartido
conmigo este camino, este viaje no habría sido el mismo sin ustedes.*



RESUMEN

En el Perú, en los últimos años se ha evaluado la seguridad vial de las carreteras del país por medio del análisis de consistencia, cuya metodología requiere conocer la velocidad de operación de los proyectos que se van a ejecutar o de la carretera existente, actualmente, en el manual de diseño geométrico DG.2018 se utilizan ecuaciones que fueron desarrolladas para condiciones viales (características del parque vehicular y geometría del trazado) distintas a las del Perú. Es por ello por lo que la presente investigación tuvo como objetivo desarrollar ecuaciones de predicción de velocidad de operación en carreteras rurales en terreno de pendiente variable en curvas horizontales y verticales en el departamento de Moquegua que consideren las características del trazado y las características del parque vehicular. Para tal fin, se tomaron datos y mediciones de velocidad a vehículos familiares y de uso diario en un total de 161 curvas analizadas en la carretera PE-1SD Tramo Punta de Bombón – Ilo, entre las cuales, 119 fueron curvas horizontales y 42 curvas verticales, una vez obtenidos los datos, fue posible desarrollar 10 ecuaciones de predicción de velocidad de operación para diferentes condiciones geométricas. Con las ecuaciones obtenidas y las ecuaciones que se utilizan en el Manual de diseño geométrico DG.2018 se hizo un análisis de consistencia de la carretera analizada y se compararon los resultados, en la comparación se evidencio que hay diferencias significativas entre los resultados obtenidos, lo que demuestra que existe la necesidad de desarrollar ecuaciones propias de predicción de velocidad de operación para cada región del país, ecuaciones que tomen en cuenta las condiciones específicas de cada región para poder evaluar con mayor precisión la seguridad vial a partir de los análisis de consistencia del trazado.

Palabras claves:

Ecuaciones de predicción de velocidad, Velocidad de operación, Análisis de consistencia.

ABSTRACT

In recent years, road safety in Peru has been evaluated through consistency analysis, a methodology that requires knowledge of the operating speed of the projects to be executed or the existing road. Currently, the DG.2018 geometric design manual uses equations developed for road conditions (vehicle fleet characteristics and geometric layout) different from those in Peru. Therefore, the objective of this research was to develop operating speed prediction equations for rural roads on variable slope terrain in horizontal and vertical curves in the Moquegua region, taking into account the characteristics of the layout and the vehicle fleet.

To this end, data and speed measurements were collected from family and daily-use vehicles in a total of 161 curves analyzed on the PE-1SD highway, Punta de Bombón – Ilo section. Among these, 119 were horizontal curves and 42 were vertical curves. Once the data was obtained, it was possible to develop 10 operating speed prediction equations for different geometric conditions. Using the obtained equations and those used in the DG.2018 Geometric Design Manual, a consistency analysis of the analyzed highway was performed, and the results were compared. The comparison revealed significant differences between the obtained results, demonstrating the need to develop specific operating speed prediction equations for each region of the country, considering the specific conditions of each region to more accurately evaluate road safety through consistency analysis.

Key words:

Speed prediction equations, Operating speed, Consistency analysis.

INDICE

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
RESUMEN	iii
ABSTRACT	iv
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I	2
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.1. Problemática de la investigación.....	3
1.1.1. Nivel nacional.....	4
1.2. Justificación de la investigación (ambiental, social, económica, tecnológica, y/o político/institucional).....	9
1.3. Hipótesis.....	11
1.4. Objetivos de la investigación.....	12
1.4.1. Objetivo general:	12
1.4.2. Objetivos específicos:	12
1.5. Alcances y limitaciones.....	12
1.5.1. Alcances:.....	12
1.5.2. Limitaciones:.....	13
CAPITULO II.....	14
2. FUNDAMENTO TEORICO:.....	15
2.1. Estado del Arte.	15
2.2. Antecedentes de la investigación.....	18
2.3. Marco Legal.....	22
2.4. Marco Teórico.....	22
2.4.1. Clasificación de carreteras.....	22
2.4.2. Diseño Geométrico En Planta, Perfil Y Sección Transversal.	26

CAPITULO III	49
3. METODOLOGIA PROPUESTA.	50
3.1. Tipo de Investigación.....	50
3.2. Nivel de Investigación.	50
3.3. Diseño de Investigación.....	50
3.4. Variables de la investigación.	50
3.5. Operacionalización de variables.	51
3.6. Población y Muestra.....	51
3.6.1. Población.	51
3.6.2. Muestra.....	53
3.7. Métodos de investigación.	54
3.7.1. Análisis de las carreteras del territorio y definición de parámetros fijos por investigar.....	54
3.7.2. Determinación de los sitios y selección de la muestra.	55
3.7.3. Completamiento de información en el terreno.	55
3.7.4. Flota vehicular.	55
3.7.5. Mediciones de velocidad en los sitios seleccionados.	56
3.7.6. Desarrollo de las ecuaciones de predicción del perfil de velocidad.....	58
3.8. Aporte de investigación.....	58
CAPITULO IV.....	59
4. RESULTADOS Y DISCUSION	60
4.1. Análisis de las carreteras del territorio y definición de parámetros fijos por investigar.	60
4.1.1. Determinación de los sitios y selección de la muestra.	60
4.1.2. Determinación de los sitios seleccionados:	61
4.1.3. Mediciones de velocidad en los sitios seleccionados.	83
4.2. Trabajo de campo en los sitios seleccionados.	84

4.2.1. Desarrollo de las ecuaciones de predicción del perfil de velocidad de operación.	84
4.3. Resumen de Ecuaciones de predicción de velocidades de operación.....	124
4.4. Validación de ecuaciones de predicción de velocidad para curvas horizontales y verticales.	125
4.4.1. V85 previsto versus observado en el punto medio de la curva.....	126
4.4.2. Resumen de estadísticas para ecuaciones de predicción de velocidad...	136
4.5. Evaluación de la consistencia del trazado.	137
4.5.1. Evaluación de consistencia para curvas Horizontales.....	138
4.5.2. Evaluación de consistencia para curvas Verticales.	149
4.6. Análisis y comparación de consistencia con ecuaciones de Fitzpatrick (2000).	151
4.6.1. Comparación consistencia de trazado curvas Horizontales.	151
4.6.2. Comparación de consistencia de trazado para curvas verticales.....	157
DISCUSIÓN.....	160
CONCLUSIONES	160
RECOMENDACIONES	162
REFERENCIAS	163
ANEXOS	168

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Porcentajes de accidentes de tránsito según sus causas primer semestre del 2021 en el Perú	5
Figura 2 Encuesta de comisarias sobre accidentes de tránsito por departamento (2010)	6
Figura 3 Tasa de accidentes de tránsito en el Perú por departamento	7
Figura 4 Tasa de fallecidos por accidentes de tránsito por departamento en el Perú .	8
Figura 5 Disposición de los puntos del muestreo en estudio de Collins y Krammes (1996)	19
Figura 6 Esquema para la recolección de datos con la pistola de radar (Fitzpatrick et al., 2000a)	20
Figura 7 Esquema de mediciones de velocidad en el modelo de las cuatro zonas, Echaveguren y Basualto (2003).....	21
Figura 8 Enfoques de análisis de consistencia.....	34
Figura 9 Ambito de criterios de evaluación de consistencia de Lamm	37
Figura 10 Pistola de velocidad Bushnell Velocity Speed Gun.....	48
Figura 11 Tramo de carretera a analizar de la carretera PE 1 SD.....	52
Figura 12 Pistola de velocidad Bushnell Speed Velocity Gun.....	56
Figura 13 Esquema de carretera analizada Km 19 - Km 24 para curvas horizontales	62
Figura 14 Esquema de carretera analizada Km 25 - Km 33 para curvas horizontales	63
Figura 15 Esquema de carretera analizada Km 33 - Km 38 para curvas horizontales	64
Figura 16 Esquema de carretera analizada Km 38 - Km 45 para curvas horizontales	65
Figura 17 Esquema de carretera analizada Km 45 - Km 50 para curvas horizontales	66
Figura 18 Esquema de carretera analizada Km 50 - Km 57 para curvas horizontales	67
Figura 19 Esquema de carretera analizada Km 57 - Km 64 para curvas horizontales	68

Figura 20 Esquema de carretera analizada Km 64 - Km 70 para curvas horizontales	69
Figura 21 Esquema de carretera analizada Km 71 - Km 75 para curvas horizontales	70
Figura 22 Esquema de carretera analizada Km 76 - Km 81 para curvas horizontales	71
Figura 23 Esquema de carretera analizada Km 81 - Km 86 para curvas horizontales	72
Figura 24 Esquema de carretera analizada Km 19 - Km 25 para curvas verticales	77
Figura 25 Esquema de carretera analizada Km 28 - Km 38 para curvas verticales	77
Figura 26 Esquema de carretera analizada Km 39 - Km 49 para verticales	78
Figura 27 Esquema de carretera analizada Km 49 - Km 59 para curvas verticales	79
Figura 28 Esquema de carretera analizada Km 67 - Km 74 para curvas verticales	80
Figura 29 Esquema de carretera analizada Km 84 - Km 91 para curvas verticales	81
Figura 30 Diagrama de dispersión de Velocidad por Rinv para la condición 1	89
Figura 31 Diagrama de dispersión de Velocidad por Rinv	94
Figura 32 Diagrama de dispersión de Velocidad por Rinv para condición 4	102
Figura 33 Diagrama de dispersión de Velocidad por Rinv para condición 5	106
Figura 34 Diagrama de dispersión de Velocidad por Rinv para condición 6	109
Figura 35 Diagrama de dispersión de Velocidad por Rinv para condición 7	112
Figura 36 Diagrama de dispersión de velocidad por Kinv para condición 8	116
Figura 37 Diagrama de dispersión de Velocidad por Kinv para condición 9	119
Figura 38 Diagrama de dispersión de Velocidad por Kinv para condición 10	123
Figura 39 Ecuaciones de predicción de velocidades de operación (Antezana)	125
Figura 40 V85 previsto versus observado en el punto medio de la curva (Condición 1)	127
Figura 41 V85 previsto versus observado en el punto medio de la curva (Condición 2)	128
Figura 42 V85 previsto versus observado en el punto medio de la curva (Condición 3)	129
Figura 43 V85 previsto versus observado en el punto medio de la curva (Condición 4)	130

Figura 44 V85 previsto versus observado en el punto medio de la curva (Condición 5).....	131
Figura 45 V85 previsto versus observado en el punto medio de la curva (Condición 6).....	132
Figura 46 V85 previsto versus observado en el punto medio de la curva (Condición 7).....	133
Figura 47 V85 previsto versus observado en el punto medio de la curva (Condición 8).....	134
Figura 48 V85 previsto versus observado en el punto medio de la curva (Condición 4).....	135
Figura 49 V85 previsto versus observado en el punto medio de la curva (Condición 10).....	136
Figura 50 Esquema del tramo de carretera Tramo La Punta – Ilo, Progresiva Km 19 – Km 32	140
Figura 51 Evaluación de consistencia de trazado - Carretera PE 1SD - Tramo La Punta – Ilo, Curvas Horizontales. Progresiva 19+213.737-30+410.699.....	140
Figura 52 Esquema del tramo de carretera Tramo La Punta – Ilo, Progresiva Km 33 – Km 45	141
Figura 53 Evaluación de consistencia de trazado - Carretera PE 1SD - Tramo La Punta – Ilo, Curvas Horizontales. Progresiva 30+820.082-44+353.311.....	141
Figura 54 Esquema del tramo de carretera Tramo La Punta – Ilo, Progresiva Km 45- Km 54.	143
Figura 55 Evaluación de consistencia de trazado - Carretera PE 1SD - Tramo La Punta – Ilo, Curvas Horizontales. Progresiva 44+904.305-54+282.570.....	143
Figura 56 Esquema del tramo de carretera Tramo La Punta – Ilo, Progresiva Km 55-61 Km.....	144
Figura 57 Evaluación de consistencia de trazado - Carretera PE 1SD - Tramo La Punta – Ilo, Curvas Horizontales. Progresiva 54+918.327-61+477.464.....	144
Figura 58 Esquema del tramo de carretera Tramo La Punta – Ilo, Progresiva Km 61- Km 67	146
Figura 59 Evaluación de consistencia de trazado - Carretera PE 1SD - Tramo La Punta – Ilo, Curvas Horizontales. Progresiva 61+694.192-67+390.740.....	146

Figura 60 Esquema del tramo de carretera Tramo La Punta – Ilo, Progresiva Km 68- Km 77	147
Figura 61 Evaluación de consistencia de trazado - Carretera PE 1SD - Tramo La Punta – Ilo, Curvas Horizontales. Progresiva 67+652.318-76+858.531.....	147
Figura 62 Esquema del tramo de carretera Tramo La Punta – Ilo, Progresiva Km 77- Km 84	148
Figura 63 Evaluación de consistencia de trazado - Carretera PE 1SD - Tramo La Punta – Ilo, Curvas Horizontales. Progresiva 76+858.531-84+409.206.....	148
Figura 64 Evaluación de consistencia de trazado - Carretera PE 1SD - Tramo La Punta – Ilo, Curvas Verticales. Progresiva 19+350-46+460.	150
Figura 65 Evaluación de consistencia de trazado - Carretera PE 1SD - Tramo La Punta – Ilo, Curvas Verticales. Progresiva 46+990 - 89+210.	150
Figura 66 Comparación de consistencia de trazado - Carretera PE 1SD - Tramo La Punta – Ilo, Progresiva 19+213.737-30+410.699.....	152
Figura 67 Comparación de consistencia de trazado - Carretera PE 1SD - Tramo La Punta – Ilo, Progresiva 30+820.082-44+353.311.....	152
Figura 68 Comparación de consistencia de trazado - Carretera PE 1SD - Tramo La Punta – Ilo, Progresiva 44+904.305+54+282.57.....	154
Figura 69 Comparación de consistencia de trazado - Carretera PE 1SD - Tramo La Punta – Ilo, Progresiva 54+918.327-61+477.464.....	154
Figura 70 Comparación de consistencia de trazado - Carretera PE 1SD - Tramo La Punta – Ilo, Progresiva 61+694.193-67+390.74.....	156
Figura 71 Comparación de consistencia de trazado - Carretera PE 1SD - Tramo La Punta – Ilo, Progresiva 67+652.318-84+409.206.....	156
Figura 72 Comparación de consistencia de trazado - Carretera PE 1SD - Tramo La Punta – Ilo, Progresiva 19+350 - 45+680.....	158
Figura 73 Comparación de consistencia de trazado - Carretera PE 1SD - Tramo La Punta – Ilo, Progresiva 46+250 - 89+210.....	158

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Ejemplo de índices de alineamiento.	35
Tabla 2 Calificación de Consistencia de Diseño (Lanm et al, 1999).....	42
Tabla 3 Ecuaciones de Fitzpatrick para la estimación de velocidades de operación	45
Tabla 4 Valores de velocidades máximas de operación según DG.2018-MTC	46
Tabla 5 Tabla de operacionalización de variables	51
Tabla 6 Trazado para el desarrollo.....	52
Tabla 7 Desviación estándar para determinar el tamaño de muestra.....	57
Tabla 8 Valores de constante K	57
Tabla 9 Valores de constante U	58
Tabla 10 Tramo de carretera a analizar.....	60
Tabla 11 Agrupación de curvas por condición	61
Tabla 12 Cantidad de curvas horizontales	61
Tabla 13 Elementos de curvas horizontales para condición 1	73
Tabla 14 Elementos de curvas horizontales para condición 2.	73
Tabla 15 Elementos de curvas horizontales para condición 3	74
Tabla 16 Elementos de curvas horizontales para condición 4	74
Tabla 17 Elementos de curvas horizontales para condición 5	75
Tabla 18 Elementos de curvas horizontales para condición 6	75
Tabla 19 Elementos de curvas horizontales para condición 7	76
Tabla 20 Elementos de curvas verticales para condición 8	82
Tabla 21 Elementos de curvas verticales para condición 9	82
Tabla 22 Elementos de curvas verticales para condición 10	83
Tabla 23 Resultados obtenidos de mediciones de velocidad en campo para condición 1	85
Tabla 24 Resumen de mediciones para condición 1	87
Tabla 25 Resumen de modelo para condición 1	88
Tabla 26 Coeficientes para condición 1	88
Tabla 27 Resultados obtenidos de mediciones de velocidad en campo para condición 2	90
Tabla 28 <i>Resumen de mediciones para condición 2</i>	93
Tabla 29 Resumen de modelo para condición 2	93

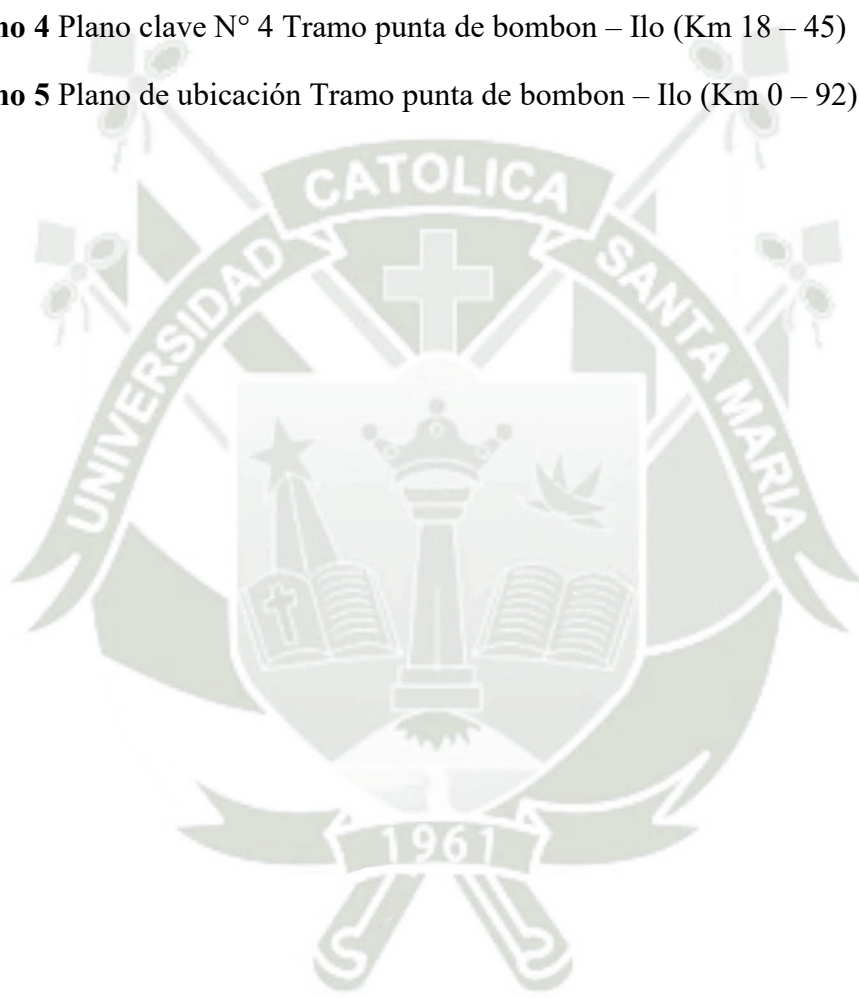
Tabla 30 Coeficientes para condición 2	94
Tabla 31 Resultados obtenidos de mediciones de velocidad en campo para condición 3	95
Tabla 32 Resumen de mediciones para condición 3	97
Tabla 33 Resumen de modelo para condición 3	97
Tabla 34 Coeficientes para condición 3	98
Tabla 35 Resultados obtenidos de mediciones de velocidad en campo para condición 4	99
Tabla 36 Resumen de mediciones para condición 4	101
Tabla 37 Resumen de modelo para condición 4	101
Tabla 38 Coeficientes para condición 4	102
Tabla 39 <i>Resultados obtenidos de mediciones de velocidad en campo para condición 5</i>	103
Tabla 40 Resumen de mediciones para condición 5	105
Tabla 41 Resumen de modelo para condición 5	105
Tabla 42 Coeficientes para condición 5	106
Tabla 43 Resultados obtenidos de mediciones de velocidad en campo para condición 6	107
Tabla 44 Resumen de mediciones para condición 6	108
Tabla 45 Valores de velocidades máximas de operación según DG.2018	108
Tabla 46 Resumen del modelo para condición 6	108
Tabla 47 Coeficientes para condición 6	109
Tabla 48 Resultados obtenidos de mediciones de velocidad en campo para condición 7	110
Tabla 49 Resumen de mediciones para condición 7	111
Tabla 50 Resumen de modelo para condición 7	111
Tabla 51 Coeficientes para condición 7	112
Tabla 52 Resultados obtenidos de mediciones de velocidad en campo para condición 8	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 53 Resumen mediciones para condición 2	115
Tabla 54 Resumen de modelo para condición 8	115
Tabla 55 Coeficientes para condición 8	116

Tabla 56 Resultados obtenidos de mediciones de velocidad en campo para condición 9	117
Tabla 57 Resumen de mediciones para condición 9	118
Tabla 58 Resumen del modelo para condición 9	118
Tabla 59 Coeficientes para condición 9	118
Tabla 60 Resultados obtenidos de mediciones de velocidad en campo para condición 10	120
Tabla 61 Resumen de mediciones para condición 10	122
Tabla 62 Resumen del modelo para condición 10	122
Tabla 63 Coeficientes para condición 10	123
Tabla 64 Ecuaciones de predicción de velocidades de operación	124
Tabla 65 Comparación entre Ecuaciones obtenidas y Ecuaciones de Fitzpatrick (2000)	124
Tabla 66 Estadísticas descriptivas de variables utilizadas en el desarrollo de ecuaciones de predicción de velocidad.....	125
Tabla 67 Calculo de diferencia promedio de velocidades y diferencia porcentual (Condición 1).....	126
Tabla 68 Calculo de diferencia promedio de velocidades y diferencia porcentual (Condición 2).....	127
Tabla 69 Calculo de diferencia promedio de velocidades y diferencia porcentual (Condición 3).....	128
Tabla 70 V85 previsto versus observado en el punto medio de la curva (Condición 4).....	129
Tabla 71 V85 previsto versus observado en el punto medio de la curva (Condición 5).....	130
Tabla 72 V85 previsto versus observado en el punto medio de la curva (Condición 6).....	131
Tabla 73 V85 previsto versus observado en el punto medio de la curva (Condición 7).....	132
Tabla 74 V85 previsto versus observado en el punto medio de la curva (Condición 8).....	133
Tabla 75 V85 previsto versus observado en el punto medio de la curva (Condición 9).....	134

Tabla 76 V85 previsto versus observado en el punto medio de la curva (Condición 10).....	135
Tabla 77 Estadísticas para ecuaciones de predicción de velocidad.	136
Tabla 78 Intervalos y calificación de la consistencia del trazado	137
Tabla 79 Evaluación de consistencia de trazado - Carretera PE 1SD - Tramo La Punta – Ilo. Curvas Horizontales 1-40	139
Tabla 80 Evaluación de consistencia de trazado - Carretera PE 1SD - Tramo La Punta – Ilo. Curvas Horizontales 41-80	142
Tabla 81 Evaluación de consistencia de trazado - Carretera PE 1SD - Tramo La Punta – Ilo. Curvas Horizontales 81-119	145
Tabla 82 Evaluación de consistencia de trazado - Carretera PE 1SD - Tramo La Punta – Ilo. Curvas Verticales 1-42.....	149
Tabla 83 Comparación de consistencias de trazado Antezana-Fitzpatrick Curvas Horizontales 1-40.	151
Tabla 84 Comparación de consistencias de trazado Antezana-Fitzpatrick Curvas Horizontales 41-80.	153
Tabla 85 Comparación de consistencias de trazado Antezana-Fitzpatrick Curvas Horizontales 81-119.	155
Tabla 86 Comparación de consistencias de trazado Antezana-Fitzpatrick Curvas Verticales 1-42.....	157
Tabla 87 Comparación de análisis de consistencia Antezana-Fitzpatrick (Curvas verticales).....	159

INDICE DE PLANOS

Plano 1	Plano clave N° 1 Tramo punta de bombon – Ilo (Km 0 – 18)	171
Plano 2	Plano clave N° 2 Tramo punta de bombon – Ilo (Km 18 – 45)	172
Plano 3	Plano clave N° 3 Tramo punta de bombon – Ilo (Km 18 – 45)	173
Plano 4	Plano clave N° 4 Tramo punta de bombon – Ilo (Km 18 – 45)	174
Plano 5	Plano de ubicación Tramo punta de bombon – Ilo (Km 0 – 92).....	175



INTRODUCCIÓN

El transporte seguro y eficiente de personas y bienes es un objetivo fundamental en la ingeniería vial. Para alcanzarlo, los diseñadores de carreteras utilizan diversas herramientas y técnicas, entre las cuales destaca la evaluación de la consistencia del trazado. Esta técnica mide si la geometría de una carretera se alinea con las expectativas del conductor, permitiendo una conducción más fluida y segura.

Una de las metodologías más efectivas para evaluar la consistencia del trazado es el análisis de la velocidad de operación de los vehículos. Evaluar la seguridad de las vías mediante este análisis permite verificar si las características geométricas de la carretera generan mínimas variaciones de velocidad entre elementos consecutivos, como curvas y rectas en el plano horizontal, así como curvas verticales cóncavas y convexas.

En Perú, según el manual de carreteras DG.2018, la velocidad de operación en carreteras nacionales se determina utilizando el modelo desarrollado por Fitzpatrick et al. (2000). No obstante, investigaciones en diferentes países han resaltado la importancia de desarrollar ecuaciones de predicción de velocidad ajustadas a las condiciones locales. Las cuales han subrayado que ignorar las condiciones locales puede introducir errores significativos en los análisis de consistencia.

En este contexto, la presente tesis se enfoca en el desarrollo de ecuaciones de predicción de velocidad de operación para carreteras rurales de primera clase en terrenos de pendiente variable, tanto en curvas horizontales como verticales, en el departamento de Moquegua. que consideren las condiciones geométricas y características específicas del parque vehicular de la región, contribuyendo así a mejorar la seguridad vial y la eficiencia del transporte en esta área.



CAPITULO I

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Problemática de la investigación.

El objetivo del transporte generalmente se establece como la circulación segura y con eficiencia de las personas y bienes. Para lograr este objetivo, los diseñadores utilizan muchas herramientas y técnicas. Una de las técnicas más utilizadas utilizada para tener una mejora de la seguridad en las carreteras es evaluar la consistencia del trazado. La cual se refiere a la conformidad de la geometría de una carretera con las expectativas del conductor.

Si estos aspectos coinciden, la conducción vehicular puede realizarse de manera fluida y sin interrupciones, lo cual mejora la seguridad vial. Aunque hay varios métodos para la evaluación de la consistencia, los más comunes se centran en el análisis de la velocidad a la que operan los vehículos. De las principales ventajas de este enfoque es que se puede aplicar tanto a proyectos nuevos como a los ya existentes.

En los años recientes, varios países han evaluado la seguridad de las vías mediante el análisis de la consistencia del diseño de las carreteras. Este análisis permite comprobar si las características geométricas de la vía producen pequeñas diferencias de velocidad entre elementos consecutivos, como curvas y rectas en el plano horizontal, así como curvas verticales, sean cóncavas o convexas.

En la actualidad, en Perú, para calcular la velocidad de operación en carreteras nacionales se utilizan el modelo desarrollado por Fitzpatrick et al. (2000). De acuerdo con García et al. (2011) en su investigación realizada en Cuba, es esencial que todos los países dispongan de ecuaciones de predicción de velocidad. Estas ecuaciones deben ser desarrolladas o ajustadas teniendo en cuenta las condiciones locales y también deben ser revisadas periódicamente. El mismo tipo de investigación se desarrolló en donde los

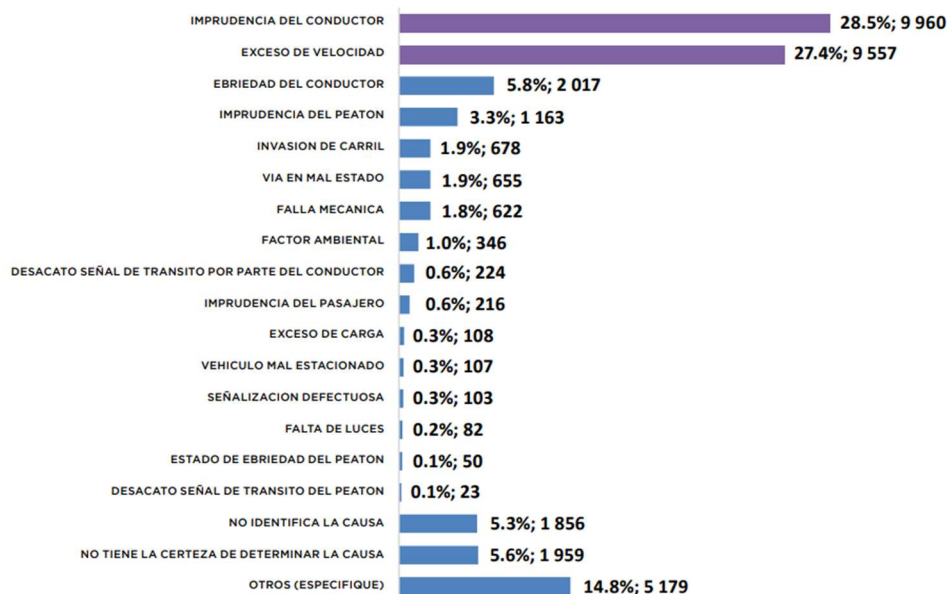
autores Delgado, Medina y Ulate (2021) destacaron que una de las principales fuentes de error en los análisis de consistencia es la determinación de la velocidad de operación, ya que no se consideran las condiciones locales. En Chile, Tomás Echaveguren, quien ha profundizado en los estudios sobre modelos predictivos de velocidad de operación, también confirmó la necesidad de que cada país tenga sus propios modelos y ecuaciones de predicción de velocidad de operación. Estas investigaciones demostraron que las ecuaciones propuestas presentan menores errores de estimación en comparación con algunos de las ecuaciones más utilizadas a nivel internacional. Por lo tanto, es esencial que cada país o región desarrolle perfiles de velocidad específicos que consideren las características específicas del parque vehicular y las condiciones geométricas del diseño.

1.1.1. Nivel nacional.

La Superintendencia Nacional de los Registros Públicos (Sunarp) reportó que en el año 2019 se realizaron un total de 701,681 inscripciones de transferencias de vehículos en el Registro de Propiedad Vehicular, lo que representó un aumento del 6.49% en comparación con las 658,944 registradas en 2018. Este incremento es de gran interés debido a su impacto en la seguridad vial.

A través del análisis de los informes de accidentes de tránsito disponibles en el Observatorio Nacional de Seguridad Vial, se ha podido reinterpretar las causas de los accidentes y desarrollar un modelo que muestra las interrelaciones entre los principales factores que contribuyen a los accidentes de tránsito en el año 2021. Se presenta el modelo que muestra los porcentajes de accidentes de tránsito según sus causas durante el primer semestre de 2021 en Perú.

Figura 1 Porcentajes de accidentes de tránsito según sus causas primer semestre del 2021 en el Perú

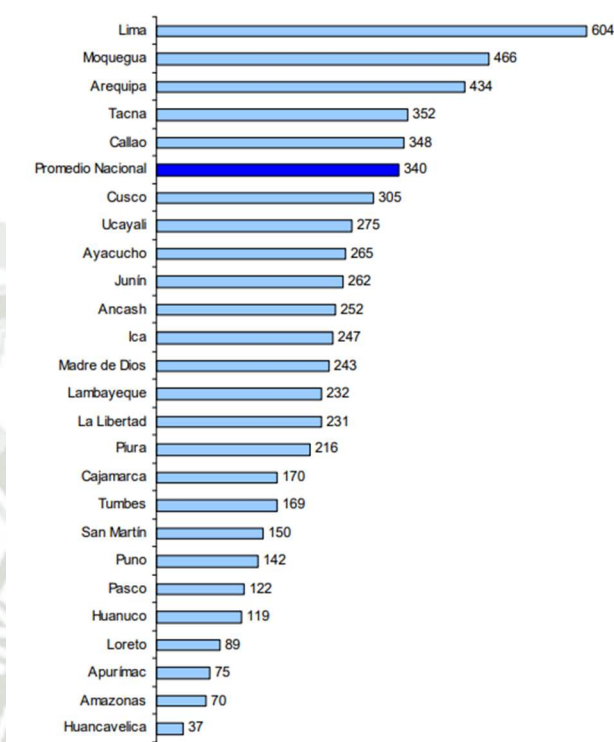


Nota. Adaptado de Boletín estadístico de siniestralidad vial, por MTC, 2021

Los incidentes viales se dividieron en varios factores: el factor humano estuvo involucrado en 24,103 accidentes, lo que representa el 69.1%; el factor vehículo contribuyó a 704 accidentes, equivalente al 2.0%; el factor infraestructura y entorno vial estuvo presente en 1,104 accidentes, un 3.2%; y, en 8,994 accidentes no se pudo identificar o determinar con certeza la causa, lo que representa el 25.8%.

Se puede deducir que una cantidad significativa de accidentes está relacionada con la interacción entre las condiciones geométricas de la vía y el factor humano, lo que subraya la importancia de este estudio.

Figura 2 Encuesta de comisarías sobre
accidentes de tránsito por departamento (2010)

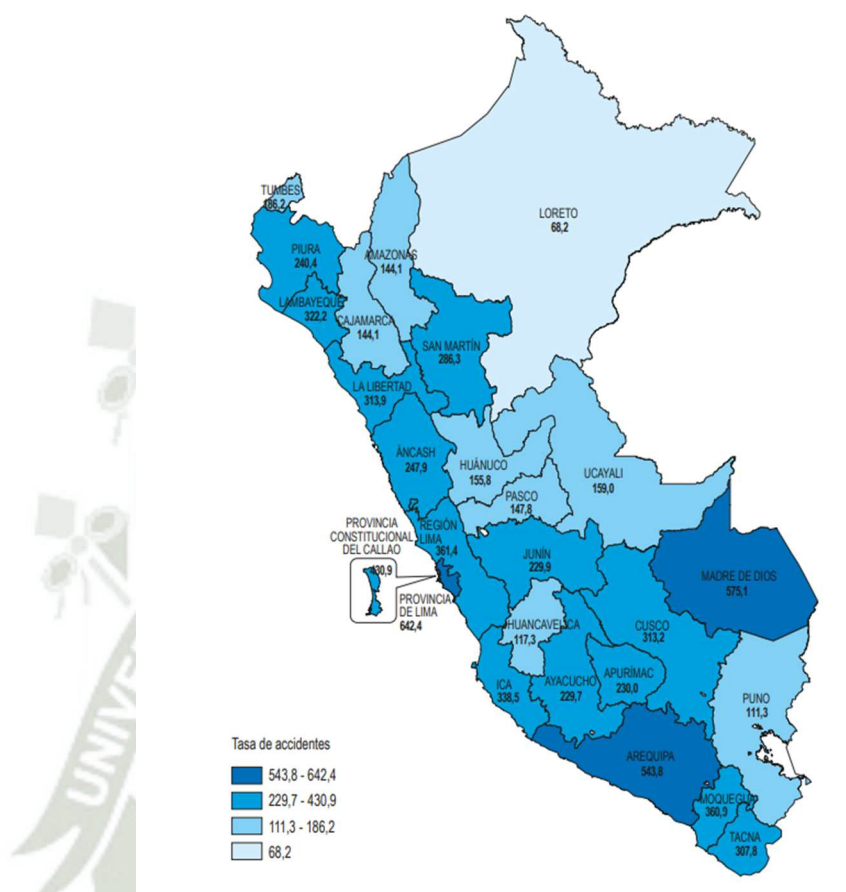


Nota. Adaptado de Encuesta de comisarías por accidentes de tránsito, por INEI, 2010

En el caso del departamento de Moquegua en un estudio del 2009, por cada cien mil habitantes, el departamento de Moquegua tuvo la segunda tasa más alta de accidentes de tránsito según el INEI.

En un estudio más reciente del 2016 por el INEI se demostró que en el departamento de Moquegua tenía la cuarta tasa más alta de accidentes en el Perú solo por detrás de Lima, Madre de Dios y Arequipa respectivamente.

Figura 3 Tasa de accidentes de tránsito en el Perú por departamento



Nota. Adaptado de VI censo nacional de comisarías, por INEI, 2017

Al mismo tiempo, la tasa de fallecidos por departamento tuvo como segundo puesto al departamento de Moquegua, solo por detrás de Lima.

Figura 4 Tasa de fallecidos por accidentes de tránsito por departamento en el Perú



Nota. Adaptado de VI censo nacional de comisarías, por INEI, 2017

En el Perú, no se encuentran registros de investigaciones que aborden el estudio y desarrollo de ecuaciones de predicción de la velocidad de operación. Para avanzar en la implementación de evaluaciones de seguridad vial que incluyan el análisis de la consistencia del trazado, es esencial desarrollar ecuaciones propias de velocidad de operación. Estas ecuaciones deben considerar las particularidades del trazado y las características específicas del parque vehicular del país.

Dada la relevancia de considerar el impacto de las condiciones geométricas del trazado en los accidentes en el Perú, y en vista de la evidencia presentada por los datos, resulta crucial desarrollar ecuaciones de velocidad de operación que sirvan como base para llevar

a cabo análisis de consistencia del trazado. Estas ecuaciones deben tener en cuenta las condiciones específicas del país, incluyendo las características del parque vehicular y la geometría del trazado.

1.2. Justificación de la investigación (ambiental, social, económica, tecnológica, y/o político/institucional).

1.2.1. Justificación Social:

La presente investigación es importante desde una perspectiva social, ya que busca mejorar la seguridad en las carreteras y reducir los accidentes de tráfico. Los accidentes de tráfico son una de las principales causas de mortalidad y lesiones graves en todo el mundo, y la mayoría de ellos son evitables.

Según el Observatorio Nacional de Seguridad Vial del MTC, la cifra de fallecidos en el 2023, de enero hasta mayo, fue de 1143 personas. 276 personas mueren al mes a causa de siniestros viales., en el año 2022 se registraron 83 881 siniestros de tránsito que ocasionaron la muerte de 3312 personas y provocaron lesiones a otras 53 544.

La investigación sobre la consistencia del diseño y la seguridad vial puede ayudar a los diseñadores de carreteras a identificar y abordar las deficiencias en el diseño de carreteras que puedan contribuir a accidentes de tráfico. Esto puede llevar a mejoras en la infraestructura del país y que los conductores, pasajeros y peatones estén mas seguros.

1.2.2. Justificación Ambiental:

La presente investigación no afectara el ambiente a lo largo del proceso de investigación.

1.2.3. Justificación Tecnológica:

Este estudio contribuye a la industria de la construcción, ya que el modelo de velocidad de operación que se elaborará se utilizara para llevar a cabo los análisis de consistencias del trazado y se tomaran en cuenta las condiciones específicas del Perú.

Además, las ecuaciones de predicción de velocidad percentil 85 pueden ser utilizadas en la gestión del tráfico y la planificación de la seguridad vial. Al conocer la velocidad de operación de los vehículos en diferentes secciones de la carretera, se pueden identificar las áreas problemáticas y tomar medidas para mejorar la seguridad, como la instalación de señales de tráfico, la reducción de la velocidad límite y la mejora del diseño de la carretera.

1.2.4. Justificación Académica:

La investigación en este campo puede permitir la mejora de las herramientas y técnicas utilizadas para evaluar la seguridad de las carreteras y la eficiencia del transporte. La validación y calibración de las ecuaciones de predicción de velocidad en diferentes contextos pueden contribuir a la generación de nuevas ideas y conceptos, así como a la identificación de posibles áreas de investigación futura.

Esta investigación nos permitirá aplicar y demostrar el conocimiento obtenido en cursos como carreteras I y II, ingeniería de tránsito e ingeniería de transporte.

1.2.5. Justificación ética:

La seguridad vial es un tema crucial y la investigación en este campo puede afectar la vida y el bienestar de las personas. Por lo tanto, es esencial que se aborden las cuestiones éticas y se realice la investigación de manera responsable y con integridad.

1.2.6. Justificación Política:

La investigación en las ecuaciones de predicción de velocidad de operación puede proporcionar una base sólida para la toma de decisiones políticas relacionadas con la planificación y el diseño de carreteras, así como la seguridad vial. Las ecuaciones de predicción de velocidad de operación pueden ser utilizadas por los ingenieros para evaluar y diseñar carreteras que sean seguras y eficientes para el tráfico vehicular. Además, los resultados de la investigación pueden ser utilizados por los políticos para justificar la asignación de fondos a la construcción y mantenimiento de carreteras seguras y eficientes.

Por otro lado, la investigación en este campo puede influir en la elaboración de políticas públicas para la seguridad vial. seguras y eficientes.

1.3. Hipótesis.

La utilización de ecuaciones de predicción de velocidad de operación adaptados a las condiciones específicas de terreno de pendiente variable en curvas horizontales y verticales en carreteras de primera clase, utilizando una pistola láser Bushnell, permitirá un análisis de consistencia de trazado más preciso y detallado en comparación con las ecuaciones de predicción de velocidad de operación establecidas en el Manual de Carreteras Diseño Geométrico DG-2018. Se espera que estas ecuaciones adaptadas mejoren la capacidad de los diseñadores viales para anticipar y abordar los desafíos inherentes a las condiciones topográficas específicas de Moquegua, lo que conducirá a un diseño geométrico más seguro y eficiente para las carreteras de primera clase en la región.

1.4. Objetivos de la investigación.

1.4.1. Objetivo general:

Establecer ecuaciones de predicción de velocidad de operación para carreteras de primera clase en terreno de pendiente variable en curvas horizontales y verticales para el departamento de Moquegua.

1.4.2. Objetivos específicos:

- Determinar la velocidad de circulación de los vehículos que circulen por las carreteras de la región de Moquegua por medio de una pistola laser Bushnell.
- Establecer ecuaciones de predicción de velocidad de operación de carreteras en terrenos de pendiente variable según los criterios utilizados en el Manual de Carreteras Diseño Geométrico DG-2018 en la región Moquegua.
- Verificar las ecuaciones de predicción de velocidades de operación obtenidos.
- Elaborar un análisis de consistencia de la carretera con las ecuaciones de predicción de velocidad desarrollados y con las ecuaciones de predicción de velocidad de operación que se utilizan en el Manual de Carreteras Diseño Geométrico DG-2018 y comparar resultados.

1.5. Alcances y limitaciones.

1.5.1. Alcances:

La presente investigación comprende el desarrollo de un modelo de velocidad de operación para las carreteras rurales en la ciudad de Moquegua.

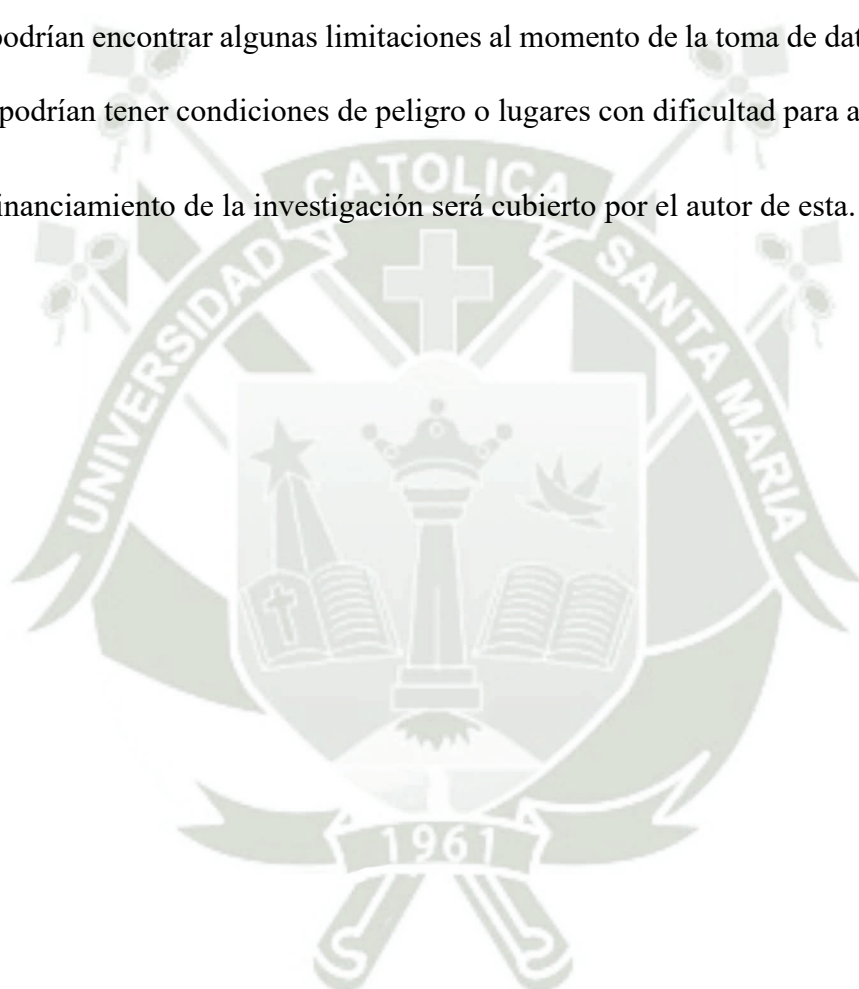
Se cuenta con los recursos humanos, materiales y disponibilidad de tiempo y se cuenta con acceso a información a través de libros, internet y biblioteca.

1.5.2. Limitaciones:

En primer lugar, las ecuaciones de Fitzpatrick fueron desarrolladas para carreteras de un solo carril y su aplicabilidad en carreteras con múltiples carriles puede ser limitada. En segundo lugar, las ecuaciones se basan en datos de velocidad de vehículos existentes y no consideran factores como el clima, la iluminación y las condiciones de tráfico.

Se podrían encontrar algunas limitaciones al momento de la toma de datos “in situ” ya que se podrían tener condiciones de peligro o lugares con dificultad para acceder.

El financiamiento de la investigación será cubierto por el autor de esta.





CAPITULO II

2. FUNDAMENTO TEORICO:

2.1. Estado del Arte.

- García, Ulate, Medina, Delgado (2021) en su estudio titulado **“Modelos de velocidad de operación de carreteras rurales en terreno llano en Costa Rica”**

El objetivo de su investigación fue desarrollar modelos de velocidad de operación para establecer una base que permita realizar análisis de consistencia del trazado, teniendo en cuenta las condiciones específicas del país.

Como resultado, se presentaron por primera vez en Costa Rica modelos de predicción de velocidades de operación para carreteras nacionales en áreas rurales de terreno llano. Se comprobó que las ecuaciones propuestas ofrecen una estimación más precisa en comparación con varios de los modelos más empleados internacionalmente.

- García, Delgado y Diaz (2018) En su investigación titulada **“Modelos de perfil de velocidad para la evaluación de la consistencia del diseño en carretera de la provincia de Villa Clara, Cuba”** El objetivo de la investigación fue desarrollar modelos predictivos de velocidad con el fin de evaluar la consistencia de las carreteras.

Para obtener sus resultados el procedimiento de la investigación se repartió en 2 etapas, la primera etapa fue la determinación de ecuaciones de perfil de velocidad y evaluar la consistencia de carreteras.

Como resultados obtuvieron modelos predictivos de velocidad operativa específicos para las condiciones de las carreteras existentes, para carreteras rurales de dos carriles modelos que permiten la localización de puntos de debilidad de carreteras, así como evaluar la consistencia de las carreteras para una porción de la carretera con dos direcciones de circulación.

- Fitzpatrick (2000) en su investigación titulada “**Alternative design consistency rating methods for two lane rural highways**” tuvo como objetivo ampliar el modelo de perfil de velocidad e investigar tres prometedores métodos de calificación de la consistencia del trazado en Estados Unidos.

Entre los métodos de calificación de la consistencia de diseño se tuvo. Consistencia basada en velocidad- geometría, y los 3 nuevos métodos que fueron la Consistencia basada en las operaciones del vehículo, Consistencia basada en la geometría de la vía y la carga de trabajo del conductor.

Como resultados se obtuvo que los 3 índices de alineación investigados en el estudio son sensibles a la frecuencia de accidentes. Estos son la relación entre el radio de una curva individual y el radio promedio para la sección de la carretera como en su conjunto, la tasa promedio de curvatura vertical para una sección de la calzada, y el radio promedio de Curvatura horizontal de un tramo de calzada. Sin embargo, ninguno de estos índices de alineación tuvo una fuerte relación con la frecuencia de accidentes como la medida de reducción de velocidad desarrollada por Fitzpatrick et al.

Las medidas de distribución de velocidad la variación de velocidad es inapropiada como diseño medida de consistencia para curvas horizontales. El análisis no proporcionó un aceptable método de diseño de consistencia.

Por último se demostró que la carga de trabajo del conductor tiene un potencial muy bueno como medida de calificación de la consistencia del diseño.

Es necesaria una investigación adicional para desarrollar valores de umbral que indiquen los límites para cambio de carga de trabajo del conductor.

- Echaveguren (2012) en su proyecto final de graduación titulado **“Análisis de consistencia de caminos bidireccionales usando mediciones continuas de velocidad de operación obtenidas con GPS”**

El propósito de la investigación fue evaluar el modelo de consistencia de Polus y su aplicación en tramos extensos de carreteras, empleando perfiles continuos de velocidad de operación recolectados mediante un GPS submétrico con tecnología RTK (Real Time Kinematic).

La metodología incluyó la selección de tramos de medición en varias rutas de Chile, donde se realizaron mediciones de velocidad con GPS. En estas rutas, se determinaron aproximadamente los parámetros geométricos para aplicar el modelo de Fitzpatrick y Collins (2000). Posteriormente, se procesaron los datos de velocidad para obtener los perfiles medidos y se construyó el perfil de velocidad utilizando el modelo predictivo seleccionado. Con ambos perfiles, se llevó a cabo el análisis de consistencia utilizando el método de Polus.

- Fitzpatrick (2000) en su artículo científico titulado **“Speed Prediction for two lane rural highways”** los objetivos de la investigación fueron desarrollar ecuaciones de predicción de velocidad para alineaciones horizontales y verticales y para diferentes tipos de vehículos, evaluar los efectos de las transiciones en espiral sobre las velocidades, determinar las tasas de desaceleración y aceleración de los vehículos al aproximarse y alejarse de curvas horizontales, y validar las ecuaciones de predicción de velocidad, Desarrollar un modelo de perfil de velocidad para incluirlo en el IHSDM e

identificar la relación del módulo de consistencia del diseño con otros módulos y componentes del IHSDM.

En este proyecto de investigación, se realizaron esfuerzos diferentes para predecir las velocidades de operación para diferentes condiciones, en más de 211 sitios de carreteras rurales de dos carriles se recopilaban datos, 176 curvas circulares simples, curvas verticales y sus tangentes de aproximación; 12 en espiral curvas circulares y sus tangentes de aproximación; y 21 sitios de curvas circulares simples donde se detallaron se obtuvieron mediciones de aceleración/desaceleración.

Como resultado de esta investigación se produjeron ecuaciones de predicción de velocidad que se pueden usar para calcular la velocidad esperada a lo largo de una alineación que incluye curvatura tanto horizontal como vertical.

Las cuales son las ecuaciones utilizadas por el ministerio de transportes y comunicaciones (MTC).

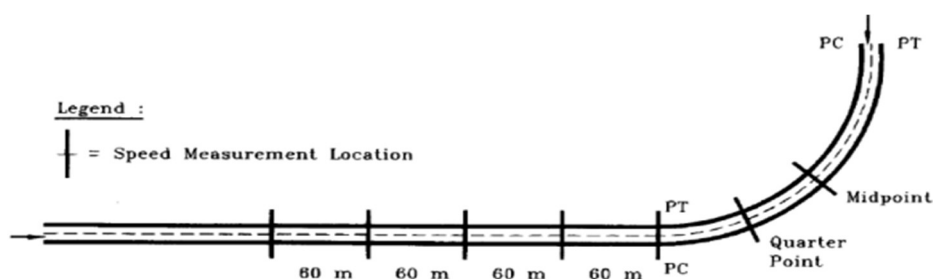
2.2. Antecedentes de la investigación.

Estudio de Collins y Krammes (1996)

Collins y Krammes (1996) llevaron a cabo un estudio en 10 tramos de carretera con curvas horizontales y rectas en Texas (Estados Unidos) con el fin de verificar la validez de los modelos de perfiles de velocidad para evaluar la consistencia del diseño. El estudio abarcó tres niveles de curvatura (baja: 4 a 5°, media: 7 a 8° y alta: 10 a 11°) y tres longitudes de curva (90 a 150 m, 150 a 210 m y 210 a 270 m). Las pendientes longitudinales en los sitios no superaban el 5%. Las velocidades de los vehículos de pasajeros se registraron mediante 7 sensores fotoeléctricos infrarrojos, situados desde la recta de entrada/salida hasta la mitad de la curva circular. Los vehículos que no estaban en flujo libre ($t = 5$ s) fueron excluidos del análisis. Se calculó la desaceleración desde 60 m antes de la curva hasta el primer cuarto de la misma, y la aceleración desde 120 m

después del final de la curva. Las aceleraciones y desaceleraciones se determinaron utilizando el percentil 85 de la velocidad.

Figura 5 Disposición de los puntos del muestreo en estudio de Collins y Krammes (1996)



Nota. Adaptado de Preliminary validation of a speed- profile model for design consistency evaluation, por Collins & Krammes, 1996.

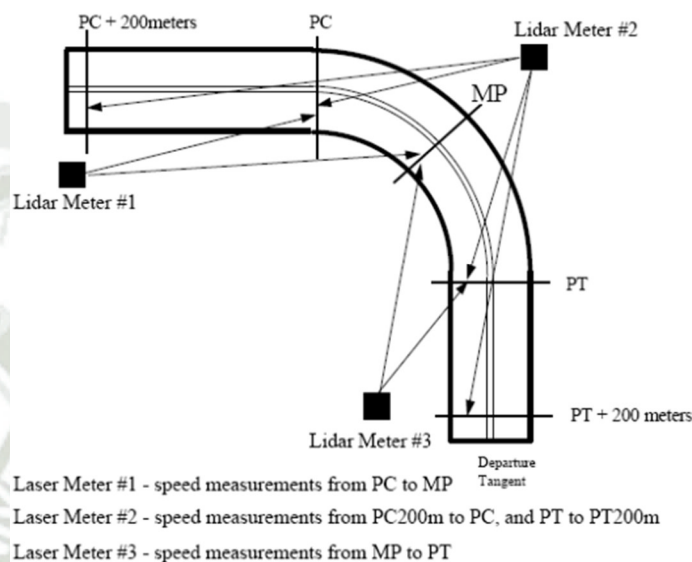
No se confirmó la hipótesis de que la desaceleración ocurre únicamente en la recta de aproximación y que la velocidad se mantiene constante en la curva, ya que se observó que la desaceleración continúa después de entrar en la curva. Los resultados indican que el valor supuesto de $0,85 \text{ m/s}^2$ es razonable para la desaceleración al acercarse a una curva que requiere reducir la velocidad, pero podría sobreestimar la aceleración al salir de la curva.

Estudio de Fitzpatrick et al. (2000a).

Fitzpatrick et al. (2000a) realizaron un estudio en 21 ubicaciones en Texas y Pensilvania (Estados Unidos), utilizando pistolas láser para recopilar velocidades instantáneas de vehículos en intervalos de 5 segundos. Las velocidades se registraron en diferentes puntos, como PC-200, PC, CC, FC y FC+200, según se muestra en la figura. Las secciones rectas tenían una longitud superior a 244 m y una pendiente longitudinal menor al 5%. Concluyeron que las aceleraciones y desaceleraciones diferían de los

valores obtenidos por Lamm et al. (1988), y ajustaron modelos constantes y otros basados en el radio de la curva horizontal.

Figura 6 Esquema para la recolección de datos (Fitzpatrick et al., 2000a)

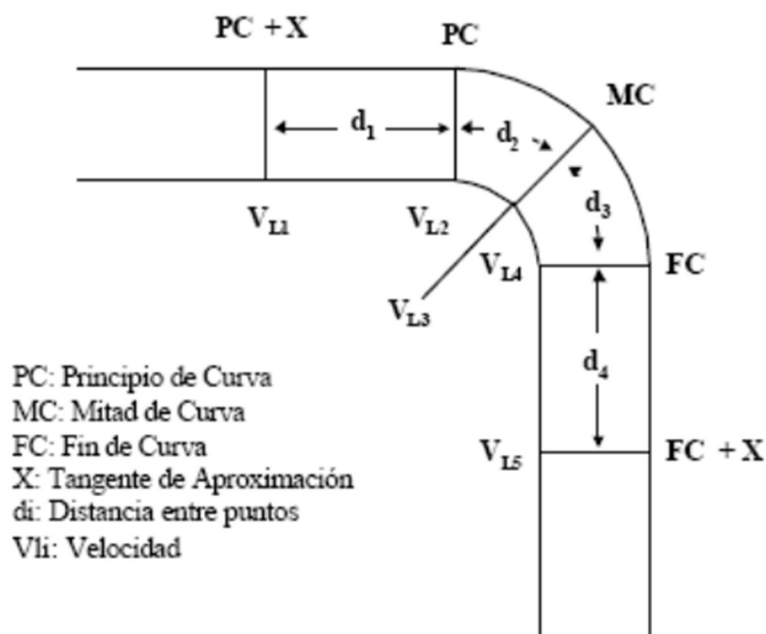


Nota. Adaptado de Speed Prediction for Two-Lane Rural Highways, por Fitzpatrick, K., Elefteriadou, L., Harwood, D. W., Collins, J. M., McFadden, J., Anderson, I. B., y otros, 2000

Estudio de Echaveguren y Basualto (2003)

Echaveguren y Basualto (2003) realizaron un estudio en 32 ubicaciones en la Octava Región de Chile. En su investigación, propusieron un criterio de consistencia basado en la variación de velocidad entre la aproximación a la curva y un punto específico dentro de la misma. Para la recolección de datos de campo, utilizaron una metodología similar a la empleada por Fitzpatrick et al. (2000a).

Figura 7 Esquema de mediciones de velocidad Echaveguren y Basualto (2003)



Nota. Adaptado de Análisis de aceleraciones en la consistencia de elementos simples de alineamientos horizontales, por Echaveguren & Basualto, 2003

De este estudio se tiene:

- Tanto en vehículos livianos como en pesados, la reducción de la velocidad comienza desde la recta de aproximación y concluye, con variaciones según el radio, en el punto medio de la curva.
- En curvas con radios inferiores a 250 m, toda la desaceleración ocurre en el tramo exterior de la curva, mientras que la velocidad se mantiene relativamente constante en el interior de la misma.
- Para curvas con radios superiores a 250 m, los vehículos livianos disminuyen su velocidad hasta alcanzar el punto medio de la curva, mientras que los vehículos pesados lo hacen hasta el final de la curva.

Estudio de Perco y Robba (2005)

Perco y Robba (2005) realizaron un estudio preliminar con el fin de analizar la aceleración, desaceleración y velocidades de aproximación y salida en curvas. Utilizaron pistolas láser para recopilar velocidades en 10 ubicaciones compuestas por una curva seguida de una recta en seis carreteras en el noreste de Italia. El terreno variaba entre plano y ondulado, con un ancho de carril de 3,25 a 3,75 metros y una pendiente longitudinal no superior al $\pm 3,0$ %. La mayoría de las ubicaciones presentaban curvas con radios que iban desde 15 metros hasta 515 metros. El intervalo de tiempo entre vehículos fue de 5 segundos, con al menos 100 datos de velocidad de vehículos de pasajeros registrados en cada ubicación. Las mediciones se llevaron a cabo durante el día y en condiciones de pavimento seco, con un tráfico máximo de 420 vehículos durante las mediciones.

Los resultados indican que los vehículos pueden experimentar desaceleraciones más altas que el promedio observado, especialmente antes de las curvas con radios pequeños. Sin embargo, no se realizaron ajustes en modelos de predicción de aceleración/desaceleración debido a la naturaleza preliminar de los resultados.

2.3. Marco Legal.

Las condiciones de alineamientos para el desarrollo las ecuaciones de predicción de velocidad se determinan a partir del Manual de carreteras: RD N.º 03-2018-MTC 14 “Manual de Carreteras: Diseño Geométrico”.

2.4. Marco Teórico.

2.4.1. Clasificación de carreteras.

2.4.1.1. Clasificación por demanda.

Según el DG-2018-MTC así están clasificadas las carreteras por demanda:

Autopistas de Primera Clase.

Son aquellas con un Índice Medio Diario Anual (IMDA) superior a 6,000 vehículos por día. Se caracterizan por tener calzadas divididas mediante un separador central de al menos 6.00 metros de ancho. Cada calzada debe contar con dos o más carriles de al menos 3.60 metros de ancho, con un control total de accesos que garantiza flujos vehiculares continuos y sin cruces o pasos a nivel. Además, en zonas urbanas, estas carreteras deben contar con puentes peatonales. Es requisito que la superficie de rodadura de estas carreteras esté pavimentada.

Autopistas de Segunda Clase.

Tienen un Índice Medio Diario Anual (IMDA) que oscila entre 6,000 y 4,001 vehículos por día. Estas vías están divididas por un separador central cuyo ancho puede variar desde 6.00 metros hasta 1.00 metro. En el caso de un separador de 1.00 metro, se instalará un sistema de contención vehicular. Cada calzada debe tener dos o más carriles, con un ancho mínimo de 3.60 metros. El control de accesos en estas carreteras es parcial, permitiendo flujos vehiculares continuos, pero con la posibilidad de cruces o pasos vehiculares a nivel. Además, en zonas urbanas, pueden contar con puentes peatonales. La superficie de rodadura de estas carreteras debe estar pavimentada.

Carreteras de Primera Clase.

Tienen un Índice Medio Diario Anual (IMDA) que va desde 4,000 hasta 2,001 vehículos por día. Estas vías están diseñadas con una calzada de dos carriles, cada uno con un ancho mínimo de 3.60 metros. Pueden tener cruces o pasos vehiculares a nivel, y se recomienda que, en zonas urbanas, cuenten con puentes peatonales o dispositivos de seguridad vial para garantizar velocidades de operación más seguras. Es requisito que la superficie de rodadura de estas carreteras esté pavimentada.

Carreteras de Segunda Clase.

Las carreteras mencionadas tienen un Índice Medio Diario Anual (IMDA) que oscila entre 2,000 y 400 vehículos por día. Estas vías están configuradas con una calzada de dos carriles, cada uno con un ancho mínimo de 3.30 metros. Pueden contar con cruces o pasos vehiculares a nivel, y se recomienda que, en áreas urbanas, dispongan de puentes peatonales o dispositivos de seguridad vial para garantizar una mayor seguridad y velocidades de operación adecuadas. Es obligatorio que la superficie de rodadura de estas carreteras esté pavimentada.

Carreteras de Tercera Clase.

Tienen un Índice Medio Diario Anual (IMDA) inferior a 400 vehículos por día y están diseñadas con una calzada de dos carriles, cada uno con un ancho mínimo de 3.00 metros. En circunstancias excepcionales, estas vías podrán tener carriles de hasta 2.50 metros, siempre y cuando cuenten con el respaldo técnico correspondiente.

Trochas Carrozables.

Las vías mencionadas son transitables, pero no cumplen con todas las características geométricas de una carretera típica. Por lo general, tienen un Índice Medio Diario Anual (IMDA) inferior a 200 vehículos por día. Se requiere que las calzadas tengan un ancho mínimo de 4.00 metros, y en caso de no cumplir con este ancho, se construirán ensanches denominados plazoletas de cruce al menos cada 500 metros.

La superficie de rodadura de estas vías puede ser afirmada o sin afirmar, dependiendo de las condiciones y recursos disponibles.

2.4.1.2. Clasificación por orografía.

Según el DG-2018-MTC, se clasifican en:

Terreno plano (tipo 1).

Este tipo de terreno tiene pendientes transversales al eje de la vía de hasta el 10% y pendientes longitudinales menores del 3%.

Terreno ondulado (tipo 2).

Tiene pendientes transversales al eje de la vía entre el 11% y el 50% y pendientes longitudinales entre el 3% y el 6%.

Terreno accidentado (tipo 3).

Este tipo de terreno tiene pendientes transversales al eje de la vía entre el 51% y el 100% y pendientes longitudinales predominantes de 6% a 8%.

Terreno escarpado (tipo 4).

Tiene pendientes transversales al eje de la vía superiores al 100% y Pendientes longitudinales excepcionales, superiores al 8%.

2.4.2. Diseño Geométrico En Planta, Perfil Y Sección Transversal.

Es crucial para asegurar una circulación vehicular fluida y segura, el diseño geométrico en planta, perfil y sección transversal. La planta define la ubicación horizontal de la vía, incluyendo curvas, rectas y cambios de dirección. El perfil determina las variaciones verticales a lo largo de la carretera, como las pendientes y las crestas de las colinas. La sección transversal describe la forma y dimensiones de la carretera, incluyendo el ancho de los carriles, los arcenes y las cunetas. Todos estos elementos deben coordinarse de manera adecuada para mantener una velocidad de operación continua y segura que se ajuste a las condiciones específicas de la vía.

2.4.2.1. Diseño geométrico en planta.

Comprende una combinación de alineamientos rectos y curvas, tanto circulares como de grado de curvatura variable. Estos elementos permiten una transición suave entre tramos rectos y curvos, así como entre curvas de diferentes radios.

El alineamiento horizontal de una carretera debe asegurar un flujo vehicular continuo y fluido, procurando mantener una velocidad de diseño constante a lo largo de la mayor distancia posible de la vía. Por lo general, el relieve natural del terreno determina el radio de las curvas horizontales y la velocidad de diseño, al mismo tiempo que afecta la distancia de visibilidad disponible. En proyectos de carreteras con calzadas separadas, se considera la posibilidad de trazar las calzadas a diferentes niveles o con ejes distintos para adaptarse a las características topográficas del terreno.

Definir el trazo en planta se lleva a cabo a partir de un eje central, que establece un punto en cada sección transversal de la carretera. En términos generales, a menos que haya razones justificadas, se adopta un enfoque conservador para la definición de este eje:

En autopistas

- Si el separador central tiene un ancho constante o una variación de ancho simétrica, se toma como referencia el centro de este.
- En el caso de duplicaciones de vías, se considera el borde interior de la vía a proyectar como punto de referencia.
- En cualquier otro escenario, se utiliza el borde interior de cada vía como punto de referencia para la definición del eje de la carretera.

2.4.2.2. Diseño geométrico en perfil.

Según la DG-2018-MTC

- Se compone de una serie de rectas conectadas por curvas verticales parabólicas, donde las rectas son tangentes a estas curvas. Las pendientes se definen en función del avance del kilometraje, siendo positivas cuando hay un aumento en las cotas y negativas cuando hay una disminución.
- El alineamiento vertical busca mantener una operación vehicular continua, procurando conservar una velocidad de diseño constante a lo largo de la mayor longitud posible de la carretera. El relieve del terreno determina el radio y la forma de las curvas verticales, ya sean cóncavas o convexas, y controla la distancia de visibilidad.
- Las curvas verticales permiten una transición suave entre pendientes de diferentes magnitudes y direcciones, eliminando cambios bruscos en el perfil de la carretera.

Un diseño adecuado garantiza las distancias de visibilidad necesarias para la seguridad del proyecto.

- El sistema de cotas del proyecto se referencia y enlaza con los puntos de nivelación del Instituto Geográfico Nacional para mantener la consistencia y precisión en las mediciones.
- El perfil longitudinal de la carretera está influenciado principalmente por factores como la topografía del terreno, el alineamiento horizontal, las distancias de visibilidad, la velocidad de diseño, la seguridad, los costos de construcción, la categoría de la vía, los aspectos estéticos y los requisitos de drenaje.

2.4.2.2.1. Consideraciones de diseño.

- En terrenos planos, la rasante se ubicará sobre el nivel del terreno para garantizar un adecuado drenaje.
- En terrenos ondulados, la rasante seguirá las inflexiones naturales del terreno siempre que sea posible, buscando economizar en la construcción.
- En terrenos accidentados, se procurará adaptar la rasante al relieve, evitando tramos en contrapendiente para evitar alargamientos innecesarios.
- En terrenos escarpados, el perfil estará determinado por la divisoria de aguas.
- Se busca obtener una rasante compuesta por pendientes moderadas, con cambios graduales de alineamiento, adecuados a la categoría de la carretera y la topografía del terreno.
- Aunque se puedan especificar valores máximos para la pendiente y la longitud crítica, su aplicación dependerá de la calidad y la apariencia deseada para la carretera terminada.
- Se evitarán las rasantes de "lomo quebrado", que consisten en dos curvas verticales del mismo sentido unidas por una alineación corta, ya que pueden afectar la visibilidad y la estética de la carretera.

- En pendientes que superen la longitud crítica establecida para la categoría de la carretera, se analizará la posibilidad de incluir carriles para el tránsito lento.
- En pendientes pronunciadas y largas hacia abajo, se recomienda, cuando sea posible, disponer de carriles de emergencia que faciliten las maniobras de frenado.

2.4.2.3. Diseño geométrico de la sección transversal.

En una carretera, la sección transversal es esencialmente un corte vertical que atraviesa el eje del alineamiento horizontal de la vía, permitiendo visualizar la disposición y dimensiones de cada elemento que la compone en un punto específico y su relación con el terreno natural circundante.

Los elementos que conforman la sección transversal de una carretera y sus dimensiones respectivas deben ser cuidadosamente considerados, tomando en cuenta factores como la importancia de la vía, los volúmenes y la composición del tráfico, la velocidad de diseño, las condiciones del terreno, los materiales utilizados en las diversas capas de la estructura del pavimento y la disponibilidad de recursos financieros.

El diseño geométrico de la sección transversal implica describir estos elementos en un plano de corte vertical perpendicular al alineamiento horizontal de la carretera, lo que permite definir la disposición y dimensiones de dichos elementos en cada sección y su relación con el terreno natural.

Es importante destacar que la sección transversal de la carretera puede variar de un punto a otro de la vía, ya que resulta de la combinación de diversos elementos cuyos tamaños, formas e interrelaciones dependen de las funciones que cumplen y de las características específicas del trazado y del terreno circundante.

2.4.2.3.1. Elementos de una sección transversal.

Estos son los elementos de una sección transversal según el DG-2018-MTC.

1. **Ancho de zona o derecho de vía:** Área destinada a la construcción, mantenimiento y futuras ampliaciones de la vía, así como para servicios de seguridad, auxiliares y desarrollo paisajístico.
2. **Banqueta:** Distancia horizontal entre los bordes internos de los taludes, perpendicular al eje de la vía.
3. **Corona:** Superficie de la carretera comprendida entre los bordes externos de las bermas, incluyendo la rasante, la pendiente transversal, la calzada y las bermas.
4. **Calzada:** Parte de la corona destinada a la circulación de vehículos, compuesta por dos o más carriles y uno o dos sentidos de circulación.
5. **Bermas:** Fajas longitudinales contiguas a ambos lados de la calzada, entre las orillas y los hombros de la carretera.
6. **Cunetas:** Zanjas abiertas y longitudinales que recogen y canalizan las aguas superficiales hacia un punto de evacuación.
7. **Taludes:** Planos laterales que delimitan la explanación de la carretera, con una inclinación medida en tanto por uno.
8. **Separador:** Áreas ubicadas entre calzadas, paralelas a estas, con el fin de independizar el tránsito entre calzadas contiguas.

9. **Carriles especiales:** Adicionales o ensanchamientos que permiten cambios de velocidad, aceleración o desaceleración sin interferir con el tráfico principal.
10. **Bordillo o sardinel:** Estructuras verticales en los bordes de la calzada o berma que orientan el tránsito, encausan las aguas y delimitan andenes.
11. **Defensas:** Elementos que proporcionan protección a los ocupantes de los vehículos contra estructuras potencialmente peligrosas en la vía.

2.4.3. Consistencia del diseño geométrico.

La consistencia en el diseño geométrico de una carretera se refiere a asegurar que sus características sean uniformes y proporcionen condiciones seguras para los conductores. Esto implica que los conductores puedan identificar claramente la superficie de la carretera y cualquier obstáculo con suficiente antelación para reaccionar adecuadamente. Además, deben poder reconocer puntos críticos como intersecciones, puentes y túneles a tiempo. La geometría de la carretera debe permitir una percepción continua y sin interrupciones del trazado, evitando confusiones que podrían llevar a respuestas incorrectas por parte de los conductores. Finalmente, el diseño debe buscar optimizar la seguridad vial y minimizar su impacto ambiental.

Mientras más consistentes, la probabilidad de accidentes disminuye, y, teóricamente, el grado de seguridad de la vía aumenta. Para la evaluación de la consistencia de un diseño los métodos constan de Recomendaciones, umbrales de aceptación y umbrales de trazados existentes o alternativas de diseño (Echaveguren et al., 2009).

2.4.3. Enfoques del análisis de consistencia.

Los dos enfoques principales identificados en la búsqueda de criterios cuantitativos para analizar la consistencia del diseño geométrico de carreteras están centrados en el

objetivo de establecer una relación armoniosa entre el conductor/vehículo, la vía y el entorno circundante.

La primera tendencia, conocida como "enfoque de velocidad", considera al conductor y al vehículo como una unidad integrada, lo que implica que no hay distorsiones en el proceso de percepción, decisión y acción mientras se conduce. Esta perspectiva evita la complicación de considerar los 30 grados de libertad del movimiento del vehículo. Al simplificar el análisis, se pueden utilizar modelos físicos como el modelo de masa puntual, que facilita el diseño de curvas circulares.

Por otro lado, la segunda tendencia, denominada "enfoque de la expectativa", asume que puede haber distorsiones en el proceso de percepción, decisión y acción del conductor, lo que puede llevar a maniobras que no coinciden exactamente con el comportamiento "correcto" según el diseño y las condiciones del tráfico. El objetivo principal de este enfoque es reforzar las expectativas del conductor para reducir la posibilidad de errores mientras conduce o mejorar la coherencia del diseño. Este enfoque se fundamenta en hipótesis propuestas por investigadores como McLean en Australia y Messer en Estados Unidos.

McLean (1981) sugiere que la velocidad del tráfico es una variable observable que describe adecuadamente el comportamiento del conductor. Por lo tanto, la falta de coherencia en el diseño se puede caracterizar por la diferencia en la velocidad del tráfico en comparación con la velocidad de diseño.

También afirma que:

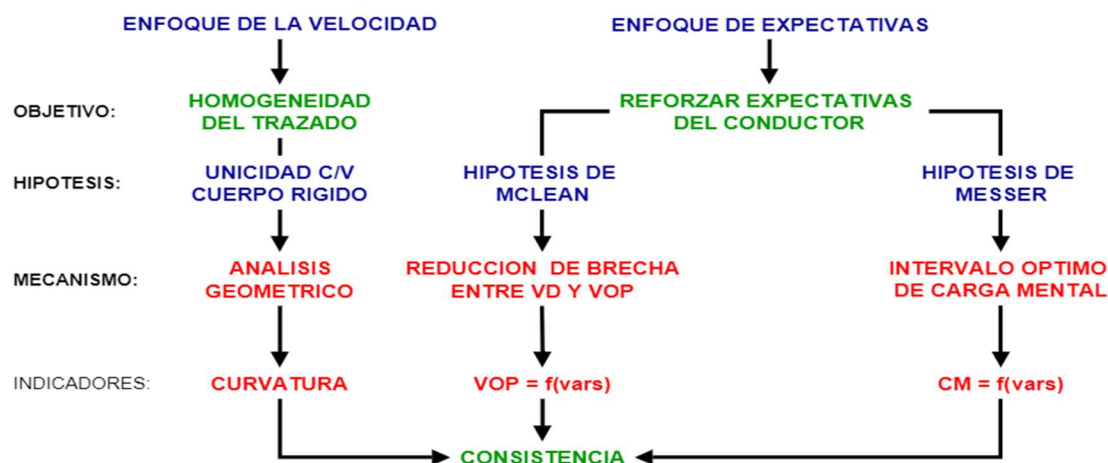
- El uso exclusivo de la velocidad de diseño para establecer los parámetros del diseño geométrico no asegura estándares uniformes.

- El empleo de la velocidad diseñada no siempre asegura la coherencia y compatibilidad entre los diferentes elementos del diseño.
- La velocidad de circulación y la velocidad de diseño no son necesariamente equivalentes ni representan lo mismo en todos los contextos de diseño vial.

Messer (1980) señala que las carreteras proporcionan más datos de la que el conductor usa mientras conduce, por lo que el diseño suele crear cierto estrés en el conductor, afectando así su nivel de concentración, por lo que su capacidad de respuesta es más débil. Este hecho es incluso más importante que los llamados "grupos críticos" de directivos que no tienen las propiedades de "impulsores de diseño" (Kanellaidis, 1996). Teniendo en cuenta esta suposición, Messer propuso que una métrica adecuada para describir la consistencia del diseño es la carga mental, la cual se expresa en función de las variables de diseño.

La carga mental se entiende como "una medida del esfuerzo que ejerce un operador humano al realizar una tarea", según Fitzpatrick et al. (2000). Esta medida se aplica independientemente de la calidad de la tarea. De acuerdo con estos autores, la relación entre la carga mental y las variables geométricas refleja el esfuerzo que debe realizar el conductor mientras conduce, considerando las características de la ruta, el tráfico y el entorno en el que se desarrolla dicho proceso.

Figura 8 Enfoques de análisis de consistencia



Nota 1. Figura extraída de Indicadores de consistencia en el diseño geométrico de carreteras. Por T. Echaveguren & J. Saez, 2001

Nota 2: C/V: Conductor vehículo; VOP: Velocidad de operación; VD: Velocidad de Diseño; CM: Carga Mental; vars: variables geométricas.

2.4.3.1. Consistencia bajo el enfoque de la velocidad.

Este enfoque se basa en dos hipótesis principales:

1. Unicidad entre el conductor y el vehículo, considerándolos como una sola entidad.
2. La unidad se comporta como un cuerpo rígido.

A partir de estas premisas, se desarrollan modelos que se basan en las leyes físicas de la dinámica y la cinemática para definir un comportamiento que depende exclusivamente de la geometría de la carretera. Esta geometría, a su vez, está asociada a una velocidad de diseño específica. Bajo esta premisa, analizar la consistencia de un elemento individual del trazado carece de sentido, ya que la geometría siempre estará vinculada a una velocidad de diseño determinada a través de modelos lineales o linearizables, lo que resulta en una solución única.

En el caso de comparar secciones consecutivas del trazado, la premisa de una solución única ya no es válida, ya que las restricciones pueden dar lugar a variaciones geométricas entre elementos sucesivos, lo que a su vez se traduce en cambios en la velocidad de diseño. Para analizar estas variaciones, se desarrollan índices que agrupan las propiedades geométricas del trazado, conocidos como "Índices de Alineamiento". Estos índices, según Fitzpatrick et al. (2000), se definen como "una medida cuantitativa de las características generales de un segmento de una vía".

Tabla 1: Ejemplo de índices de alineamiento.

Nombre	Denominación	Unidades	Índice
Tasa de Cambio de Curvatura	TCC	Grad/Km	$\Sigma(\Delta_i/L_i)$
Grado de Curvatura	GC	Grad/Km	$\Sigma(p_i/LE_j)/L$
Razón Longitud de Curva/Longitud Total	RLCLT	M/m	$\Sigma(LE_i)/L$
Radio Promedio	RP	M	$\Sigma R_i/n$

Nota 1. Figura extraída de Indicadores de consistencia en el diseño geométrico de carreteras. Por T. Echaveguren & J. Saez, 2001

Nota 2. Δ_i : Ángulo de deflexión; L_i : Longitud del segmento i ; p_j : Radio o Parámetro de clotoide; LE_j : longitud del elemento j ; R_i : Radio de la curva; n : Número de curvas en el segmento i .

Para evaluar la consistencia de diseño se lleva a cabo al comparar las diferencias entre los índices de segmentos sucesivos de una vía. Estas diferencias luego se comparan con calificaciones literales como "Bueno", "Regular" y "Malo".

- “Bueno”: Diferencias admisibles, no es necesaria la modificación del diseño.
- “Regular”: Es necesario modificar sólo cuando los segmentos con esta calificación sean adyacentes a otro par con la misma calificación.
- “Malo”: Es necesaria la modificación del diseño.

Un ejemplo de umbrales de evaluación son los formulados por Lamm et al (1998):

- Diseño “Bueno”: $\Delta TCC < 180$ Grad/Km.
- Diseño “Regular”: $180 \text{ Grad/Km.} < \Delta TCC < 360$ Grad/Km.
- Diseño “Malo”: $\Delta TCC \geq 360$ Grad/Km.

Al ser representados gráficamente a lo largo de un trazado, los Índices de Alineamiento facilitan la identificación de áreas con mayores conflictos y permiten realizar las modificaciones necesarias en las etapas de anteproyecto o proyecto definitivo. Sin embargo, es importante destacar que los Índices de Alineamiento son más útiles en el análisis de consistencia bajo el enfoque de las expectativas.

2.4.3.2. Consistencia bajo el enfoque de las Expectativas.

2.4.3.2.1. Criterios de Evaluación de Consistencia bajo la hipótesis de McLean.

La hipótesis de este enfoque determina que la inconsistencia en el diseño se debe a la diferencia que existe entre la velocidad de diseño y la de operación. Se parte del supuesto de que el conductor y el vehículo funcionan como una sola unidad, y que su comportamiento puede ser descrito en función de variables observables y medibles, como la velocidad.

Figura 9 Variables que intervienen en la velocidad de circulación.



Nota. Figura extraída de Indicadores de consistencia en el diseño geométrico de carreteras. Por T. Echaveguren & J. Saez, 2001

Se muestra que la variación en la velocidad de operación a lo largo de un trazado puede deberse a tres grandes causas: las condiciones geométricas, las condiciones ambientales que no pueden ser controladas por el individuo directamente, y las condiciones individuales que pueden ser controladas por él durante el proceso de conducción.

Lamm et al. (1999) definió tres criterios de consistencia: (I) Consistencia de elementos simples, (II) Consistencia entre elementos sucesivos y (III) Estabilidad Dinámica. En los tres criterios, Lamm asume que la velocidad de percentil 85 (V85) describe la velocidad de operación.

Lamm se centra en dos variables explicativas principales que influyen en la variación de la velocidad de operación: el alineamiento horizontal y la estabilidad dinámica. Estos criterios son fundamentales para comprender cómo la geometría de la carretera afecta el comportamiento de los conductores y, por lo tanto, la velocidad a la que pueden viajar de manera segura y cómoda.

Figura 9 Ambito de criterios de evaluación de consistencia de Lamm



Nota. Figura extraída de Indicadores de consistencia en el diseño geométrico de carreteras. Por T. Echaveguren & J. Saez, 2001

Criterio I:

El criterio de consistencia en elementos simples se centra en lograr una relación armoniosa entre la velocidad de diseño y la velocidad de operación en un elemento individual del trazado de la carretera. Este criterio clasifica el diseño como "Bueno", "Regular" o "Malo", según lo propuesto por Lamm et al. (1999).

- “Bueno” $V_{85} - V_d \leq 10 \frac{km}{h}$
- “Regular” $10 \frac{km}{h} < V_{85} - V_d < 20 \frac{km}{h}$
- “Malo” $V_{85} - V_d > 20 \frac{km}{h}$

La velocidad de percentil 85 está influenciada por variables geométricas. En su mayoría, las ecuaciones que la describen son de tipo lineal o pueden ser linealizadas, lo que significa que son una combinación lineal de variables geométricas como curvatura, peralte, ángulo de deflexión, entre otras.

Las formas que han tenido mayor uso son las siguientes:

$$V_{85} = \hat{a}_0 + \frac{\hat{a}_1}{R}; V_{85} = \hat{a}_0 + \frac{\hat{a}_1}{R^{1/2}}$$

En donde:

$\hat{a}_1$ = Coeficientes de regresión.

R = Radio de curvatura.

Criterio II:

Este criterio se centra en verificar los cambios de velocidad entre segmentos consecutivos de una vía. Bavkov (1968) fue uno de los pioneros en este enfoque, quien recomendó el uso de un coeficiente de seguridad (K) para caracterizar los trazados.

Definió este coeficiente como "el cociente entre la velocidad del flujo vehicular promedio que puede alcanzarse en un segmento y la velocidad que puede alcanzarse en el segmento precedente". De esta manera, Bavkov estableció que el grado de seguridad de una curva estaba directamente relacionado con la velocidad alcanzada en el segmento anterior al analizado. Propuso los siguientes criterios prácticos para identificar la peligrosidad de segmentos:

- “Bueno” $K > 0.8$
- “Regular” $0.4 < K < 0.6$ y $0.6 < K < 0.8$
- “Malo” $K \leq 0.4$

Lamm et al (1995), expreso los siguientes umbrales de evaluación:

- “Bueno”: $\ddot{A}V_{85} < 10 \text{ Km/h}$
- “Regular”: $10 \text{ Km./h} < \ddot{A}V_{85} < 20 \text{ Km/h}$
- “Malo”: $\ddot{A}V_{85} > 20 \text{ Km/h}$

La expresión $\ddot{A}V_{85}$ se puede obtener de dos formas: Aplicando la resta entre los valores de V_{85} entre dos elementos geométricos sucesivos con ecuaciones como se explicó en el criterio I y la otra forma es estimando directamente las correlaciones entre $\ddot{A}V_{85}$ y las variables geométricas de trazado.

Criterio III: Estabilidad Dinámica

Se fundamenta en la disparidad entre la fricción lateral ofrecida por el diseño de la carretera y la fricción lateral necesaria, lo que conduce a una inconsistencia en el trazado. Esta inconsistencia surge porque los conductores ajustan su velocidad al ingresar a una curva, dependiendo de factores como la trayectoria, la presencia de otros vehículos y la velocidad de aproximación a la curva, en función de la cantidad de fricción disponible.

Esta cantidad de fricción puede variar según las características del desplazamiento del vehículo (velocidad, trayectoria) y del pavimento (textura), lo cual puede diferir de la fricción proporcionada por el diseño a través de la curvatura y el peralte.

Los umbrales establecidos por Lamm et al. (1995) se aplican de acuerdo con la diferencia entre la fricción lateral proporcionada y la requerida (Δf). Si Δf es menor o igual a -0.15, se considera una inconsistencia severa. Si está entre -0.15 y -0.05, se califica como inconsistencia moderada. Si Δf está entre -0.05 y 0.05, se considera que no hay inconsistencia. Si se encuentra entre 0.05 y 0.15, se identifica una inconsistencia moderada. Y si Δf es mayor o igual a 0.15, se evalúa como una inconsistencia severa.

- “Bueno”: $\Delta f > + 0.02$
- “Regular”: $+ 0.02 \Delta f < - 0.02$
- “Malo”: $\Delta f < - 0.02$

Se puede estimar la fricción lateral provista con:

$$fra = \frac{VD^2}{127R} - p$$

Donde:

VD = velocidad de diseño.

R= Radio de curvatura.

p = peralte.

En el caso de fricción lateral demandada, se calcula con la misma ecuación, sustituyendo el valor de VD por el de V85. Se puede emplear ecuaciones de regresión lineal como:

$$frd = \hat{a}_0 + \hat{a}_1 V85 + \hat{a}_2 V85^2 \quad \text{ó} \quad frd = \hat{a}_0 + \hat{a}_1 GC + \hat{a}_2 GC^2$$

En donde

α = Factor que varía entre 0 y 1, que considera la interacción entre la fricción lateral y transversal.

$\hat{\alpha}_i$ = Coeficientes de regresión.

Para este procedimiento es necesario realizar de mediciones en terreno de la fricción en función de las variables mediante equipos estáticos o dinámicos de medición de fricción.

2.4.3.2.2. Criterios de Evaluación de Consistencia bajo la hipótesis de Messer.

Derivado del modelo conductual propuesto por Donges (Lamm et al., 1999), postula una interacción dinámica entre el conductor, el vehículo, la vía y el entorno circundante. Según esta hipótesis, las decisiones tomadas por el conductor dependen de la información percibida del trazado de la carretera, el nivel de tráfico, el entorno inmediato y las condiciones ambientales. La capacidad de adaptación del conductor a estas condiciones afecta la probabilidad de cometer errores durante la conducción, y esta adaptación está influida por diversos factores, incluida la carga mental experimentada.

En general, el conductor tiende a reducir su carga mental, buscando un equilibrio o homeostasis, lo que se refleja en cambios en la velocidad de circulación, la atención a diferentes fuentes de información y una reducción en la realización de tareas no esenciales para la conducción.

Dentro de los métodos basados en escalas subjetivas, una de las primeras aplicaciones a la consistencia del diseño geométrico fue desarrollada por Messer (1980). Este método permite estimar la carga mental mediante la siguiente ecuación:

$$CM = U \times E \times S \times R + C \times CMp$$

En donde:

CM = Carga Mental.

CMp = Carga mental percibida.

U = Factor de no familiaridad del trazado.

E = Expectativa del conductor.

S = Distancia de visibilidad.

R = Factor de carga mental potencial.

C = Factor de reacción.

Con la ecuación, se determina un valor positivo, que se asocia a niveles de consistencia.

Tabla 2 Calificación de Consistencia de Diseño (Lanm et al, 1999)

Calificación del Diseño	Expectativa del Conductor	Nivel de Consistencia	Valor de Carga Mental
Bueno	No se esperan Problemas	A	≤ 1
		B	≤ 2
Regular	Es posible encontrar situaciones sorprendentes	C	≤ 3
		D	≤ 4
Malo	Es posible encontrar problemas importantes	E	≤ 6
		F	≥ 6

Nota. Figura extraída de Indicadores de consistencia en el diseño geométrico de carreteras. Por T. Echaveguren & J. Saez, 2001

La tabla muestra que, la probabilidad de cometer un error aumenta en la medida que la carga mental aumenta. Pero, no se refleja que el hecho de que cuando la carga mental baja demasiado, también aumenta la probabilidad de accidentes por la distracción del conductor.

Una de las limitaciones de este método radica en su dependencia de una escala subjetiva para evaluar las condiciones generales del trazado, la cual se obtiene a partir de

la opinión de los usuarios. Para su aplicación, es necesario recopilar una amplia base de datos y utilizar técnicas de evaluación multicriterio para desarrollar estas escalas subjetivas. Por otro lado, existen escalas subjetivas como la de Cooper-Harper, que pueden utilizarse para establecer correlaciones entre las características geométricas de la carretera y la carga mental experimentada por los conductores.

2.4.4. Velocidad de diseño.

Se define como la velocidad seleccionada para el diseño de una vía, La "Velocidad de Diseño" representa la máxima velocidad segura y cómoda que se puede mantener en una sección específica de la carretera, siempre y cuando las condiciones sean favorables para que prevalezcan las condiciones de diseño. Esta velocidad se determina según la clasificación por demanda u orografía de la carretera que se va a diseñar, asignándose a cada tramo homogéneo una Velocidad de Diseño dentro del rango indicado.

Figura 11 Rangos velocidad de diseño según DG-2018-MTC

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. Figura extraída de Manual de carreteras: Diseño geométrico DG-2018 por MTC, 2018

2.4.5. Velocidad de operación.

La Velocidad de Operación es la máxima velocidad a la que pueden desplazarse los vehículos en un tramo específico de una carretera, determinada por la velocidad de diseño y las condiciones del tránsito, el pavimento, el clima y la relación con otras vías y propiedades adyacentes.

Cuando el tránsito y las interferencias son mínimas, la velocidad de operación tiende a igualarse con la velocidad de diseño establecida para ese tramo en particular, sin excederla. Sin embargo, a medida que aumenta el volumen de tráfico, las interferencias entre vehículos incrementan, lo que puede reducir la velocidad de operación del conjunto.

La velocidad de operación es un parámetro fundamental para evaluar la calidad del servicio que brinda una carretera y para comparar vías existentes con características similares a las planificadas en un proyecto. Un método comúnmente utilizado para estimar la velocidad de operación es el percentil 85 de la velocidad, que indica la velocidad a la cual circula el 85% de los vehículos.

El análisis de la velocidad de operación a lo largo de un tramo de carretera, representado en un diagrama de velocidad de operación versus distancia, permite identificar áreas que podrían comprometer la seguridad en el trazado. Este análisis es crucial para evaluar la consistencia del diseño geométrico de la carretera.

En la siguiente tabla (ecuaciones de Fitzpatrick), se puede apreciar ecuaciones para la determinación de velocidad percentil 85.

Tabla 3 Ecuaciones de Fitzpatrick para la estimación de velocidades de operación

	Condiciones de alineamiento	Ecuación
1	Curva horizontal sobre pendiente ($-9\% < i < -4\%$)	$V_{85} = 102.10 - \frac{3077.13}{R}$
2	Curva horizontal sobre pendiente ($-4\% < i < 0\%$)	$V_{85} = 105.98 - \frac{3709.90}{R}$
3	Curva horizontal sobre pendiente ($0\% < i < 4\%$)	$V_{85} = 104.82 - \frac{3574.51}{R}$
4	Curva horizontal sobre pendiente ($4\% < i < 9\%$)	$V_{85} = 96.61 - \frac{2752.19}{R}$
5	Curva horizontal combinada con curvas cóncavas (sag)	$V_{85} = 105.32 - \frac{3438.19}{R}$
6	Curva horizontal combinada con curvas convexas sin limitación de visibilidad	(Nota 2)
7	Curva horizontal combinada con curvas convexas con limitación de visibilidad ($K \leq 43 \text{ m} / \%$)	$V_{85} = 103.24 - \frac{3576.51}{R}$; (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 ($K > 43 \text{ m} / \%$) sobre recta horizontal	V_{85} se asume como la velocidad deseada
10	Curva vertical convexa con distancia de visibilidad limitada ($K \leq 43 \text{ m} / \%$) sobre recta horizontal	$V_{85} = 105.08 - \frac{149.69}{K}$

Nota. Figura extraída de Manual de carreteras: Diseño geométrico DG-2018 por MTC, 2018

Notas:

1) Utilizar la velocidad menor obtenida con las ecuaciones 1 o 2 (para pendientes descendentes) y 3 o 4 (para pendientes ascendentes).

2) Comparar la velocidad de operación con la velocidad estimada utilizando las ecuaciones específicas para tramos con pendientes descendentes (ecuaciones 1 o 2) y pendientes ascendentes (ecuaciones 3 o 4), eligiendo la velocidad más baja de ambas. Esta práctica garantiza que la velocidad estimada a lo largo de curvas combinadas no supere la velocidad que se obtendría si solo estuviera presente la curva horizontal.

V_{85} = Percentil 85 de velocidad de automóviles (km/h)

R = Radio de curva (m)

Con base en los conceptos mencionados anteriormente, se establecen valores de velocidades máximas de operación que varían según la clasificación de la carretera, el tipo de vehículo y las condiciones orográficas.

Tabla 4 Valores de velocidad máxima de operación según DG.2018-MTC

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. Figura extraída de Manual de carreteras: Diseño geométrico DG-2018 por MTC, 2018

Donde:

- 1) Orografía plana (1)
- 2) Orografía ondulada (2)
- 3) Orografía accidentada (3)
- 4) Orografía escarpada (4)
- 5) la velocidad máxima de operación es 70 km/h para vehículos de transporte de mercancía peligrosa.

6) En función a cada vía las autoridades competentes, podrán fijar velocidades de operación inferiores a las indicadas en la tabla.

7) Se debe señalizar la máxima velocidad de operación, al inicio de cada Tramo Homogéneo, principalmente.

8) Las autoridades competentes determinarán las velocidades máximas de operación para las carreteras de Segunda Clase y Tercera Clase según sus particularidades específicas. Esto se realiza considerando diversos factores, como la geometría de la vía, el tipo de tráfico, las condiciones del entorno y las normativas de seguridad vial.

2.4.6. Mira Laser.

Es una herramienta diseñada para controlar y medir la velocidad de los vehículos en diferentes entornos, como carreteras, autopistas y otros lugares donde se requiera hacer cumplir los límites de velocidad. Este sistema utiliza tecnología láser para capturar la velocidad de los vehículos de manera rápida y precisa, lo que lo hace ideal para aplicaciones de aplicación de la ley y seguridad vial. Al proporcionar mediciones precisas y rápidas, las pistolas láser permiten a las autoridades identificar y sancionar a los conductores que exceden los límites de velocidad, contribuyendo así a mejorar la seguridad en las carreteras y prevenir accidentes.

2.4.6.1. Pistola de velocidad Bushnell Velocity Speed Gun.

El Medidor Velocity de Bushnell es una herramienta que emplea tecnología digital para proporcionar mediciones instantáneas de velocidad con una precisión de hasta ± 2 km/h. Su uso es sencillo, ya que solo necesitas apuntar y medir.

Este dispositivo es capaz de medir la velocidad de una pelota de béisbol en el rango de 16 a 177 km/h a una distancia de 27 metros de la pelota. También puede utilizarse para medir la velocidad de un coche de carreras en el rango de 16 a 322 km/h a una distancia de 457 metros. Esto lo convierte en una herramienta versátil que puede adaptarse a diferentes situaciones y necesidades, ya sea en el ámbito deportivo o para aplicaciones relacionadas con la seguridad vial.

Figura 10 Pistola de velocidad Bushnell Velocity Speed Gun



Nota. Pistola de velocidad Bushnell Velocity Speed Gun utilizada para la presente investigación.





CAPITULO III

3. METODOLOGIA PROPUESTA.

3.1. Tipo de Investigación.

La presente investigación de acuerdo con el tipo de trabajo que se realizará es considerada cuantitativa, porque se enfocará en el planteamiento del problema en donde se desarrollará una previa revisión bibliográfica y Marco teórico, visualizando así, un alcance del estudio. Permitiéndonos elaborar hipótesis y definición de las variables de operabilidad, realizando el diseño de la investigación, determinando la población y muestra, lo que nos permitirá una recolección de datos y un posterior análisis de estos. Con todo lo antes mencionado se realizará un reporte de los resultados que se obtendrán.

3.2. Nivel de Investigación.

El Nivel de Investigación es Exploratorio debido a que se abrirá campo a futuras relacionadas al tema.

3.3. Diseño de Investigación.

Es experimental, ya que se pretenden establecer ecuaciones de predicción de velocidad de operación en carreteras aledañas a Moquegua por lo tanto tomar datos “in situ”.

Es una investigación realizada con un enfoque científico y se utilizan métodos experimentales.

3.4. Variables de la investigación.

3.4.1. Variable independiente.

- Condiciones geométricas del trazado

3.4.2. Variable dependiente.

- Velocidad de operación.

3.5. Operacionalización de variables.

Nota.

Tabla 5 *Tabla de operacionalización de variables*

Variables	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores
Independiente	La configuración geométrica definitiva representa el diseño tridimensional completo que busca cumplir con los objetivos principales de funcionalidad, seguridad, comodidad, integración ambiental, armonía estética, economía y flexibilidad de la solución final. En otras palabras, es la disposición final de todos los elementos que conforman una estructura vial, asegurando que satisfaga de manera óptima las necesidades de los usuarios y el entorno circundante.	Categorico Nominal	La pendiente y el radio de curvatura horizontal y vertical
Condiciones geométricas de trazado			
Dependiente	La velocidad de flujo libre es la velocidad a la cual los vehículos circulan en una carretera bajo condiciones favorables de tráfico y meteorología, sin superar en ningún momento la velocidad segura para la vía en cuestión.	Categorico ordinal	Velocidad de operación de vehículos (V85) en puntos seleccionados
Velocidad de operación			

Elaboración propia.

3.6. Población y Muestra.

3.6.1. Población.

El tamaño de población será el número de curvas en la carretera seleccionada PE-1-SD (Carretera Camaná-Tacna. Tramo Punta de bombón – Ilo). que cumpla los criterios generales para ser analizadas.

Carretera PE 1SD:

La longitud de carretera existente en el departamento de Moquegua es de 89.298 km (23.31% del total de la carretera).

El inicio de la progresiva desde la que se va a analizar es la progresiva 19+138.737 y el análisis de la carretera termina en la progresiva 84+622.471, lo que sería en total 65.483 Km.

Tabla 6 Trazado para el desarrollo

Nombre del trazado	Kilometros
CARRETERA PE 1SD TRAMO PUNTA DE BOMBOM - FUNDICION - ILO	65.483

Nota. Elaboración propia

Figura 11 Tramo de carretera a analizar de la carretera PE 1 SD



Nota. Figura extraída Dirección General de Caminos y Ferrocarriles, 2018

La carretera PE 1 SD consta de 368.55 km de superficie de rodadura en total, de los cuales 366.729 (95.72 %) son asfaltados y el restante es afirmado y trocha, consta en su mayoría de terreno plano y cumple con los criterios generales que son: Clasificación funcional arterial, zona rural, velocidad de diseño, límite de velocidad entre 50 y 90 km/h, volúmenes de tráfico entre 100 y 4000 vehículos/día, terreno llano y ondulado, ancho de calzada entre 2,75 y 3,75 metros, longitud de curvas horizontales sin restricción y longitud de curvas verticales entre 40 y 320 metros.

3.6.2. Muestra.

El estudio de Fitzpatrick et al. (2000) identificó diez combinaciones de sitios para analizar y predecir la velocidad de circulación en carreteras. Cada una de estas combinaciones representaba diferentes condiciones locales, regionales o nacionales que podrían influir en el comportamiento de los conductores. Por otro lado, el estudio de García et al. (2012) se centró en ocho tipos de sitios específicos, lo que sugiere que las combinaciones pueden variar según el contexto donde se realice la investigación. En el caso de la investigación en cuestión, se optó por utilizar las diez combinaciones establecidas por Fitzpatrick et al. (2000) como base para el análisis y la predicción de la velocidad de circulación.

Una vez que se ha delimitado la región para la cual se establecerán las ecuaciones de velocidad, el siguiente paso es definir la población que será considerada en el estudio. A partir de esta población, se determina una muestra representativa que permita realizar inferencias válidas sobre toda la población. El cálculo del tamaño de la muestra se realiza utilizando la siguiente ecuación:

$$n = \frac{Z^2 pqN}{NE^2 + Z^2 pq}$$

Donde:

n = Tamaño de la muestra.

Z = Nivel de confianza.

p = Variabilidad positiva.

q = Variabilidad negativa.

N = Tamaño de la población.

E = Precisión o error.

3.7. Métodos de investigación.

El proceso metodológico propuesto para la determinación de las ecuaciones de velocidad de operación consta de las siguientes etapas:

- Evaluación de las carreteras en la zona y establecimiento de parámetros clave para la investigación.
- Identificación de los lugares adecuados y selección de la muestra para el estudio.
- Registro de velocidades en los sitios seleccionados.
- Elaboración de ecuaciones predictivas para el perfil de velocidad. A continuación, se presenta una breve descripción de cada una de ellas.

3.7.1. Análisis de las carreteras del territorio y definición de parámetros fijos por investigar.

Los parámetros fijos de las carreteras son aquellos elementos que permanecen constantes con el tiempo sin requerir intervenciones de mantenimiento. Entre estos, los más relevantes en cuanto a las características geométricas incluyen la pendiente y el radio de curvatura horizontal, los cuales son identificados en los lugares específicos seleccionados para el estudio. Se define como "sitio" a la agrupación de una o varias curvas que comparten características geométricas similares y se encuentran en la misma

condición, ya sea una curva horizontal, vertical o una combinación de ambas (Fitzpatrick et al., 2000).

3.7.2. Determinación de los sitios y selección de la muestra.

En los estudios previos realizados por García et al. (2012) y Fitzpatrick et al. (2000) señalan la necesidad de agrupar elementos con características geométricas similares para desarrollar perfiles de velocidad de operación. En cuanto a la selección de los sitios de estudio, se han seguido criterios generales, incluyendo zonas rurales, clasificación funcional arterial menor, velocidad de diseño, límites de velocidad entre 50 y 90 km/h, terrenos llanos y ondulados, volúmenes de tráfico entre 100 y 4000 vehículos/día, anchos de calzada entre 2,75 y 3,75 metros, longitud de curvas horizontales sin restricción, y longitud de curvas verticales entre 40 y 320 metros. Estos parámetros se seleccionaron porque representan las características más comunes de las carreteras rurales en el área de estudio. La información geométrica se obtendrá a partir de imágenes satelitales para estimar el radio de curvatura (D_i), los ángulos de desviación (ω_i), las longitudes de curva (L_{ci}) y las longitudes tangentes de la configuración geométrica.

3.7.3. Completamiento de información en el terreno.

Para complementar los datos requeridos para desarrollar las ecuaciones de predicción de velocidad de operación, se llevan a cabo mediciones directas en el terreno de la pendiente longitudinal y los radios de curvas horizontales, especialmente si esta información no está disponible en los archivos de carreteras.

3.7.4. Flota vehicular.

El objetivo de esta investigación es desarrollar Ecuaciones de predicción de velocidad percentil 85 para vehículos familiares y de uso diario.

3.7.5. Mediciones de velocidad en los sitios seleccionados.

La velocidad de operación se determina para vehículos familiares, en el día, en condiciones climáticas favorables/normales que no este lloviendo y bien conservadas. Las mediciones de velocidad deben ser realizados en el punto de la curva donde se observa un aumento de la velocidad de operación (Fitzpatrick et al. 2000). Según los estudios realizados estos lugares están localizados en el centro para curvas horizontales y curvas verticales.

Para esta investigación se utilizará el equipo medidor Bushnell Speed Velocity Gun el cual utiliza tecnología digital para ofrecer mediciones instantáneas de velocidad con una precisión de hasta ± 2 km/h.

Figura 12 Pistola de velocidad Bushnell Speed Velocity Gun



Nota. Pistola de velocidad Bushnell Velocity Speed Gun utilizada para la presente investigación.

Para establecer el tamaño de la muestra de mediciones de velocidad se utiliza la siguiente ecuación, recomendada por Robertson et al. (1994).

$$n = \frac{K^2 \sigma^2 (2 + U^2)}{2 \times e l^2}$$

Donde:

n: Tamaño de muestra

K: Constante en función del nivel de confianza elegido.

σ : Desviación estándar.

U: Desviación normal correspondiente al percentil de velocidad.

el: Precisión o error admisible.

El valor de la desviación estándar S pueden ser obtenidos según recomendaciones de Robertson et al. (1994). Se representan los valores sugeridos en la siguiente tabla:

Tabla 7 Desviación estándar para determinar el tamaño de muestra

Área de tráfico	Tipo de vía	Desviación estándar (km/h)
Rural	Un carril	8.5
	Dos carriles	6.8
Intermedia	Un carril	8.5
	Dos carriles	8.5
Urbana	Un carril	7.7
	Dos carriles	7.9
Valor Recomendado		8.0

Nota. Adaptado de Robertson Spot Speed Studies. In Manual of Transportation Engineering Studies. Institute of Transportation Engineers, por Robertson, 1994

En el caso de la constante K, Robertson et al. (1994) recomienda los siguientes valores:

Tabla 8 Valores de constante K

Nota. Adaptado de Robertson Spot Speed Studies. In Manual of Transportation Engineering Studies. Institute of Transportation Engineers, por Robertson, 1994

Nivel de confianza (%)	Constante K
68.30	1.00
86.60	1.50
90.00	1.64
95.00	1.96
95.50	2.00
98.80	2.50
99.00	2.58
99.70	3.00

Se establecen los valores de la desviación estándar estimada S en función del percentil de velocidad.

Tabla 9 Valores de constante *U*

Percentil de velocidad	Constante <i>U</i>
50.00	0.00
85.00	1.04
93.00	1.48
95.00	1.64

Nota. Adaptado de Robertson Spot Speed Studies. In Manual of Transportation Engineering Studies. Institute of Transportation Engineers, por Robertson, 1994

3.7.6. Desarrollo de las ecuaciones de predicción del perfil de velocidad.

Después de completar las mediciones de velocidad en los sitios seleccionados, se procede al procesamiento de los datos obtenidos. En primer lugar, se calculan los estadísticos descriptivos de la variable, que incluyen la varianza, la desviación estándar, la media, entre otros. Este análisis estadístico inicial ayuda a aplicar criterios para limpiar los datos, identificando y descartando valores anómalos o errores, con el objetivo de reducir la dispersión de los datos y mejorar la calidad del conjunto de datos.

3.8. Aporte de investigación.

La presente investigación será un aporte a la ingeniería tanto como mejora técnica para los proyectos viales y como para la gestión del diseño en este tipo de proyectos.

Al finalizar la investigación tendremos un modelo de velocidad de operación, esto mejorará las condiciones sociales de la población y será un gran aporte a la industria de la construcción.

La implementación de este modelo de velocidad en el diseño de los proyectos viales hará que se tomen en cuenta las condiciones reales del país y de la región ya que en el Perú no se reportan estudios de velocidad de operación.



CAPITULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. Análisis de las carreteras del territorio y definición de parámetros fijos por investigar.

En la tabla se muestran el tramo de carretera de dos carriles en terreno llano utilizados para desarrollar las ecuaciones de predicción de velocidad de operación.

Como se mencionó en la selección de la población el inicio de la progresiva desde la que se va a analizar es la progresiva 19+138.737 y el análisis de la carretera termina en la progresiva 84+622.471, lo que sería en total 65.483 Km.

Tabla 10 Tramo de carretera a analizar

Nombre del trazado	Kilometros
CARRETERA PE 1SD LA PUNTA-ILO	65.483

Nota. Elaboración propia.

4.1.1. Determinación de los sitios y selección de la muestra.

Con la población disponible de sitios en terreno de pendiente variable de carreteras rurales de interés en la región de Moquegua, en este caso 65.483 km distribuidos que cuentan con todo tipo de curvas verticales y horizontales.

De esta población se obtienen condiciones de trazado agrupadas en condiciones iguales a la investigación desarrolladas por Fitzpatrick et al. (2000).

La siguiente tabla presenta la agrupación de sitios que logran ser identificados en la población de tramos de carreteras.

Tabla 11 Agrupación de curvas por condición

Caso	Combinación de Trazado	N ° de curvas
1	Curva horizontal sobre pendiente ($-9\% < i < 4\%$)	17
2	Curva horizontal sobre pendiente ($-4\% < i < 0\%$)	23
3	Curva horizontal sobre pendiente ($0\% < i < 4\%$)	19
4	Curva horizontal sobre pendiente ($4\% < i < 9\%$)	16
5	Curva horizontal combinada con curvas concavas (sag)	17
6	Curva horizontal combinada con curvas convexas sin limitacion de visibilidad	10
7	Curva horizontal combinada con curvas convexas con limitacion de visibilidad ($K \leq 43$ m /%)	17
8	Curva vertical concava sobre recta horizontal	18
9	Curva vertical convexa con distancia de visibilidad no limitada ($K > 43$ m/%) sobre recta horizontal	7
10	Curva vertical convexa con distancia de visibilidad limitada ($K \leq 43$ m/%) sobre recta horizontal	17

Nota. Elaboración propia.

En total son **162** curvas las que se van a evaluar en la presente investigación.

4.1.2. Determinación de los sitios seleccionados:

Se determinan intervalos de radios, para el análisis de las curvas, en la carretera seleccionada hay un total de 119 curvas horizontales que rondan de radios desde 50 m hasta 800 metros.

Para la presente investigación se utilizarán rangos de radios desde 50 m hasta 800 m de radio de curvatura.

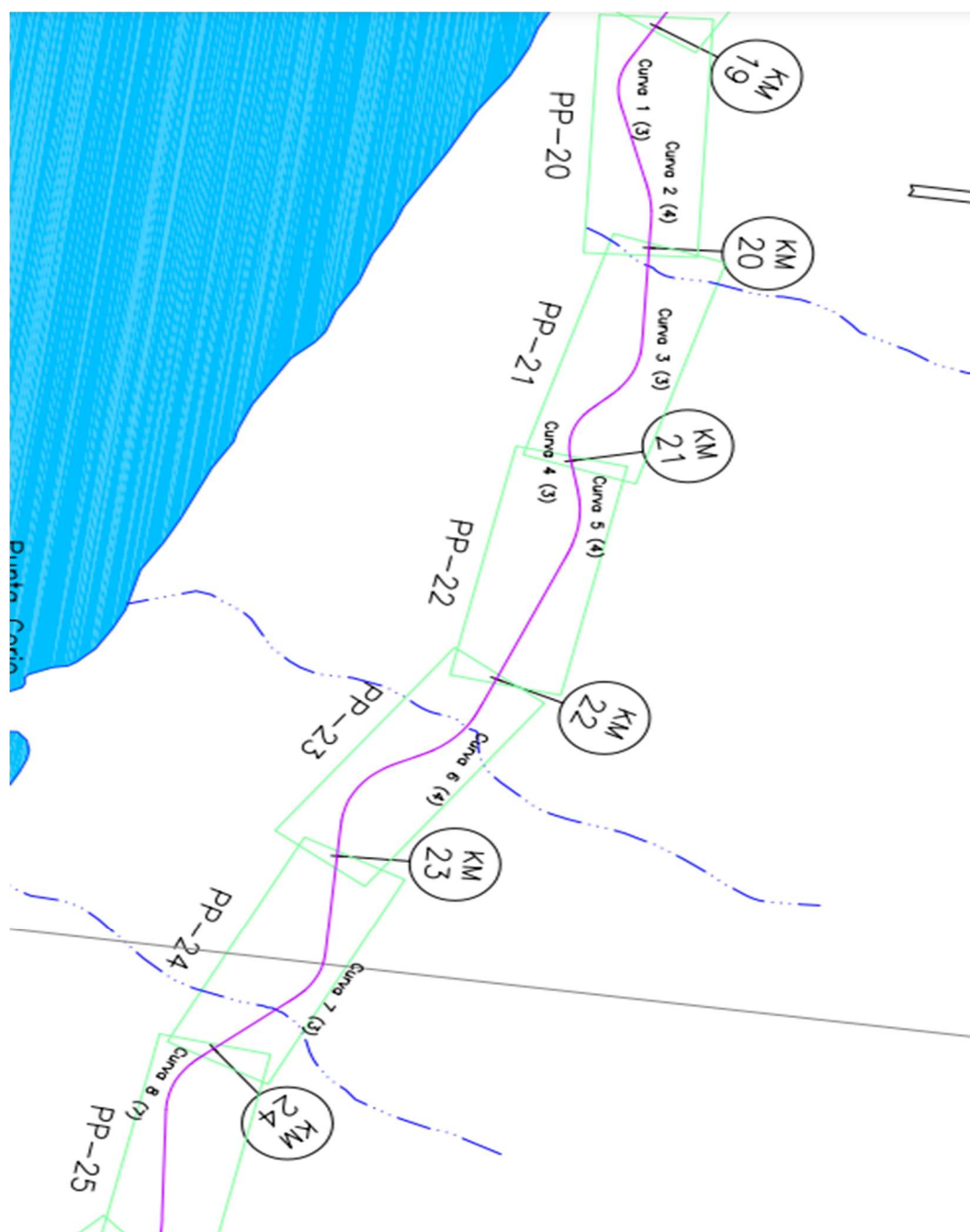
Tabla 12 Cantidad de curvas horizontales

Radio	Rc (m)			
	50-100	100-300	300-500	500-800
	51	53	12	3
Total sitios	119			

Nota. Elaboración propia.

A continuación, se presentan esquemas generales en planta de las curvas horizontales que se analizaron en la investigación y tablas que muestran los elementos de las curvas horizontales que se van a analizar para cada condición:

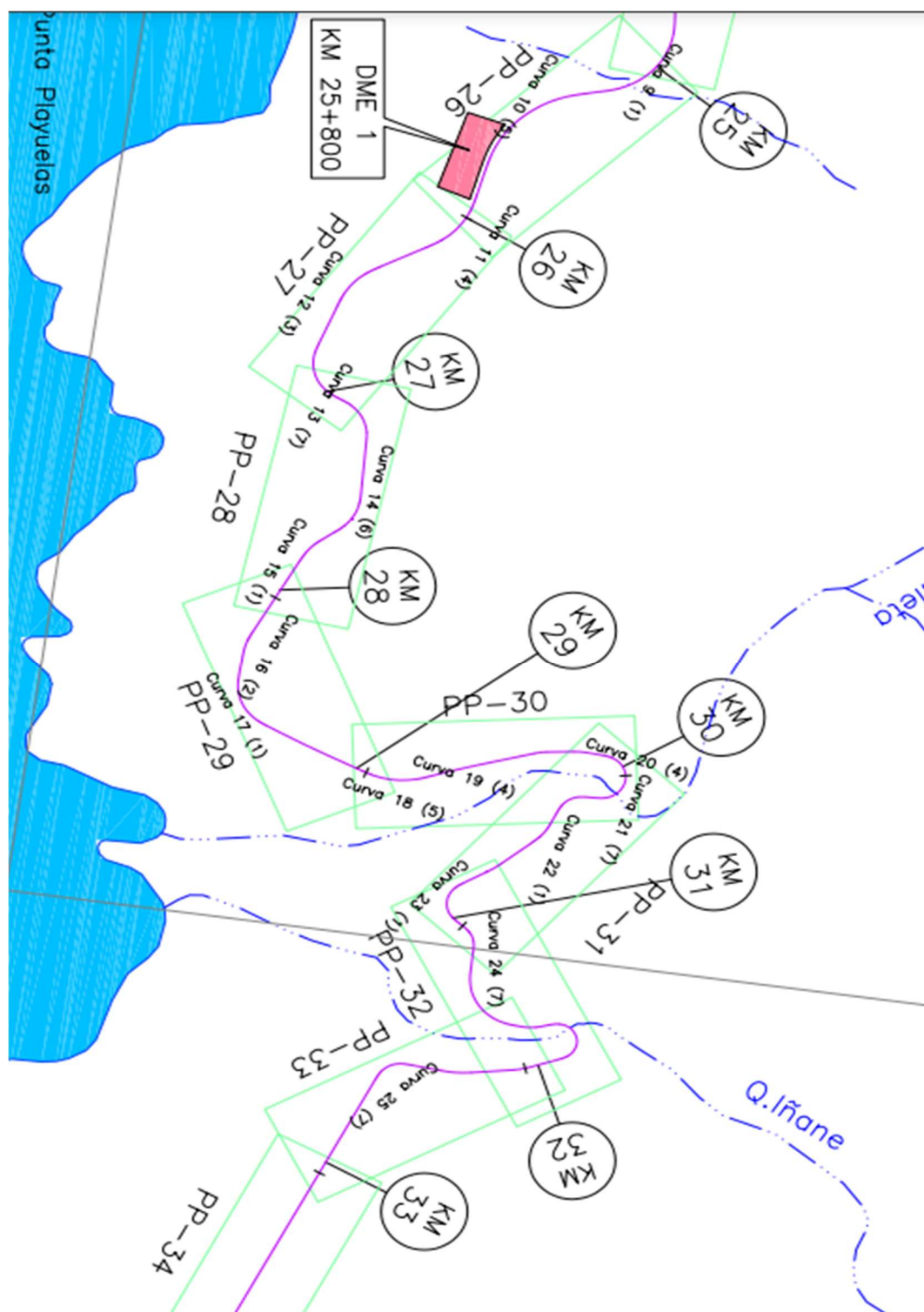
Figura 13 Esquema de carretera analizada Km 19 - Km 24 para curvas horizontales



Nota 1. Obtenido de Estudio definitivo de la carretera Camana-Dv. Quilca-Matarani-Ilo-Tacna. Por SIGT S.A Ingenieros consultores, 2009

Nota 2. Entre paréntesis se especifica a que condición pertenece cada curva

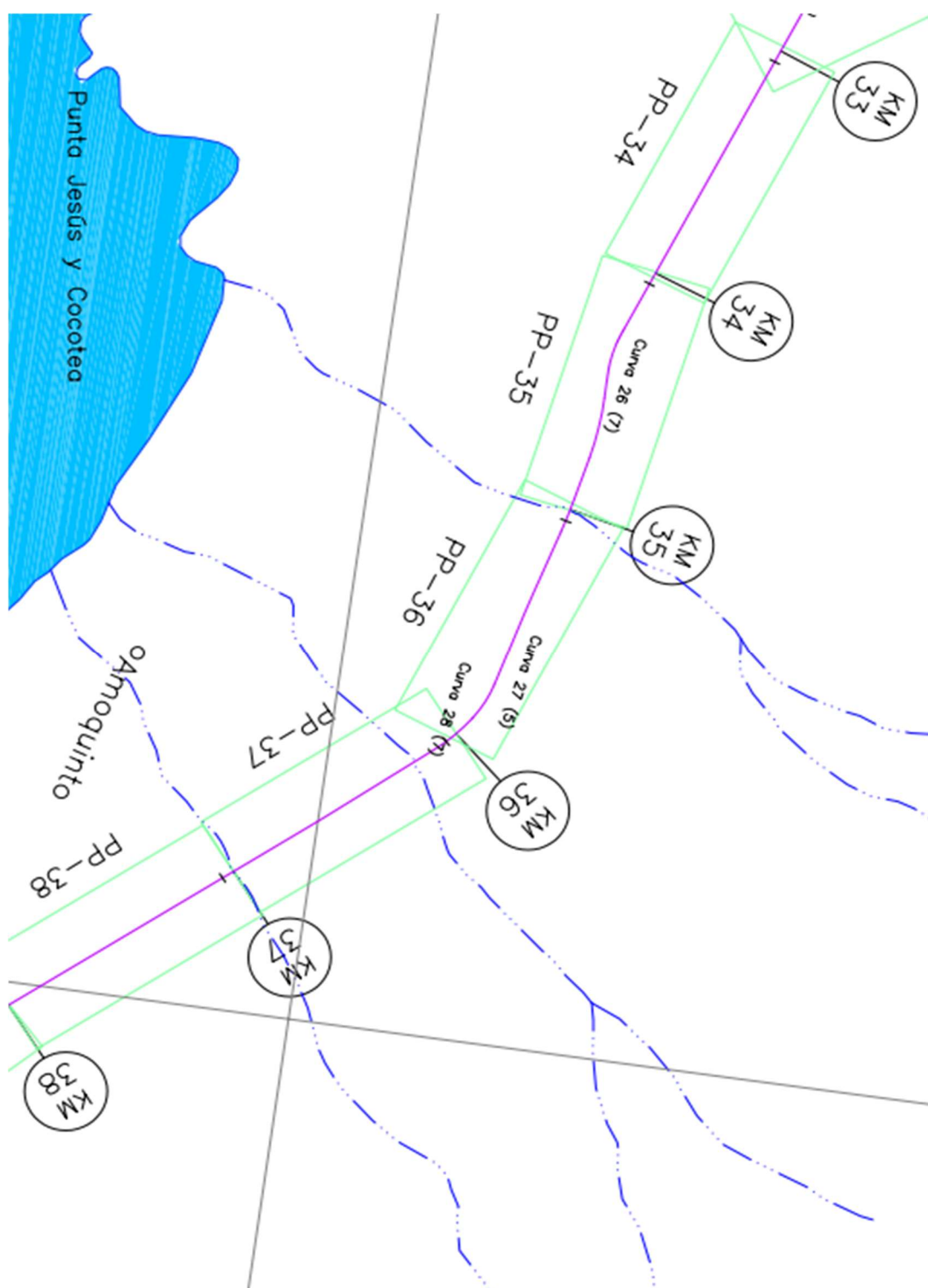
Figura 14 Esquema de carretera analizada Km 25 - Km 33 para curvas horizontales



Nota 1. Obtenido de Estudio definitivo de la carretera Camana-Dv. Quilca-Matarani-Ilo-Tacna. Por SIGT S.A Ingenieros consultores, 2009

Nota 2. Entre paréntesis se especifica a que condición pertenece cada curva

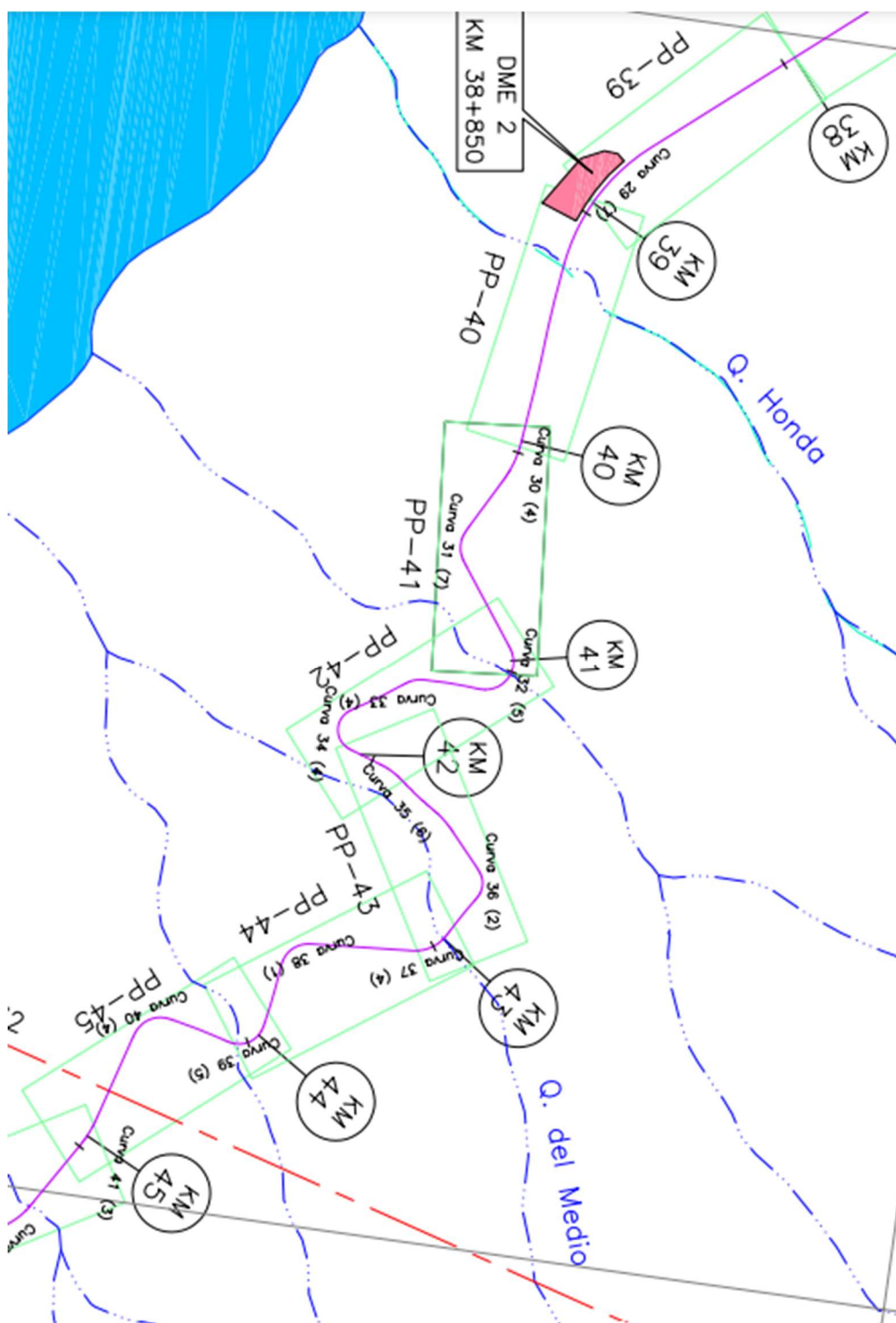
Figura 15 Esquema de carretera analizada Km 33 - Km 38 para curvas horizontales



Nota 1. Obtenido de Estudio definitivo de la carretera Camana-Dv. Quilca-Matarani-Ilo-Tacna. Por SIGT S.A Ingenieros consultores, 2009

Nota 2. Entre paréntesis se especifica a que condición pertenece cada curva

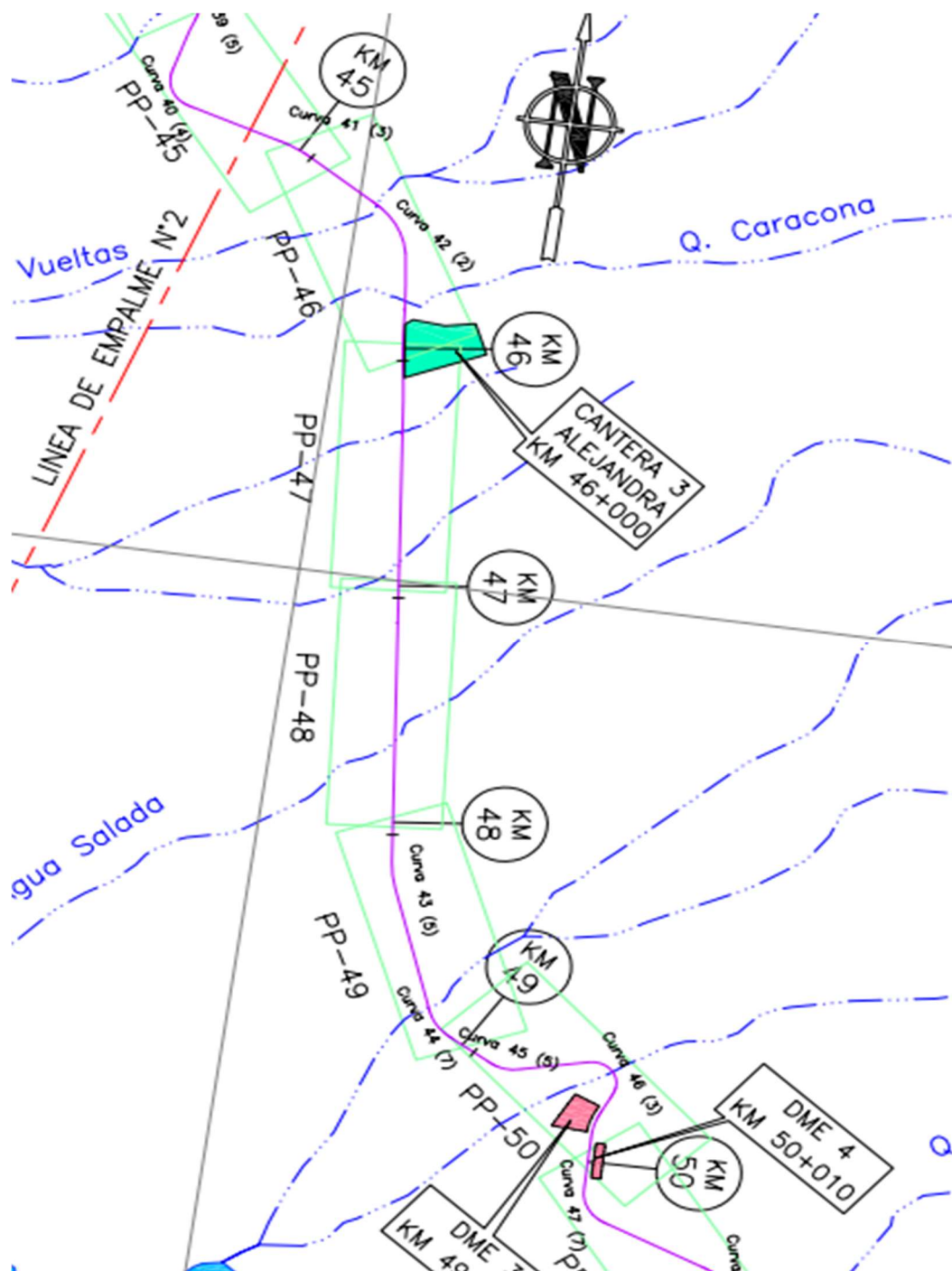
Figura 16 Esquema de carretera analizada Km 38 - Km 45 para curvas horizontales



Nota 1. Obtenido de Estudio definitivo de la carretera Camana-Dv. Quilca-Matarani-Ilo-Tacna. Por SIGT S.A Ingenieros consultores, 2009

Nota 2. Entre paréntesis se especifica a que condición pertenece cada curva

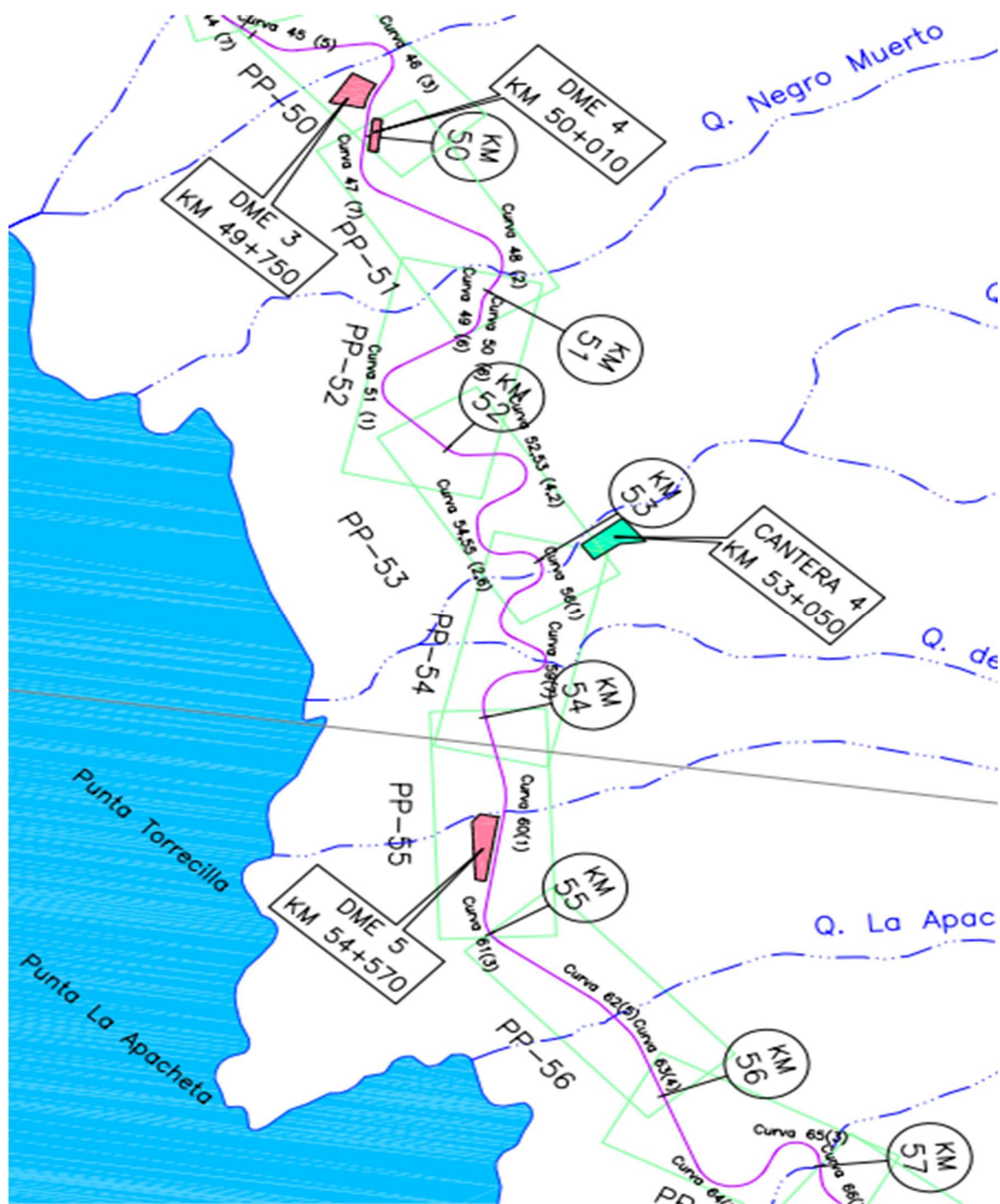
Figura 17 Esquema de carretera analizada Km 45 - Km 50 para curvas horizontales



Nota 1. Obtenido de Estudio definitivo de la carretera Camana-Dv. Quilca-Matarani-Ilo-Tacna. Por SIGT S.A Ingenieros consultores, 2009

Nota 2. Entre paréntesis se especifica a que condición pertenece cada curva

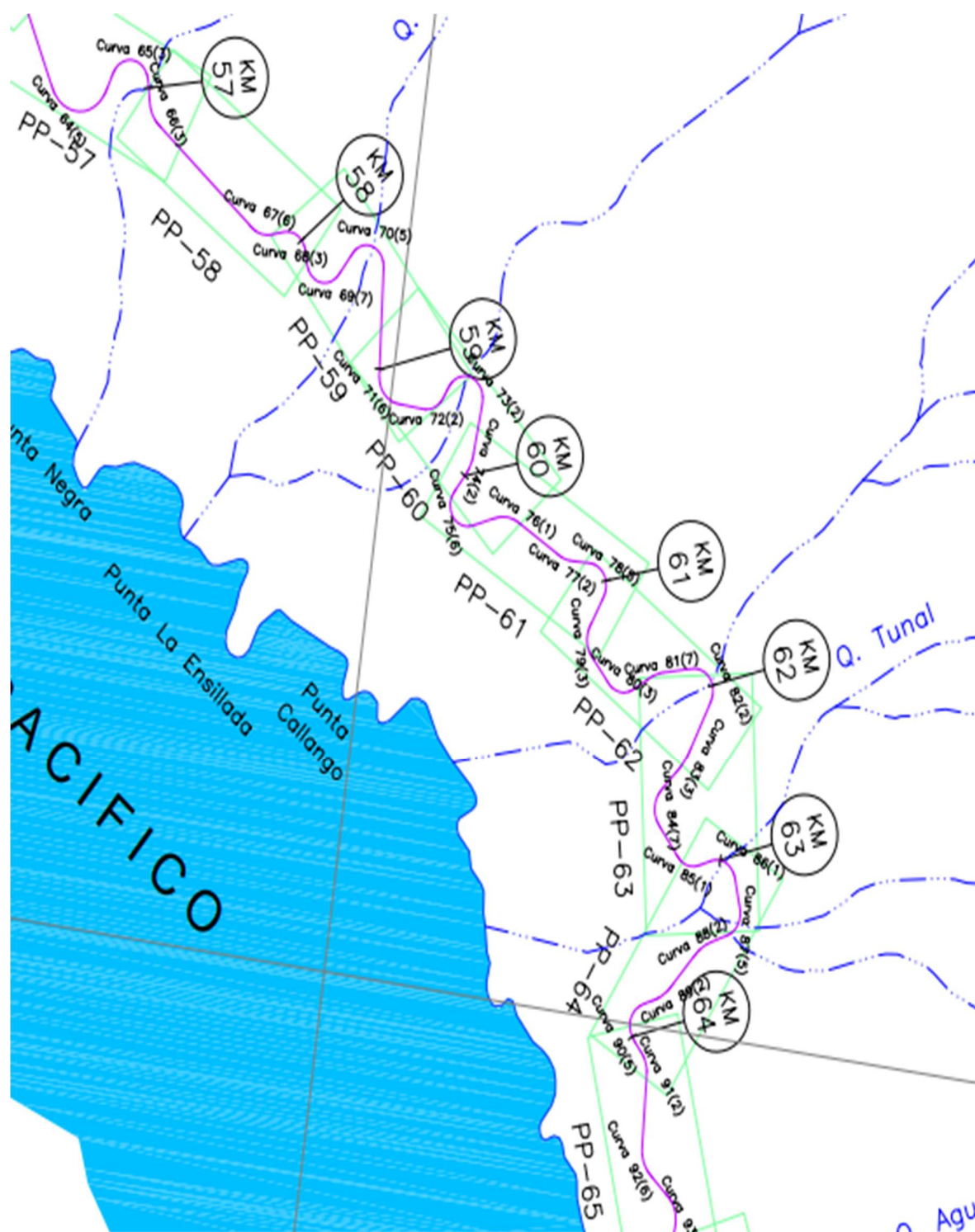
Figura 18 Esquema de carretera analizada Km 50 - Km 57 para curvas horizontales



Nota 1. Obtenido de Estudio definitivo de la carretera Camana-Dv. Quilca-Matarani-Ilo-Tacna. Por SIGT S.A Ingenieros consultores, 2009

Nota 2. Entre paréntesis se especifica a que condición pertenece cada curva

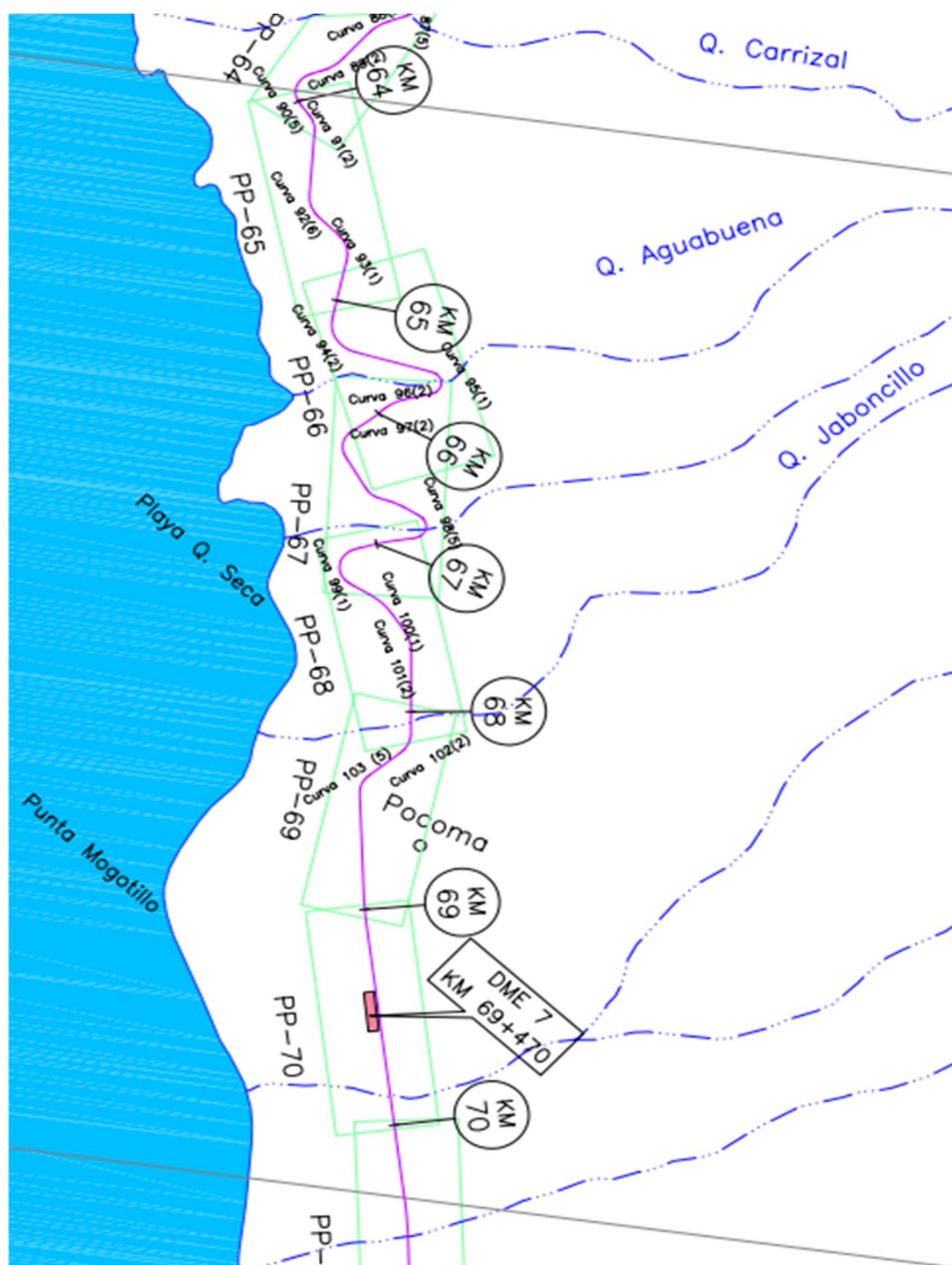
Figura 19 Esquema de carretera analizada Km 57 - Km 64 para curvas horizontales



Nota 1. Obtenido de Estudio definitivo de la carretera Camana-Dv. Quilca-Matarani-Ilo-Tacna. Por SIGT S.A Ingenieros consultores, 2009

Nota 2. Entre paréntesis se especifica a que condición pertenece cada curva

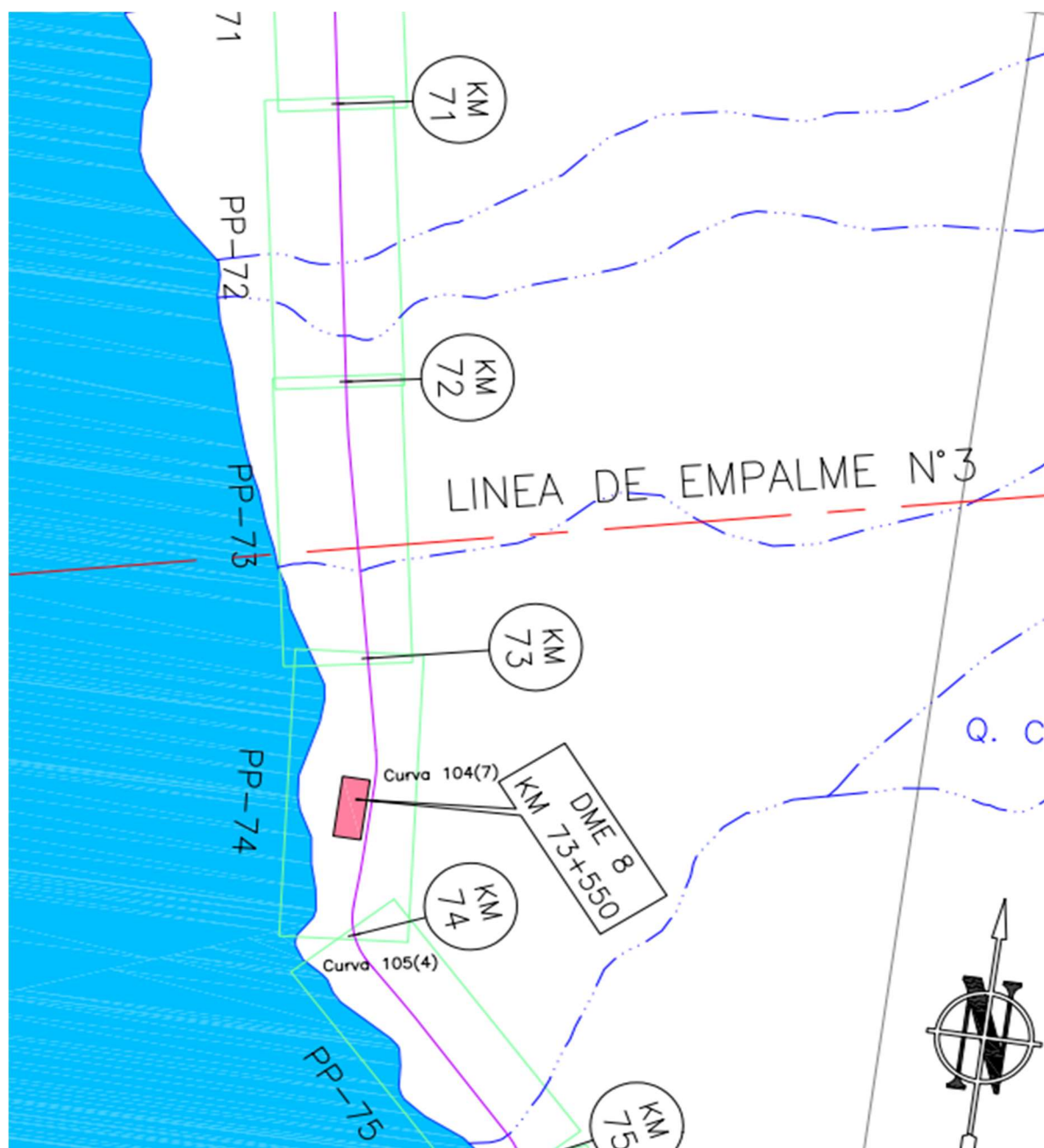
Figura 20 Esquema de carretera analizada Km 64 - Km 70 para curvas horizontales



Nota 1. Obtenido de Estudio definitivo de la carretera Camana-Dv. Quilca-Matarani-Ilo-Tacna. Por SIGT S.A Ingenieros consultores, 2009

Nota 2. Entre paréntesis se especifica a que condición pertenece cada curva

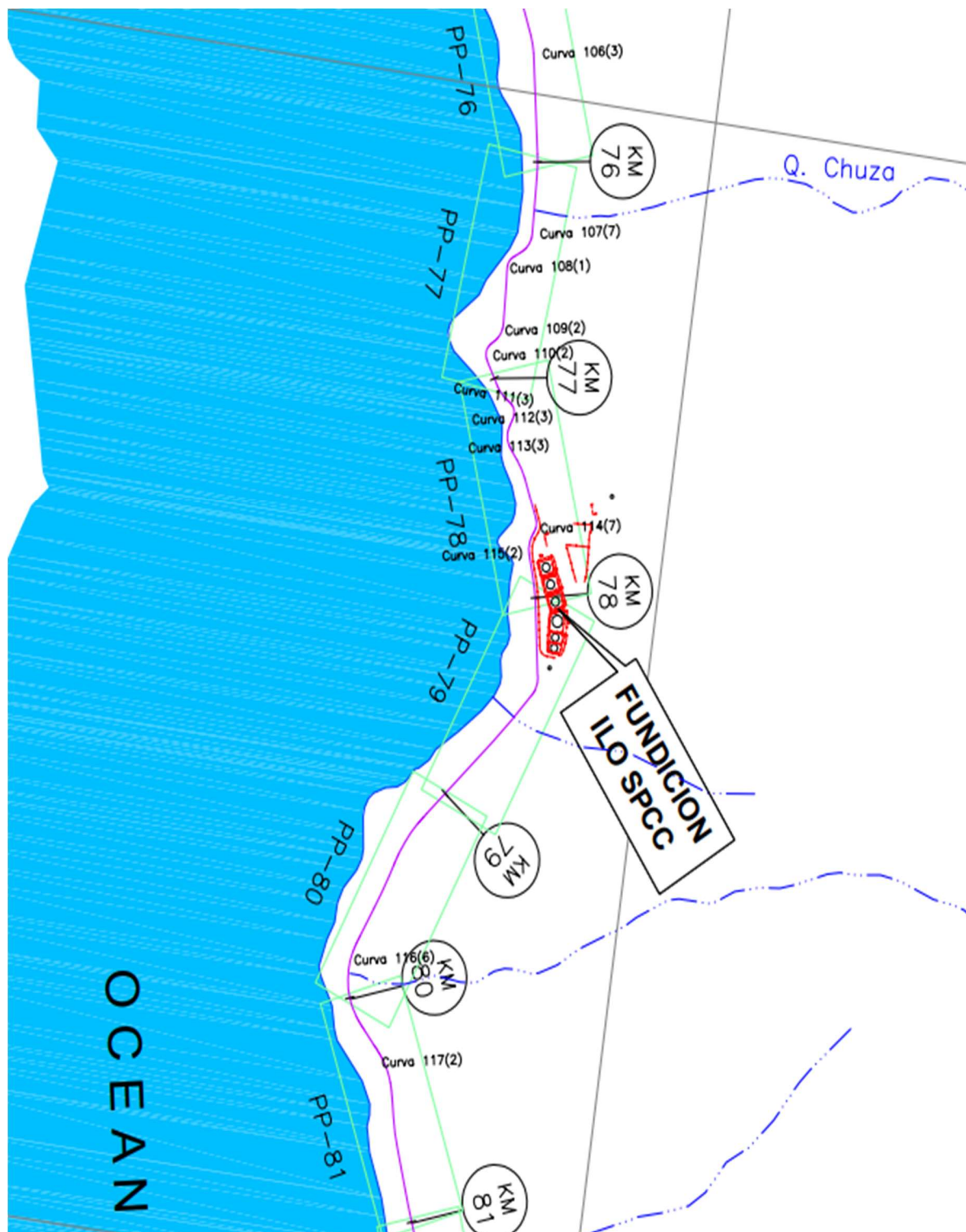
Figura 21 Esquema de carretera analizada Km 71 - Km 75 para curvas horizontales



Nota 1. Obtenido de Estudio definitivo de la carretera Camana-Dv. Quilca-Matarani-Ilo-Tacna. Por SIGT S.A Ingenieros consultores, 2009

Nota 2. Entre paréntesis se especifica a que condición pertenece cada curva

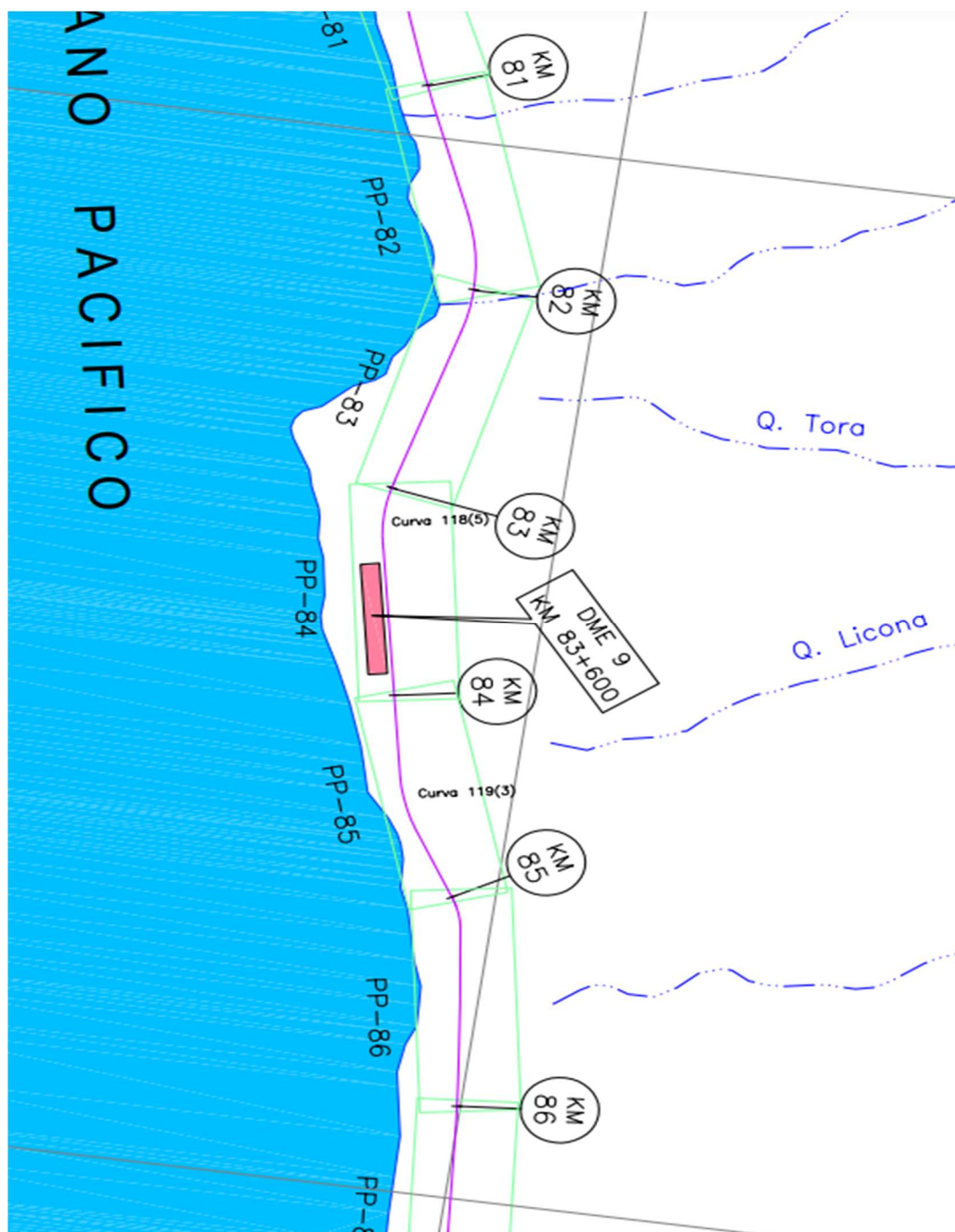
Figura 22 Esquema de carretera analizada Km 76 - Km 81 para curvas horizontales



Nota 1. Obtenido de Estudio definitivo de la carretera Camana-Dv. Quilca-Matarani-Ilo-Tacna. Por SIGT S.A Ingenieros consultores, 2009

Nota 2. Entre paréntesis se especifica a que condición pertenece cada curva

Figura 23 Esquema de carretera analizada Km 81 - Km 86 para curvas horizontales



Nota 1. Obtenido de Estudio definitivo de la carretera Camana-Dv. Quilca-Matarani-Ilo-Tacna. Por SIGT S.A Ingenieros consultores, 2009.

Nota 2. Entre paréntesis se especifica a que condición pertenece cada curva.

Teniendo clasificadas cada una de las curvas, se procede a elaborar las tablas de elementos de las curvas horizontales seleccionadas:

4.1.2.1. Sitios Seleccionados Curvas Horizontales.

Para la condición 1 “Curva horizontal sobre pendiente ($-9\% < i < 4\%$)”:

Tabla 13 Elementos de curvas horizontales para condición 1

ELEMENTOS DE CURVAS HORIZONTALES CONDICIÓN 1 “Curva horizontal sobre pendiente ($-9\% < i < 4\%$)”:							
Carretera Camaná-Tacna. Tramo Punta de Bombom - Ilo							
C.No	R	TS	SC ò PC	CS ò PT	ST	PENDIENTE	TIPO
9	277	24+778.149	24+853.149	25+165.010	25+240.010	-7.52%	1
15	175	27+452.117	27+502.117	27+609.373	27+659.373	-5.00%	1
17	175	28+338.365	28+388.365	28+550.931	28+600.931	-6.86%	1
22	85	30+992.521	31+037.521	31+075.485	31+120.485	-5.27%	1
23	185	31+188.427	31+233.427	31+464.316	31+509.316	-5.87%	1
38	108	43+476.260	43+521.260	43+625.595	43+670.595	-5.06%	1
51	105	51+494.011	51+539.011	51+688.070	51+733.070	-4.07%	1
56	75	52+895.071	52+940.071	53+100.789	53+145.789	-6.43%	1
60	400		54+282.570	54+439.189		-4.20%	1
76	120	60+395.459	60+440.459	60+490.857	60+535.857	-4.70%	1
85	85	62+765.887	62+810.887	62+872.413	62+917.413	-5.00%	1
86	82	62+938.194	62+983.194	63+075.610	63+120.610	-5.00%	1
93	120	64+663.764	64+708.764	64+784.305	64+829.305	-4.97%	1
95	50	65+602.292	65+642.292	65+734.069	65+774.069	-4.08%	1
99	85	67+066.948	67+121.948	67+266.184	67+321.184	-4.95%	1
100	300		67+390.740	67+528.492		-6.50%	1
108	50	76+429.393	76+459.393	76+479.906	76+509.906	-4.39%	1

Nota. Elaboración propia.

Para la condición 2 “Curva horizontal sobre pendiente ($-4\% < i < 0\%$)”:

Tabla 14 Elementos de curvas horizontales para condición 2.

ELEMENTOS DE CURVAS HORIZONTALES CONDICIÓN 2 “Curva horizontal sobre pendiente ($-4\% < i < 0\%$)”:							
Carretera Camaná-Tacna. Tramo Punta de Bombom - Ilo							
C.No	R	TS	SC ò PC	CS ò PT	ST	PENDIENTE	TIPO
16	190	27+695.020	27+745.020	27+781.606	27+831.606	-2.43%	2
36	85	42+600.599	42+645.599	42+711.454	42+756.454	-3.61%	2
42	290	45+284.940	45+334.940	45+541.119	45+591.119	-2.82%	2
48	145	50+680.656	50+725.656	50+922.642	50+967.642	-0.53%	2
53	91	52+183.474	52+228.474	52+423.793	52+468.793	-2.29%	2
54	100	52+526.274	52+576.274	52+639.777	52+689.777	-2.29%	2
72	85	59+281.736	59+326.736	59+383.857	59+428.857	-3.43%	2
73	75	59+450.663	59+500.663	59+659.425	59+709.425	-3.43%	2
74	150	59+908.371	59+948.371	59+981.285	60+021.285	-3.43%	2
77	120	60+727.059	60+762.059	60+786.009	60+821.009	-3.44%	2
82	85	61+855.307	61+900.307	62+038.642	62+083.642	-0.14%	2
88	150	63+420.983	63+465.983	63+495.754	63+540.754	-2.11%	2
89	160	63+678.175	63+723.175	63+760.851	63+805.851	-2.11%	2
91	100	64+065.833	64+105.833	64+136.318	64+176.318	0.47%	2
94	130	65+060.716	65+110.716	65+257.014	65+307.014	-2.60%	2
96	200	65+851.077	65+891.077	65+952.051	65+992.051	-3.33%	2
97	400		66+021.467	66+081.330		-2.28%	2
101	130	67+612.318	67+652.318	67+687.159	67+727.159	-2.77%	2
102	100	68+087.056	68+127.056	68+176.382	68+216.382	-3.62%	2
109	85	76+723.032	76+753.032	76+797.067	76+827.067	-0.62%	2
110	50	76+828.531	76+858.531	76+898.322	76+928.322	-2.16%	2
115	100	77+718.909	77+763.909	77+790.523	77+835.523	-3.07%	2
117	190	80+271.366	80+316.366	80+389.608	80+434.608	-2.89%	2

Nota. Elaboración propia.

Para la condición 3 “Curva horizontal sobre pendiente ($0\% < i < 4\%$)”:

Tabla 15 Elementos de curvas horizontales para condición 3

ELEMENTOS DE CURVAS HORIZONTALES CONDICIÓN 3 “Curva horizontal sobre pendiente ($0\% < i < 4\%$)”:							
Carretera Camaná-Tacna. Tramo Punta de Bombom - Ilo							
C.No	R	TS	SC ò PC	CS ò PT	ST	PENDIENTE	TIPO
1	230	19+138.737	19+213.737	19+325.428	19+400.428	0.53%	3
3	300	20+384.132	20+459.132	20+623.622	20+698.622	3.10%	3
4	218	20+716.913	20+791.913	20+943.883	21+018.883	2.26%	3
7	260	23+391.089	23+466.089	23+601.317	23+676.317	1.36%	3
12	240	26+366.571	26+441.571	26+539.044	26+614.044	3.32%	3
41	400	44+854.305	44+904.305	44+961.859	45+011.859	2.80%	3
46	240	49+711.851	49+761.851	49+809.085	49+859.085	2.94%	3
61	150	54+873.327	54+918.327	55+037.316	55+082.316	1.70%	3
65	85	56+725.275	56+770.275	56+947.263	56+992.263	1.81%	3
66	120	57+041.494	57+086.494	57+130.748	57+175.748	1.81%	3
68	85	57+885.307	57+930.307	58+021.971	58+066.971	1.84%	3
79	100	61+177.010	61+222.010	61+293.945	61+338.945	3.28%	3
80	85	61+432.464	61+477.464	61+554.920	61+599.920	3.28%	3
83	250	62+268.254	62+313.254	62+346.972	62+391.972	1.66%	3
106	300		75+469.353	75+545.384		3.90%	3
111	50	77+116.609	77+146.609	77+184.679	77+214.679	1.29%	3
112	85	77+223.616	77+263.616	77+313.309	77+353.309	0.04%	3
113	300		77+393.312	77+477.492		5.00%	3
119	600		84+409.206	84+622.471		0.20%	3

Nota. Elaboración propia.

Para la condición 4 “Curva horizontal sobre pendiente ($4\% < i < 9\%$)”:

Tabla 16 Elementos de curvas horizontales para condición 4

ELEMENTOS DE CURVAS HORIZONTALES CONDICIÓN 4 “Curva horizontal sobre pendiente ($4\% < i < 9\%$)”:							
Carretera Camaná-Tacna. Tramo Punta de Bombom - Ilo							
C.No	R	TS	SC ò PC	CS ò PT	ST	PENDIENTE	TIPO
2	450	19+697.277	19+772.277	19+838.326	19+913.326	5.93%	4
5	440	21+094.912	21+169.912	21+362.841	21+437.841	4.55%	4
6	300	22+493.214	22+568.214	22+813.959	22+888.959	5.16%	4
11	280	25+894.042	25+969.042	26+126.918	26+201.918	7.00%	4
19	88	30+184.372	30+229.372	30+288.907	30+333.907	6.95%	4
20	170	30+365.699	30+410.699	30+440.539	30+485.539	6.42%	4
30	380	39+928.829	40+003.829	40+077.750	40+152.750	6.57%	4
33	110	41+363.958	41+408.958	41+431.168	41+476.168	5.20%	4
34	85	41+685.388	41+725.388	41+878.192	41+918.192	8.00%	4
37	152	42+911.032	42+956.032	43+060.128	43+105.128	7.64%	4
40	113	44+308.311	44+353.311	44+477.399	44+522.399	5.45%	4
52	85	51+988.155	52+028.155	52+056.936	52+096.936	6.62%	4
57	85	53+284.279	53+329.279	53+405.680	53+450.680	4.54%	4
58	50	53+527.948	53+567.948	53+653.715	53+693.715	4.54%	4
63	300		55+664.524	55+765.009		5.83%	4
105	90	73+946.703	73+986.703	74+017.048	74+057.048	4.34%	4

Nota. Elaboración propia.

Para la condición 5 “Curva horizontal combinada con curvas cóncavas (sag)”:

Tabla 17 Elementos de curvas horizontales para condición 5

ELEMENTOS DE CURVAS HORIZONTALES CONDICIÓN 5 “Curva horizontal combinada con curvas cóncavas (sag)”:							
Carretera Camaná-Tacna. Tramo Punta de Bombom - Ilo							
C.No	R	TS	SC ò PC	CS ò PT	ST	TIPO	Kv
10	400	25+277.241	25+352.241	25+729.008	25+804.008	5	34.93
18	86	29+864.371	29+909.371	30+124.486	30+169.486	5	11.29
24	70	31+619.092	31+664.092	31+833.460	31+878.460	5	67.10
27	464		35+705.480	35+861.903		5	8.00
32	113	40+880.098	40+925.098	41+136.225	41+181.225	5	42.80
39	102	43+884.155	43+929.155	44+055.367	44+100.367	5	22.94
43	185	48+732.601	48+782.601	48+861.561	48+911.561	5	13.51
45	87	49+420.484	49+470.484	49+611.900	49+661.900	5	32.63
62	400		55+464.573	55+554.341		5	35.38
64	135	56+328.745	56+373.745	56+642.700	56+687.700	5	34.06
70	80	58+379.401	58+424.401	58+581.502	58+626.502	5	16.37
78	85	60+869.912	60+914.912	61+039.044	61+084.044	5	29.76
87	85	63+206.257	63+251.257	63+328.960	63+373.960	5	41.61
90	85	63+825.887	63+870.887	63+986.493	64+031.493	5	72.96
98	53	66+682.479	66+727.479	66+812.469	66+857.469	5	108.87
103	85	68+355.809	68+400.809	68+435.131	68+480.131	5	35.01
118	440		83+033.803	83+216.590		5	64.25

Nota. Elaboración propia.

Para la condición 6 “Curva horizontal combinada con curvas convexas sin limitación de visibilidad”:

Tabla 18 Elementos de curvas horizontales para condición 6

ELEMENTOS DE CURVAS HORIZONTALES CONDICIÓN 6 “Curva horizontal combinada con curvas convexas sin limitación de visibilidad”:							
Carretera Camaná-Tacna. Tramo Punta de Bombom - Ilo							
C.No	R	TS	SC ò PC	CS ò PT	ST	TIPO	Kv
14	152	27+037.626	27+082.626	27+211.848	27+256.848	6	64.81
35	230	42+027.412	42+072.412	42+106.027	42+151.027	6	44.79
49	135	50+990.088	51+025.088	51+048.851	51+083.851	6	50.91
50	85	51+111.267	51+156.267	51+187.667	51+232.667	6	50.91
55	75	52+715.162	52+760.162	52+838.059	52+883.059	6	58.01
67	100	57+730.358	57+775.358	57+822.113	57+867.113	6	87.64
71	100	59+002.923	59+057.923	59+148.027	59+203.027	6	45.02
75	75	60+067.907	60+112.907	60+251.079	60+296.079	6	94.86
92	120	64+434.830	64+479.830	64+537.910	64+582.910	6	44.39
116	210	79+809.575	79+854.575	80+033.501	80+078.501	6	48.21

Nota. Elaboración propia.

Para la condición 7 “Curva horizontal combinada con curvas convexas con limitación de visibilidad ($K \leq 43\text{m}/\%$)”:

Tabla 19 Elementos de curvas horizontales para condición 7

ELEMENTOS DE CURVAS HORIZONTALES CONDICIÓN 7 “Curva horizontal combinada con curvas convexas con limitación de visibilidad ($K \leq 43\text{m}/\%$)”:							
Carretera Camaná-Tacna. Tramo Punta de Bombom - Ilo							
C.No	R	TS	SC ò PC	CS ò PT	ST	TIPO	Kv
8	290	24+030.567	24+105.567	24+284.596	24+359.596	7	32.89
13	152	26+769.548	26+814.548	26+992.511	27+037.511	7	23.91
21	85	30+775.082	30+820.082	30+940.026	30+985.026	7	14.83
25	90	32+414.031	32+459.031	32+530.031	32+575.031	7	23.99
26	430	34+193.169	34+268.169	34+347.616	34+422.616	7	27.00
28	695		35+863.781	36+057.097		7	1.10
29	798		38+630.835	39+230.285		7	36.05
31	100	40+346.935	40+421.935	40+459.701	40+534.701	7	22.98
44	125	49+057.324	49+107.324	49+151.607	49+201.607	7	22.07
47	133	50+095.577	50+140.577	50+256.435	50+301.435	7	23.89
59	150	53+702.110	53+747.110	53+958.488	54+003.488	7	28.74
69	82	58+078.193	58+123.193	58+269.605	58+314.605	7	40.44
81	150	61+654.193	61+694.193	61+716.055	61+756.055	7	35.08
84	100	62+466.319	62+511.319	62+608.091	62+653.091	7	30.04
104	500		73+332.159	73+445.717		7	36.08
107	85	76+283.464	76+328.464	76+366.931	76+411.931	7	36.83
114	50	77+651.995	77+676.995	77+693.553	77+718.553	7	21.48

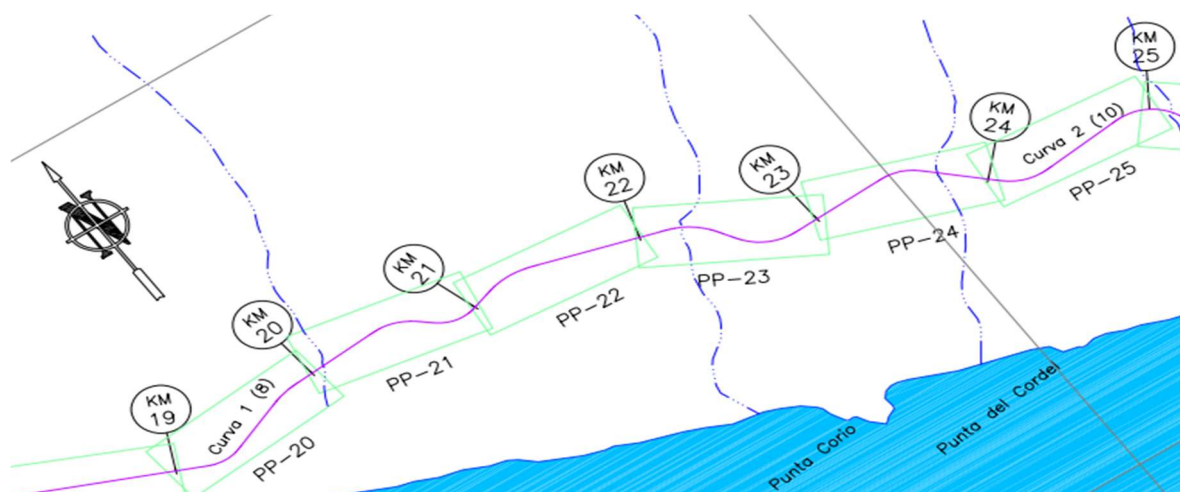
Nota. Elaboración propia.

4.1.2.2. Sitios seleccionados curvas verticales:

Al igual que con las curvas horizontales, se presentan esquemas generales en planta de las curvas horizontales que se analizaron en la investigación y tablas que muestran los elementos de las curvas horizontales que se van a analizar para cada condición.

Se analizarán 42 curvas verticales en total, se presentan los elementos de las curvas horizontales que se van a analizar para las condiciones 8, 9 y 10.

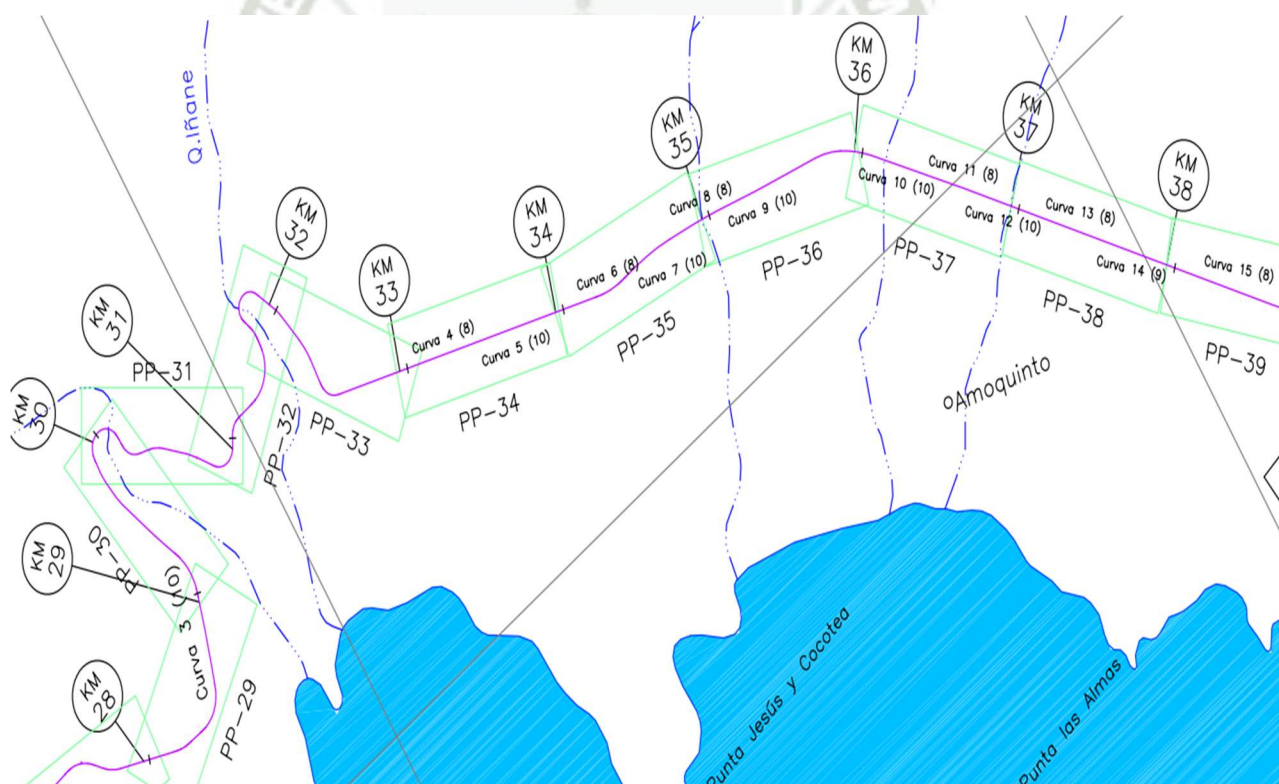
Figura 24 Esquema de carretera analizada Km 19 - Km 25 para curvas verticales



Nota 1. Obtenido de Estudio definitivo de la carretera Camana-Dv. Quilca-Matarani-Ilo-Tacna. Por SIGT S.A Ingenieros consultores, 2009

Nota 2. Entre paréntesis se especifica a que condición pertenece cada curva

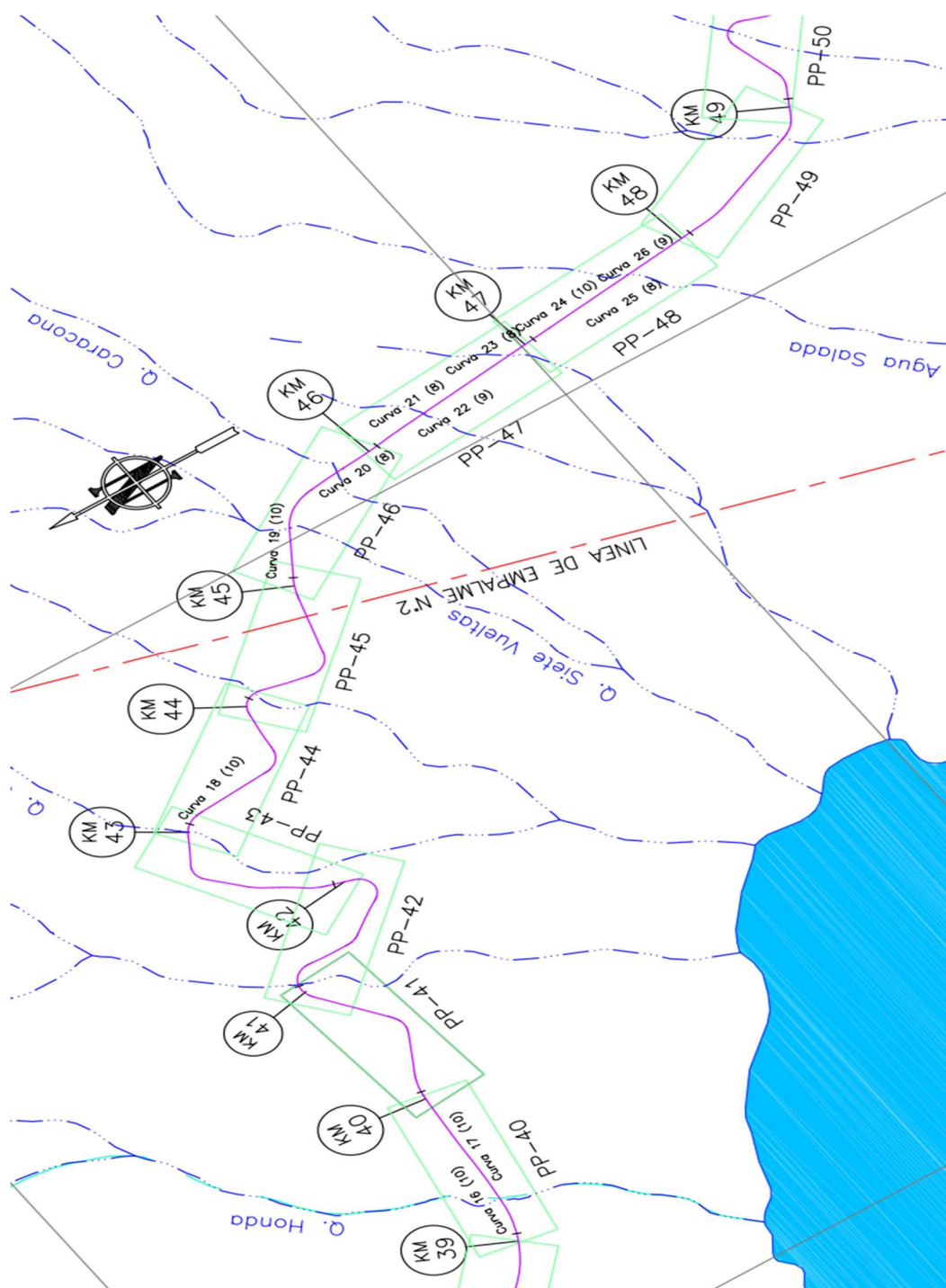
Figura 25 Esquema de carretera analizada Km 28 - Km 38 para curvas verticales



Nota 1. Obtenido de Estudio definitivo de la carretera Camana-Dv. Quilca-Matarani-Ilo-Tacna. Por SIGT S.A Ingenieros consultores, 2009

Nota 2. Entre paréntesis se especifica a que condición pertenece cada curva

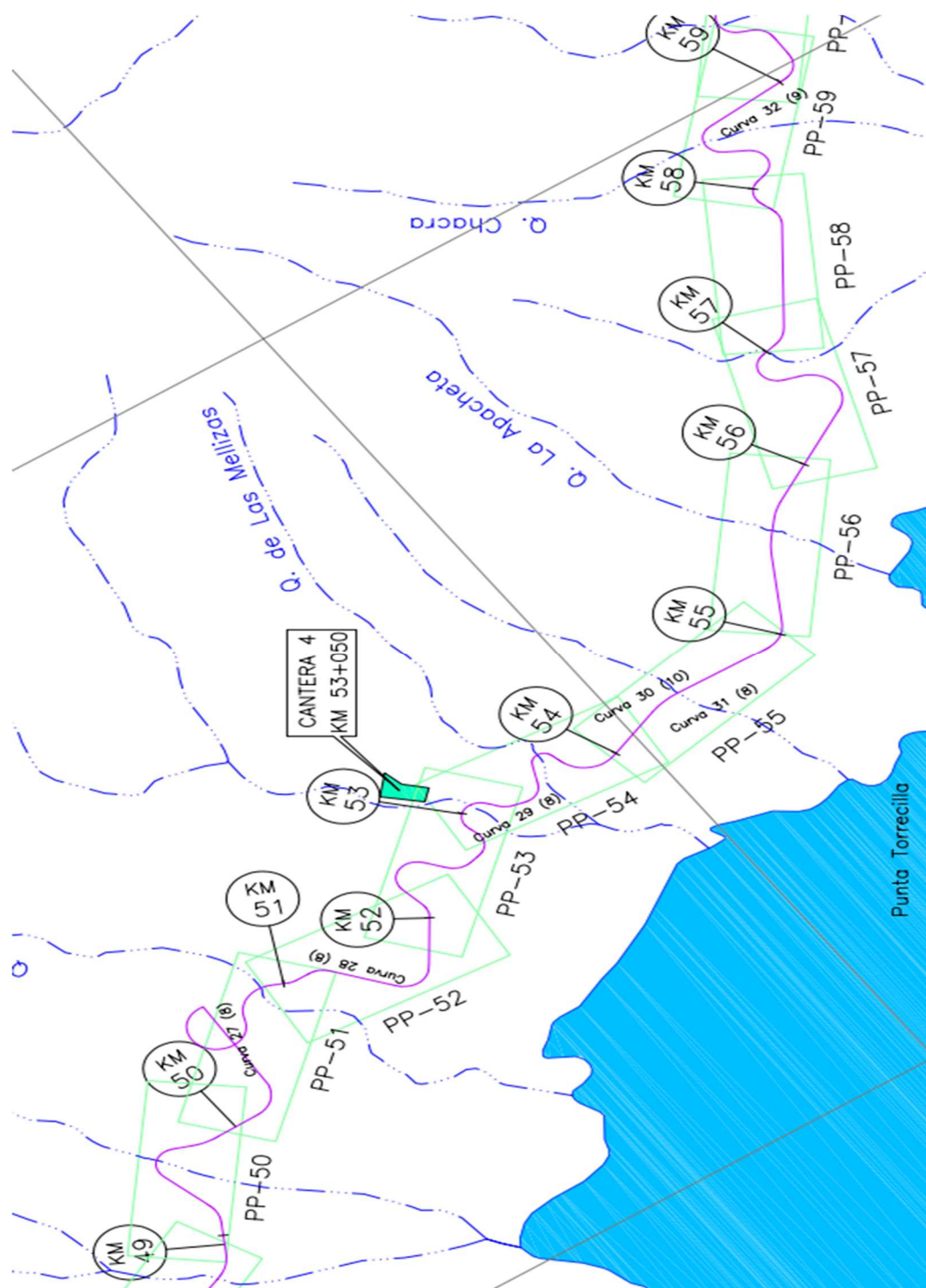
Figura 26 Esquema de carretera analizada Km 39 - Km 49 para verticales



Nota 1. Obtenido de Estudio definitivo de la carretera Camana-Dv. Quilca-Matarani-Ilo-Tacna. Por SIGT S.A Ingenieros consultores, 2009

Nota 2. Entre paréntesis se especifica a que condición pertenece cada curva

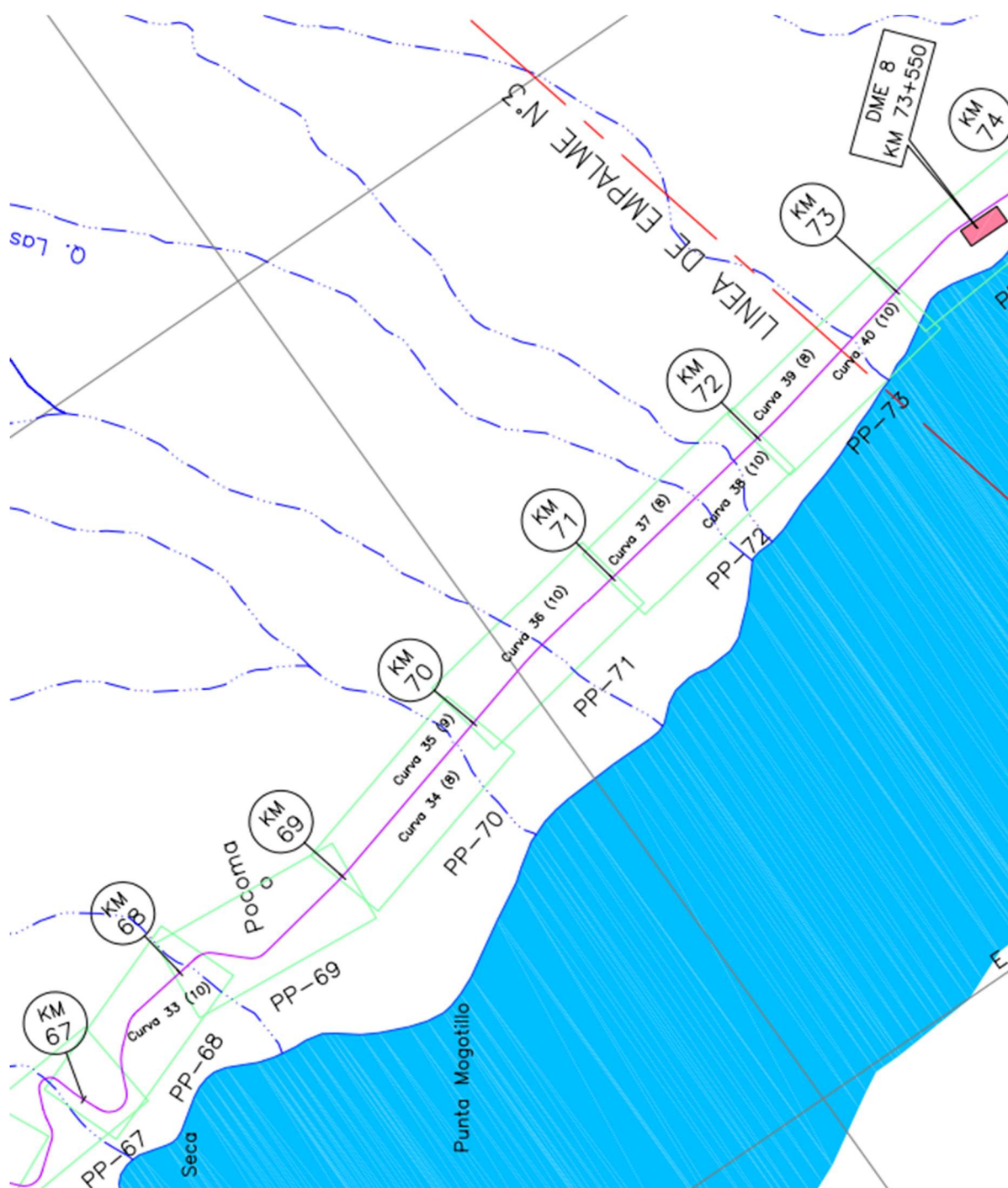
Figura 27 Esquema de carretera analizada Km 49 - Km 59 para curvas verticales



Nota 1. Obtenido de Estudio definitivo de la carretera Camana-Dv. Quilca-Matarani-Ilo-Tacna. Por SIGT S.A Ingenieros consultores, 2009

Nota 2. Entre paréntesis se especifica a que condición pertenece cada curva

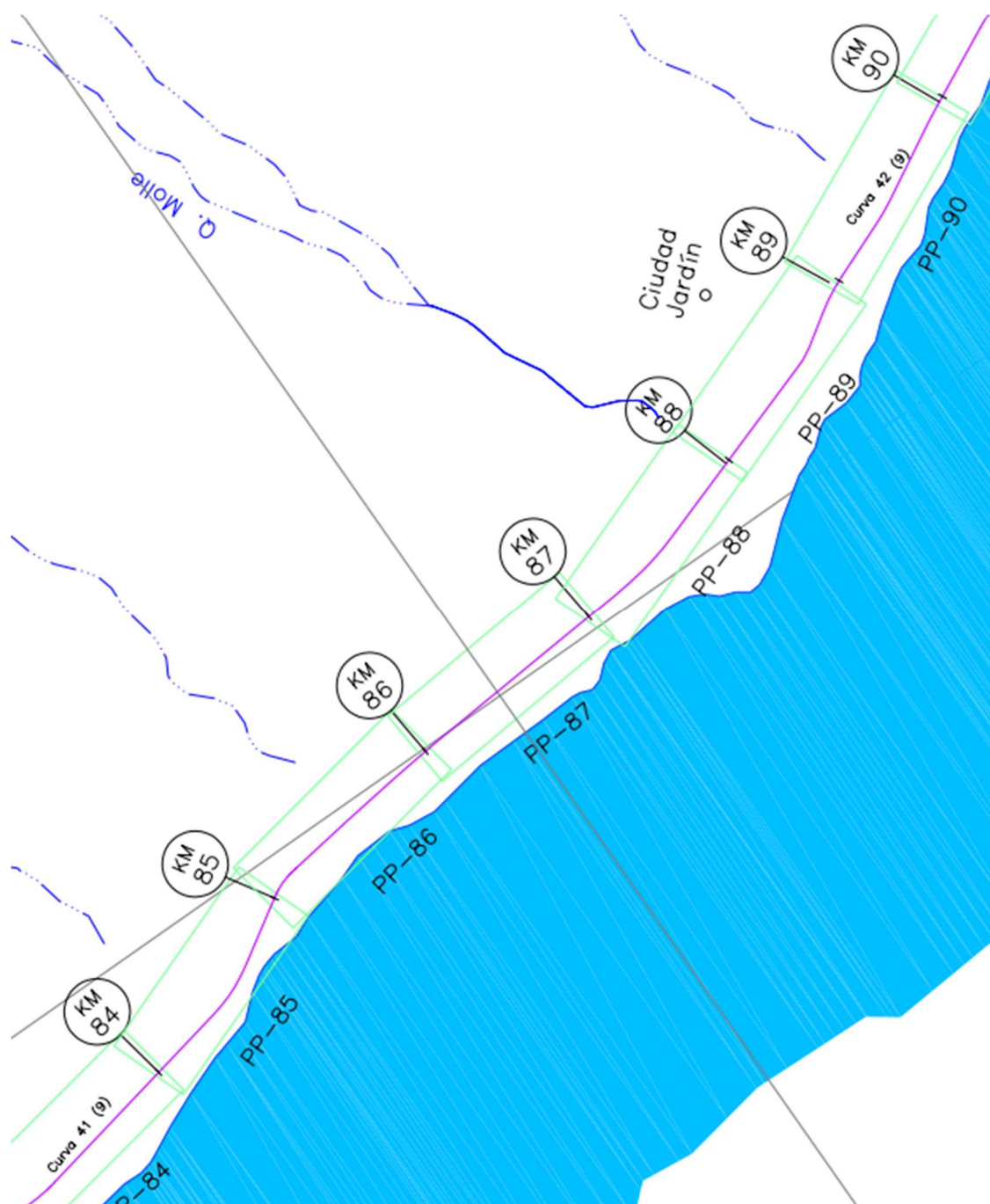
Figura 28 Esquema de carretera analizada Km 67 - Km 74 para curvas verticales



Nota 1. Obtenido de Estudio definitivo de la carretera Camana-Dv. Quilca-Matarani-Ilo-Tacna. Por SIGT S.A Ingenieros consultores, 2009

Nota 2. Entre paréntesis se especifica a que condición pertenece cada curva

Figura 29 Esquema de carretera analizada Km 84 - Km 91 para curvas verticales



Nota 1. Obtenido de Estudio definitivo de la carretera Camana-Dv. Quilca-Matarani-Ilo-Tacna. Por SIGT S.A Ingenieros consultores, 2009

Nota 2. Entre paréntesis se especifica a que condición pertenece cada curva

Para la condición 8 “Curva vertical cóncava sobre recta horizontal”:

Tabla 20 Elementos de curvas verticales para condición 8

ELEMENTOS DE CURVAS VERTICALES CONDICIÓN 8 “Curva vertical cóncava sobre recta horizontal”:								
Carretera Camaná-Tacna. Tramo Punta de Bombom - Ilo								
C.No	PCV KM	PTV KM	PIV	PIV COTA	LCV	E	K	TIPO
1	19+350	19+850	19+600	2.42	500	4.42	70.74	8
4	33+051	33+203	33+120	164	280	1.62	60.49	8
6	34+470	34+590	34+510	133.62	120	154	6.92	8
8	34+931	35+021	34+976	135.4	90	1.47	6.91	8
11	36+550	36+670	36+600	153	120	1.39	10.48	8
13	37+310	37+450	37+380	169.4	140	0.77	31.86	8
15	38+370	38+620	38+510	199.2	220	1.62	37.3	8
20	45+680	45+780	45+730	323.6	100	0.82	15.17	8
21	46+250	46+370	46+310	318.07	120	0.61	29.56	8
23	46+990	47+210	47+100	282.89	220	2.06	29.4	8
25	47+560	47+680	47+620	270.8	120	0.81	22.21	8
27	50+565	50+715	50+640	222.55	150	1.13	24.86	8
28	51+780	51+900	51+840	190.02	120	1.6	11.23	8
29	53+020	53+380	53+200	160.78	360	4.94	32.83	8
31	54+045	54+545	54+475	189.25	140	1.46	16.73	8
34	69+480	69+620	69+550	63.9	140	0.66	37.23	8
37	71+270	71+430	71+350	43.1	160	0.94	33.87	8
39	72+380	72+580	72+480	14.67	200	1.77	28.28	8

Nota. Elaboración propia

Para la condición 9 “Curva vertical convexa con distancia de visibilidad no limitada ($K > 43$ m/%) sobre recta horizontal”:

Tabla 21 Elementos de curvas verticales para condición 9

ELEMENTOS DE CURVAS VERTICALES CONDICIÓN 9 “Curva vertical convexa con distancia de visibilidad no limitada ($K > 43$ m/%) sobre recta horizontal”:								
Carretera Camaná-Tacna. Tramo Punta de Bombom - Ilo								
C.No	PCV KM	PTV KM	PIV	PIV COTA	LCV	E	K	TIPO
14	37+980	38+300	38+160	204.3	320	2.16	65.78	9
22	46+460	46+720	46+590	314.41	260	1.58	53.34	9
26	47+750	47+950	47+850	269.54	200	1	50.17	9
32	58+620	58+780	58+700	277.26	160	0.69	46.42	9
35	69+690	69+830	69+760	70.6	140	0.38	63.72	9
41	83+450	83+750	73+600	19.33	300	1.68	67.14	9
42	89+210	89+510	89+360	22	300	2.08	54.07	9

Nota. Elaboración propia.

Para la condición 10 “Curva vertical convexa con distancia de visibilidad no limitada ($K \leq 43$ m/%) sobre recta horizontal”:

Tabla 22 Elementos de curvas verticales para condición 10

ELEMENTOS DE CURVAS VERTICALES CONDICIÓN 10 “Curva vertical convexa con distancia de visibilidad no limitada ($K \leq 43$ m/%) sobre recta horizontal”:								
Carretera Camaná-Tacna. Tramo Punta de Bombom - Ilo								
C.No	PCV KM	PTV KM	PIV	PIV COTA	LCV	E	K	TIPO
2	24+790	24+920	24+855	188.05	260	2.27	37.24	10
3	28+660	28+840	28+750	158.6	180	1.22	33.08	10
5	33+260	33+480	33+370	172.62	220	1.88	32.14	10
7	34+660	34+760	34+710	143.5	100	0.79	15.87	10
9	35+170	35+550	35+360	160.2	380	4.23	42.65	10
10	36+090	36+270	36+180	170.56	180	1.59	25.5	10
12	36+790	36+970	36+880	167.3	180	1.01	40.2	10
16	39+170	39+270	39+220	209.3	100	1.22	10.21	10
17	39+410	39+570	39+490	230.7	160	1.34	23.85	10
18	43+110	43+390	43+210	347.4	280	4.08	15.74	10
19	45+010	45+210	45+110	346.51	200	1.94	25.75	10
24	47+270	47+450	47+360	286.28	180	1.63	24.81	10
30	54+145	54+345	54+245	198.91	200	2.33	21.43	10
33	67+730	67+850	67+790	81.03	120	0.77	23.51	10
36	70+390	70+590	70+490	77.85	200	1.26	39.73	10
38	71+780	71+980	71+880	46.72	200	1.51	33.2	10
40	72+720	72+860	72+790	20.04	140	1.21	20.31	10

Nota. Elaboración propia.

4.1.3. Mediciones de velocidad en los sitios seleccionados.

La toma de muestras de velocidad en el terreno se lleva a cabo mediante mediciones directas a vehículos en movimiento y bajo las condiciones previamente mencionadas. Se realiza utilizando una pistola láser de la marca Bushnell, con una precisión de ± 2.5 km/h.

Para establecer el tamaño de la muestra de mediciones de velocidad, se empleará la siguiente ecuación, recomendada por Robertson et al. (1994).

$$n = \frac{K^2 \sigma^2 (2 + U^2)}{2 \times e l^2}$$

Consideramos los siguientes valores para el cálculo del número de muestras de $S=8.5$ km/h, nivel de confianza de 95 % ($K=1.96$), un valor de $U=1.04$ correspondiente al percentil 85 y error $E=6.5$ km/h. El intervalo de error recomendado por Robertson et al. (1994) es de 1.61 km/h hasta 8.05 km/h. En este sentido utilizaremos un error de 6 km/h para calcular el tamaño de la muestra, otra consideración importante es que la precisión de la pistola láser no debe ser superior al error elegido, con lo que se evita falsear los resultados estadísticos.

Por lo tanto, tenemos que:

$$n = \frac{1.96^2 8.5^2 (2 + 1.04^2)}{2 \times 6^2}$$

$$n = 12$$

Se tomarán 12 mediciones de velocidad por curva analizada.

4.2. Trabajo de campo en los sitios seleccionados.

Según Fitzpatrick et al., (2000), la toma de muestras de velocidad se realiza en automóviles familiares que circulan libremente, en horario diurno, en pavimento seco y en buen estado, utilizando una pistola láser Bushnell. Los estudios de velocidad deben llevarse a cabo en el medio de la curva.

4.2.1. Desarrollo de las ecuaciones de predicción del perfil de velocidad de operación.

Para el desarrollo de las ecuaciones de predicción de predicción de velocidad de operación Los modelos de mejor ajuste son los lineales que relacionan la velocidad y el radio para las curvas horizontales (Condiciones 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7).

En el caso de las curvas horizontales se introduce como variable independiente el radio y como variable dependiente la velocidad de operación.

Se analizo cada condición como se detalla a continuación:

4.2.1.1. Condición 1 “Curva horizontal sobre pendiente ($-9\% < i < -4\%$)”:

En el caso de la condición 1 “Curva horizontal sobre pendiente ($-9\% < i < -4\%$)” se tomaron mediciones de 17 curvas que se detallan sus características en la figura.

Una vez definidas las curvas que cumplen con la condición 1, se procede a hacer las mediciones en campo. Como se explicó previamente según Fitzpatrick et al., (2000) las mediciones deben ser al medio de la curva.

Para el caso de la condición 1 se muestran los resultados obtenidos:

Tabla 23 Resultados de mediciones de velocidad en campo para condición 1

CONDICION 1					CONDICION 1				
Nº de medición	Velocidad	Curva Nº	Promedio	Radio	Nº de medición	Velocidad	Curva Nº	Promedio	Radio
1	79	9	74.83	276.5	1	56	22	60.00	85
2	81				2	60			
3	80				3	65			
4	69				4	65			
5	80				5	56			
6	71				6	59			
7	77				7	56			
8	73				8	64			
9	65				9	56			
10	73				10	65			
11	68				11	59			
12	82				12	59			
1	77	15	72.17	175	1	63	23	69.58	185
2	78				2	82			
3	70				3	61			
4	62				4	65			
5	75				5	64			
6	71				6	68			
7	64				7	83			
8	78				8	79			
9	70				9	64			
10	76				10	62			
11	65				11	69			
12	80				12	75			
1	73	17	73.92	175	1	55	38	61.75	108
2	60				2	60			
3	60				3	74			
4	84				4	70			
5	85				5	64			
6	88				6	63			
7	75				7	68			
8	77				8	56			
9	67				9	60			
10	61				10	57			
11	79				11	56			
12	78				12	58			

Nº de medicion	Velocidad	Curva Nº	Promedio	Radio	Nº de medicion	Velocidad	Curva Nº	Promedio	Radio
1	60	51	66.42	105	1	65	76	73.58	120
2	65				2	63			
3	62				3	63			
4	61				4	85			
5	70				5	77			
6	71				6	84			
7	65				7	79			
8	65				8	69			
9	82				9	77			
10	70				10	80			
11	62				11	72			
12	64				12	69			
1	68	56	65.08	75	1	59	85	58.50	85
2	78				2	54			
3	82				3	60			
4	69				4	55			
5	45				5	56			
6	69				6	53			
7	58				7	57			
8	77				8	64			
9	62				9	66			
10	61				10	57			
11	46				11	59			
12	66				12	62			
1	87	60	83.92	400	1	66	86	60.50	82
2	89				2	65			
3	86				3	55			
4	82				4	64			
5	78				5	61			
6	77				6	59			
7	88				7	55			
8	82				8	60			
9	80				9	56			
10	90				10	58			
11	87				11	66			
12	81				12	61			
1	62	93	65.50	120	1	85	100	79.83	300
2	55				2	87			
3	67				3	85			
4	61				4	76			
5	71				5	78			
6	75				6	79			
7	69				7	77			
8	58				8	82			
9	69				9	78			
10	57				10	86			
11	67				11	74			
12	75				12	71			
1	64	95	59.50	50	1	60	108	56.25	50
2	65				2	58			
3	60				3	61			
4	60				4	54			
5	65				5	59			
6	57				6	53			
7	60				7	59			
8	54				8	58			
9	51				9	53			
10	62				10	50			
11	57				11	60			
12	59				12	50			
1	61	99	57.50	85					
2	61								
3	56								
4	58								
5	54								
6	55								
7	55								
8	59								
9	56								
10	61								
11	60								
12	54								

Nota. Elaboración propia.

En resumen, para la condición 1 “Curva horizontal sobre pendiente ($-9\% < i < 4\%$)” tenemos:

Tabla 24 Resumen de mediciones para condición 1

CONDICION 1				
Curva N°	Promedio Velocidad	Radio de Curvatura	R Inverso	V85
9	74.83	276.5	0.004	81.05
15	72.17	175	0.006	78.10
17	73.92	175	0.006	85.15
22	60.00	85	0.012	65.00
23	69.58	185	0.005	82.05
38	61.75	108	0.009	70.20
51	66.42	105	0.010	71.55
56	65.08	75	0.013	78.20
60	83.92	400	0.003	89.05
76	73.58	120	0.008	84.05
85	58.50	85	0.012	64.10
86	60.50	82	0.012	66.00
93	65.50	120	0.008	75.00
95	59.50	50	0.020	65.00
99	57.50	85	0.012	61.00
100	79.83	300	0.003	86.05
108	56.25	50	0.020	60.05

Nota. Elaboración propia.

Una vez concluidas las mediciones de los parámetros fijos y las velocidades, se lleva a cabo una serie de pruebas para verificar la normalidad, homogeneidad y la independencia de los datos recopilados. Cada sitio proporciona dos variables: el radio de curvatura y la velocidad de operación, las cuales se utilizan en el desarrollo de las ecuaciones de predicción.

Para obtener las ecuaciones de predicción del perfil de velocidad de operación en carreteras rurales de dos carriles, se emplean técnicas de regresión. El procesamiento estadístico de las variables se lleva a cabo utilizando el software SPSS 16.0.1.

Los resultados obtenidos mediante el análisis con el programa SPSS 16.0.1 son los siguientes:

Tabla 25 Resumen de modelo para condición 1

Resumen del modelo				
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	.825 ^a	.681	.660	5.55759

a. Predictores: (Constante), Rinverso

Nota. Elaboración propia.

Tabla 26 Coeficientes para condición 1

Coeficientes ^a					
Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Desv. Error			
1	(Constante)	88.903	2.923	30.415	<.001
	Rinverso	-1532.198	270.501	-5.664	<.001

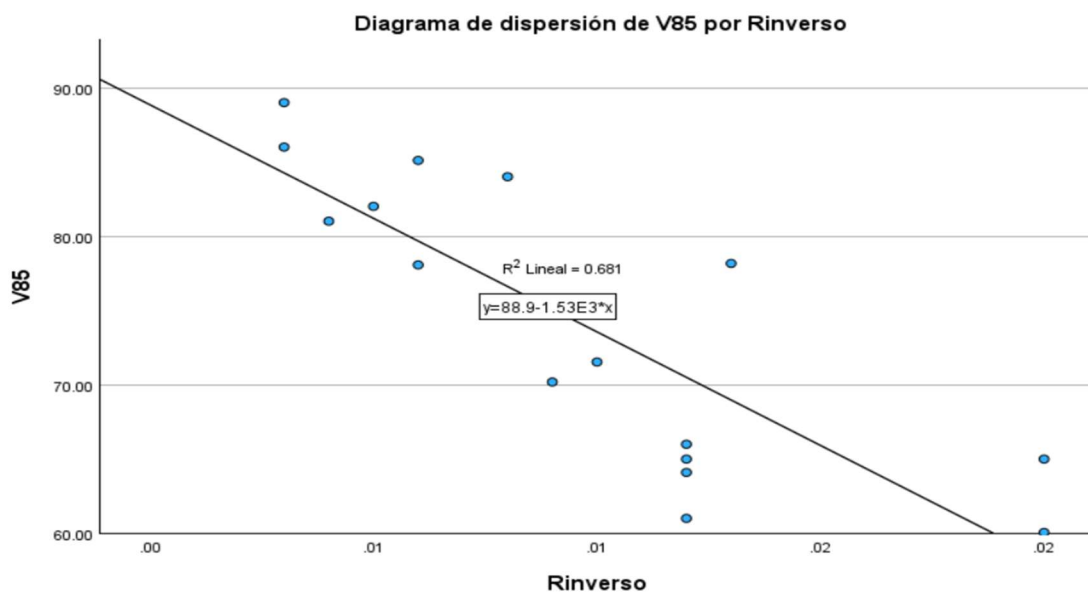
a. Variable dependiente: V85

Nota. Elaboración propia.

Por lo tanto, la expresión para la condición “Curva horizontal sobre pendiente (-9% < i < 4%)” es:

$$V_{85} = 88.903 - 1532.198/R$$

Figura 30 Diagrama de dispersión de Velocidad por Rinv para la condición 1



Nota. Elaboración propia.

4.2.1.2. Condición 2 “Curva horizontal sobre pendiente ($-4\% < i < 0\%$)”:

Para el caso de la condición 2 se muestran los resultados obtenidos de las mediciones de velocidad en campo en la siguiente tabla:

Tabla 27 Resultados de mediciones de velocidad en campo para condición 2

CONDICION 2					CONDICION 2				
Nº de medición	Velocidad	Curva Nº	Promedio	Radio	Nº de medición	Velocidad	Curva Nº	Promedio	Radio
1	66	16	70.67	190	1	75	48	72.33	145
2	67				2	63			
3	71				3	61			
4	69				4	82			
5	79				5	79			
6	53				6	79			
7	77				7	67			
8	62				8	73			
9	81				9	79			
10	56				10	62			
11	85				11	81			
12	82				12	67			
1	64	36	58.83	85	1	55	53	60.75	91
2	63				2	72			
3	63				3	62			
4	55				4	63			
5	61				5	66			
6	54				6	55			
7	54				7	55			
8	66				8	60			
9	56				9	65			
10	54				10	57			
11	60				11	56			
12	56				12	63			
1	93	42	85.42	290	1	68	54	61.00	100
2	83				2	58			
3	90				3	66			
4	84				4	56			
5	87				5	60			
6	85				6	63			
7	87				7	56			
8	85				8	63			
9	88				9	64			
10	70				10	56			
11	91				11	63			
12	82				12	59			
1	67	72	60.33	85	1	68	77	63.83	120
2	56				2	55			
3	59				3	62			
4	54				4	72			
5	61				5	60			
6	64				6	71			
7	56				7	62			
8	58				8	64			
9	62				9	72			
10	65				10	56			
11	58				11	64			
12	64				12	60			

Nº de medición	Velocidad	Curva Nº	Promedio	Radio	Nº de medición	Velocidad	Curva Nº	Promedio	Radio
1	63	73	59.33	75	1	58	82	58.33	85
2	54				2	60			
3	54				3	55			
4	75				4	54			
5	60				5	62			
6	52				6	57			
7	55				7	64			
8	64				8	57			
9	56				9	52			
10	54				10	63			
11	63				11	62			
12	62				12	56			
1	64	74	68.33	150	1	58	88	67.17	150
2	61				2	64			
3	82				3	65			
4	77				4	70			
5	74				5	76			
6	70				6	72			
7	68				7	68			
8	65				8	68			
9	61				9	70			
10	63				10	71			
11	62				11	52			
12	73				12	72			
1	71	89	70.58	160	1	70	96	74.75	200
2	69				2	65			
3	68				3	86			
4	67				4	85			
5	67				5	67			
6	66				6	76			
7	67				7	84			
8	73				8	67			
9	83				9	71			
10	72				10	83			
11	64				11	69			
12	80				12	74			
1	69	91	63.08	100	1	95	97	92.42	400
2	61				2	92			
3	68				3	94			
4	61				4	80			
5	62				5	90			
6	65				6	85			
7	60				7	83			
8	65				8	104			
9	63				9	105			
10	54				10	94			
11	62				11	97			
12	67				12	90			
1	72	94	68.08	130	1	78	101	68.42	130
2	62				2	65			
3	76				3	71			
4	68				4	60			
5	64				5	63			
6	74				6	74			
7	73				7	73			
8	65				8	76			
9	61				9	68			
10	69				10	58			
11	67				11	67			
12	66				12	68			

Nº de medición	Velocidad	Curva Nº	Promedio	Radio	Nº de medición	Velocidad	Curva Nº	Promedio	Radio
1	62	102	60.92	100	1	61	115	59.83	100
2	66				2	44			
3	61				3	65			
4	63				4	62			
5	66				5	63			
6	60				6	57			
7	56				7	63			
8	56				8	49			
9	57				9	61			
10	66				10	56			
11	55				11	72			
12	63				12	65			
1	61	109	58.58	85	1	67	117	69.42	190
2	62				2	74			
3	56				3	74			
4	59				4	71			
5	62				5	73			
6	53				6	67			
7	54				7	69			
8	61				8	72			
9	63				9	70			
10	53				10	69			
11	60				11	66			
12	59				12	61			
1	52	110	53.92	50					
2	54								
3	42								
4	60								
5	56								
6	51								
7	53								
8	45								
9	58								
10	69								
11	53								
12	54								

Nota. Elaboración propia.

En resumen, para la condición 2 “Curva horizontal sobre pendiente ($-4\% < i < 0\%$)” tenemos:

Tabla 28 Resumen de mediciones para condición 2

CONDICION 2				
Curva N°	Promedio Velocidad	Radio de Curvatura	R Inverso	V85
16	70.67	190	0.005	82.15
36	58.83	85	0.012	64.10
42	85.42	290	0.003	91.10
48	72.33	145	0.007	81.05
53	60.75	91	0.011	66.30
54	61.00	100	0.010	66.10
72	60.33	85	0.012	65.10
73	59.33	75	0.013	64.55
74	68.33	150	0.007	77.25
77	63.83	120	0.008	72.00
82	58.33	85	0.012	63.05
88	67.17	150	0.007	72.20
89	70.58	160	0.006	80.15
91	63.08	100	0.010	68.05
94	68.08	130	0.008	74.10
96	74.75	200	0.005	85.05
97	92.42	400	0.003	104.05
101	68.42	130	0.008	76.10
102	60.92	100	0.010	66.00
109	58.58	85	0.012	62.05
110	53.92	50	0.020	60.45
115	59.83	100	0.010	65.35
117	69.42	190	0.005	74.00

Nota. Elaboración propia.

Los resultados obtenidos con el programa SPSS 16.0.1. son los siguientes para la condición 2 “Curva horizontal sobre pendiente ($-4\% < i < 0\%$)”:

Tabla 29 Resumen de modelo para condición 2

Resumen del modelo				
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	.842 ^a	.709	.696	5.86000

a. Predictores: (Constante), Rinverso

Nota. Elaboración propia.

Tabla 30 Coeficientes para condición 2

Coeficientes ^a					
Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Desv. Error	Beta		
1	(Constante)	93.714	3.133	29.913	<.001
	Rinverso	-2329.052	325.250	-.842	<.001

a. Variable dependiente: V85

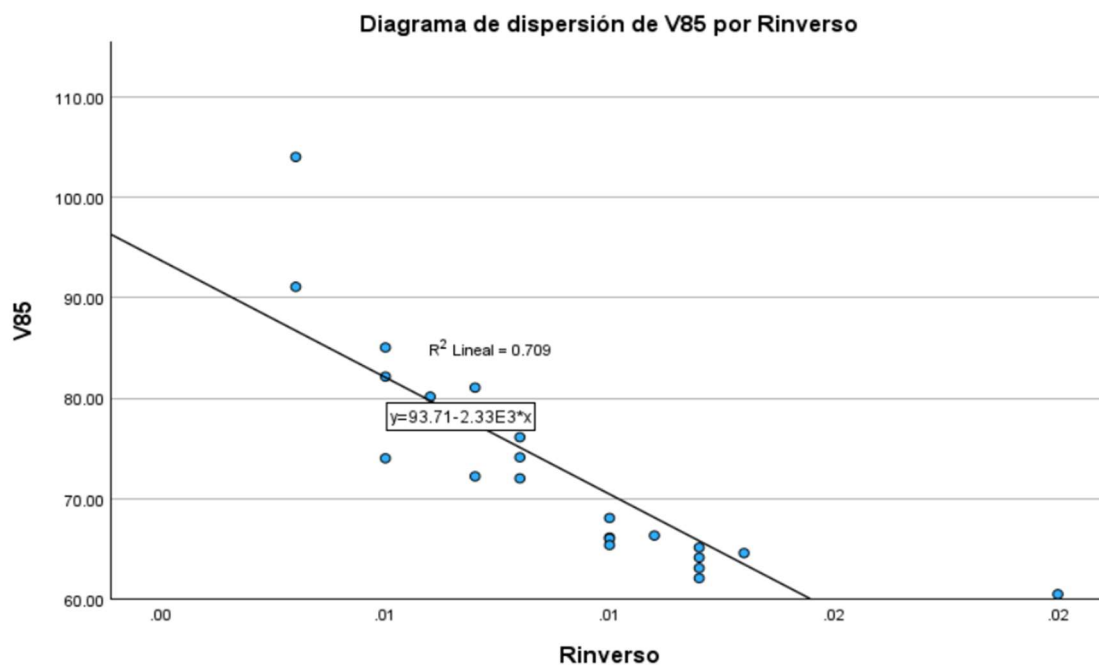
Nota. Elaboración propia.

Por lo tanto, la expresión para la condición “Curva horizontal sobre pendiente (-9% < i < 4%)” es:

$$V_{85} = 93.714 - 2329.052/R$$

Nota. Elaboración propia.

Figura 31 Diagrama de dispersión de Velocidad por Rinv para condición 2



4.2.1.3. Condición 3 “Curva horizontal sobre pendiente ($0\% < i < 4\%$)”:

Para el caso de la condición 3 se muestran los resultados obtenidos de las mediciones de velocidad en campo en la siguiente tabla:

Tabla 31 Resultados de mediciones de velocidad en campo para condición 3

CONDICIÓN 3					CONDICIÓN 3				
Nº de medición	Velocidad	Curva Nº	Promedio	Radio	Nº de medición	Velocidad	Curva Nº	Promedio	Radio
1	75	1	72.58	230	1	72	7	73.25	260
2	78				2	71			
3	69				3	78			
4	80				4	73			
5	68				5	74			
6	70				6	67			
7	74				7	79			
8	76				8	68			
9	78				9	77			
10	65				10	66			
11	75				11	71			
12	63				12	83			
1	80	3	78.58	300	1	68	12	62.50	240
2	83				2	62			
3	80				3	60			
4	86				4	56			
5	85				5	67			
6	69				6	61			
7	86				7	53			
8	77				8	65			
9	64				9	68			
10	82				10	64			
11	68				11	56			
12	83				12	70			
1	66	4	67.25	218	1	97	41	87.83	400
2	61				2	79			
3	64				3	75			
4	67				4	88			
5	67				5	86			
6	66				6	88			
7	74				7	91			
8	62				8	85			
9	63				9	83			
10	77				10	94			
11	72				11	92			
12	68				12	96			
1	86	46	78.00	240	1	55	66	68.08	120
2	65				2	79			
3	86				3	60			
4	83				4	65			
5	66				5	64			
6	72				6	65			
7	83				7	71			
8	86				8	77			
9	79				9	66			
10	71				10	75			
11	71				11	70			
12	88				12	70			

N° de medición	Velocidad	Curva N°	Promedio	Radio	N° de medición	Velocidad	Curva N°	Promedio	Radio
1	64	61	68.08	150	1	57	68	55.50	85
2	68				2	52			
3	63				3	56			
4	74				4	58			
5	64				5	57			
6	64				6	52			
7	69				7	59			
8	68				8	53			
9	73				9	56			
10	65				10	60			
11	73				11	52			
12	72				12	54			
1	65	65	60.67	85	1	63	79	64.50	100
2	57				2	70			
3	59				3	62			
4	57				4	71			
5	60				5	56			
6	55				6	63			
7	59				7	60			
8	64				8	64			
9	59				9	61			
10	63				10	69			
11	64				11	69			
12	66				12	66			
1	64	80	59.75	85	1	55	111	52.17	50
2	54				2	49			
3	55				3	51			
4	68				4	59			
5	54				5	57			
6	62				6	55			
7	55				7	49			
8	59				8	49			
9	64				9	49			
10	62				10	55			
11	55				11	50			
12	65				12	48			
1	70	83	68.75	250	1	68	112	61.00	85
2	59				2	53			
3	75				3	56			
4	76				4	69			
5	76				5	55			
6	73				6	60			
7	61				7	67			
8	70				8	69			
9	64				9	52			
10	66				10	65			
11	73				11	58			
12	62				12	60			
1	88	106	84.17	300	1	92	113	82.50	300
2	93				2	74			
3	81				3	83			
4	93				4	88			
5	77				5	88			
6	91				6	81			
7	74				7	70			
8	79				8	70			
9	86				9	80			
10	82				10	93			
11	94				11	87			
12	72				12	84			
1	88	119	87.33	600					
2	88								
3	88								
4	93								
5	83								
6	77								
7	108								
8	93								
9	77								
10	70								
11	97								
12	86								

Nota. Elaboración propia.

En resumen, para la condición 3 “Curva horizontal sobre pendiente ($0\% < i < 4\%$)” tenemos:

Tabla 32 Resumen de mediciones para condición 3

CONDICION 3				
Curva N°	Promedio Velocidad	Radio de Curvatura	R Inverso	V85
1	72.58	230	0.004	78.10
3	78.58	300	0.003	86.00
4	67.25	218	0.005	74.15
7	73.25	260	0.004	79.20
12	62.50	240	0.004	68.10
41	87.83	400	0.003	96.05
46	78.00	240	0.004	86.10
61	68.08	150	0.007	73.05
65	60.67	85	0.012	65.05
66	68.08	120	0.008	77.10
68	55.50	85	0.012	59.05
79	64.50	100	0.010	70.05
80	59.75	85	0.012	65.15
83	68.75	250	0.004	76.00
106	84.17	300	0.003	93.05
111	52.17	50	0.020	57.10
112	61.00	85	0.012	69.00
113	82.50	300	0.003	92.05
119	87.33	600	0.002	97.55

Los resultados obtenidos con el programa SPSS 16.0.1. son los siguientes para la condición 3 “Curva horizontal sobre pendiente ($0\% < i < 4\%$)”:

Tabla 33 Resumen de modelo para condición 3

Resumen del modelo				
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	.826 ^a	.682	.664	7.04575

a. Predictores: (Constante), Rinverso

Nota. Elaboración propia.

Tabla 34 Coeficientes para condición 3

Coeficientes ^a					
Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Desv. Error	Beta		
1	(Constante)	91.429		31.622	<.001
	Rinverso	-2085.174	-.826	-6.043	<.001

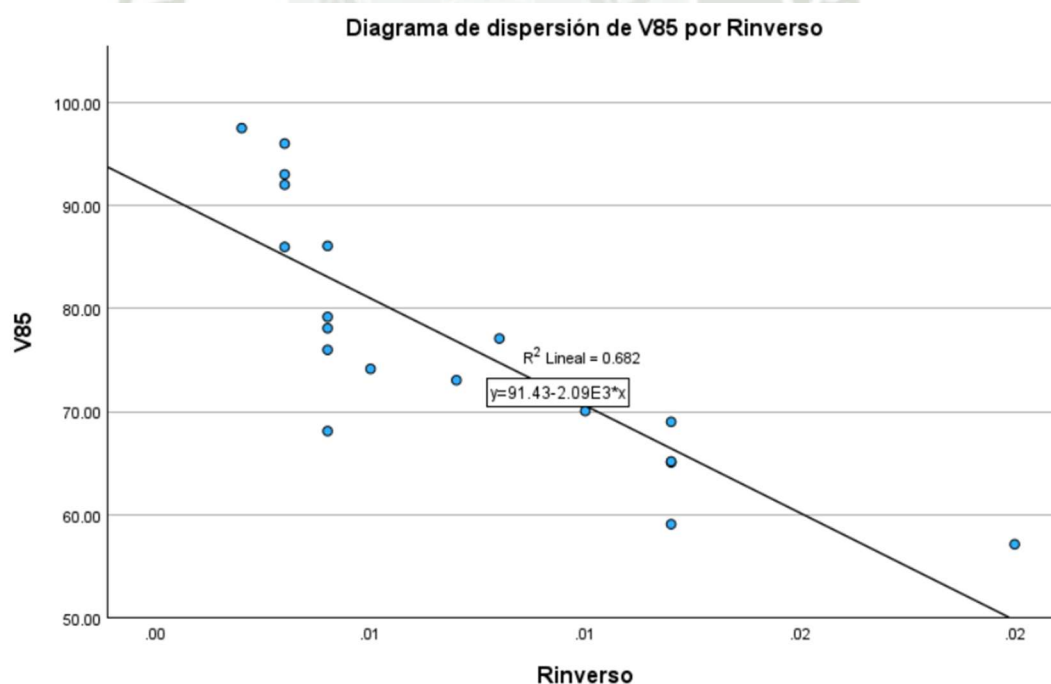
a. Variable dependiente: V85

Nota. Elaboración propia.

Por lo tanto, la expresión para la condición “Curva horizontal sobre pendiente (0% < i < 4%)” es:

$$V_{85} = 91.429 - 2085.174/R$$

Figura 32 Diagrama de dispersión de Velocidad por Rinv para condición 3



Nota. Elaboración propia.

4.2.1.4. Condición 4 “Curva horizontal sobre pendiente (4% < i < 9%)”:

Para el caso de la condición 4 “Curva horizontal sobre pendiente (4% < i < 9%)”: se muestran los resultados obtenidos de las mediciones de velocidad en campo en la siguiente tabla:

Tabla 35 Resultados de mediciones de velocidad en campo para condición 4

CONDICION 4					CONDICION 4				
Nº de medición	Velocidad	Curva Nº	Promedio	Radio	Nº de medición	Velocidad	Curva Nº	Promedio	Radio
1	80	2	83.00	450	1	63	11	67.33	280
2	87				2	66			
3	88				3	66			
4	84				4	57			
5	89				5	73			
6	70				6	68			
7	91				7	67			
8	76				8	69			
9	83				9	73			
10	79				10	66			
11	84				11	72			
12	85				12	68			
1	82	5	75.92	440	1	55	19	54.42	88
2	79				2	59			
3	87				3	58			
4	65				4	50			
5	83				5	45			
6	75				6	58			
7	65				7	59			
8	80				8	60			
9	78				9	59			
10	72				10	59			
11	74				11	46			
12	71				12	45			
1	79	6	75.58	300	1	77	20	69.25	170
2	78				2	54			
3	67				3	77			
4	71				4	73			
5	85				5	68			
6	67				6	59			
7	84				7	69			
8	67				8	81			
9	81				9	59			
10	84				10	73			
11	76				11	80			
12	68				12	61			
1	83	30	84.33	380	1	63	37	59.83	152
2	88				2	52			
3	88				3	65			
4	78				4	65			
5	88				5	58			
6	85				6	58			
7	82				7	69			
8	79				8	56			
9	80				9	65			
10	90				10	62			
11	90				11	52			
12	81				12	53			

N° de medición	Velocidad	Curva N°	Promedio	Radio	N° de medición	Velocidad	Curva N°	Promedio	Radio
1	58	33	63.67	110	1	81	40	71.08	113
2	65				2	76			
3	66				3	78			
4	62				4	76			
5	65				5	61			
6	63				6	77			
7	59				7	61			
8	60				8	64			
9	69				9	73			
10	73				10	63			
11	62				11	80			
12	62				12	63			
1	53	34	57.17	85	1	55	52	55.67	85
2	55				2	65			
3	65				3	59			
4	62				4	55			
5	62				5	50			
6	63				6	54			
7	52				7	54			
8	60				8	62			
9	53				9	60			
10	55				10	60			
11	51				11	46			
12	55				12	48			
1	54	57	55.58	85	1	92	63	79.58	300
2	66				2	71			
3	69				3	76			
4	46				4	83			
5	65				5	75			
6	58				6	82			
7	51				7	87			
8	50				8	73			
9	46				9	87			
10	55				10	75			
11	55				11	74			
12	52				12	80			
1	61	58	54.58	50	1	71	105	66.58	90
2	65				2	74			
3	44				3	58			
4	50				4	74			
5	64				5	67			
6	47				6	63			
7	44				7	56			
8	61				8	57			
9	62				9	61			
10	51				10	76			
11	45				11	71			
12	61				12	71			

Nota. Elaboración propia.

En resumen, para la condición 4 “Curva horizontal sobre pendiente ($4\% < i < 9\%$)” tenemos:

Tabla 36 Resumen de mediciones para condición 4

CONDICION 4					
Curva N°	Promedio Velocidad	Radio de Curvatura	R Inverso	V85	
2	83.00	450	0.002	89.10	
5	75.92	440	0.002	83.20	
6	75.58	300	0.003	84.05	
11	67.33	280	0.004	73.00	
19	54.42	88	0.011	59.05	
20	69.25	170	0.006	80.05	
30	84.33	380	0.003	90.00	
33	63.67	110	0.009	69.20	
34	57.17	85	0.012	63.10	
37	59.83	152	0.007	65.20	
40	71.08	113	0.009	80.05	
52	55.67	85	0.012	62.15	
57	55.58	85	0.012	66.15	
58	54.58	50	0.020	64.05	
63	79.58	300	0.003	87.25	
105	66.58	90	0.011	74.10	

Nota. Elaboración propia.

Los resultados obtenidos con el programa SPSS 16.0.1. son los siguientes para la condición 4 “Curva horizontal sobre pendiente ($4\% < i < 9\%$)”:

Tabla 37 Resumen de modelo para condición 4

Resumen del modelo				
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	.788 ^a	.621	.594	6.70474

a. Predictores: (Constante), Rinverso

Nota. Elaboración propia.

Tabla 38 Coeficientes para condición 4

		Coeficientes ^a				
		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados		
Modelo		B	Desv. Error	Beta	t	Sig.
1	(Constante)	87.338	3.186		27.413	<.001
	Rinverso	-1648.420	344.059	-.788	-4.791	<.001

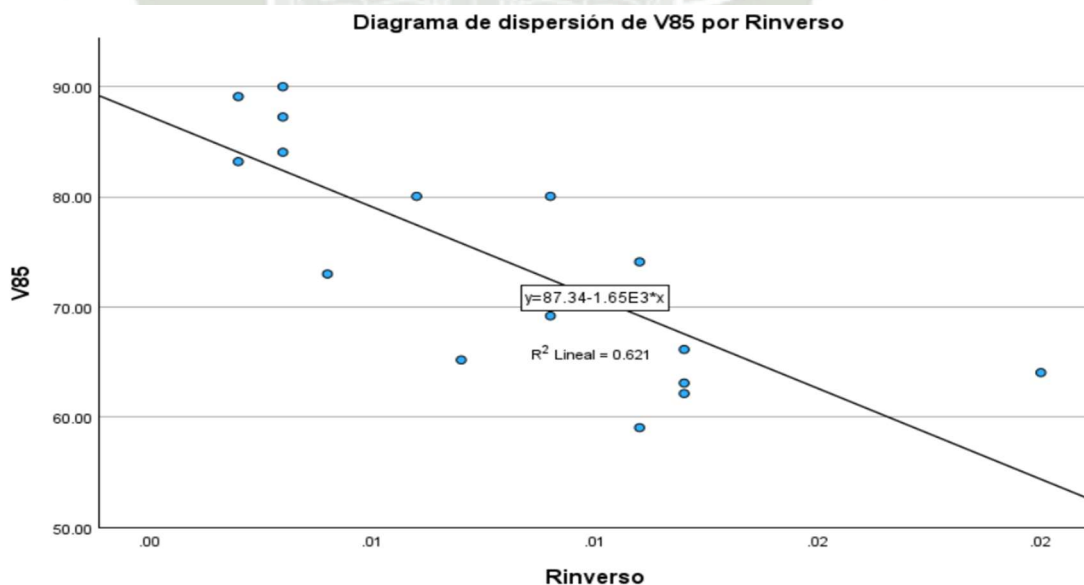
a. Variable dependiente: V85

Nota. Elaboración propia.

Por lo tanto, la expresión para la condición “Curva horizontal sobre pendiente ($0\% < i < 4\%$)” es:

$$V_{85} = 87.338 - 1648.420/R$$

Figura 33 Diagrama de dispersión de Velocidad por Rinv para condición 4



Nota. Elaboración propia.

4.2.1.5. Condición 5 “Curva horizontal combinada con curvas cóncavas

(sag)”:

Para el caso de la condición 5 se muestran los resultados obtenidos de las mediciones de velocidad en campo en la siguiente tabla:

Tabla 39 Resultados de mediciones de velocidad en campo para condición 5

CONDICION 5					CONDICION 5				
N° de medición	Velocidad	Curva N°	Promedio	Radio	N° de medición	Velocidad	Curva N°	Promedio	Radio
1	89	10	84.75	400	1	84	27	82.67	464
2	73				2	90			
3	87				3	84			
4	93				4	78			
5	81				5	81			
6	83				6	78			
7	78				7	81			
8	86				8	85			
9	89				9	84			
10	82				10	88			
11	86				11	86			
12	90				12	73			
1	64	18	63.17	86	1	59	32	65.67	113
2	62				2	62			
3	58				3	72			
4	62				4	63			
5	61				5	64			
6	64				6	67			
7	66				7	67			
8	66				8	63			
9	69				9	65			
10	58				10	71			
11	67				11	66			
12	61				12	69			
1	61	24	61.08	70	1	58	39	60.50	102
2	64				2	58			
3	58				3	64			
4	58				4	63			
5	63				5	68			
6	66				6	62			
7	56				7	63			
8	63				8	63			
9	64				9	58			
10	59				10	54			
11	58				11	57			
12	63				12	58			
1	68	43	65.92	185	1	77	64	67.58	135
2	69				2	65			
3	73				3	75			
4	68				4	65			
5	64				5	65			
6	66				6	70			
7	58				7	77			
8	64				8	64			
9	71				9	64			
10	63				10	65			
11	68				11	62			
12	59				12	62			

Nº de medición	Velocidad	Curva Nº	Promedio	Radio	Nº de medición	Velocidad	Curva Nº	Promedio	Radio
1	62	45	58.92	87	1	62	70	57.58	80
2	51				2	61			
3	57				3	63			
4	57				4	59			
5	61				5	55			
6	59				6	54			
7	56				7	63			
8	63				8	58			
9	60				9	56			
10	54				10	57			
11	64				11	56			
12	63				12	47			
1	91	62	83.58	400	1	67	78	61.33	85
2	85				2	61			
3	86				3	62			
4	86				4	58			
5	88				5	60			
6	80				6	65			
7	72				7	63			
8	80				8	60			
9	83				9	56			
10	76				10	66			
11	81				11	69			
12	95				12	49			
1	58	87	59.75	85	1	51	103	58.67	85
2	63				2	65			
3	65				3	59			
4	62				4	66			
5	62				5	48			
6	56				6	65			
7	54				7	51			
8	55				8	56			
9	57				9	60			
10	59				10	66			
11	57				11	58			
12	69				12	59			
1	63	90	57.00	85	1	82	118	83.92	440
2	50				2	81			
3	59				3	79			
4	52				4	86			
5	56				5	87			
6	56				6	88			
7	56				7	95			
8	57				8	83			
9	52				9	89			
10	63				10	73			
11	59				11	82			
12	61				12	82			
1	53	98	53.92	53					
2	47								
3	61								
4	53								
5	52								
6	55								
7	53								
8	56								
9	50								
10	58								
11	53								
12	56								

Nota. Elaboración propia.

En resumen, para la condición 5 “Curva horizontal combinada con curvas cóncavas (sag)” tenemos:

Tabla 40 Resumen de mediciones para condición 5

CONDICION 5				
Curva N°	Promedio Velocidad	Radio de Curvatura	R Inverso	V85
10	84.75	400	0.003	90.15
18	63.17	86	0.012	67.10
24	61.08	70	0.014	64.10
27	82.67	464	0.002	88.10
32	65.67	113	0.009	71.05
39	60.50	102	0.010	64.20
43	65.92	185	0.005	71.10
45	58.92	87	0.011	63.05
62	83.58	400	0.003	91.20
64	67.58	135	0.007	77.00
70	57.58	80	0.013	63.00
78	61.33	85	0.012	67.10
87	59.75	85	0.012	65.20
90	57.00	85	0.012	63.00
98	53.92	53	0.019	58.15
103	58.67	85	0.012	66.00
118	83.92	440	0.002	89.30

Nota. Elaboración propia.

Los resultados obtenidos con el programa SPSS 16.0.1. son los siguientes para la condición 5 “Curva horizontal combinada con curvas cóncavas (sag)”:

Tabla 41 Resumen de modelo para condición 5

Resumen del modelo				
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	.922 ^a	.851	.841	4.42950

a. Predictores: (Constante), Rinverso

Nota. Elaboración propia.

Tabla 42 Coeficientes para condición 5

Coeficientes ^a					
Modelo		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	
		B	Desv. Error	Beta	t
1	(Constante)	91.218	2.371		38.479
	Rinverso	-2100.682	227.370	-.922	-9.239
					Sig.
					<.001
					<.001

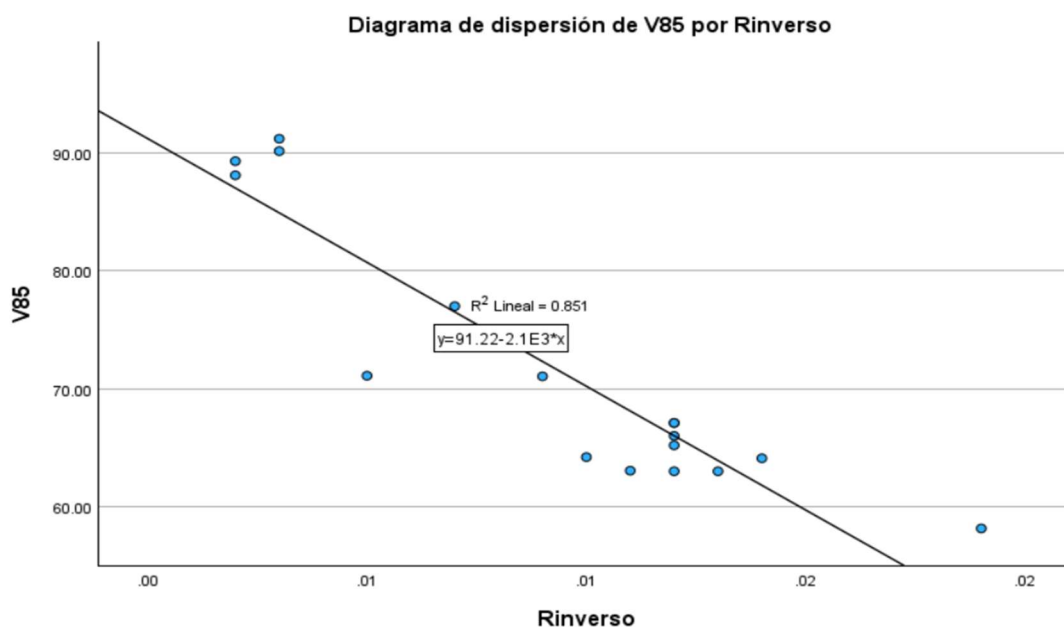
a. Variable dependiente: V85

Nota. Elaboración propia.

Por lo tanto, la expresión para la condición 5 “Curva horizontal combinada con curvas cóncavas (sag)” es:

$$V_{85} = 91.218 - 2100.682/R$$

Figura 34 Diagrama de dispersión de Velocidad por Rinv para condición 5



Nota. Elaboración propia.

4.2.1.6. Condición 6 “Curva horizontal combinada con curvas convexas sin limitación de visibilidad”:

Para el caso de la condición 6 “Curva horizontal combinada con curvas convexas sin limitación de visibilidad” se muestran los resultados obtenidos de las mediciones de velocidad en campo en la siguiente tabla:

Tabla 43 Resultados de mediciones de velocidad en campo para condición 6

CONDICION 6					CONDICION 6				
Nº de medición	Velocidad	Curva Nº	Promedio	Radio	Nº de medición	Velocidad	Curva Nº	Promedio	Radio
1	66	14	68.83	152	1	80	35	69.75	230
2	71				2	79			
3	64				3	63			
4	68				4	69			
5	60				5	77			
6	72				6	68			
7	72				7	74			
8	73				8	65			
9	70				9	67			
10	65				10	65			
11	68				11	58			
12	77				12	72			
1	76	49	71.50	135	1	64	50	63.75	85
2	71				2	59			
3	70				3	65			
4	76				4	67			
5	72				5	66			
6	74				6	64			
7	69				7	61			
8	71				8	63			
9	69				9	67			
10	79				10	65			
11	64				11	58			
12	67				12	66			
1	64	55	55.83	75	1	72	67	62.67	100
2	47				2	51			
3	54				3	64			
4	62				4	73			
5	58				5	56			
6	66				6	58			
7	54				7	69			
8	48				8	61			
9	47				9	52			
10	59				10	67			
11	49				11	71			
12	62				12	58			
1	55	71	60.83	100	1	64	75	62.58	75
2	70				2	65			
3	60				3	60			
4	65				4	63			
5	60				5	58			
6	57				6	62			
7	61				7	67			
8	62				8	58			
9	61				9	61			
10	58				10	69			
11	58				11	63			
12	63				12	61			

N° de medición	Velocidad	Curva N°	Promedio	Radio	N° de medición	Velocidad	Curva N°	Promedio	Radio
1	68	92	63.58	120	1	75	116	72.75	210
2	69				2	74			
3	64				3	83			
4	62				4	72			
5	67				5	75			
6	59				6	70			
7	57				7	65			
8	66				8	68			
9	58				9	73			
10	65				10	68			
11	65				11	80			
12	63				12	70			

Nota. Elaboración propia.

En resumen, para la condición 6 “Curva horizontal combinada con curvas convexas sin limitación de visibilidad” tenemos:

Tabla 44 Resumen de mediciones para condición 6

CONDICION 6					
Curva N°	Promedio	Velocidad	Radio de Curvatura	R Inverso	V85
14	68.83		152	0.007	73.20
35	69.75		230	0.004	79.05
49	71.50		135	0.007	76.15
50	62.83		85	0.012	67.00
55	60.83		75	0.013	64.10
67	62.67		100	0.010	72.05
71	60.83		100	0.010	65.25
75	62.58		75	0.013	67.10
92	63.58		120	0.008	68.05
116	72.75		210	0.005	80.15

Nota. Elaboración propia.

Los resultados obtenidos con el programa SPSS 16.0.1. son los siguientes para la condición 6 “Curva horizontal combinada con curvas convexas sin limitación de visibilidad”:

Tabla 46 Resumen del modelo para condición 6

Resumen del modelo				
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	.887 ^a	.786	.759	2.83788

a. Predictores: (Constante), Rinverso

Nota. Elaboración propia.

Tabla 47 Coeficientes para condición 6

Coeficientes ^a					
Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Desv. Error	Beta		
1	(Constante)	85.416		30.838	<.001
	Rinverso	-1596.233	-0.887	-5.421	<.001

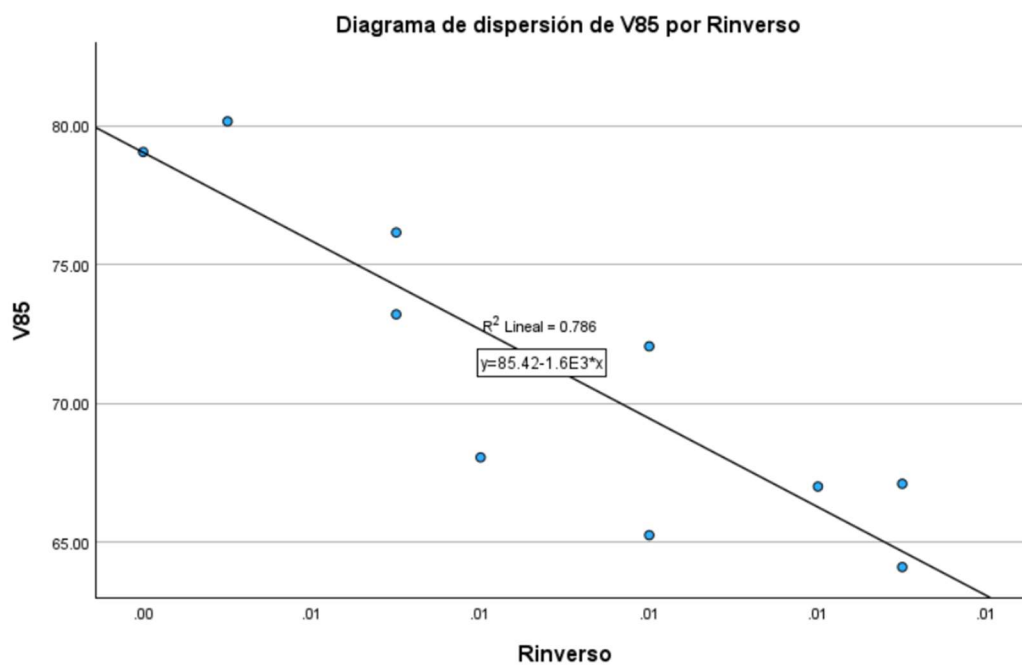
a. Variable dependiente: V85

Nota. Elaboración propia.

Por lo tanto, la expresión para la condición 6 “Curva horizontal combinada con curvas convexas sin limitación de visibilidad” es:

$$V_{85} = 85.416 - 1596.233/R$$

Figura 35 Diagrama de dispersión de Velocidad por Rinv para condición 6



Nota. Elaboración propia

4.2.1.7. Condición 7 “Curva horizontal combinada con curvas convexas con limitación de visibilidad ($K \leq 43$ m /%)”:

Para el caso de la condición 7 se muestran los resultados obtenidos de las mediciones de velocidad en campo en la siguiente tabla:

Tabla 48 Resultados de mediciones de velocidad en campo para condición 7

CONDICION 7					CONDICION 7				
Nº de medición	Velocidad	Curva Nº	Promedio	Radio	Nº de medición	Velocidad	Curva Nº	Promedio	Radio
1	69	8	71.92	290	1	66	13	62.33	152
2	73				2	55			
3	64				3	68			
4	82				4	58			
5	64				5	67			
6	75				6	64			
7	65				7	56			
8	82				8	62			
9	79				9	62			
10	66				10	53			
11	73				11	65			
12	71				12	72			
1	49	21	55.67	85	1	56	25	57.08	90
2	62				2	58			
3	58				3	52			
4	64				4	57			
5	63				5	60			
6	45				6	53			
7	54				7	47			
8	59				8	61			
9	54				9	57			
10	62				10	64			
11	46				11	58			
12	52				12	62			
1	78	26	73.17	430	1	79	28	85.50	695
2	70				2	85			
3	77				3	89			
4	65				4	89			
5	70				5	81			
6	75				6	92			
7	69				7	87			
8	80				8	88			
9	72				9	79			
10	74				10	82			
11	75				11	89			
12	73				12	86			
1	97	29	89.67	798	1	56	31	53.00	100
2	86				2	46			
3	83				3	49			
4	102				4	59			
5	91				5	48			
6	93				6	60			
7	91				7	56			
8	83				8	57			
9	93				9	44			
10	77				10	58			
11	97				11	43			
12	83				12	60			

Nota. Elaboración propia.

En resumen, para la condición 7 “Curva horizontal combinada con curvas convexas con limitación de visibilidad ($K \leq 43$ m/%)” tenemos:

Tabla 49 Resumen de mediciones para condición 7

CONDICION 7					
Curva N°	Promedio Velocidad	Radio de Curvatura	R Inverso	V85	
8	71.92	290	0.003	82.00	
13	62.33	152	0.007	68.20	
21	55.67	85	0.012	63.05	
25	57.08	90	0.011	62.10	
26	73.17	430	0.002	78.10	
28	85.50	695	0.001	89.15	
29	89.67	798	0.001	97.25	
31	53.00	100	0.010	60.00	
44	58.75	125	0.008	66.50	
47	59.67	133	0.008	67.00	
59	62.08	150	0.007	67.00	
69	63.08	82	0.012	67.45	
81	61.17	150	0.007	65.05	
84	60.00	100	0.010	69.10	
104	88.00	500	0.002	94.05	
107	67.25	100	0.010	73.00	
114	51.42	50	0.020	56.05	

Nota. Elaboración propia.

resultados obtenidos con el programa SPSS 16.0.1. son los siguientes para la condición 7 “Curva horizontal combinada con curvas convexas con limitación de visibilidad ($K \leq 43$ m /%)”:

Tabla 50 Resumen de modelo para condición 7

Resumen del modelo				
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	.843 ^a	.710	.691	6.67331

a. Predictores: (Constante), Rinverso

Nota. Elaboración propia.

Tabla 51 Coeficientes para condición 7

Coeficientes ^a					
Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados		Sig.
	B	Desv. Error	Beta	t	
1	(Constante)	87.777		28.722	<.001
	Rinverso	-2039.342	-.843	-6.062	<.001

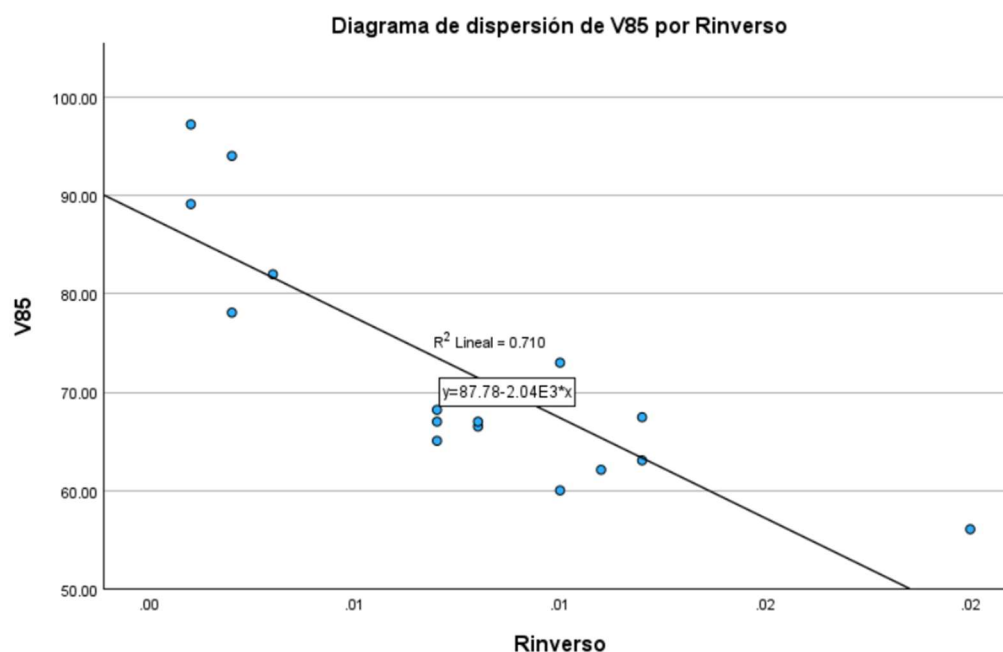
a. Variable dependiente: V85

Nota. Elaboración propia.

Por lo tanto, la expresión para la condición 7 “Curva horizontal combinada con curvas convexas con limitación de visibilidad ($K \leq 43$ m /%)”: es:

$$V_{85} = 87.777 - 2039.342/R$$

Figura 36 Diagrama de dispersión de Velocidad por Rinv para condición 7



Nota. Elaboración propia.

4.2.1.8. Condición 8 “Curva vertical cóncava sobre recta horizontal”:

En el caso de las curvas verticales, se introduce como variable independiente la diferencia algebraica de pendientes y como variable dependiente la velocidad de operación.

Para el caso de la condición 8 se muestran los resultados obtenidos de las mediciones de velocidad en campo en la siguiente tabla:

Tabla 52 Resultados de mediciones de velocidad en campo para condición 8

CONDICIÓN 8					CONDICION 8				
N° de medición	Velocidad	Curva N°	Promedio	K	N° de medición	Velocidad	Curva N°	Promedio	K
1	111	1	109.58	70.74	1	88	8	79.42	6.91
2	122				2	70			
3	110				3	74			
4	112				4	85			
5	108				5	75			
6	107				6	90			
7	104				7	72			
8	103				8	90			
9	113				9	72			
10	110				10	86			
11	109				11	73			
12	106				12	78			
1	108	4	104.42	60.49	1	81	11	86.50	10.48
2	85				2	99			
3	116				3	97			
4	109				4	75			
5	105				5	77			
6	111				6	77			
7	91				7	78			
8	95				8	75			
9	112				9	94			
10	105				10	89			
11	125				11	97			
12	91				12	99			
1	75	6	78.83	6.92	1	111	13	107.17	31.86
2	79				2	110			
3	72				3	95			
4	79				4	90			
5	73				5	107			
6	82				6	110			
7	81				7	114			
8	73				8	108			
9	85				9	111			
10	81				10	113			
11	76				11	112			
12	90				12	105			
1	104	15	105.75	37.3	1	114	23	108.50	29.4
2	109				2	115			
3	103				3	109			
4	105				4	108			
5	104				5	120			
6	99				6	114			
7	112				7	108			
8	111				8	86			
9	107				9	99			
10	98				10	114			
11	109				11	107			
12	108				12	108			

Nº de medición	Velocidad	Curva Nº	Promedio	K	Nº de medición	Velocidad	Curva Nº	Promedio	K
1	100	20	91.75	15.17	1	119	25	89.00	22.21
2	78				2	70			
3	86				3	82			
4	89				4	120			
5	85				5	113			
6	98				6	14			
7	77				7	79			
8	93				8	106			
9	100				9	114			
10	99				10	74			
11	100				11	75			
12	96				12	102			
1	116	21	104.75	29.56	1	91	27	90.17	24.86
2	93				2	89			
3	94				3	87			
4	95				4	89			
5	110				5	84			
6	116				6	94			
7	84				7	94			
8	120				8	91			
9	111				9	86			
10	112				10	89			
11	104				11	93			
12	102				12	95			
1	78	28	84.17	11.23	1	111	34	104.92	37.23
2	84				2	115			
3	91				3	109			
4	92				4	88			
5	80				5	108			
6	89				6	110			
7	78				7	103			
8	91				8	103			
9	86				9	106			
10	76				10	85			
11	85				11	108			
12	80				12	113			
1	90	29	92.33	32.83	1	118	37	102.50	33.87
2	82				2	86			
3	93				3	115			
4	84				4	102			
5	83				5	89			
6	85				6	86			
7	90				7	116			
8	107				8	91			
9	92				9	110			
10	100				10	105			
11	97				11	102			
12	105				12	110			
1	80	31	89.33	16.73	1	105	39	98.92	28.28
2	89				2	95			
3	98				3	79			
4	81				4	73			
5	89				5	110			
6	96				6	101			
7	85				7	101			
8	97				8	106			
9	82				9	106			
10	90				10	101			
11	97				11	106			
12	88				12	104			

Nota. Elaboración propia.

En resumen, para la condición 8 “Curva vertical cóncava sobre recta horizontal” tenemos:

Tabla 53 Resumen mediciones para condición 2

CONDICION 8				
Curva N°	Promedio	K	K Inverso	V85
1	109.58	70.74	0.0141	113.45
4	104.42	60.49	0.0165	116.45
6	78.83	6.92	0.1445	85.25
8	79.42	6.91	0.1447	90.00
11	86.50	10.48	0.0954	99.00
13	107.17	31.86	0.0314	113.05
15	105.75	37.3	0.0268	111.05
20	91.75	15.17	0.0659	100.00
21	104.75	29.56	0.0338	116.20
23	108.50	29.4	0.0340	115.25
25	89.00	22.21	0.0450	119.05
27	90.17	24.86	0.0402	94.05
28	84.17	11.23	0.0890	91.05
29	92.33	32.83	0.0305	105.10
31	89.33	16.73	0.0598	97.05
34	104.92	37.23	0.0269	113.10
37	103.50	33.87	0.0295	116.10
39	98.92	28.28	0.0354	106.20

Nota. Elaboración propia.

Los resultados obtenidos con el programa SPSS 16.0.1. son los siguientes para la condición 8 “Curva vertical cóncava sobre recta horizontal”:

Tabla 54 Resumen de modelo para condición 8

Resumen del modelo				
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	.824 ^a	.680	.660	6.27781

a. Predictores: (Constante), Kinverso

Nota. Elaboración propia.

Tabla 55 Coeficientes para condición 8

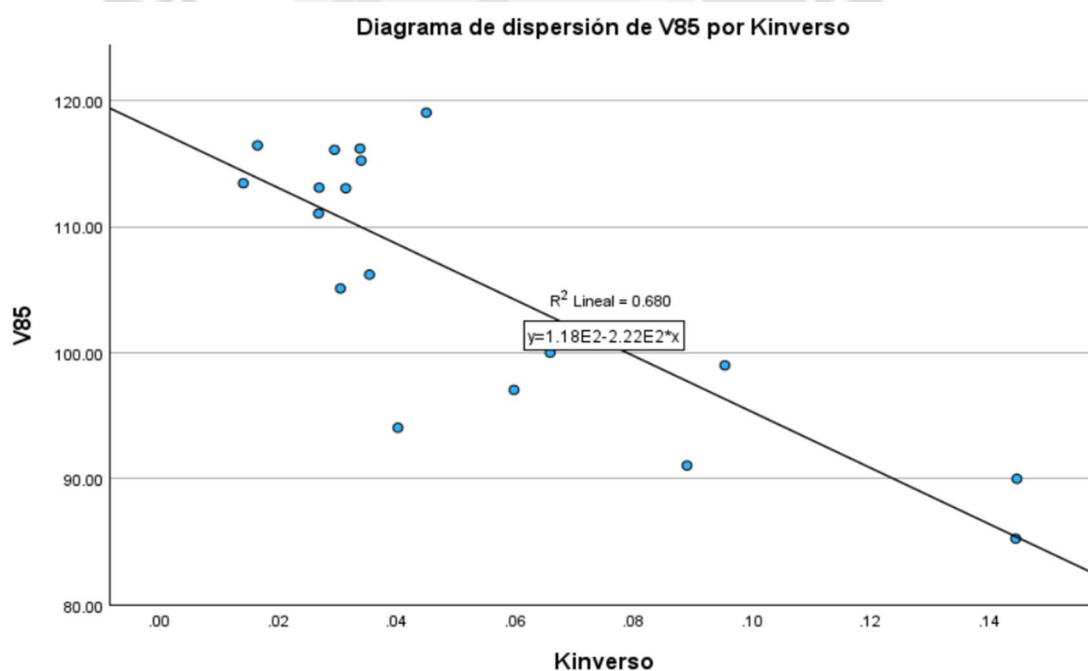
Coeficientes ^a					
Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados Beta	t	Sig.
	B	Desv. Error			
1	(Constante)	117.529	2.521	46.613	<.001
	Kinverso	-222.254	38.143	-.824	<.001

a. Variable dependiente: V85

Nota. Elaboración propia.

Por lo tanto, la expresión para la 8 “Curva vertical cóncava sobre recta horizontal”:

$$V_{85} = 117.529 - 222.254/Kv$$

Figura 37 Diagrama de dispersión de velocidad por Kinv para condición 8


Nota. Elaboración propia.

4.2.1.9. Condición 9 “Curva vertical convexa con distancia de visibilidad no limitada ($K > 43$ m/%) sobre recta horizontal”:

Para el caso de la condición 9 se muestran los resultados obtenidos de las mediciones de velocidad en campo en la siguiente tabla:

Tabla 56 Resultados de mediciones de velocidad en campo para condición 9

CONDICION 9					CONDICION 9				
N° de medición	Velocidad	Curva N°	Promedio	K	N° de medición	Velocidad	Curva N°	Promedio	K
1	101	14	99.33	65.78	1	85	32	78.33	46.42
2	81				2	75			
3	95				3	70			
4	90				4	68			
5	103				5	79			
6	108				6	78			
7	117				7	68			
8	98				8	87			
9	112				9	84			
10	96				10	82			
11	81				11	80			
12	110				12	84			
1	100	22	88.67	53.34	1	98	35	98.25	63.72
2	88				2	94			
3	91				3	94			
4	80				4	101			
5	102				5	105			
6	94				6	101			
7	84				7	96			
8	79				8	98			
9	84				9	100			
10	93				10	98			
11	82				11	98			
12	87				12	96			
1	102	26	90.25	50.17	1	94	41	96.00	67.14
2	85				2	91			
3	78				3	92			
4	84				4	100			
5	99				5	108			
6	88				6	103			
7	91				7	88			
8	90				8	98			
9	98				9	89			
10	94				10	85			
11	95				11	93			
12	79				12	111			
1	87	42	89.25	54.07					
2	81								
3	100								
4	81								
5	85								
6	100								
7	79								
8	93								
9	82								
10	110								
11	91								
12	82								

Nota. Elaboración propia.

En resumen, para la condición 9 “Curva vertical convexa con distancia de visibilidad no limitada ($K > 43\text{m}/\%$) sobre recta horizontal” tenemos:

Tabla 57 Resumen de mediciones para condición 9

CONDICION 9				
Curva N°	Promedio	K	K Inverso	V85
14	99.67	65.78	0.0152	112.25
22	91.67	53.34	0.0187	100.1
26	93.25	50.17	0.0199	99.15
32	81.33	46.42	0.0215	85.1
35	97.92	63.72	0.0157	101.2
41	99.00	67.14	0.0149	108.15
42	89.58	54.07	0.0185	100.5

Nota. Elaboración propia.

Los resultados obtenidos con el programa SPSS 16.0.1. son los siguientes para la condición 9 “Curva vertical cóncava sobre recta horizontal”:

Tabla 58 Resumen del modelo para condición 9

Resumen del modelo				
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	.878 ^a	.771	.725	4.46747

a. Predictores: (Constante), Kinverso

Nota. Elaboración propia.

Tabla 59 Coeficientes para condición 9

Coeficientes ^a					
Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados Beta	t	Sig.
	B	Desv. Error			
1	(Constante)	153.038	12.829	11.929	<.001
	Kinverso	-2932.593	715.604	-.878	.009

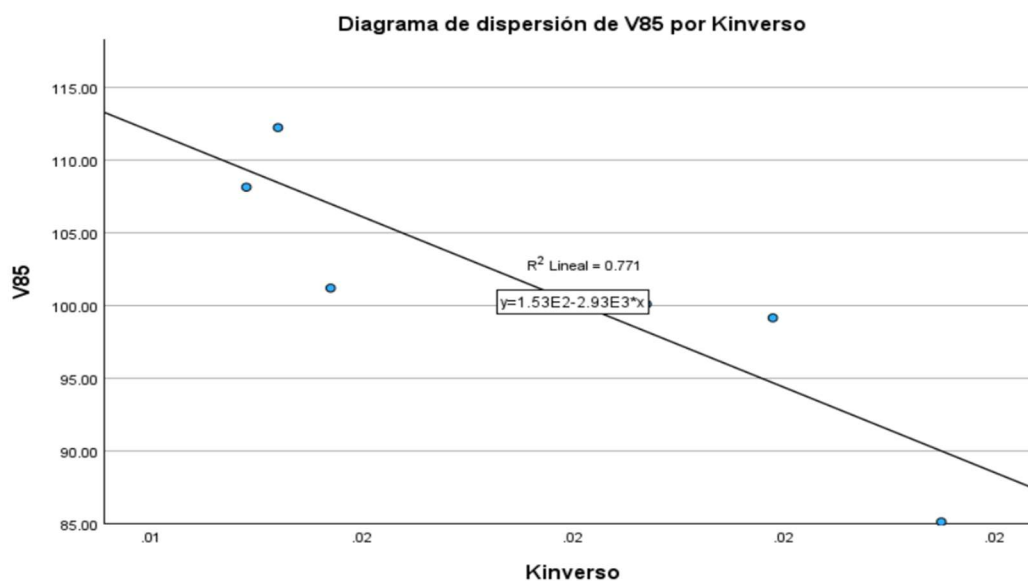
a. Variable dependiente: V85

Nota. Elaboración propia.

Por lo tanto, la expresión para la condición 9 “Curva horizontal combinada con curvas convexas con limitación de visibilidad ($K \leq 43$ m /%)”: es:

$$V_{85} = 153.038 - 2932.593/Kv$$

Figura 38 Diagrama de dispersión de Velocidad por K_{inv} para condición 9



Nota. Elaboración propia.

4.2.1.10. Condición 10 “Curva vertical convexa con distancia de visibilidad limitada ($K \leq 43$ m/ %) sobre recta horizontal”:

Para el caso de la condición 10 se muestran los resultados obtenidos de las mediciones de velocidad en campo en la siguiente tabla:

Tabla 60 Resultados de mediciones de velocidad en campo para condición 10

CONDICION 10					CONDICION 10				
Nº de medición	Velocidad	Curva Nº	Promedio	K	Nº de medición	Velocidad	Curva Nº	Promedio	K
1	93	2	101.92	37.24	1	78	7	85.17	15.87
2	101				2	95			
3	97				3	76			
4	109				4	78			
5	97				5	74			
6	117				6	96			
7	115				7	71			
8	89				8	91			
9	96				9	85			
10	107				10	101			
11	111				11	88			
12	91				12	89			
1	98	3	100.08	33.08	1	109	9	111.92	42.65
2	108				2	117			
3	106				3	99			
4	97				4	114			
5	91				5	118			
6	96				6	119			
7	95				7	111			
8	103				8	116			
9	98				9	108			
10	109				10	113			
11	98				11	121			
12	102				12	98			
1	95	5	106.25	32.14	1	87	10	102.00	25.5
2	110				2	115			
3	115				3	111			
4	112				4	94			
5	111				5	94			
6	115				6	92			
7	116				7	105			
8	94				8	119			
9	100				9	112			
10	95				10	98			
11	95				11	88			
12	117				12	109			
1	122	12	109.33	40.2	1	73	18	91.25	15.74
2	128				2	72			
3	121				3	114			
4	98				4	97			
5	98				5	80			
6	104				6	81			
7	115				7	117			
8	103				8	111			
9	95				9	80			
10	127				10	98			
11	94				11	100			
12	107				12	72			

N° de medicion	Velocidad	Curva N°	Promedio	K	N° de medicion	Velocidad	Curva N°	Promedio	K
1	91	16	83.50	10.21	1	97	19	96.92	25.75
2	75				2	107			
3	95				3	101			
4	82				4	118			
5	77				5	93			
6	94				6	93			
7	79				7	96			
8	92				8	80			
9	77				9	89			
10	74				10	84			
11	87				11	88			
12	79				12	117			
1	102	17	107.33	23.85	1	95	24	95.00	24.81
2	110				2	70			
3	115				3	79			
4	100				4	116			
5	101				5	74			
6	102				6	130			
7	114				7	94			
8	112				8	109			
9	104				9	82			
10	104				10	108			
11	119				11	93			
12	105				12	90			
1	110	30	100.00	21.43	1	88	38	105.83	33.2
2	105				2	107			
3	90				3	84			
4	104				4	115			
5	104				5	117			
6	104				6	114			
7	106				7	110			
8	91				8	120			
9	107				9	111			
10	95				10	101			
11	91				11	88			
12	93				12	115			
1	114	33	98.25	23.51	1	104	40	90.42	20.31
2	101				2	102			
3	110				3	89			
4	115				4	75			
5	81				5	96			
6	115				6	85			
7	97				7	77			
8	103				8	85			
9	77				9	96			
10	97				10	87			
11	88				11	96			
12	81				12	93			
1	108	36	107.83	39.73					
2	103								
3	116								
4	88								
5	118								
6	97								
7	113								
8	117								
9	116								
10	94								
11	115								
12	109								

Nota. Elaboración propia.

En resumen, para la condición 10 “Curva vertical convexa con distancia de visibilidad limitada ($K \leq 43\text{m}/\%$) sobre recta horizontal” tenemos:

Tabla 61 Resumen de mediciones para condición 10

CONDICION 10				
Curva N°	Promedio	K	K Inverso	V85
2	101.92	37.24	0.0269	115.10
3	100.08	33.08	0.0302	108.05
5	106.25	32.14	0.0311	116.05
7	85.17	15.87	0.0630	96.25
9	111.92	42.65	0.0234	119.10
10	102.00	25.5	0.0392	115.20
12	109.33	40.2	0.0249	127.05
16	83.50	10.21	0.0979	94.05
17	107.33	23.85	0.0419	115.20
18	91.25	15.74	0.0635	114.15
19	96.92	25.75	0.0388	117.05
24	95.00	24.81	0.0403	116.70
30	100.00	21.43	0.0467	107.15
33	98.25	23.51	0.0425	115.00
36	107.83	39.73	0.0252	117.05
38	106.25	33.2	0.0301	117.15
40	90.42	20.31	0.0492	102.00

Nota. Elaboración propia.

Los resultados obtenidos con el programa SPSS 16.0.1. son los siguientes para la condición 10 “Curva vertical convexa con distancia de visibilidad limitada ($K \leq 43 \text{ m}/\%$) sobre recta horizontal:

Tabla 62 Resumen del modelo para condición 10

Resumen del modelo				
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	.784 ^a	.614	.589	5.41767

a. Predictores: (Constante), K_{inverso}

Nota. Elaboración propia.

Tabla 63 Coeficientes para condición 10

Coeficientes ^a					
Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Desv. Error	Beta		
1	(Constante)	127.278	3.298	38.594	<.001
	Kinverso	-351.749	71.939	-.784	<.001

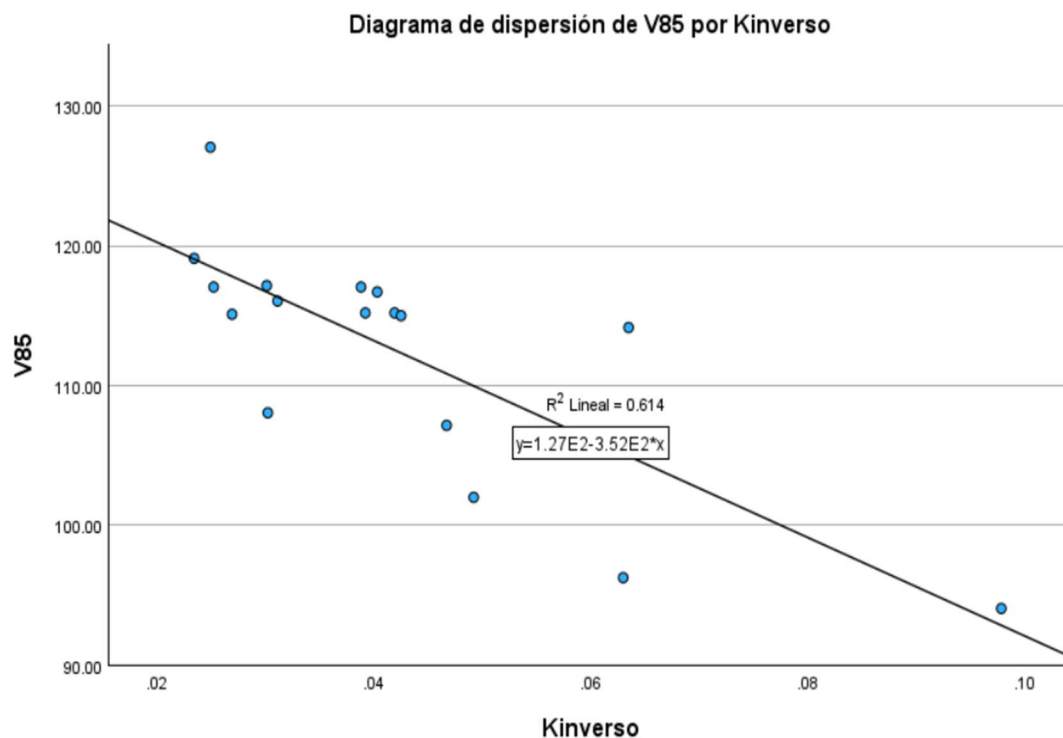
a. Variable dependiente: V85

Nota. Elaboración propia.

Por lo tanto, la expresión para la condición 10 Curva vertical convexa con distancia de visibilidad limitada ($K \leq 43$ m/ %) sobre recta horizontal” es:

$$V_{85} = 127.278 - 351.749/Kv$$

Figura 39 Diagrama de dispersión de Velocidad por Kinv para condición 10



Nota. Elaboración propia.

4.3. Resumen de Ecuaciones de predicción de velocidades de operación.

En la Tabla 64 se muestra un resumen de los resultados de las pruebas estadísticas, obtenidos para las variables utilizadas (inverso del radio, diferencia algebraica de pendiente y la velocidad de operación).

Tabla 64 Ecuaciones de predicción de velocidades de operación

Condición	Expresión	R ²	Sitios
Curva horizontal sobre pendiente ($-9\% < i < -4\%$)	88.903-1532.198/R	0.681	17
Curva horizontal sobre pendiente ($-4\% < i < 0\%$)	93.714-2329.052/R	0.709	23
Curva horizontal sobre pendiente ($0\% < i < 4\%$)	91.429-2085.174/R	0.682	19
Curva horizontal sobre pendiente ($4\% < i < 9\%$)	87.338-1648.420/R	0.621	16
Curva horizontal combinada con curvas concavas (sag)	91.218-2100.682/R	0.851	17
Curva horizontal combinada con curvas convexas sin limitacion de visibilidad	85.416-1596.233/R	0.786	10
Curva horizontal combinada con curvas convexas con limitacion de visibilidad ($K \leq 43$ m /%)	87.777-2039.342/R	0.710	17
Curva vertical concava sobre recta horizontal	117.529-222.254/Kv	0.680	18
Curva vertical convexa con distancia de visibilidad no limitada ($K > 43$ m/%) sobre recta horizontal	153.038-2932.593/Kv	0.771	7
Curva vertical convexa con distancia de visibilidad limitada ($K \leq 43$ m/ %) sobre recta horizontal	127.278-351.749/Kv	0.614	17

Nota. Elaboración propia.

Comparando los resultados obtenidos en esta investigación con los obtenidos por Fitzpatrick (2000).

Tabla 65 Comparación entre Ecuaciones obtenidas y Ecuaciones de Fitzpatrick (2000)

Antezana				FitzPatrick		
Condición	Expresión	R ²	Sitios	Expresión	R ²	Sitios
Curva horizontal sobre pendiente ($-9\% < i < -4\%$)	88.903-1532.198/R	0.681	17	102.10-3077.19/R	0.58	21
Curva horizontal sobre pendiente ($-4\% < i < 0\%$)	93.714-2329.052/R	0.709	23	105.98-3709.90/R	0.76	25
Curva horizontal sobre pendiente ($0\% < i < 4\%$)	91.429-2085.174/R	0.682	19	104.82-3574.51/R	0.76	25
Curva horizontal sobre pendiente ($4\% < i < 9\%$)	87.338-1648.420/R	0.621	16	96.61-2752.19/R	0.53	23
Curva horizontal combinada con curvas concavas (sag)	91.218-2100.682/R	0.851	17	105.32-3438.19/R	0.92	25
Curva horizontal combinada con curvas convexas sin limitacion de visibilidad	85.416-1596.233/R	0.786	10	Leer nota	N/A	13
Curva horizontal combinada con curvas convexas con limitacion de visibilidad ($K \leq 43$ m /%)	87.777-2039.342/R	0.710	17	103.24-3576.51/R	0.74	22
Curva vertical concava sobre recta horizontal	117.529-222.254/Kv	0.680	18	V85 se asume como la velocidad deseada	N/A	7
Curva vertical convexa con distancia de visibilidad no limitada ($K > 43$ m/%) sobre recta horizontal	153.038-2932.593/Kv	0.771	7	V85 se asume como la velocidad deseada	N/A	6
Curva vertical convexa con distancia de visibilidad limitada ($K \leq 43$ m/ %) sobre recta horizontal	127.278-351.749/Kv	0.614	17	105.08-149.69/K	0.6	9

Nota. Elaboración propia.

4.4. Validación de ecuaciones de predicción de velocidad para curvas horizontales y verticales.

Se desarrollará la validación de las 10 ecuaciones de predicción obtenidas.

Figura 40 Ecuaciones de predicción de velocidades de operación (Antezana)

Condición	Expresión	R ²	Sitios
Curva horizontal sobre pendiente ($-9\% < i < -4\%$)	$88.903-1532.198/R$	0.681	17
Curva horizontal sobre pendiente ($-4\% < i < 0\%$)	$93.714-2329.052/R$	0.709	23
Curva horizontal sobre pendiente ($0\% < i < 4\%$)	$91.429-2085.174/R$	0.682	19
Curva horizontal sobre pendiente ($4\% < i < 9\%$)	$87.338-1648.420/R$	0.621	16
Curva horizontal combinada con curvas concavas (sag)	$91.218-2100.682/R$	0.851	17
Curva horizontal combinada con curvas convexas sin limitación de visibilidad	$85.416-1596.233/R$	0.786	10
Curva horizontal combinada con curvas convexas con limitación de visibilidad ($K \leq 43$ m /%)	$87.777-2039.342/R$	0.710	17
Curva vertical concava sobre recta horizontal	$117.529-222.254/K_v$	0.680	18
Curva vertical convexa con distancia de visibilidad no limitada ($K > 43$ m/%) sobre recta horizontal	$153.038-2932.593/K_v$	0.771	7
Curva vertical convexa con distancia de visibilidad limitada ($K \leq 43$ m/ %) sobre recta horizontal	$127.278-351.749/K_v$	0.614	17

Nota. Elaboración propia.

Se realiza el siguiente análisis para cada una de las 10 ecuaciones de predicción de velocidad:

Tabla 66 Estadísticas descriptivas de variables utilizadas en el desarrollo de ecuaciones de predicción de velocidad

PARAMETRO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Sitios	17	23	19	16	17	10	17	18	7	17
Radio (m) Rango	50-400	50-400	50-600	50-450	53-464	75-230	50-798	N/A	N/A	N/A
Radio (m) Promedio	145.67	139.61	215.69	198.63	173.82	128.2	237.06	N/A	N/A	N/A
K (m/%) Rango	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	6.91-70.74	46.42-67.14	10.21-42.65
K (m/%) Promedio	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	28.115	57.23	27.37
V85 (km/h) Rango	60.05-89.05	60.45-104.05	57.1-97.55	59.05-90	58.15-91.2	64.1-80.15	56.05-97.25	85.25-119.05	85.1-112.25	94.05-127.05
V85 (km/h) Promedio	74.21	73.06	76.94	74.36	71.69	71.21	72.06	105.63	100.92	112.49

Nota. Elaboración propia.

Se calcula el V85 previsto en el punto medio de la curva para cada ubicación del sitio de estudio utilizando las ecuaciones 1 a 10 según corresponda. Posteriormente se graficará el V85 previsto versus el V85 observado en el punto medio de la curva horizontal para todos los sitios presentados.

Calcule el error cuadrático medio, la diferencia absoluta media y la media absoluta diferencia porcentual en todos los sitios de validación y por separado para cada una de las diez ecuaciones, definido de la siguiente manera:

- Diferencia absoluta media = Media de (V observada – V predicha)
- Diferencia porcentual media = $\text{Media de } \left(\frac{(V \text{ observada} - \text{predicha})}{V \text{ predicha}} \right) \times 100 \%$

Estas estadísticas se utilizan para describir la discrepancia entre la ecuación predicha y las mediciones observadas de velocidad.

4.4.1. V85 previsto versus observado en el punto medio de la curva.

Se desarrollaron graficas del V85 predicho por la ecuación en el punto medio de la curva versus el V85 observado en el campo de los 119 sitios en los que se tomaron mediciones de velocidad en curvas horizontales y los 42 sitios de curvas verticales.

4.4.1.1. V85 previsto vs observado punto medio de la curva Condición 1.

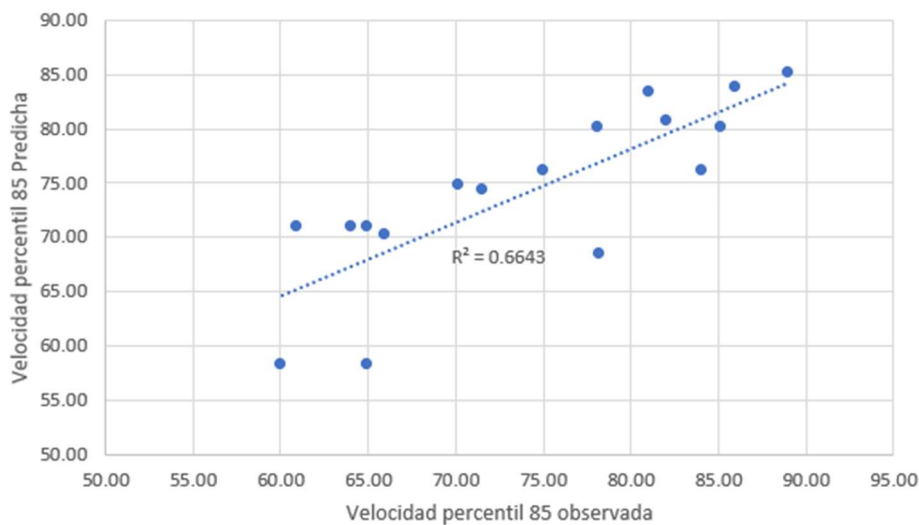
Tabla 67 Calculo diferencia promedio de velocidades y diferencia porcentual (Condición 1)

CONDICION 1						
Curva N°	Radio de Curvatura	V85 Observada	V85 Predicha	Diferencia media	Diferencia porcentual	Chi-cuadrado
9	276.5	81.05	83.36	2.31	2.77%	0.06
15	175	78.10	80.15	2.05	2.55%	0.05
17	175	85.15	80.15	5.00	6.24%	0.31
22	85	65.00	70.88	5.88	8.29%	0.49
23	185	82.05	80.62	1.43	1.77%	0.03
38	108	70.20	74.72	4.52	6.04%	0.27
51	105	71.55	74.31	2.76	3.71%	0.10
56	75	78.20	68.47	9.73	14.20%	1.38
60	400	89.05	85.07	3.98	4.68%	0.19
76	120	84.05	76.13	7.92	10.40%	0.82
85	85	64.10	70.88	6.78	9.56%	0.65
86	82	66.00	70.22	4.22	6.01%	0.25
93	120	75.00	76.13	1.13	1.49%	0.02
95	50	65.00	58.26	6.74	11.57%	0.78
99	85	61.00	70.88	9.88	13.94%	1.38
100	300	86.05	83.80	2.25	2.69%	0.06
108	50	60.05	58.26	1.79	3.07%	0.06
				4.61	6.41%	6.90

Nota 1. Elaboración propia.

Nota 2. En el caso de la diferencia media y porcentual, ambas se calcularon los promedios, en el caso de chi- cuadrado es una sumatoria.

Figura 41 V85 previsto vs observado punto medio de la curva (Condición 1)



Nota. Elaboración propia.

4.4.1.2. V85 previsto vs observado punto medio de la curva Condición 2.

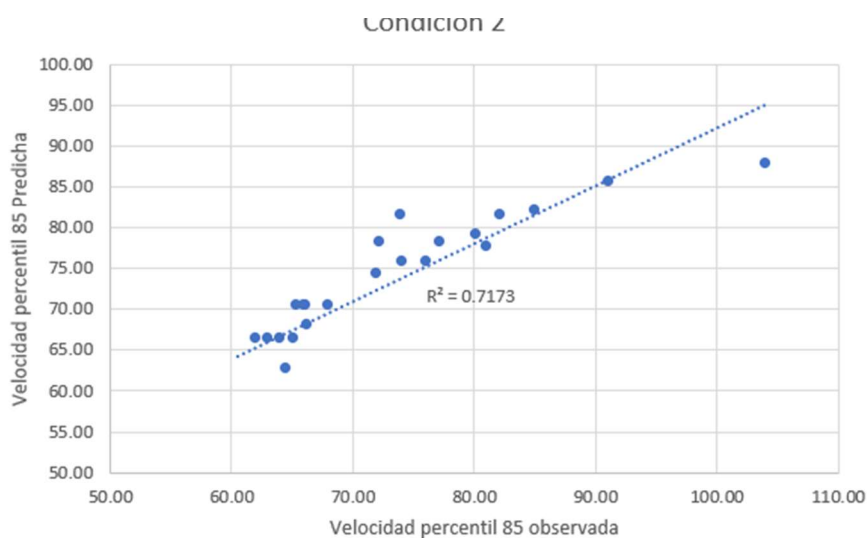
Tabla 68 Calculo diferencia promedio de velocidades y diferencia porcentual (Condición 2)

CONDICION 2						
Curva N°	Radio de Curvatura	V85 Observada	V85 Predicha	Diferencia media	Diferencia porcentual	Chi-cuadrado
16	190	82.15	81.46	0.69	0.85%	0.01
36	85	64.10	66.31	2.21	3.34%	0.07
42	290	91.10	85.68	5.42	6.32%	0.34
48	145	81.05	77.65	3.40	4.38%	0.15
53	91	66.30	68.12	1.82	2.67%	0.05
54	100	66.10	70.42	4.32	6.14%	0.27
72	85	65.10	66.31	1.21	1.83%	0.02
73	75	64.55	62.66	1.89	3.02%	0.06
74	150	77.25	78.19	0.94	1.20%	0.01
77	120	72.00	74.31	2.31	3.10%	0.07
82	85	63.05	66.31	3.26	4.92%	0.16
88	150	72.20	78.19	5.99	7.66%	0.46
89	160	80.15	79.16	0.99	1.25%	0.01
91	100	68.05	70.42	2.37	3.37%	0.08
94	130	74.10	75.80	1.70	2.24%	0.04
96	200	85.05	82.07	2.98	3.63%	0.11
97	400	104.05	87.89	16.16	18.38%	2.97
101	130	76.10	75.80	0.30	0.40%	0.00
102	100	66.00	70.42	4.42	6.28%	0.28
109	85	62.05	66.31	4.26	6.43%	0.27
110	50	60.45	47.13	13.32	28.25%	3.76
115	100	65.35	70.42	5.07	7.20%	0.37
117	190	74.00	81.46	7.46	9.15%	0.68
				4.02	5.74%	10.24

Nota 1. Elaboración propia.

Nota 2. En el caso de la diferencia media y porcentual, ambas se calcularon los promedios, en el caso de chi- cuadrado es una sumatoria.

Figura 42 V85 previsto vs observado punto medio de la curva (Condición 2)



Nota. Elaboración propia.

4.4.1.3. V85 previsto vs observado punto medio de la curva Condición 3.

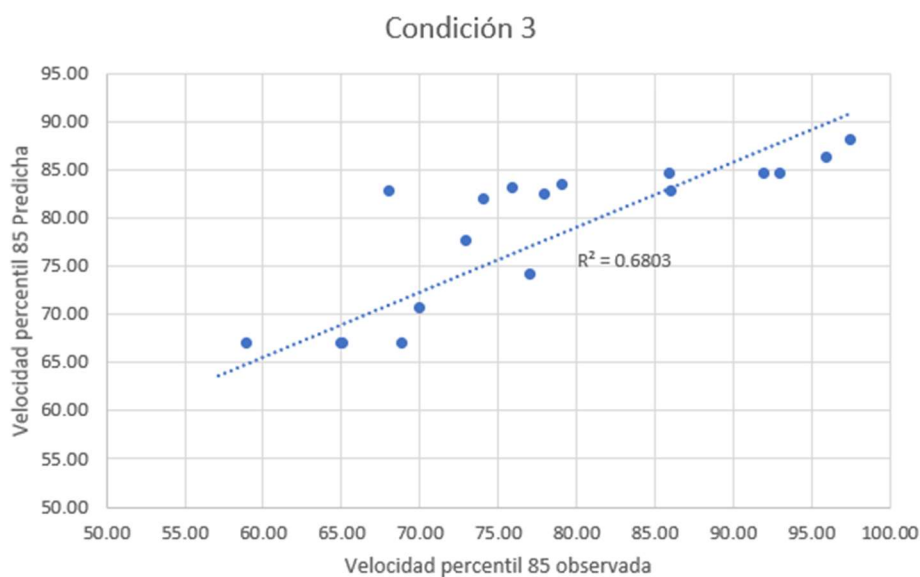
Tabla 69 Calculo diferencia promedio de velocidades y diferencia porcentual (Condición 3)

CONDICION 3						
Curva N°	Radio de Curvatura	V85 Observada	V85 Predicha	Diferencia media	Diferencia porcentual	Chi-cuadrado
1	230	78.10	82.36	4.26	5.18%	0.22
3	300	86.00	84.48	1.52	1.80%	0.03
4	218	74.15	81.86	7.71	9.42%	0.73
7	260	79.20	83.41	4.21	5.05%	0.21
12	240	68.10	82.74	14.64	17.70%	2.59
41	400	96.05	86.22	9.83	11.41%	1.12
46	240	86.10	82.74	3.36	4.06%	0.14
61	150	73.05	77.53	4.48	5.78%	0.26
65	85	65.05	66.90	1.85	2.76%	0.05
66	120	77.10	74.05	3.05	4.11%	0.13
68	85	59.05	66.90	7.85	11.73%	0.92
79	100	70.05	70.58	0.53	0.75%	0.00
80	85	65.15	66.90	1.75	2.62%	0.05
83	250	76.00	83.09	7.09	8.53%	0.60
106	300	93.05	84.48	8.57	10.15%	0.87
111	50	57.10	49.73	7.37	14.82%	1.09
112	85	69.00	66.90	2.10	3.14%	0.07
113	300	92.05	84.48	7.57	8.96%	0.68
119	600	97.55	87.95	9.60	10.91%	1.05
				5.65	7.31%	10.80

Nota 1. Elaboración propia.

Nota 2. En el caso de la diferencia media y porcentual, ambas se calcularon los promedios, en el caso de chi- cuadrado es una sumatoria.

Figura 43 V85 previsto vs observado punto medio de la curva (Condición 3)



Nota. Elaboración propia.

4.4.1.4. V85 previsto vs observado punto medio de la curva Condición 4.

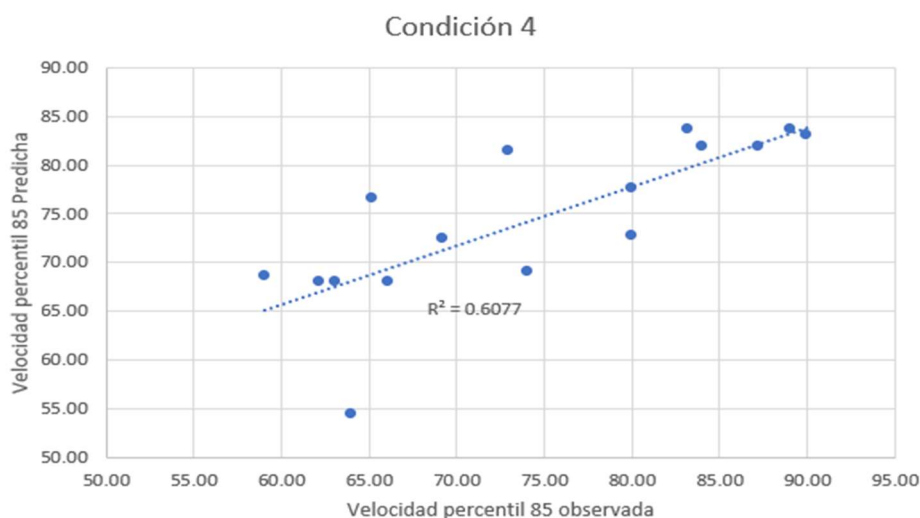
Tabla 70 V85 previsto vs observado punto medio de la curva (Condición 4)

CONDICION 4						
Curva N°	Radio de Curvatura	V85 Observada	V85 Predicha	Diferencia media	Diferencia porcentual	Chi-cuadrado
2	450	89.10	83.67	5.43	6.48%	0.35
5	440	83.20	83.59	0.39	0.47%	0.00
6	300	84.05	81.84	2.21	2.70%	0.06
11	280	73.00	81.45	8.45	10.38%	0.88
19	88	59.05	68.61	9.56	13.93%	1.33
20	170	80.05	77.64	2.41	3.10%	0.07
30	380	90.00	83.00	7.00	8.43%	0.59
33	110	69.20	72.35	3.15	4.36%	0.14
34	85	63.10	67.94	4.84	7.13%	0.35
37	152	65.20	76.49	11.29	14.76%	1.67
40	113	80.05	72.75	7.30	10.03%	0.73
52	85	62.15	67.94	5.79	8.53%	0.49
57	85	66.15	67.94	1.79	2.64%	0.05
58	50	64.05	54.37	9.68	17.80%	1.72
63	300	87.25	81.84	5.41	6.61%	0.36
105	90	74.10	69.02	5.08	7.36%	0.37
				5.61	7.79%	9.16

Nota 1. Elaboración propia.

Nota 2. En el caso de la diferencia media y porcentual, ambas se calcularon los promedios, en el caso de chi- cuadrado es una sumatoria.

Figura 44 V85 previsto vs observado punto medio de la curva (Condición 4)



Nota. Elaboración propia.

4.4.1.5. V85 previsto vs observado punto medio de la curva Condición 5.

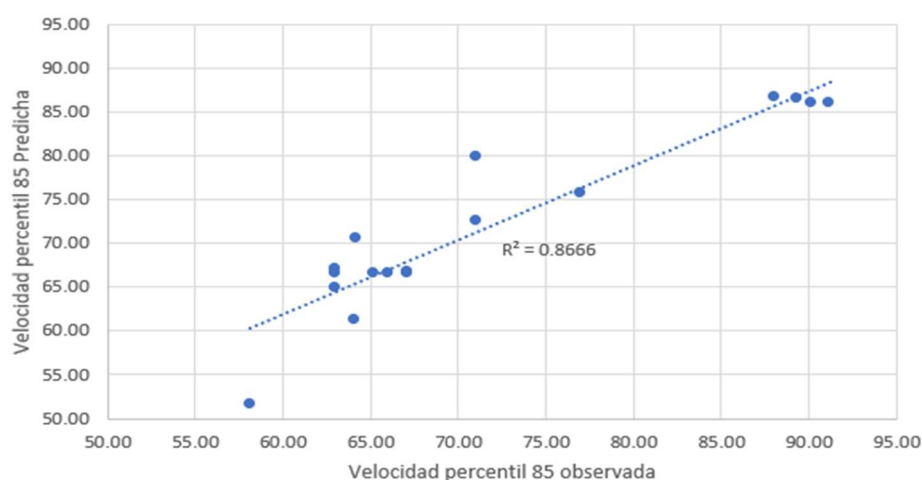
Tabla 71 V85 previsto va observado punto medio de la curva (Condición 5)

CONDICION 5						
Curva N°	Radio de Curvatura	V85 Observada	V85 Predicha	Diferencia media	Diferencia porcentual	Chi-cuadrado
10	400	90.15	85.97	4.18	4.87%	0.20
18	86	67.10	66.79	0.31	0.46%	0.00
24	70	64.10	61.21	2.89	4.72%	0.14
27	464	88.10	86.69	1.41	1.63%	0.02
32	113	71.05	72.63	1.58	2.17%	0.03
39	102	64.20	70.62	6.42	9.09%	0.58
43	185	71.10	79.86	8.76	10.97%	0.96
45	87	63.05	67.07	4.02	6.00%	0.24
62	400	91.20	85.97	5.23	6.09%	0.32
64	135	77.00	75.66	1.34	1.77%	0.02
70	80	63.00	64.96	1.96	3.02%	0.06
78	85	67.10	66.50	0.60	0.90%	0.01
87	85	65.20	66.50	1.30	1.96%	0.03
90	85	63.00	66.50	3.50	5.27%	0.18
98	53	58.15	51.58	6.57	12.73%	0.84
103	85	66.00	66.50	0.50	0.76%	0.00
118	440	89.30	86.44	2.86	3.30%	0.09
				3.14	4.45%	3.74

Nota 1. Elaboración propia.

Nota 2. En el caso de la diferencia media y porcentual, ambas se calcularon los promedios, en el caso de chi- cuadrado es una sumatoria.

Figura 45 V85 previsto vs observado punto medio de la curva (Condición 5)



Nota. Elaboración propia.

4.4.1.6. V85 previsto vs observado punto medio de la curva Condición 6.

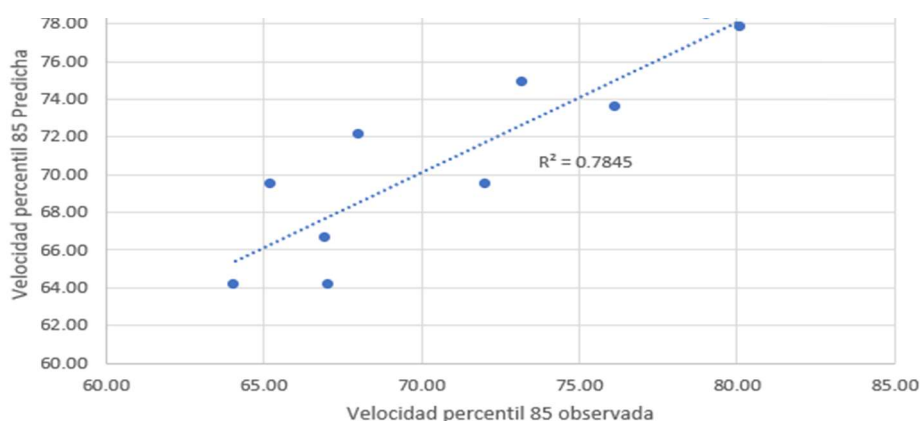
Tabla 72 V85 previsto vs observado punto medio de la curva (Condición 6)

CONDICION 6						
Curva N°	Radio de Curvatura	V85 Observada	V85 Predicha	Diferencia media	Diferencia porcentual	Chi-cuadrado
14	152	73.20	74.91	1.71	2.29%	0.04
35	230	79.05	78.48	0.57	0.73%	0.00
49	135	76.15	73.59	2.56	3.48%	0.09
50	85	67.00	66.64	0.36	0.55%	0.00
55	75	64.10	64.13	0.03	0.05%	0.00
67	100	72.05	69.45	2.60	3.74%	0.10
71	100	65.25	69.45	4.20	6.05%	0.25
75	75	67.10	64.13	2.97	4.63%	0.14
92	120	68.05	72.11	4.06	5.64%	0.23
116	210	80.15	77.81	2.34	3.00%	0.07
				2.14	3.01%	0.92

Nota 1. Elaboración propia.

Nota 2. En el caso de la diferencia media y porcentual, ambas se calcularon los promedios, en el caso de chi- cuadrado es una sumatoria.

Figura 46 V85 previsto vs observado punto medio de la curva (Condición 6)



Nota. Elaboración propia.

4.4.1.7. V85 previsto vs observado punto medio de la curva Condición 7.

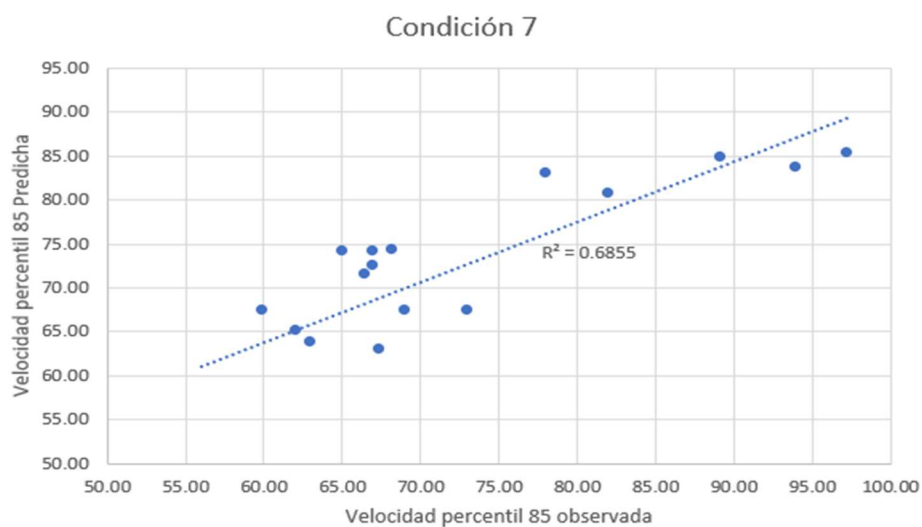
Tabla 73 V85 previsto vs observado punto medio de la curva (Condición 7)

CONDICION 7						
Curva N°	Radio de Curvatura	V85 Observada	V85 Predicha	Diferencia media	Diferencia porcentual	Chi-cuadrado
8	290	82.00	80.74	1.26	1.55%	0.02
13	152	68.20	74.36	6.16	8.28%	0.51
21	85	63.05	63.78	0.73	1.15%	0.01
25	90	62.10	65.12	3.02	4.63%	0.14
26	430	78.10	83.03	4.93	5.94%	0.29
28	695	89.15	84.84	4.31	5.08%	0.22
29	798	97.25	85.22	12.03	14.11%	1.70
31	100	60.00	67.38	7.38	10.96%	0.81
44	125	66.50	71.46	4.96	6.94%	0.34
47	133	67.00	72.44	5.44	7.51%	0.41
59	150	67.00	74.18	7.18	9.68%	0.70
69	82	67.45	62.91	4.54	7.22%	0.33
81	150	65.05	74.18	9.13	12.31%	1.12
84	100	69.10	67.38	1.72	2.55%	0.04
104	500	94.05	83.70	10.35	12.37%	1.28
107	100	73.00	67.38	5.62	8.33%	0.47
114	50	56.05	46.99	9.06	19.28%	1.75
				5.75	8.11%	10.14

Nota 1. Elaboración propia.

Nota 2. En el caso de la diferencia media y porcentual, ambas se calcularon los promedios, en el caso de chi- cuadrado es una sumatoria.

Figura 47 V85 previsto vs observado punto medio de la curva (Condición 7)



Nota. Elaboración propia.

4.4.1.8. V85 previsto vs observado punto medio de la curva Condición 8.

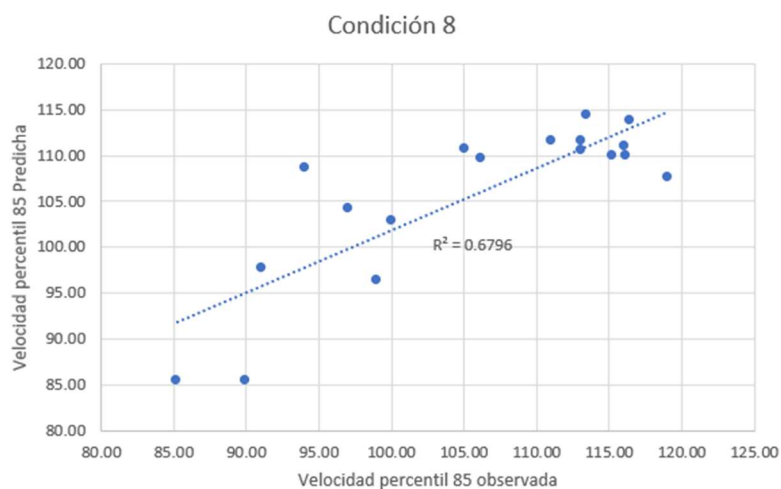
Tabla 74 V85 previsto vs observado punto medio de la curva (Condición 8)

CONDICION 8						
Curva N°	Kv	V85 Observada	V85 Predicha	Diferencia media	Diferencia porcentual	Chi-cuadrado
1	70.74	113.45	114.39	0.94	0.82%	0.01
4	60.49	116.45	113.85	2.60	2.28%	0.06
6	6.92	85.25	85.41	0.16	0.19%	0.00
8	6.91	90.00	85.36	4.64	5.43%	0.25
11	10.48	99.00	96.32	2.68	2.78%	0.07
13	31.86	113.05	110.55	2.50	2.26%	0.06
15	37.3	111.05	111.57	0.52	0.47%	0.00
20	15.17	100.00	102.88	2.88	2.80%	0.08
21	29.56	116.20	110.01	6.19	5.63%	0.35
23	29.4	115.25	109.97	5.28	4.80%	0.25
25	22.21	119.05	107.52	11.53	10.72%	1.24
27	24.86	94.05	108.59	14.54	13.39%	1.95
28	11.23	91.05	97.74	6.69	6.84%	0.46
29	32.83	105.10	110.76	5.66	5.11%	0.29
31	16.73	97.05	104.24	7.19	6.90%	0.50
34	37.23	113.10	111.56	1.54	1.38%	0.02
37	33.87	116.10	110.97	5.13	4.63%	0.24
39	28.28	106.20	109.67	3.47	3.16%	0.11
				4.67	4.42%	5.93

Nota 1. Elaboración propia.

Nota 2. En el caso de la diferencia media y porcentual, ambas se calcularon los promedios, en el caso de chi- cuadrado es una sumatoria.

Figura 48 V85 previsto vs observado punto medio de la curva (Condición 8)



Nota. Elaboración propia.

4.4.1.9. V85 previsto vs observado punto medio de la curva Condición 9.

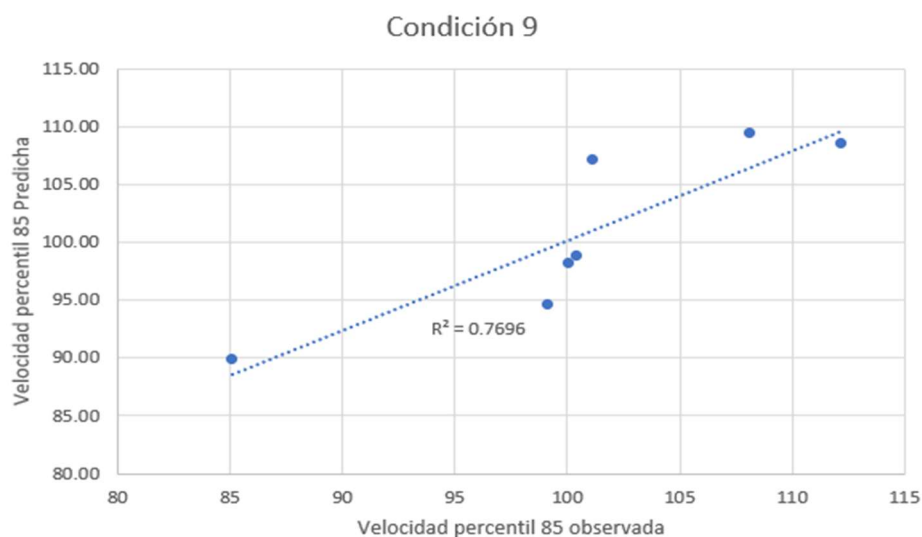
Tabla 75 V85 previsto vs observado punto medio de la curva (Condición 9)

CONDICION 9						
Curva N°	Kv	V85 Observada	V85 Predicha	Diferencia media	Diferencia porcentual	Chi-cuadrado
14	65.78	112.25	108.46	3.79	3.50%	0.13
22	53.34	100.1	98.06	2.04	2.08%	0.04
26	50.17	99.15	94.58	4.57	4.83%	0.22
32	46.42	85.1	89.86	4.76	5.30%	0.25
35	63.72	101.2	107.01	5.81	5.43%	0.32
41	67.14	108.15	109.36	1.21	1.11%	0.01
42	54.07	100.5	98.80	1.70	1.72%	0.03
				3.41	3.42%	1.01

Nota 1. Elaboración propia.

Nota 2. En el caso de la diferencia media y porcentual, ambas se calcularon los promedios, en el caso de chi- cuadrado es una sumatoria.

Figura 49 V85 previsto vs observado punto medio de la curva (Condición 4)



Nota. Elaboración propia.

4.4.1.10. V85 previsto vs observado punto medio de la curva Condición 10.

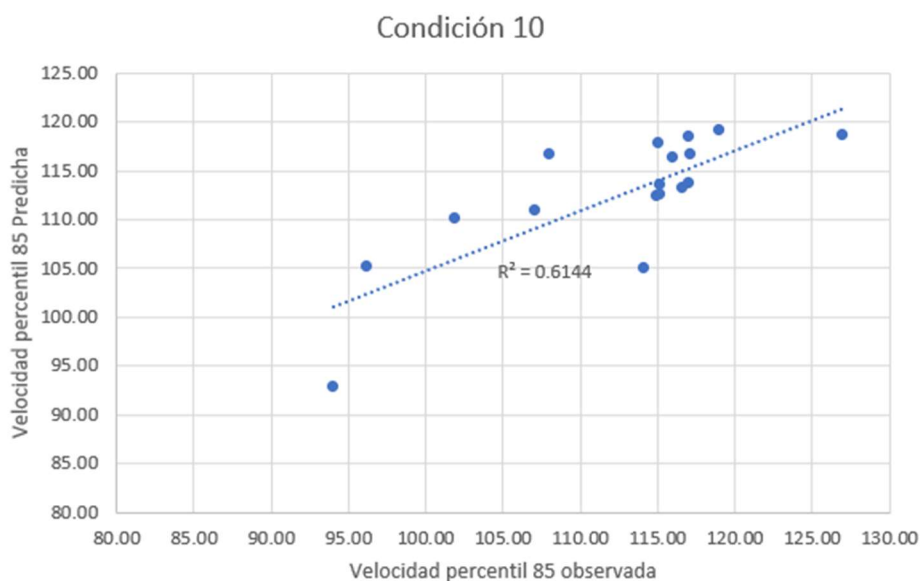
Tabla 76 V85 previsto vs observado punto medio de la curva (Condición 10)

CONDICION 10						
Curva N°	Kv	V85 Observada	V85 Predicha	Diferencia media	Diferencia porcentual	Chi-cuadrado
2	37.24	115.10	117.83	2.73	2.32%	0.06
3	33.08	108.05	116.64	8.59	7.37%	0.63
5	32.14	116.05	116.33	0.28	0.24%	0.00
7	15.87	96.25	105.11	8.86	8.43%	0.75
9	42.65	119.10	119.03	0.07	0.06%	0.00
10	25.5	115.20	113.48	1.72	1.51%	0.03
12	40.2	127.05	118.53	8.52	7.19%	0.61
16	10.21	94.05	92.83	1.22	1.32%	0.02
17	23.85	115.20	112.53	2.67	2.37%	0.06
18	15.74	114.15	104.93	9.22	8.79%	0.81
19	25.75	117.05	113.62	3.43	3.02%	0.10
24	24.81	116.70	113.10	3.60	3.18%	0.11
30	21.43	107.15	110.86	3.71	3.35%	0.12
33	23.51	115.00	112.32	2.68	2.39%	0.06
36	39.73	117.05	118.42	1.37	1.16%	0.02
38	33.2	117.15	116.68	0.47	0.40%	0.00
40	20.31	102.00	109.96	7.96	7.24%	0.58
				3.95	3.55%	3.97

Nota 1. Elaboración propia.

Nota 2. En el caso de la diferencia media y porcentual, ambas se calcularon los promedios, en el caso de chi- cuadrado es una sumatoria.

Figura 50 V85 previsto vs observado punto medio de la curva (Condición 10)



Nota. Elaboración propia.

4.4.2. Resumen de estadísticas para ecuaciones de predicción de velocidad.

Para determinar la precisión de las 10 ecuaciones, La diferencia promedio absoluta entre velocidad percentil 85 observada y predicha, Y la diferencia porcentual entre velocidad percentil 85 observada y predicha fueron calculadas de manera separada.

Se puede observar en la tabla 77 que no hay ningún resultado estadísticamente significativo para la diferencia entre el V85 observado y predicho en el punto medio de la curva, Las diez ecuaciones de predicción de velocidad funcionan bien porque varían en error porcentual absoluto medio en un rango de mínimo de 3.01 % y máximo de 8.11 % para el tramo analizado.

Tabla 77 Estadísticas para ecuaciones de predicción de velocidad.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Numero de sitios	17	23	19	16	17	10	17	18	7	17
Diferencia Media V85	4.61	4.02	5.65	5.61	3.14	2.14	5.75	4.67	3.41	3.95
Diferencia Porcentual	6.41%	5.74%	7.31%	7.79%	4.45%	3.01%	8.11%	4.42%	3.42%	3.55%
Chi-cuadrado	6.90	10.24	10.80	9.16	3.74	0.92	10.14	5.93	1.01	3.97
Chi- Cuadrado critico	27.59	35.17	30.14	26.3	27.59	18.31	27.59	28.87	14.07	27.59

Nota. Elaboración propia.

4.4.2.1. Test de Chi-cuadrado

Se realizó una prueba de Chi-cuadrado para evaluar el ajuste de las ecuaciones desarrolladas para predecir V85 en el punto medio de las curvas horizontales/verticales.

El estadístico Chi-cuadrado está determinado por:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(V85 \text{ observado}_i - V85 \text{ predicho}_i)^2}{V85 \text{ predicho}_i}$$

Si el estadístico Chi-cuadrado es mayor que el valor crítico de Chi-cuadrado tomado de un análisis estandarizado, entonces se puede concluir que existe una diferencia significativa entre lo observado y lo predicho.

Analizando los resultados obtenidos en la tabla 77 se puede concluir que no existe una diferencia significativa entre lo observado y lo predicho, ya que en ninguno de los casos el estadístico Chi-cuadrado es mayor que el valor crítico de Chi-cuadrado.

4.5. Evaluación de la consistencia del trazado.

La evaluación de la consistencia del trazado se realiza a partir de la diferencia entre la velocidad de operación obtenida al aplicar el perfil de velocidad y la velocidad de diseño. Esta discrepancia en la velocidad de operación se compara con los criterios propuestos por Lamm y Choueiri (1987) para determinar la consistencia del trazado.

Tabla 78 Intervalos y calificación de la consistencia del trazado

Intervalo	Clasificación de la consistencia
Comparando con la velocidad de diseño (Vd)	
$V_{85} - V_d \leq 10 \text{ km/h}$	Buena
$10 \text{ km/h} < V_{85} - V_d \leq 20 \text{ km/h}$	Regular
$20 \text{ km/h} < V_{85} - V_d$	Mala
Comparando velocidad entre elementos consecutivos	
$\Delta V_{85} \leq 10 \text{ km/h}$	Buena
$10 \text{ km/h} < \Delta V_{85} \leq 20 \text{ km/h}$	Regular
$\Delta V_{85} > 20 \text{ km/h}$	Mala

Nota. Adaptado de Modelos de perfil de velocidad para evaluación de consistencia del trazado en carreteras de la provincia de Villa Clara, Cuba, por García & Delgado & Díaz, 2012.

Donde:

V_{85} : Velocidad de operación en un punto dado de la vía (km/h).

V_d : Velocidad de diseño (km/h).

ΔV_{85} : Diferencia de velocidad de operación entre dos elementos consecutivos (km/h).

Los resultados identifican los lugares donde hay problemas con la consistencia del trazado, los cuales pueden ser atribuidos a una sola causa o a ambas. Esto facilita la dirección de acciones hacia estos puntos más críticos con el fin de eliminar posibles causas de accidentes. Se cuenta con el trazado en planta y perfil del tramo de carretera, junto con la velocidad de diseño (90 km/h), lo que permite determinar las condiciones de alineación para aplicar las ecuaciones de predicción de velocidad de operación.

4.5.1. Evaluación de consistencia para curvas Horizontales.

Se hizo el análisis de consistencia para las curvas horizontales en las que se tomaron mediciones de velocidad, tomando como velocidad de diseño 90 km/h, con esta velocidad de diseño, en todas las curvas se tuvo una consistencia “buena”.

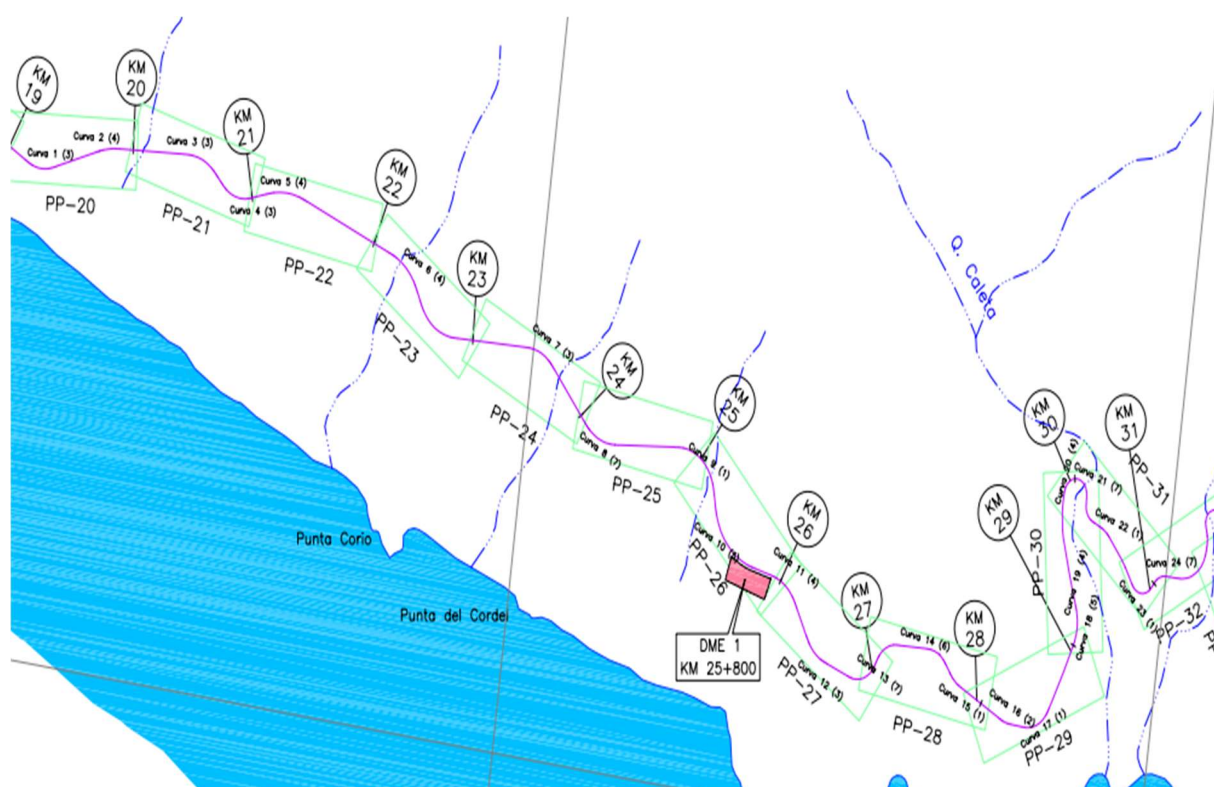
Tabla 79 Evaluación de consistencia de trazado - Carretera PE 1SD - Tramo La Punta
– Ilo. Curvas Horizontales 1-40.

Carretera PE 1SD - Tramo La Punta - Ilo										
Segmento	Alineación en planta		Alineación en perfil			Condición	Velocidad de diseño Vd	Velocidad de operación V85	ΔV/85-Vd	Longitud
1	Curva Horizontal	230	0.53%	19+213.737	19+325.428	3	90	82.36	-7.64	111.69
2	Curva Horizontal	450	5.93%	19+772.277	19+838.326	4	90	83.67	-6.33	66.05
3	Curva Horizontal	300	3.10%	20+459.132	20+623.622	3	90	84.48	-5.52	164.49
4	Curva Horizontal	218	2.26%	20+791.913	20+943.883	3	90	81.86	-8.14	151.97
5	Curva Horizontal	440	4.55%	21+169.912	21+362.841	4	90	83.59	-6.41	192.93
6	Curva Horizontal	300	5.16%	22+568.214	22+813.959	4	90	81.84	-8.16	245.74
7	Curva Horizontal	260	1.36%	23+466.089	23+601.317	3	90	83.41	-6.59	135.23
8	Curva Horizontal	290	-	24+105.567	24+284.596	7	90	80.74	-9.26	179.03
9	Curva Horizontal	276.5	-7.52%	24+853.149	25+165.010	1	90	83.36	-6.64	311.86
10	Curva Horizontal	400	-	25+352.241	25+729.008	5	90	85.97	-4.03	376.77
11	Curva Horizontal	280	7.00%	25+969.042	26+126.918	4	90	81.45	-8.55	157.88
12	Curva Horizontal	240	3.32%	26+441.571	26+539.044	3	90	82.74	-7.26	97.47
13	Curva Horizontal	152	-	26+814.548	26+992.511	7	90	74.36	-15.64	177.96
14	Curva Horizontal	152	-1.37%	27+082.626	27+211.848	6	90	74.91	-15.09	129.22
15	Curva Horizontal	175	-5.00%	27+502.117	27+609.373	1	90	80.15	-9.85	107.26
16	Curva Horizontal	190	-2.43%	27+745.020	27+781.606	2	90	81.46	-8.54	36.59
17	Curva Horizontal	175	-6.86%	28+388.365	28+550.931	1	90	80.15	-9.85	162.57
18	Curva Horizontal	85.5	-	29+909.371	30+124.486	5	90	66.65	-23.35	215.12
19	Curva Horizontal	88	6.95%	30+229.372	30+288.907	4	90	68.61	-21.39	59.53
20	Curva Horizontal	170	6.42%	30+410.699	30+440.539	4	90	77.64	-12.36	29.84
21	Curva Horizontal	85	-	30+820.082	30+940.026	7	90	63.78	-26.22	119.94
22	Curva Horizontal	85	-5.27%	31+037.521	31+075.485	1	90	70.88	-19.12	37.96
23	Curva Horizontal	185.2	-5.87%	31+233.427	31+464.316	1	90	80.63	-9.37	230.89
24	Curva Horizontal	70	-	31+664.092	31+833.460	5	90	61.21	-28.79	169.37
25	Curva Horizontal	90	-	32+459.031	32+530.031	7	90	65.12	-24.88	71.00
26	Curva Horizontal	430	-	34+268.169	34+347.616	7	90	83.03	-6.97	79.45
27	Curva Horizontal	464	-	35+705.480	35+861.903	5	90	86.69	-3.31	156.42
28	Curva Horizontal	695.332	-	35+863.781	36+057.097	7	90	84.84	-5.16	193.32
29	Curva Horizontal	797.624	-	38+630.835	39+230.285	7	90	85.22	-4.78	599.45
30	Curva Horizontal	380	6.57%	40+003.829	40+077.750	4	90	83.00	-7.00	73.92
31	Curva Horizontal	100	-	40+421.935	40+459.701	7	90	67.38	-22.62	37.77
32	Curva Horizontal	112.5	-	40+925.098	41+136.225	5	90	72.55	-17.45	211.13
33	Curva Horizontal	110	5.20%	41+408.958	41+431.168	4	90	72.35	-17.65	22.21
34	Curva Horizontal	85	8.00%	41+725.388	41+878.192	4	90	67.94	-22.06	152.80
35	Curva Horizontal	230	8.00%	42+072.412	42+106.027	6	90	78.48	-11.52	33.61
36	Curva Horizontal	85	-3.61%	42+645.599	42+711.454	2	90	66.31	-23.69	65.85
37	Curva Horizontal	152	7.64%	42+956.032	43+060.128	4	90	76.49	-13.51	104.10
38	Curva Horizontal	108	-5.06%	43+521.260	43+625.595	1	90	74.72	-15.28	104.33
39	Curva Horizontal	102	-	43+929.155	44+055.367	5	90	70.62	-19.38	126.21
40	Curva Horizontal	113	5.45%	44+353.311	44+477.399	4	90	72.75	-17.25	124.09

Nota 1. Elaboración propia.

Nota 2. En color verde se muestran las consistencias del trazado evaluadas como “buena”, en amarillo las evaluadas como “regular” y en rojo las evaluadas como “malas”.

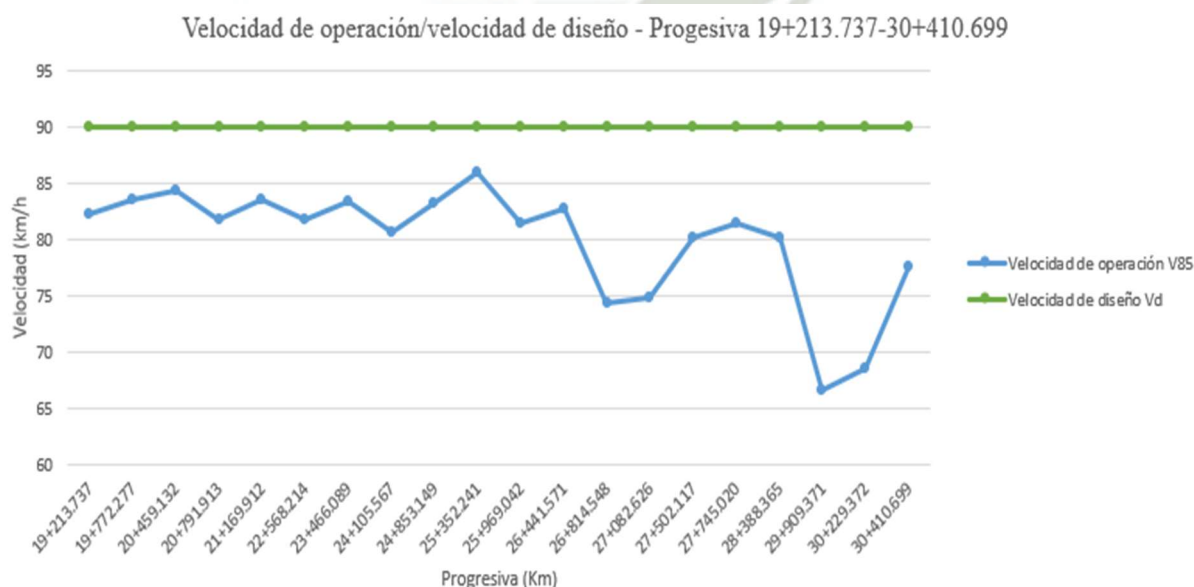
Figura 51 Esquema del tramo de carretera Tramo La Punta – Ilo, Progresiva Km 19 – Km



Nota 1. Obtenido de Estudio definitivo de la carretera Camana-Dv. Quilca-Matarani-Ilo-Tacna. Por SIGT S.A Ingenieros consultores, 2009.

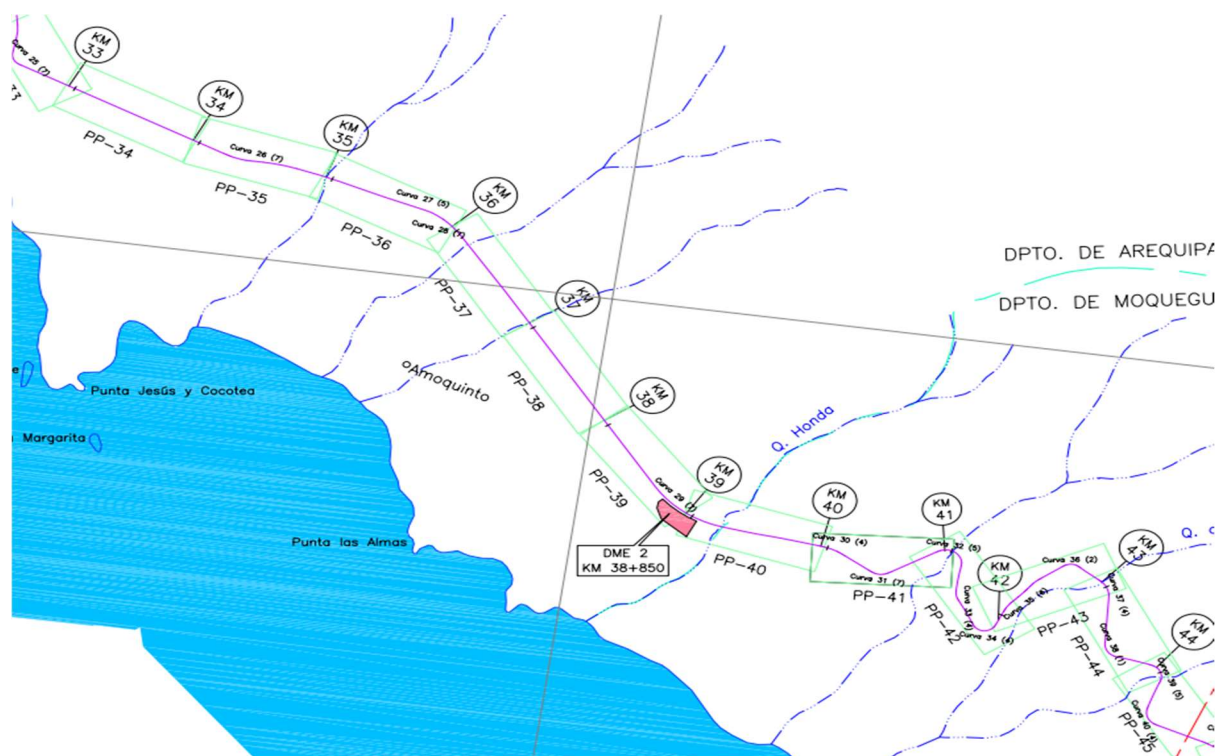
Nota 2. Entre paréntesis se especifica a que condición pertenece cada curva.

Figura 52 Evaluación de consistencia de trazado - Carretera PE 1SD - Tramo La Punta – Ilo, Curvas Horizontales. Progresiva 19+213.737-30+410.699.



Nota. Elaboración propia.

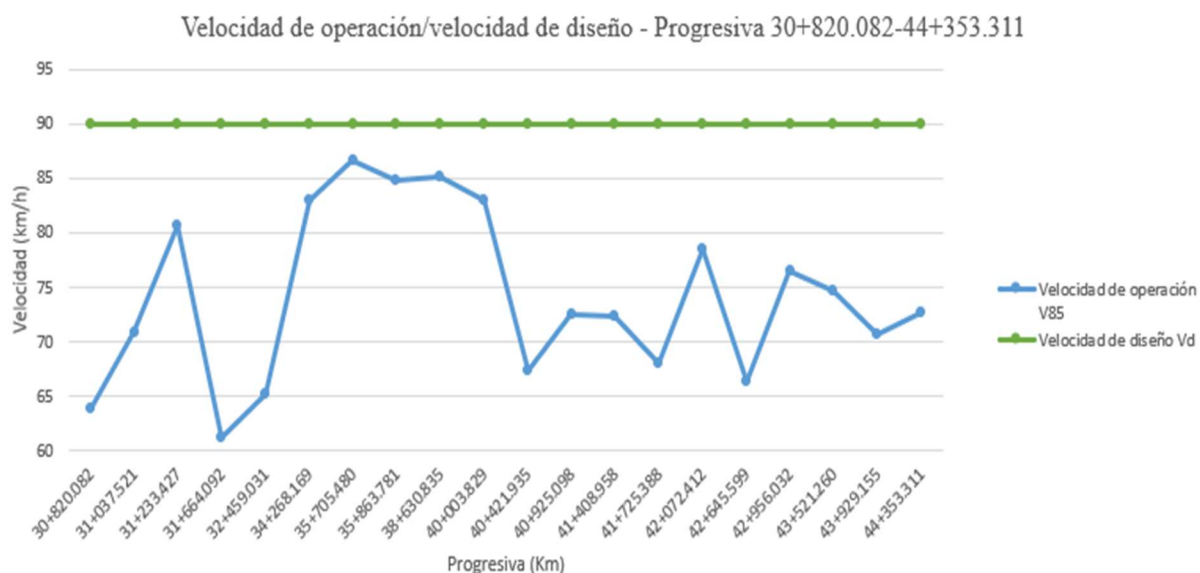
Figura 53 Esquema del tramo de carretera Tramo La Punta – Ilo, Progresiva Km 33 – Km 45



Nota 1. Obtenido de Estudio definitivo de la carretera Camana-Dv. Quilca-Matarani-Ilo-Tacna. Por SIGT S.A Ingenieros consultores, 2009.

Nota 2. Entre paréntesis se especifica a que condición pertenece cada curva.

Figura 54 Evaluación de consistencia de trazado - Carretera PE 1SD - Tramo La Punta – Ilo, Curvas Horizontales. Progresiva 30+820.082-44+353.311.



Nota. Elaboración propia.

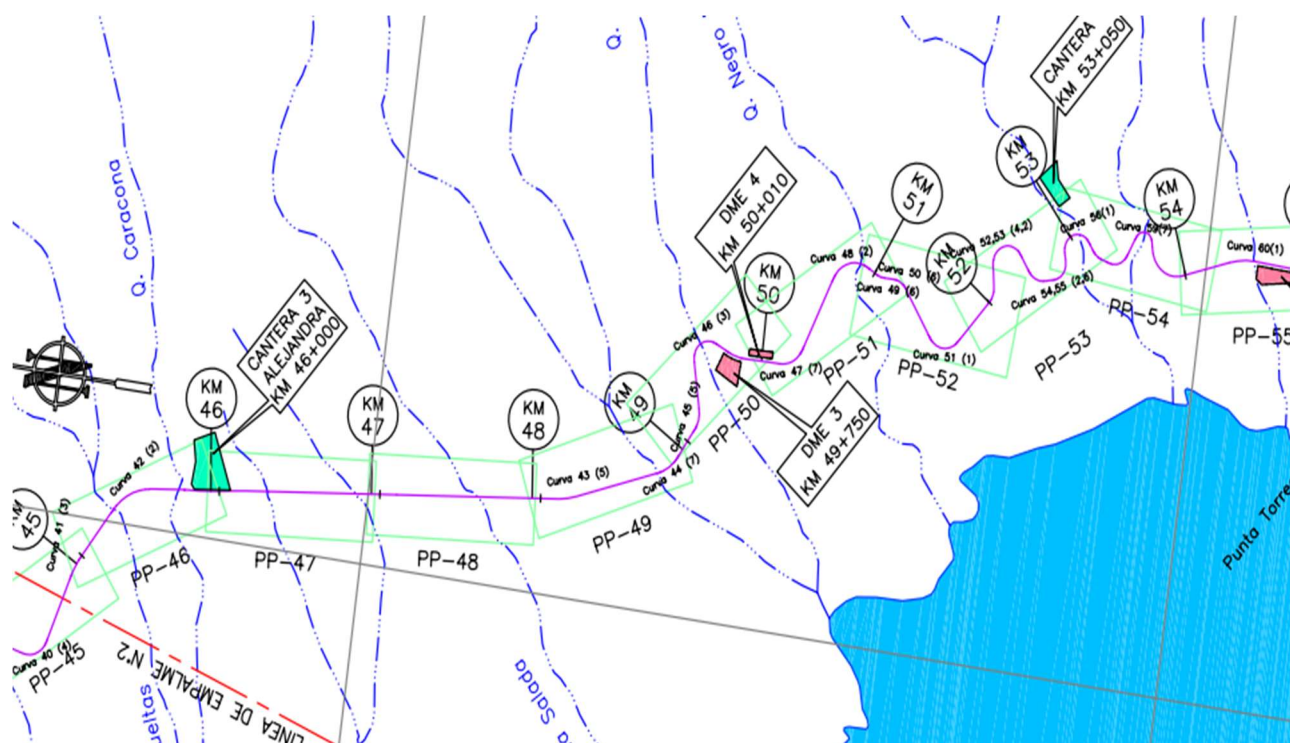
Tabla 80 Evaluación de consistencia de trazado - Carretera PE 1SD - Tramo La Punta – Ilo. Curvas Horizontales 41-80

Segmento	Alineación en planta		Alineación en perfil			Condición	Velocidad de diseño Vd	Velocidad de operación V85	ΔV85-Vd	Longitud
Curva	Tipo	Radio	Pendiente	Progresiva				(km/m)		
				Inicial	Final					
41	Curva Horizontal	400	2.80%	44+904.305	44+961.859	3	90	86.22	-3.78	57.55
42	Curva Horizontal	290	-2.82%	45+334.940	45+541.119	2	90	85.68	-4.32	206.18
43	Curva Horizontal	185	-	48+782.601	48+861.561	5	90	79.86	-10.14	78.96
44	Curva Horizontal	125	-	49+107.324	49+151.607	7	90	71.46	-18.54	44.28
45	Curva Horizontal	86.5	-	49+470.484	49+611.900	5	90	66.93	-23.07	141.42
46	Curva Horizontal	240	2.94%	49+761.851	49+809.085	3	90	82.74	-7.26	47.23
47	Curva Horizontal	133.065	-	50+140.577	50+256.435	7	90	72.45	-17.55	115.86
48	Curva Horizontal	145	-0.53%	50+725.656	50+922.642	2	90	77.65	-12.35	196.99
49	Curva Horizontal	135	-0.53%	51+025.088	51+048.851	6	90	73.59	-16.41	23.76
50	Curva Horizontal	85	-4.07%	51+156.267	51+187.667	6	90	66.64	-23.36	31.40
51	Curva Horizontal	105	-4.07%	51+539.011	51+688.070	1	90	74.31	-15.69	149.06
52	Curva Horizontal	85	6.62%	52+028.155	52+056.936	4	90	67.94	-22.06	28.78
53	Curva Horizontal	90.7	-2.29%	52+228.474	52+423.793	2	90	68.04	-21.96	195.32
54	Curva Horizontal	100	-2.29%	52+576.274	52+639.777	2	90	70.42	-19.58	63.50
55	Curva Horizontal	75	-4.97%	52+760.162	52+838.059	6	90	64.13	-25.87	77.90
56	Curva Horizontal	75	-6.43%	52+940.071	53+100.789	1	90	68.48	-21.52	160.72
57	Curva Horizontal	85	4.54%	53+329.279	53+405.680	4	90	67.94	-22.06	76.40
58	Curva Horizontal	50	4.54%	53+567.948	53+653.715	4	90	54.37	-35.63	85.77
59	Curva Horizontal	150		53+747.110	53+958.488	7	90	74.18	-15.82	211.38
60	Curva Horizontal	400	-4.20%	54+282.570	54+439.189	1	90	85.07	-4.93	156.62
61	Curva Horizontal	150	1.70%	54+918.327	55+037.316	3	90	77.53	-12.47	118.99
62	Curva Horizontal	400	-	55+464.573	55+554.341	5	90	85.97	-4.03	89.77
63	Curva Horizontal	300	5.83%	55+664.524	55+765.009	4	90	81.84	-8.16	100.49
64	Curva Horizontal	135	-	56+373.745	56+642.700	5	90	75.66	-14.34	268.96
65	Curva Horizontal	85	1.81%	56+770.275	56+947.263	3	90	66.90	-23.10	176.99
66	Curva Horizontal	120	1.81%	57+086.494	57+130.748	3	90	74.05	-15.95	44.25
67	Curva Horizontal	100	1.84%	57+775.358	57+822.113	6	90	69.45	-20.55	46.75
68	Curva Horizontal	85	1.84%	57+930.307	58+021.971	3	90	66.90	-23.10	91.66
69	Curva Horizontal	82		58+123.193	58+269.605	7	90	62.91	-27.09	146.41
70	Curva Horizontal	80	-	58+424.401	58+581.502	5	90	64.96	-25.04	157.10
71	Curva Horizontal	100	1.01%	59+057.923	59+148.027	6	90	69.45	-20.55	90.10
72	Curva Horizontal	85	-3.43%	59+326.736	59+383.857	2	90	66.31	-23.69	57.12
73	Curva Horizontal	75	-3.43%	59+500.663	59+659.425	2	90	62.66	-27.34	158.76
74	Curva Horizontal	150	-3.43%	59+948.371	59+981.285	2	90	78.19	-11.81	32.91
75	Curva Horizontal	75	-3.43%	60+112.907	60+251.079	6	90	64.13	-25.87	138.17
76	Curva Horizontal	120	-4.70%	60+440.459	60+490.857	1	90	76.14	-13.86	50.40
77	Curva Horizontal	120	-3.44%	60+762.059	60+786.009	2	90	74.31	-15.69	23.95
78	Curva Horizontal	85	-	60+914.912	61+039.044	5	90	66.50	-23.50	124.13
79	Curva Horizontal	100	3.28%	61+222.010	61+293.945	3	90	70.58	-19.42	71.94
80	Curva Horizontal	85	3.28%	61+477.464	61+554.920	3	90	66.90	-23.10	77.46

Nota 1. Elaboración propia.

Nota 2. En color verde se muestran las consistencias del trazado evaluadas como “buena”, en amarillo las evaluadas como “regular” y en rojo las evaluadas como “malas”.

Figura 55 Esquema del tramo de carretera Tramo La Punta – Ilo, Progresiva Km 45- Km 54.



Nota 1. Obtenido de Estudio definitivo de la carretera Camana-Dv. Quilca-Matarani-Ilo-Tacna. Por SIGT S.A Ingenieros consultores, 2009

Nota 2. Entre paréntesis se especifica a que condición pertenece cada curva

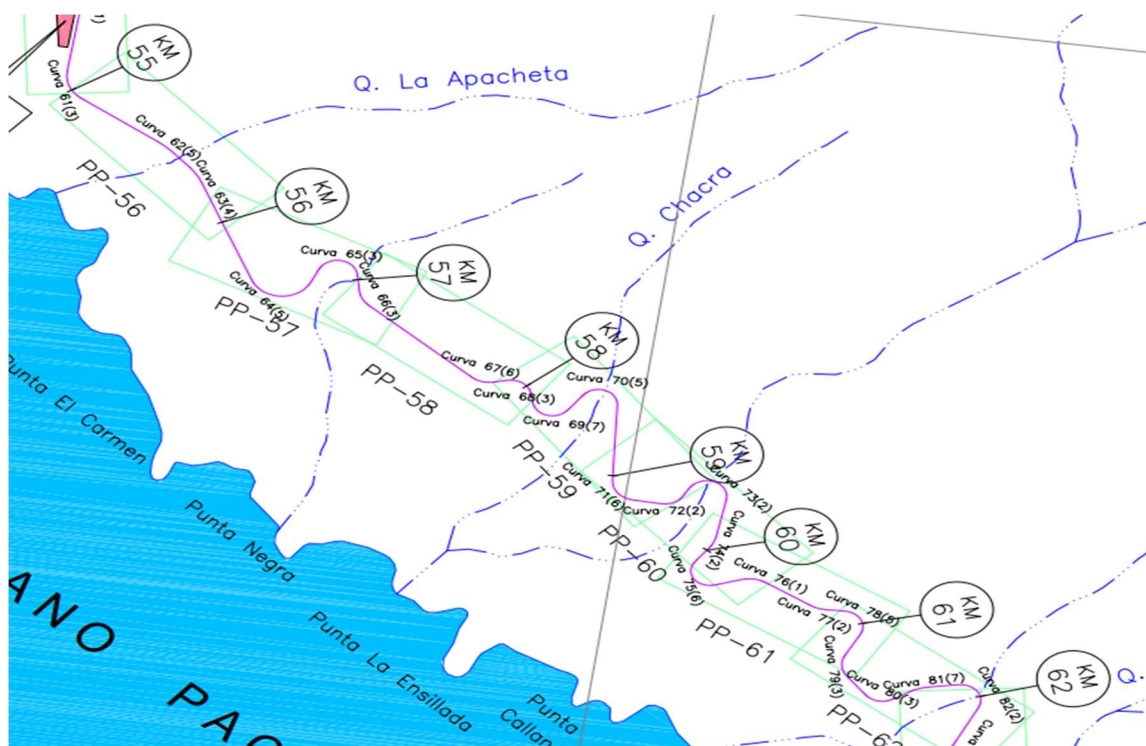
Figura 56 Evaluación de consistencia de trazado - Carretera PE 1SD - Tramo La Punta – Ilo, Curvas Horizontales. Progresiva 44+904.305-54+282.570.



Nota. Elaboración propia.

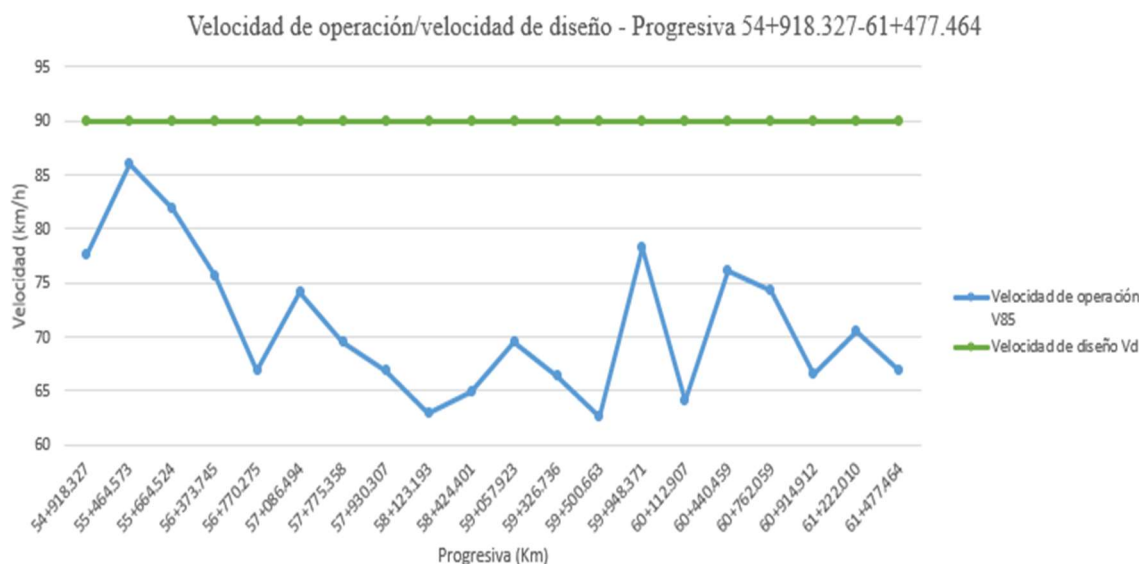
Figura 57 Esquema del tramo de carretera Tramo La Punta – Ilo, Progresiva Km 55-61 Km.

Nota 1. Obtenido de Estudio definitivo de la carretera Camana-Dv. Quilca-Matarani-Ilo-Tacna. Por SIGT S.A Ingenieros consultores, 2009



Nota 2. Entre paréntesis se especifica a que condición pertenece cada curva

Figura 58 Evaluación de consistencia de trazado - Carretera PE 1SD - Tramo La Punta – Ilo, Curvas Horizontales. Progresiva 54+918.327-61+477.464.



Nota. Elaboración propia.

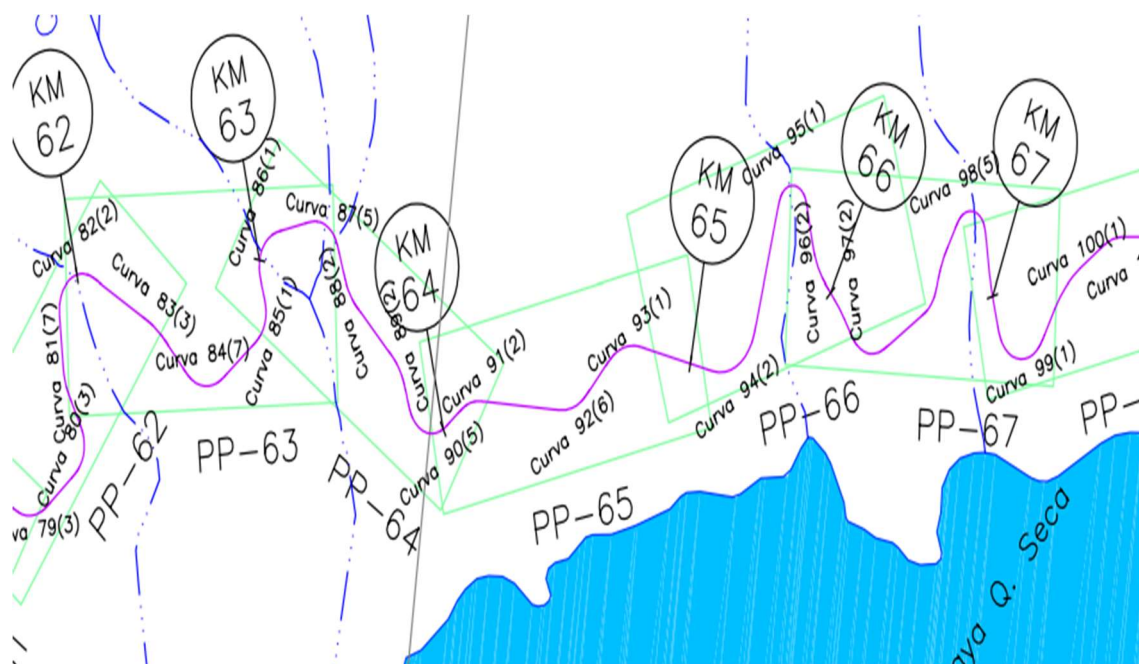
Tabla 81 Evaluación de consistencia de trazado - Carretera PE 1SD - Tramo La Punta – Ilo.
Curvas Horizontales 81-119

Segmento	Alineación en planta		Alineación en perfil			Condición	Velocidad de diseño Vd	Velocidad de operación V85	ΔV85-Vd	Longitud
Curva	Tipo	Radio	Pendiente	Progresiva						
				Inicial	Final					
81	Curva Horizontal	150		61+694.193	61+716.055	7	90	74.18	-15.82	21.86
82	Curva Horizontal	85	-0.14%	61+900.307	62+038.642	2	90	66.31	-23.69	138.33
83	Curva Horizontal	250	1.66%	62+313.254	62+346.972	3	90	83.09	-6.91	33.72
84	Curva Horizontal	100		62+511.319	62+608.091	7	90	67.38	-22.62	96.77
85	Curva Horizontal	85	-5.00%	62+810.887	62+872.413	1	90	70.88	-19.12	61.53
86	Curva Horizontal	82	-5.00%	62+983.194	63+075.610	1	90	70.22	-19.78	92.42
87	Curva Horizontal	85	-	63+251.257	63+328.960	5	90	66.50	-23.50	77.70
88	Curva Horizontal	150	-2.11%	63+465.983	63+495.754	2	90	78.19	-11.81	29.77
89	Curva Horizontal	160	-2.11%	63+723.175	63+760.851	2	90	79.16	-10.84	37.68
90	Curva Horizontal	85	-	63+870.887	63+986.493	5	90	66.50	-23.50	115.61
91	Curva Horizontal	100	0.47%	64+105.833	64+136.318	2	90	70.42	-19.58	30.49
92	Curva Horizontal	120	-0.47%	64+479.830	64+537.910	6	90	72.11	-17.89	58.08
93	Curva Horizontal	120	-4.97%	64+708.764	64+784.305	1	90	76.14	-13.86	75.54
94	Curva Horizontal	130	-2.60%	65+110.716	65+257.014	2	90	75.80	-14.20	146.30
95	Curva Horizontal	50	-4.08%	65+642.292	65+734.069	1	90	58.26	-31.74	91.78
96	Curva Horizontal	200	-3.33%	65+891.077	65+952.051	2	90	82.07	-7.93	60.97
97	Curva Horizontal	400	-2.28%	66+021.467	66+081.330	2	90	87.89	-2.11	59.86
98	Curva Horizontal	53	-	66+727.479	66+812.469	5	90	51.58	-38.42	84.99
99	Curva Horizontal	85	-4.95%	67+121.948	67+266.184	1	90	70.88	-19.12	144.24
100	Curva Horizontal	300	-6.50%	67+390.740	67+528.492	1	90	83.80	-6.20	137.75
101	Curva Horizontal	130	-2.77%	67+652.318	67+687.159	2	90	75.80	-14.20	34.84
102	Curva Horizontal	100	-3.62%	68+127.056	68+176.382	2	90	70.42	-19.58	49.33
103	Curva Horizontal	85	-	68+400.809	68+435.131	5	90	66.50	-23.50	34.32
104	Curva Horizontal	500		73+332.159	73+445.717	7	90	83.70	-6.30	113.56
105	Curva Horizontal	90	4.34%	73+986.703	74+017.048	4	90	69.02	-20.98	30.34
106	Curva Horizontal	300	3.90%	75+469.353	75+545.384	3	90	84.48	-5.52	76.03
107	Curva Horizontal	85		76+328.464	76+366.931	7	90	63.78	-26.22	38.47
108	Curva Horizontal	50	-4.39%	76+459.393	76+479.906	1	90	58.26	-31.74	20.51
109	Curva Horizontal	85	-0.62%	76+753.032	76+797.067	2	90	66.31	-23.69	44.03
110	Curva Horizontal	50	-2.16%	76+858.531	76+898.322	2	90	47.13	-42.87	39.79
111	Curva Horizontal	50	1.29%	77+146.609	77+184.679	3	90	49.73	-40.27	38.07
112	Curva Horizontal	85	0.04%	77+263.616	77+313.309	3	90	66.90	-23.10	49.69
113	Curva Horizontal	300	5.00%	77+393.312	77+477.492	3	90	84.48	-5.52	84.18
114	Curva Horizontal	50		77+676.995	77+693.553	7	90	46.99	-43.01	16.56
115	Curva Horizontal	100	-3.07%	77+763.909	77+790.523	2	90	70.42	-19.58	26.61
116	Curva Horizontal	210	3.34%	79+854.575	80+033.501	6	90	77.81	-12.19	178.93
117	Curva Horizontal	190	-2.89%	80+316.366	80+389.608	2	90	81.46	-8.54	73.24
118	Curva Horizontal	440	-	83+033.803	83+216.590	5	90	86.44	-3.56	182.79
119	Curva Horizontal	600	0.20%	84+409.206	84+622.471	3	90	87.95	-2.05	213.27

Nota 1. Elaboración propia.

Nota 2. En color verde se muestran las consistencias del trazado evaluadas como “buena”, en amarillo las evaluadas como “regular” y en rojo las evaluadas como “malas”.

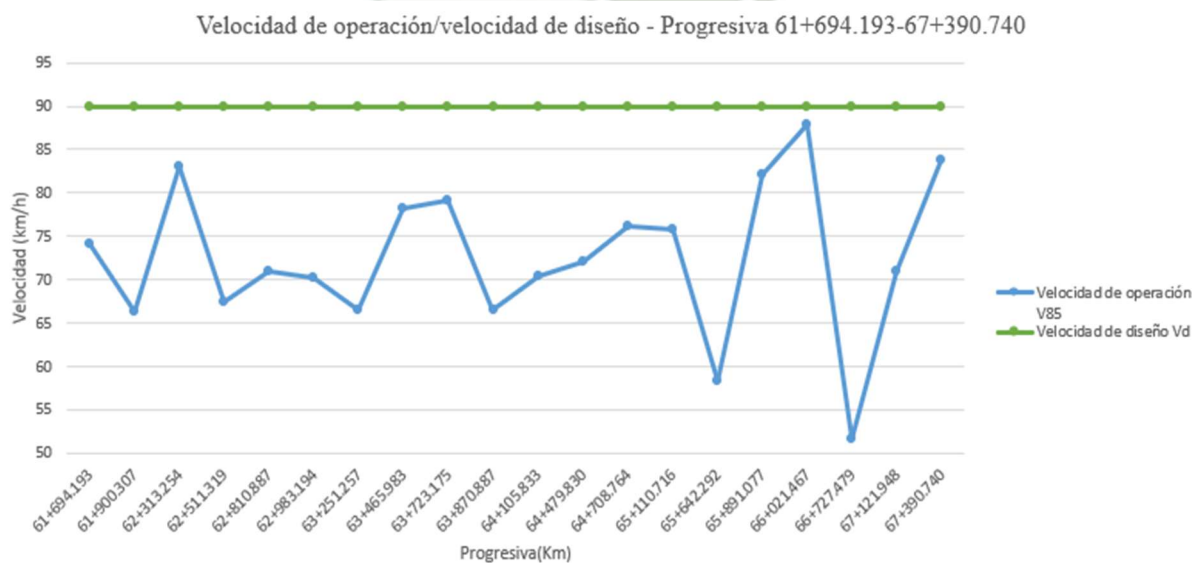
Figura 59 Esquema del tramo de carretera Tramo La Punta – Ilo, Progresiva Km 61- Km 67



Nota 1. Obtenido de Estudio definitivo de la carretera Camana-Dv. Quilca-Matarani-Ilo-Tacna. Por SIGT S.A Ingenieros consultores, 2009

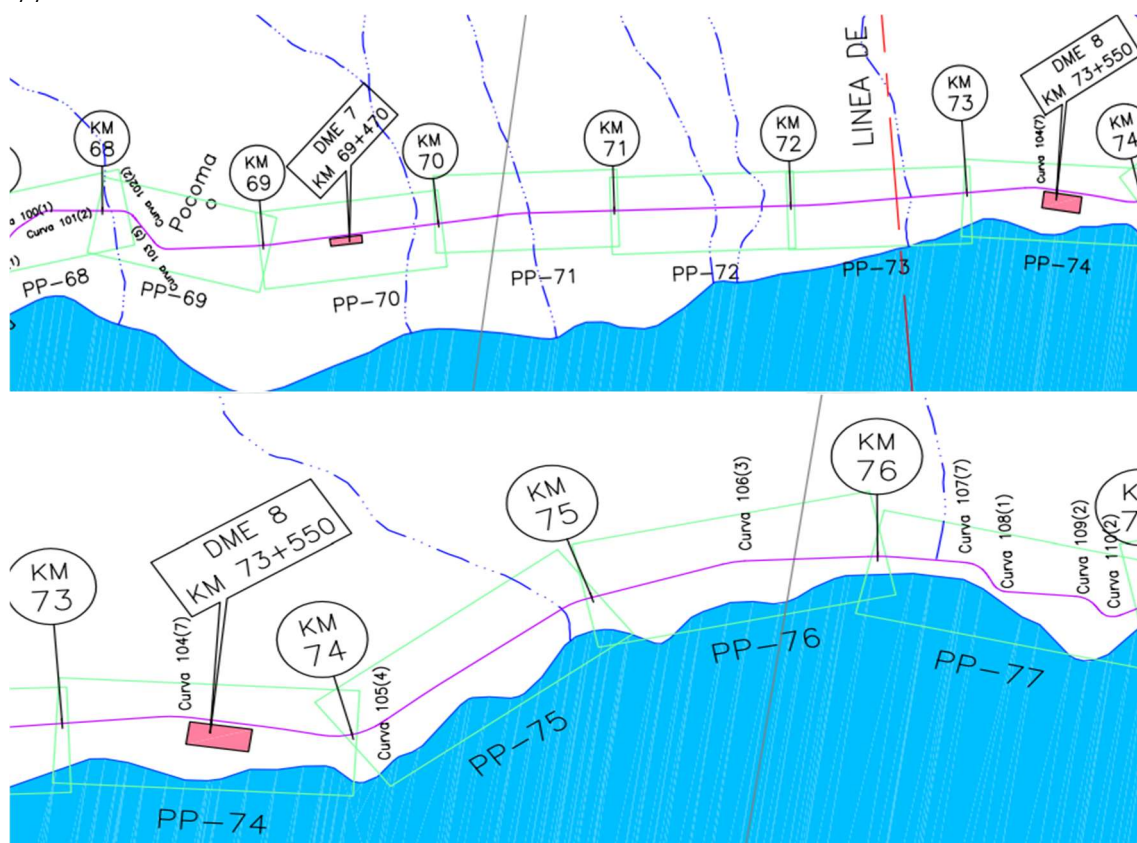
Nota 2. Entre paréntesis se especifica a que condición pertenece cada curva

Figura 60 Evaluación de consistencia de trazado - Carretera PE 1SD - Tramo La Punta – Ilo, Curvas Horizontales. Progresiva 61+694.192-67+390.740.



Nota. Elaboración propia.

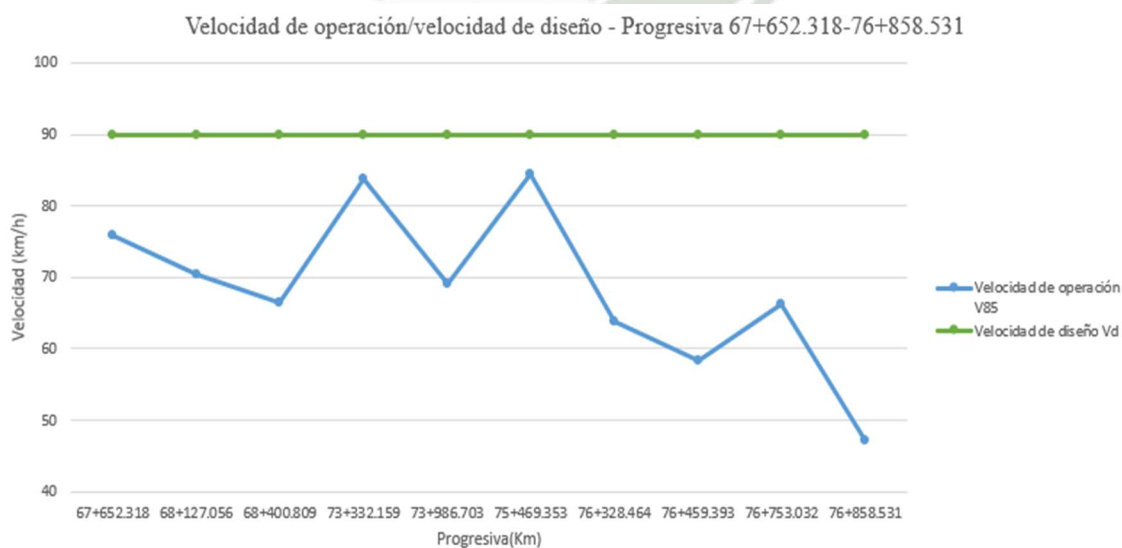
Figura 61 Esquema del tramo de carretera Tramo La Punta – Ilo, Progresiva Km 68- Km 77



Nota 1. Obtenido de Estudio definitivo de la carretera Camana-Dv. Quilca-Matarani-Ilo-Tacna. Por SIGT S.A Ingenieros consultores, 2009

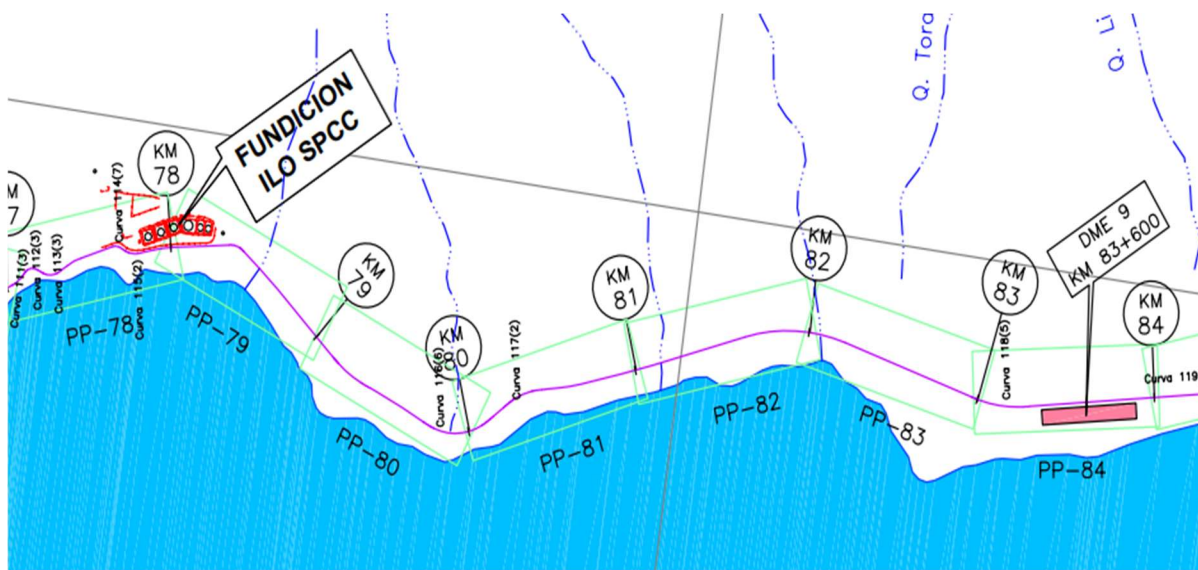
Nota 2. Entre paréntesis se especifica a que condición pertenece cada curva

Figura 62 Evaluación de consistencia de trazado - Carretera PE 1SD - Tramo La Punta – Ilo, Curvas Horizontales. Progresiva 67+652.318-76+858.531.



Nota. Elaboración propia.

Figura 63 Esquema del tramo de carretera Tramo La Punta – Ilo, Progresiva Km 77- Km 84

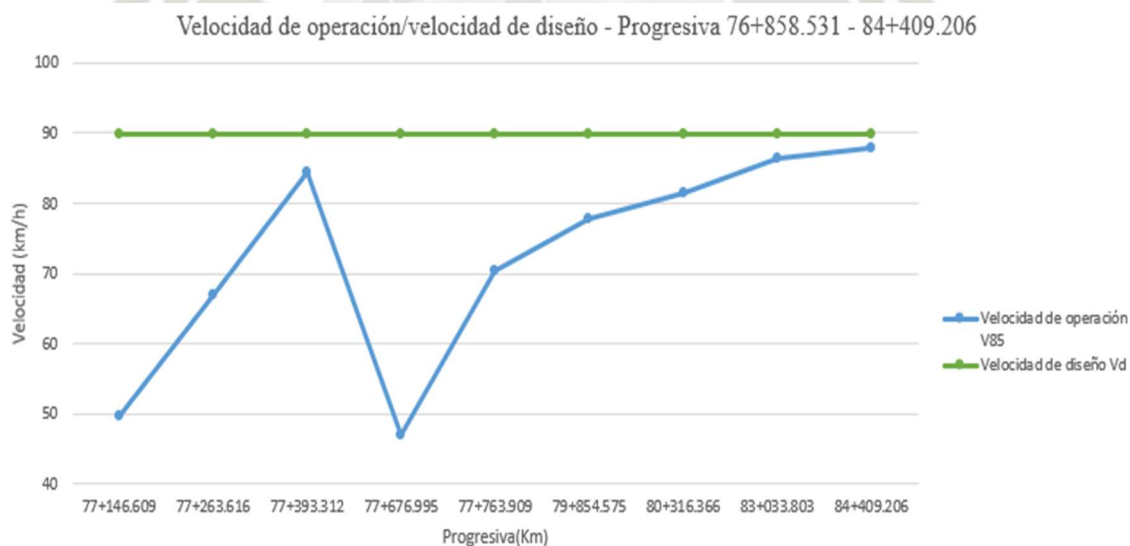


Nota 1. Obtenido de Estudio definitivo de la carretera Camana-Dv. Quilca-Matarani-Ilo-Tacna. Por SIGT S.A Ingenieros consultores, 2009

Nota 2. Entre paréntesis se especifica a que condición pertenece cada curva

Nota. Elaboración propia.

Figura 64 Evaluación de consistencia de trazado - Carretera PE 1SD - Tramo La Punta – Ilo, Curvas Horizontales. Progresiva 76+858.531-84+409.206.



En el caso de las curvas horizontales, todas las curvas obtuvieron una consistencia clasificada como “buena”, esto teniendo en cuenta que la velocidad de diseño de la carretera es 90 km/h.

4.5.2. Evaluación de consistencia para curvas Verticales.

Para el caso de las curvas Verticales, se realizó también un análisis de consistencia de trazado, en este caso hubo curvas en las cuales se obtuvo clasificaciones de consistencia “Regular” y “Mala”.

La tabla obtenida demuestran los lugares donde existen dificultades con la consistencia del trazado permite dirigir acciones hacia estos puntos más críticos para eliminar posibles causas de accidentes.

Tabla 82 Evaluación de consistencia de trazado - Carretera PE 1SD - Tramo La Punta – Ilo. Curvas Verticales 1-42

Carretera PE 1SD - Tramo La Punta - Ilo									
Segmento	Alineación en planta		Alineación en perfil		Condición	Vd	Velocidad de operación V85	$\Delta V85-vd$	Longitud
Curva	Tipo	K	Progresiva				(km/m)	(km/m)	
			Inicial	Final			(km/m)	(m)	
1	Curva Vertical	70.74	19+350	19+850	8	90	114.39	24.39	500.00
2	Curva Vertical	37.24	24+790	24+920	10	90	117.55	27.55	130.00
3	Curva Vertical	33.08	28+660	28+840	10	90	116.37	26.37	180.00
4	Curva Vertical	60.49	33+051	33+203	8	90	113.85	23.85	152.00
5	Curva Vertical	32.14	33+260	33+480	10	90	116.06	26.06	220.00
6	Curva Vertical	6.92	34+470	34+590	8	90	85.41	-4.59	120.00
7	Curva Vertical	15.87	34+660	34+760	10	90	104.84	14.84	100.00
8	Curva Vertical	6.91	34+931	35+021	8	90	85.36	-4.64	90.00
9	Curva Vertical	42.65	35+170	35+550	10	90	118.75	28.75	380.00
10	Curva Vertical	25.5	36+090	36+270	10	90	113.21	23.21	180.00
11	Curva Vertical	10.48	36+550	36+670	8	90	96.32	6.32	120.00
12	Curva Vertical	40.2	36+790	36+970	10	90	118.25	28.25	180.00
13	Curva Vertical	31.86	37+310	37+450	8	90	110.55	20.55	140.00
14	Curva Vertical	65.78	37+980	38+300	9	90	108.46	18.46	320.00
15	Curva Vertical	37.3	38+370	38+620	8	90	111.57	21.57	250.00
16	Curva Vertical	10.21	39+170	39+270	10	90	92.55	2.55	100.00
17	Curva Vertical	23.85	39+410	39+570	10	90	112.25	22.25	160.00
18	Curva Vertical	15.74	43+110	43+390	10	90	104.65	14.65	280.00
19	Curva Vertical	25.75	45+010	45+210	10	90	113.34	23.34	200.00
20	Curva Vertical	15.17	45+680	45+780	8	90	102.88	12.88	100.00
21	Curva Vertical	29.56	46+250	46+370	8	90	110.01	20.01	120.00
22	Curva Vertical	53.34	46+460	46+720	9	90	98.06	8.06	260.00
23	Curva Vertical	29.4	46+990	47+210	8	90	109.97	19.97	220.00
24	Curva Vertical	24.81	47+270	47+450	10	90	112.82	22.82	180.00
25	Curva Vertical	22.21	47+560	47+680	8	90	107.52	17.52	120.00
26	Curva Vertical	50.17	47+750	47+950	9	90	94.58	4.58	200.00
27	Curva Vertical	24.86	50+565	50+715	8	90	108.59	18.59	150.00
28	Curva Vertical	11.23	51+780	51+900	8	90	97.74	7.74	120.00
29	Curva Vertical	32.83	53+020	53+380	8	90	110.76	20.76	360.00
30	Curva Vertical	21.43	54+145	54+345	10	90	110.59	20.59	200.00
31	Curva Vertical	16.73	54+045	54+545	8	90	104.24	14.24	500.00
32	Curva Vertical	46.42	58+620	58+780	9	90	89.86	-0.14	160.00
33	Curva Vertical	23.51	67+730	67+850	10	90	112.04	22.04	120.00
34	Curva Vertical	37.23	69+480	69+620	8	90	111.56	21.56	140.00
35	Curva Vertical	63.72	69+690	69+830	9	90	107.01	17.01	140.00
36	Curva Vertical	39.73	70+390	70+590	10	90	118.15	28.15	200.00
37	Curva Vertical	33.87	71+270	71+430	8	90	110.97	20.97	160.00
38	Curva Vertical	33.2	71+780	71+980	10	90	116.41	26.41	200.00
39	Curva Vertical	28.28	72+380	72+580	8	90	109.67	19.67	200.00
40	Curva Vertical	20.31	72+720	72+860	10	90	109.68	19.68	140.00
41	Curva Vertical	67.14	83+450	83+750	9	90	109.36	19.36	300.00
42	Curva Vertical	54.07	89+210	89+510	9	90	98.80	8.80	300.00

Nota 1. Elaboración propia.

Nota 2. En color verde se muestran las consistencias del trazado evaluadas como “buena”, en amarillo las evaluadas como “regular” y en rojo las evaluadas como “malas”.

Figura 65 Evaluación de consistencia de trazado - Carretera PE 1SD - Tramo La Punta
– Ilo, Curvas Verticales. Progresiva 19+350-46+460.



Nota. Elaboración propia.

Figura 66 Evaluación de consistencia de trazado - Carretera PE 1SD - Tramo La Punta
– Ilo, Curvas Verticales. Progresiva 46+990 - 89+210.



Nota. Elaboración propia.

4.6. Análisis y comparación de consistencia con ecuaciones de Fitzpatrick (2000).

4.6.1. Comparación consistencia de trazado curvas Horizontales.

De las ecuaciones de predicción de velocidad de operación se hace un análisis comparativo con las ecuaciones de Fitzpatrick, Analizando el tramo Carretera PE 1SD-Tramo La Punta-Ilo y comparando resultados, para el caso de las curvas Horizontales en ambos casos las consistencias del trazado son consideradas “buenas”.

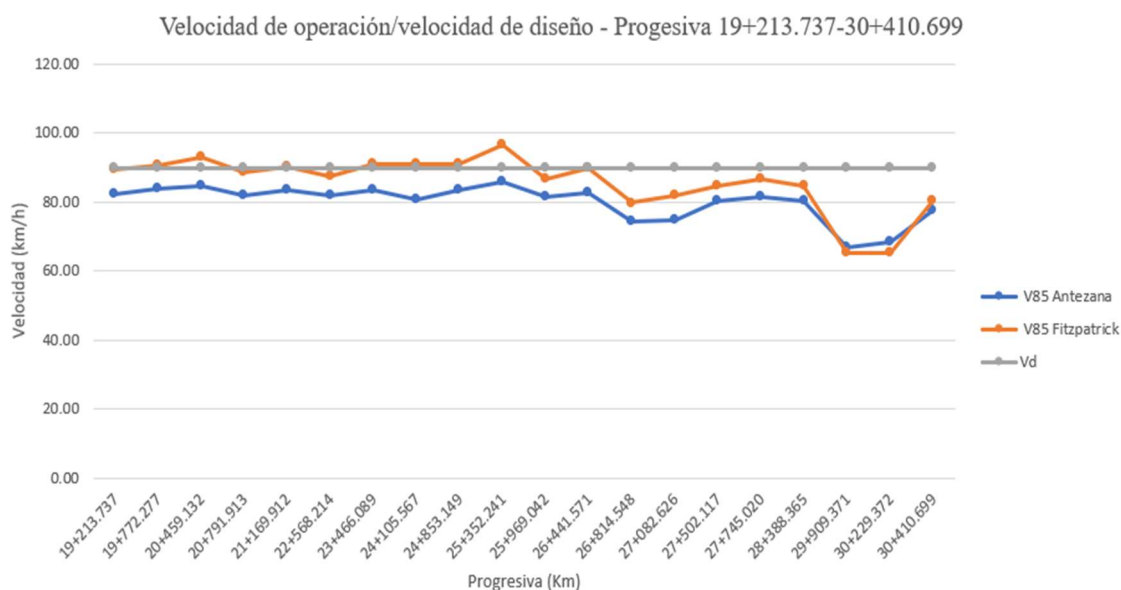
Tabla 83 Comparación de consistencias de trazado Antezana-Fitzpatrick Curvas Horizontales 1-40.

Carretera PE 1SD - Tramo La Punta - Ilo											
Segmento	Alineación en planta		Alineación en perfil			Condición	Vd	V85 Antezana	$\Delta V85-Vd$ Antezana	V85 Fitzpatrick	$\Delta V85-Vd$ Fitzpatrick
1	Curva Horizontal	230	0.53%	19+213.737	19+325.428	3	90	82.36	-7.64	89.28	-0.72
2	Curva Horizontal	450	5.93%	19+772.277	19+838.326	4	90	83.67	-6.33	90.49	0.49
3	Curva Horizontal	300	3.10%	20+459.132	20+623.622	3	90	84.48	-5.52	92.90	2.90
4	Curva Horizontal	218	2.26%	20+791.913	20+943.883	3	90	81.86	-8.14	88.42	-1.58
5	Curva Horizontal	440	4.55%	21+169.912	21+362.841	4	90	83.59	-6.41	90.36	0.36
6	Curva Horizontal	300	5.16%	22+568.214	22+813.959	4	90	81.84	-8.16	87.44	-2.56
7	Curva Horizontal	260	1.36%	23+466.089	23+601.317	3	90	83.41	-6.59	91.07	1.07
8	Curva Horizontal	290	-	24+105.567	24+284.596	7	90	80.74	-9.26	90.91	0.91
9	Curva Horizontal	276.5	-7.52%	24+853.149	25+165.010	1	90	83.36	-6.64	90.97	0.97
10	Curva Horizontal	400	-	25+352.241	25+729.008	5	90	85.97	-4.03	96.72	6.72
11	Curva Horizontal	280	7.00%	25+969.042	26+126.918	4	90	81.45	-8.55	86.78	-3.22
12	Curva Horizontal	240	3.32%	26+441.571	26+539.044	3	90	82.74	-7.26	89.93	-0.07
13	Curva Horizontal	152	-	26+814.548	26+992.511	7	90	74.36	-15.64	79.71	-10.29
14	Curva Horizontal	152	-1.37%	27+082.626	27+211.848	6	90	74.91	-15.09	81.86	-8.14
15	Curva Horizontal	175	-5.00%	27+502.117	27+609.373	1	90	80.15	-9.85	84.52	-5.48
16	Curva Horizontal	190	-2.43%	27+745.020	27+781.606	2	90	81.46	-8.54	86.45	-3.55
17	Curva Horizontal	175	-6.86%	28+388.365	28+550.931	1	90	80.15	-9.85	84.52	-5.48
18	Curva Horizontal	85.5	-	29+909.371	30+124.486	5	90	66.65	-23.35	65.11	-24.89
19	Curva Horizontal	88	6.95%	30+229.372	30+288.907	4	90	68.61	-21.39	65.34	-24.66
20	Curva Horizontal	170	6.42%	30+410.699	30+440.539	4	90	77.64	-12.36	80.42	-9.58
21	Curva Horizontal	85	-	30+820.082	30+940.026	7	90	63.78	-26.22	61.16	-28.84
22	Curva Horizontal	85	-5.27%	31+037.521	31+075.485	1	90	70.88	-19.12	65.90	-24.10
23	Curva Horizontal	185.2	-5.87%	31+233.427	31+464.316	1	90	80.63	-9.37	85.48	-4.52
24	Curva Horizontal	70	-	31+664.092	31+833.460	5	90	61.21	-28.79	56.20	-33.80
25	Curva Horizontal	90	-	32+459.031	32+530.031	7	90	65.12	-24.88	63.50	-26.50
26	Curva Horizontal	430	-	34+268.169	34+347.616	7	90	83.03	-6.97	94.92	4.92
27	Curva Horizontal	464	-	35+705.480	35+861.903	5	90	86.69	-3.31	97.91	7.91
28	Curva Horizontal	695.332	-	35+863.781	36+057.097	7	90	84.84	-5.16	98.10	8.10
29	Curva Horizontal	797.624	-	38+630.835	39+230.285	7	90	85.22	-4.78	98.76	8.76
30	Curva Horizontal	380	6.57%	40+003.829	40+077.750	4	90	83.00	-7.00	89.37	-0.63
31	Curva Horizontal	100	-	40+421.935	40+459.701	7	90	67.38	-22.62	67.47	-22.53
32	Curva Horizontal	112.5	-	40+925.098	41+136.225	5	90	72.55	-17.45	74.76	-15.24
33	Curva Horizontal	110	5.20%	41+408.958	41+431.168	4	90	72.35	-17.65	71.59	-18.41
34	Curva Horizontal	85	8.00%	41+725.388	41+878.192	4	90	67.94	-22.06	64.23	-25.77
35	Curva Horizontal	230	8.00%	42+072.412	42+106.027	6	90	78.48	-11.52	89.28	-0.72
36	Curva Horizontal	85	-3.61%	42+645.599	42+711.454	2	90	66.31	-23.69	62.33	-27.67
37	Curva Horizontal	152	7.64%	42+956.032	43+060.128	4	90	76.49	-13.51	78.50	-11.50
38	Curva Horizontal	108	-5.06%	43+521.260	43+625.595	1	90	74.72	-15.28	73.61	-16.39
39	Curva Horizontal	102	-	43+929.155	44+055.367	5	90	70.62	-19.38	71.61	-18.39
40	Curva Horizontal	113	5.45%	44+353.311	44+477.399	4	90	72.75	-17.25	72.25	-17.75

Nota 1. Elaboración propia.

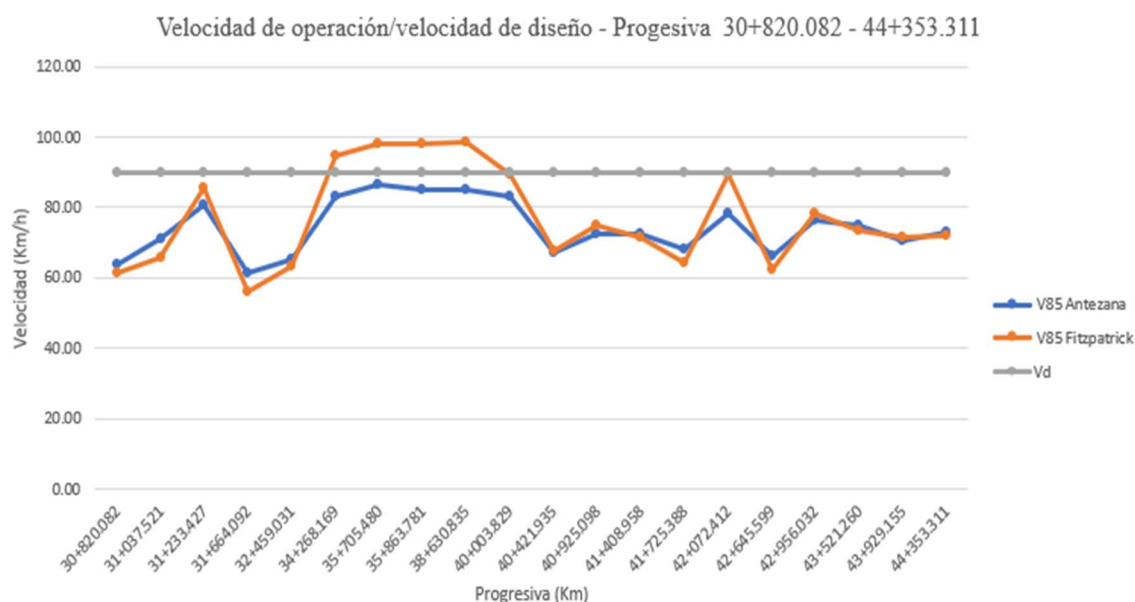
Nota 2. En color verde se muestran las consistencias del trazado evaluadas como “buena”, en amarillo las evaluadas como “regular” y en rojo las evaluadas como “malas”.

Figura 67 Comparación de consistencia de trazado - Carretera PE 1SD - Tramo La Punta – Ilo, Progresiva 19+213.737-30+410.699.



Nota. Elaboración propia.

Figura 68 Comparación de consistencia de trazado - Carretera PE 1SD - Tramo La Punta – Ilo, Progresiva 30+820.082-44+353.311.



Nota. Elaboración propia.

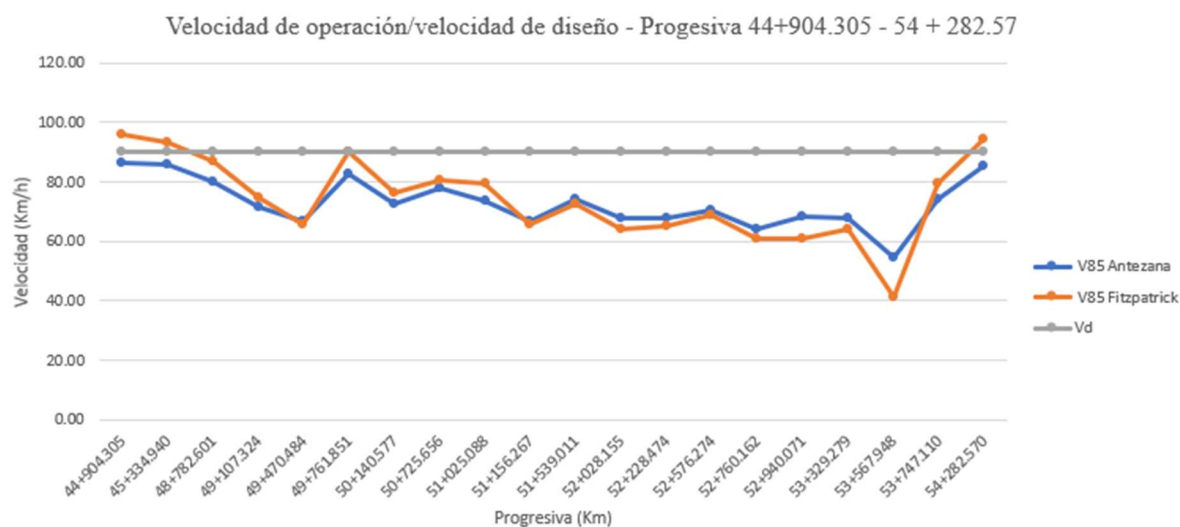
Tabla 84 Comparación de consistencias de trazado Antezana-Fitzpatrick Curvas Horizontales 41-80.

Segmento	Alineación en planta		Alineación en perfil			Condición	Velocidad de diseño (km/h)	V85 Antezana (km/m)	$\Delta V85-Vd$ Antezana (km/m)	V85 Fitzpatrick (km/m)	$\Delta V85-Vd$ Fitzpatrick (km/m)
	Curva	Tipo	Radio	Pendiente	Progresiva Inicial Final						
41	Curva Horizontal	400	2.80%	44+904.305	44+961.859	3	90	86.22	-3.78	95.88	5.88
42	Curva Horizontal	290	-2.82%	45+334.940	45+541.119	2	90	85.68	-4.32	93.19	3.19
43	Curva Horizontal	185	-	48+782.601	48+861.561	5	90	79.86	-10.14	86.74	-3.26
44	Curva Horizontal	125	-	49+107.324	49+151.607	7	90	71.46	-18.54	74.63	-15.37
45	Curva Horizontal	86.5	-	49+470.484	49+611.900	5	90	66.93	-23.07	65.57	-24.43
46	Curva Horizontal	240	2.94%	49+761.851	49+809.085	3	90	82.74	-7.26	89.93	-0.07
47	Curva Horizontal	133.065	-	50+140.577	50+256.435	7	90	72.45	-17.55	76.36	-13.64
48	Curva Horizontal	145	-0.53%	50+725.656	50+922.642	2	90	77.65	-12.35	80.39	-9.61
49	Curva Horizontal	135	-0.53%	51+025.088	51+048.851	6	90	73.59	-16.41	79.31	-10.69
50	Curva Horizontal	85	-4.07%	51+156.267	51+187.667	6	90	66.64	-23.36	65.90	-24.10
51	Curva Horizontal	105	-4.07%	51+539.011	51+688.070	1	90	74.31	-15.69	72.79	-17.21
52	Curva Horizontal	85	6.62%	52+028.155	52+056.936	4	90	67.94	-22.06	64.23	-25.77
53	Curva Horizontal	90.7	-2.29%	52+228.474	52+423.793	2	90	68.04	-21.96	65.08	-24.92
54	Curva Horizontal	100	-2.29%	52+576.274	52+639.777	2	90	70.42	-19.58	68.88	-21.12
55	Curva Horizontal	75	-4.97%	52+760.162	52+838.059	6	90	64.13	-25.87	61.07	-28.93
56	Curva Horizontal	75	-6.43%	52+940.071	53+100.789	1	90	68.48	-21.52	61.07	-28.93
57	Curva Horizontal	85	4.54%	53+329.279	53+405.680	4	90	67.94	-22.06	64.23	-25.77
58	Curva Horizontal	50	4.54%	53+567.948	53+653.715	4	90	54.37	-35.63	41.57	-48.43
59	Curva Horizontal	150		53+747.110	53+958.488	7	90	74.18	-15.82	79.40	-10.60
60	Curva Horizontal	400	-4.20%	54+282.570	54+439.189	1	90	85.07	-4.93	94.41	4.41
61	Curva Horizontal	150	1.70%	54+918.327	55+037.316	3	90	77.53	-12.47	80.99	-9.01
62	Curva Horizontal	400	-	55+464.573	55+554.341	5	90	85.97	-4.03	96.72	6.72
63	Curva Horizontal	300	5.83%	55+664.524	55+765.009	4	90	81.84	-8.16	87.44	-2.56
64	Curva Horizontal	135	-	56+373.745	56+642.700	5	90	75.66	-14.34	79.85	-10.15
65	Curva Horizontal	85	1.81%	56+770.275	56+947.263	3	90	66.90	-23.10	62.77	-27.23
66	Curva Horizontal	120	1.81%	57+086.494	57+130.748	3	90	74.05	-15.95	75.03	-14.97
67	Curva Horizontal	100	1.84%	57+775.358	57+822.113	6	90	69.45	-20.55	69.09	-20.91
68	Curva Horizontal	85	1.84%	57+930.307	58+021.971	3	90	66.90	-23.10	62.77	-27.23
69	Curva Horizontal	82		58+123.193	58+269.605	7	90	62.91	-27.09	59.62	-30.38
70	Curva Horizontal	80	-	58+424.401	58+581.502	5	90	64.96	-25.04	62.34	-27.66
71	Curva Horizontal	100	1.01%	59+057.923	59+148.027	6	90	69.45	-20.55	69.09	-20.91
72	Curva Horizontal	85	-3.43%	59+326.736	59+383.857	2	90	66.31	-23.69	62.33	-27.67
73	Curva Horizontal	75	-3.43%	59+500.663	59+659.425	2	90	62.66	-27.34	56.51	-33.49
74	Curva Horizontal	150	-3.43%	59+948.371	59+981.285	2	90	78.19	-11.81	81.25	-8.75
75	Curva Horizontal	75	-3.43%	60+112.907	60+251.079	6	90	64.13	-25.87	61.07	-28.93
76	Curva Horizontal	120	-4.70%	60+440.459	60+490.857	1	90	76.14	-13.86	76.46	-13.54
77	Curva Horizontal	120	-3.44%	60+762.059	60+786.009	2	90	74.31	-15.69	75.06	-14.94
78	Curva Horizontal	85	-	60+914.912	61+039.044	5	90	66.50	-23.50	64.87	-25.13
79	Curva Horizontal	100	3.28%	61+222.010	61+293.945	3	90	70.58	-19.42	69.07	-20.93
80	Curva Horizontal	85	3.28%	61+477.464	61+554.920	3	90	66.90	-23.10	62.77	-27.23

Nota 1. Elaboración propia.

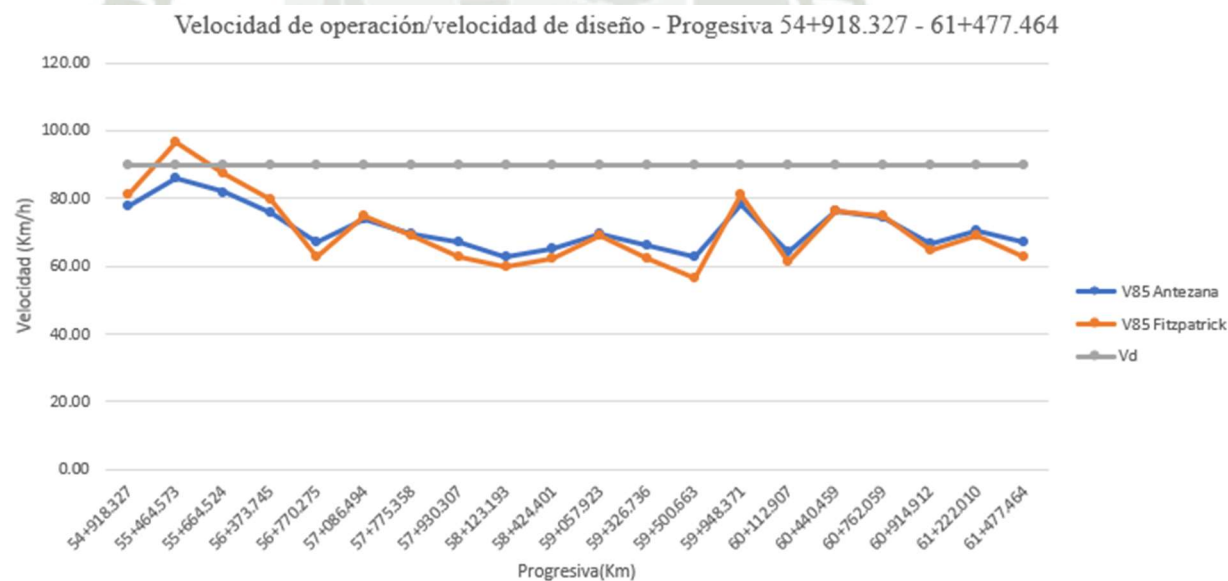
Nota 2. En color verde se muestran las consistencias del trazado evaluadas como “buena”, en amarillo las evaluadas como “regular” y en rojo las evaluadas como “malas”.

Figura 69 Comparación de consistencia de trazado - Carretera PE 1SD - Tramo La Punta – Ilo, Progresiva 44+904.305+54+282.57.



Nota. Elaboración propia.

Figura 70 Comparación de consistencia de trazado - Carretera PE 1SD - Tramo La Punta – Ilo, Progresiva 54+918.327-61+477.464.



Nota. Elaboración propia.

Tabla 85 Comparación de consistencias de trazado Antezana-Fitzpatrick Curvas

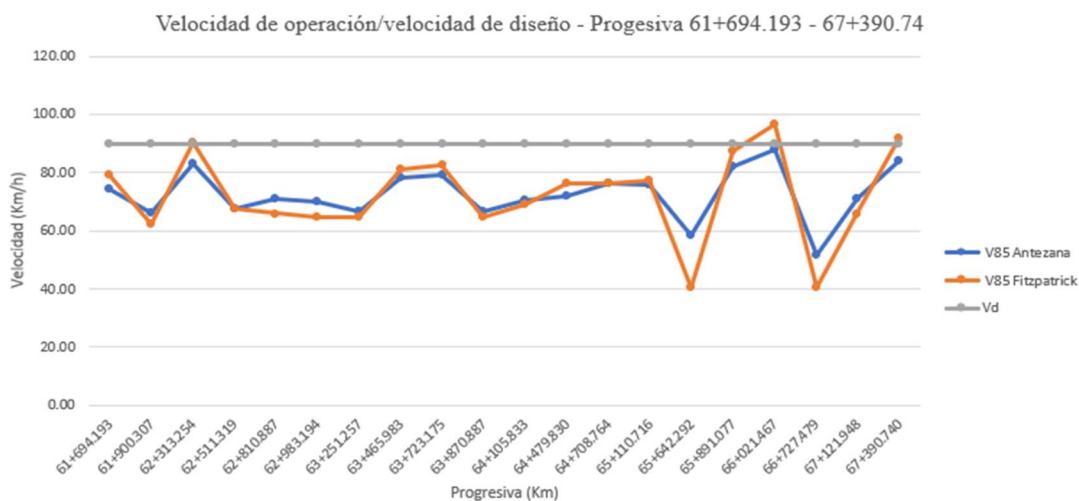
Horizontales 81-119.

Segmento	Alineación en planta		Alineación en perfil			Condición	Veloci dad de diseño	V85 Antezana	ΔV85-Vd	V85	ΔV85-Vd
Curva	Tipo	Radio	Pendiente	Progresiva				Antezana	Fitzpatrick	Fitzpatrick	
				Inicial	Final						(km/m)
81	Curva Horizontal	150		61+694.193	61+716.055	7	90	74.18	-15.82	79.40	-10.60
82	Curva Horizontal	85	-0.14%	61+900.307	62+038.642	2	90	66.31	-23.69	62.33	-27.67
83	Curva Horizontal	250	1.66%	62+313.254	62+346.972	3	90	83.09	-6.91	90.52	0.52
84	Curva Horizontal	100		62+511.319	62+608.091	7	90	67.38	-22.62	67.47	-22.53
85	Curva Horizontal	85	-5.00%	62+810.887	62+872.413	1	90	70.88	-19.12	65.90	-24.10
86	Curva Horizontal	82	-5.00%	62+983.194	63+075.610	1	90	70.22	-19.78	64.57	-25.43
87	Curva Horizontal	85	-	63+251.257	63+328.960	5	90	66.50	-23.50	64.87	-25.13
88	Curva Horizontal	150	-2.11%	63+465.983	63+495.754	2	90	78.19	-11.81	81.25	-8.75
89	Curva Horizontal	160	-2.11%	63+723.175	63+760.851	2	90	79.16	-10.84	82.79	-7.21
90	Curva Horizontal	85	-	63+870.887	63+986.493	5	90	66.50	-23.50	64.87	-25.13
91	Curva Horizontal	100	0.47%	64+105.833	64+136.318	2	90	70.42	-19.58	68.88	-21.12
92	Curva Horizontal	120	-0.47%	64+479.830	64+537.910	6	90	72.11	-17.89	76.46	-13.54
93	Curva Horizontal	120	-4.97%	64+708.764	64+784.305	1	90	76.14	-13.86	76.46	-13.54
94	Curva Horizontal	130	-2.60%	65+110.716	65+257.014	2	90	75.80	-14.20	77.44	-12.56
95	Curva Horizontal	50	-4.08%	65+642.292	65+734.069	1	90	58.26	-31.74	40.56	-49.44
96	Curva Horizontal	200	-3.33%	65+891.077	65+952.051	2	90	82.07	-7.93	87.43	-2.57
97	Curva Horizontal	400	-2.28%	66+021.467	66+081.330	2	90	87.89	-2.11	96.71	6.71
98	Curva Horizontal	53	-	66+727.479	66+812.469	5	90	51.58	-38.42	40.45	-49.55
99	Curva Horizontal	85	-4.95%	67+121.948	67+266.184	1	90	70.88	-19.12	65.90	-24.10
100	Curva Horizontal	300	-6.50%	67+390.740	67+528.492	1	90	83.80	-6.20	91.84	1.84
101	Curva Horizontal	130	-2.77%	67+652.318	67+687.159	2	90	75.80	-14.20	77.44	-12.56
102	Curva Horizontal	100	-3.62%	68+127.056	68+176.382	2	90	70.42	-19.58	68.88	-21.12
103	Curva Horizontal	85	-	68+400.809	68+435.131	5	90	66.50	-23.50	64.87	-25.13
104	Curva Horizontal	500		73+332.159	73+445.717	7	90	83.70	-6.30	96.09	6.09
105	Curva Horizontal	90	4.34%	73+986.703	74+017.048	4	90	69.02	-20.98	66.03	-23.97
106	Curva Horizontal	300	3.90%	75+469.353	75+545.384	3	90	84.48	-5.52	92.90	2.90
107	Curva Horizontal	85		76+328.464	76+366.931	7	90	63.78	-26.22	61.16	-28.84
108	Curva Horizontal	50	-4.39%	76+459.393	76+479.906	1	90	58.26	-31.74	40.56	-49.44
109	Curva Horizontal	85	-0.62%	76+753.032	76+797.067	2	90	66.31	-23.69	62.33	-27.67
110	Curva Horizontal	50	-2.16%	76+858.531	76+898.322	2	90	47.13	-42.87	31.78	-58.22
111	Curva Horizontal	50	1.29%	77+146.609	77+184.679	3	90	49.73	-40.27	33.33	-56.67
112	Curva Horizontal	85	0.04%	77+263.616	77+313.309	3	90	66.90	-23.10	62.77	-27.23
113	Curva Horizontal	300	5.00%	77+393.312	77+477.492	3	90	84.48	-5.52	92.90	2.90
114	Curva Horizontal	50		77+676.995	77+693.553	7	90	46.99	-43.01	31.71	-58.29
115	Curva Horizontal	100	-3.07%	77+763.909	77+790.523	2	90	70.42	-19.58	68.88	-21.12
116	Curva Horizontal	210	3.34%	79+854.575	80+033.501	6	90	77.81	-12.19	87.80	-2.20
117	Curva Horizontal	190	-2.89%	80+316.366	80+389.608	2	90	81.46	-8.54	86.45	-3.55
118	Curva Horizontal	440	-	83+033.803	83+216.590	5	90	86.44	-3.56	97.51	7.51
119	Curva Horizontal	600	0.20%	84+409.206	84+622.471	3	90	87.95	-2.05	98.86	8.86

Nota 1. Elaboración propia.

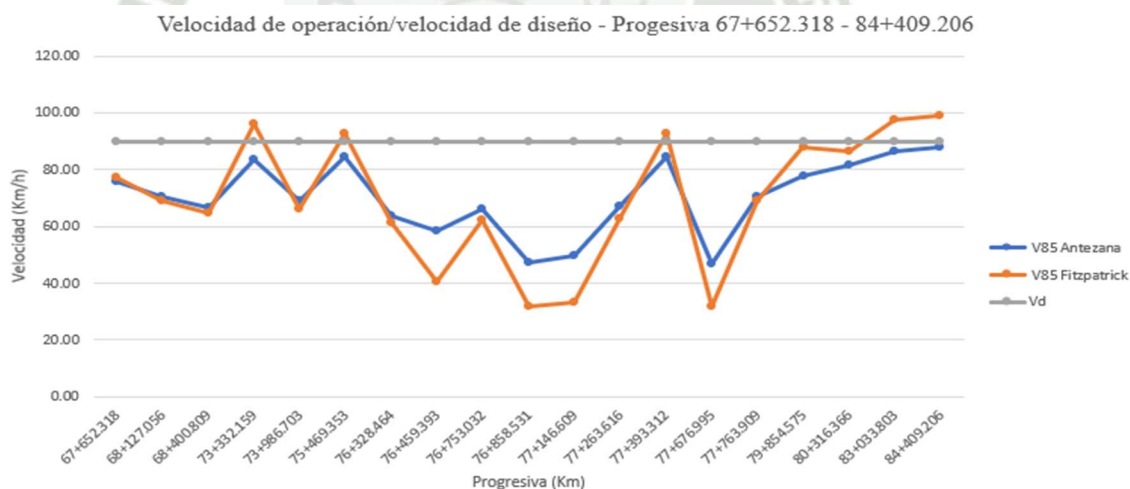
Nota 2. En color verde se muestran las consistencias del trazado evaluadas como “buena”, en amarillo las evaluadas como “regular” y en rojo las evaluadas como “malas”.

Figura 71 Comparación de consistencia de trazado - Carretera PE 1SD - Tramo La Punta – Ilo, Progresiva 61+694.193-67+390.74.



Nota. Elaboración propia.

Figura 72 Comparación de consistencia de trazado - Carretera PE 1SD - Tramo La Punta – Ilo, Progresiva 67+652.318-84+409.206.



Nota. Elaboración propia.

Al comparar las ecuaciones obtenidas en esta investigación con la investigación de FitzPatrick y se pueden evidenciar evidencias en los gráficos 55, 56, 57, 58, 59, 60 en el caso de las condiciones que abarcan las curvas Horizontales.

En ambos casos, todas las curvas tuvieron una consistencia clasificada como “buena”.

4.6.2. Comparación de consistencia de trazado para curvas verticales.

Para el caso de las curvas Verticales, se realizó también una comparación de consistencia de trazado, en este caso hubo curvas en las cuales se obtuvo clasificaciones de consistencia “Regular” y “Mala”.

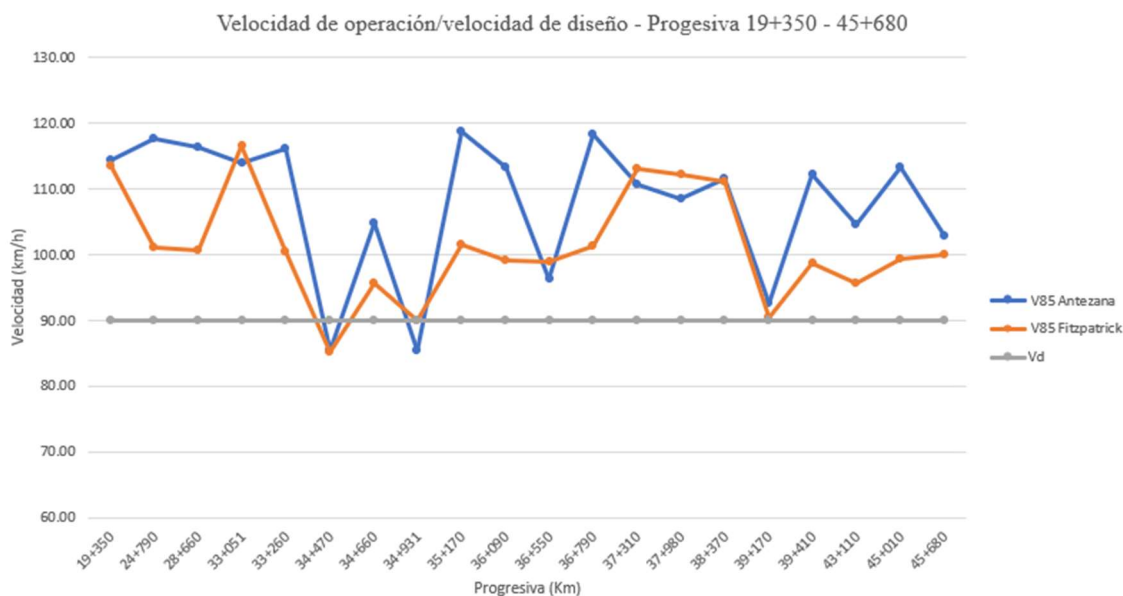
Tabla 86 Comparación de consistencias de trazado Antezana-Fitzpatrick Curvas Verticales 1-42.

Carretera PE 1SD - Tramo La Punta - Ilo										
Segmento	Alineación en planta		Alineación en perfil		Condición	Vd	V85 Antezana	$\Delta V85-Vd$ Antezana	V85 Fitzpatrick	$\Delta V85-Vd$ Fitzpatrick
1	Curva Vertical	70.74	19+350	19+850	8	90	114.39	24.39	113.45	23.45
2	Curva Vertical	37.24	24+790	24+920	10	90	117.55	27.55	101.06	11.06
3	Curva Vertical	33.08	28+660	28+840	10	90	116.37	26.37	100.55	10.55
4	Curva Vertical	60.49	33+051	33+203	8	90	113.85	23.85	116.45	26.45
5	Curva Vertical	32.14	33+260	33+480	10	90	116.06	26.06	100.42	10.42
6	Curva Vertical	6.92	34+470	34+590	8	90	85.41	-4.59	85.25	-4.75
7	Curva Vertical	15.87	34+660	34+760	10	90	104.84	14.84	95.65	5.65
8	Curva Vertical	6.91	34+931	35+021	8	90	85.36	-4.64	90.00	0.00
9	Curva Vertical	42.65	35+170	35+550	10	90	118.75	28.75	101.57	11.57
10	Curva Vertical	25.5	36+090	36+270	10	90	113.21	23.21	99.21	9.21
11	Curva Vertical	10.48	36+550	36+670	8	90	96.32	6.32	99.00	9.00
12	Curva Vertical	40.2	36+790	36+970	10	90	118.25	28.25	101.36	11.36
13	Curva Vertical	31.86	37+310	37+450	8	90	110.55	20.55	113.05	23.05
14	Curva Vertical	65.78	37+980	38+300	9	90	108.46	18.46	112.25	22.25
15	Curva Vertical	37.3	38+370	38+620	8	90	111.57	21.57	111.05	21.05
16	Curva Vertical	10.21	39+170	39+270	10	90	92.55	2.55	90.42	0.42
17	Curva Vertical	23.85	39+410	39+570	10	90	112.25	22.25	98.80	8.80
18	Curva Vertical	15.74	43+110	43+390	10	90	104.65	14.65	95.57	5.57
19	Curva Vertical	25.75	45+010	45+210	10	90	113.34	23.34	99.27	9.27
20	Curva Vertical	15.17	45+680	45+780	8	90	102.88	12.88	100.00	10.00
21	Curva Vertical	29.56	46+250	46+370	8	90	110.01	20.01	116.20	26.20
22	Curva Vertical	53.34	46+460	46+720	9	90	98.06	8.06	100.10	10.10
23	Curva Vertical	29.4	46+990	47+210	8	90	109.97	19.97	115.25	25.25
24	Curva Vertical	24.81	47+270	47+450	10	90	112.82	22.82	99.05	9.05
25	Curva Vertical	22.21	47+560	47+680	8	90	107.52	17.52	119.05	29.05
26	Curva Vertical	50.17	47+750	47+950	9	90	94.58	4.58	99.15	9.15
27	Curva Vertical	24.86	50+565	50+715	8	90	108.59	18.59	94.05	4.05
28	Curva Vertical	11.23	51+780	51+900	8	90	97.74	7.74	91.05	1.05
29	Curva Vertical	32.83	53+020	53+380	8	90	110.76	20.76	105.10	15.10
30	Curva Vertical	21.43	54+145	54+345	10	90	110.59	20.59	98.09	8.09
31	Curva Vertical	16.73	54+045	54+545	8	90	104.24	14.24	97.05	7.05
32	Curva Vertical	46.42	58+620	58+780	9	90	89.86	-0.14	85.10	-4.90
33	Curva Vertical	23.51	67+730	67+850	10	90	112.04	22.04	98.71	8.71
34	Curva Vertical	37.23	69+480	69+620	8	90	111.56	21.56	113.10	23.10
35	Curva Vertical	63.72	69+690	69+830	9	90	107.01	17.01	101.20	11.20
36	Curva Vertical	39.73	70+390	70+590	10	90	118.15	28.15	101.31	11.31
37	Curva Vertical	33.87	71+270	71+430	8	90	110.97	20.97	116.10	26.10
38	Curva Vertical	33.2	71+780	71+980	10	90	116.41	26.41	100.57	10.57
39	Curva Vertical	28.28	72+380	72+580	8	90	109.67	19.67	106.20	16.20
40	Curva Vertical	20.31	72+720	72+860	10	90	109.68	19.68	97.71	7.71
41	Curva Vertical	67.14	83+450	83+750	9	90	109.36	19.36	108.15	18.15
42	Curva Vertical	54.07	89+210	89+510	9	90	98.80	8.80	100.50	10.50

Nota 1. Elaboración propia.

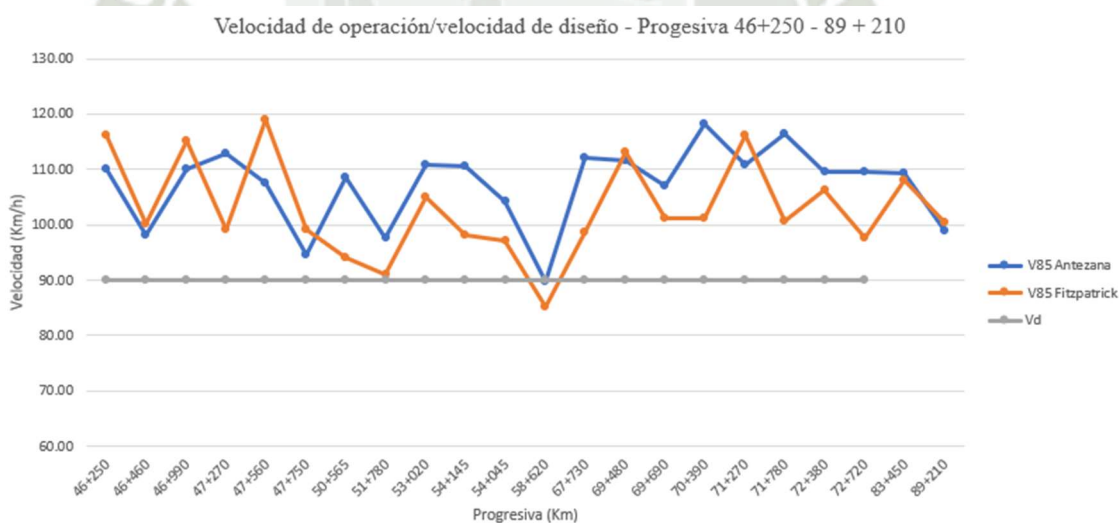
Nota 2. En color verde se muestran las consistencias del trazado evaluadas como “buena”, en amarillo las evaluadas como “regular” y en rojo las evaluadas como “malas”.

Figura 73 Comparación de consistencia de trazado - Carretera PE 1SD - Tramo La Punta – Ilo, Progresiva 19+350 - 45+680.



Nota. Elaboración propia.

Figura 74 Comparación de consistencia de trazado - Carretera PE 1SD - Tramo La Punta – Ilo, Progresiva 46+250 - 89+210.



Nota. Elaboración propia.

Para las condiciones 8, 9, 10 comparando las ecuaciones de predicción de velocidad obtenidas en esta investigación con la investigación de FitzPatrick y se pueden evidenciar diferencias más significativas que se observan en los en los gráficos 61, 62 en el caso de las condiciones que abarcan las curvas verticales.

Para las curvas verticales, a diferencia de las curvas horizontales, si hubo curvas con consistencia clasificadas como “regulares” y “malas”.

Tabla 87 Comparación de análisis de consistencia Antezana-Fitzpatrick (Curvas verticales)

Consistencia	Antezana	FitzPatrick
"Buena"	9	18
"Regular"	12	14
"Mala"	21	10
	42	42

Nota. Elaboración propia.

Esto demuestra que, con las ecuaciones desarrolladas en esta investigación, el análisis de consistencia de las carreteras tiene variaciones, en algunos casos negativas.

Según la Superintendencia de Transporte Terrestre de Personas, Carga y Mercancías en el 2020 y 2021 hubo 37 accidentes no letales en el tramo PUNTA DE BOMBOM - FUNDICION - ILO (92 Km.) en los cuales 31 personas resultaron heridas, la mayoría de estos accidentes fue por despiste.

DISCUSIÓN

CONCLUSIONES

Primera: Los resultados de la medición de velocidades en las carreteras de Moquegua, obtenidos con la pistola láser Bushnell, mostraron que un porcentaje significativo de conductores no cumple con los límites de velocidad establecidos, La recopilación de datos permitió obtener las velocidades percentil 85 del tramo de la carretera PE 1SD analizado e hizo posible desarrollar las ecuaciones de predicción de velocidad.

Segunda: La investigación logró establecer ecuaciones de predicción de velocidad de operación para carreteras en terrenos de pendiente variable en la región de Moquegua, basadas en las 10 condiciones del Manual de Carreteras Diseño Geométrico DG-2018. Las ecuaciones desarrolladas proporcionan una herramienta valiosa para el diseño y la planificación de infraestructuras viales en la región. Estos resultados permitirán optimizar la seguridad y la eficiencia del tránsito en carreteras con características geométricas similares en la región de Moquegua.

Tercera: Los 10 modelos desarrollados fueron validados por medio de análisis estadísticos para comprobar la validez de las ecuaciones obtenidas y no hubo ningún resultado significativo de variación entre la velocidad percentil 85 observada y velocidad percentil 85 predicha con una variación porcentual media que varía en un rango de 3.01 % a 8.11%, en la prueba de Chi cuadrado se concluye también que no existe una diferencia significativa entre lo observado y lo predicho ya que en ningún caso el estadístico Chi-cuadrado es mayor que el valor critico de Chi-cuadrado.

Cuarta: En la comparación de los resultados obtenidos del análisis de consistencia entre las ecuaciones de la presente investigación y las ecuaciones que se utilizan el Manual de carreteras Diseño geométrico DG-2018, se demostró que había más curvas verticales clasificadas como “Regulares” ($10 \text{ km/h} < V_{85}-V_d < 20 \text{ km/h}$) y “Malas” ($V_{85}-V_d > 20 \text{ km/h}$) teniendo 21 curvas clasificadas con consistencia “mala” y 12 clasificadas como “regular” mientras que con las ecuaciones del Manual de carreteras Diseño geométrico DG-2018, 10 curvas clasificadas con consistencia “mala” y 14 clasificadas como “regular” respectivamente, estas diferencias demuestran la existencia de una diferencia de las ecuaciones empleadas en la normativa y las obtenidas en la presente investigación.

Quinta: Se establecieron las ecuaciones de predicción de velocidad de operación para carreteras de primera clase en terreno de pendiente variable en curvas horizontales y verticales por primera vez para el departamento de Moquegua, de los resultados obtenidos se refleja una diferencia de las ecuaciones empleadas en la normativa y las obtenidas en la presente investigación, se expone que existe la necesidad de desarrollar ecuaciones propias de predicción de velocidad de operación para todas las regiones del país, ecuaciones que tomen en cuenta las condiciones específicas de cada región para poder evaluar con mayor precisión la seguridad vial a partir de los análisis de consistencia del trazado.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda no tomar datos en sitios que no cumplían con los criterios establecidos. Este enfoque se adoptó para que una comprensión básica pudiera lograrse en las relaciones entre velocidad y geometría de la curva, se recomienda para futuras investigaciones tomar en cuenta otras condiciones y criterios para el desarrollo de nuevas ecuaciones de predicción de velocidad.
2. Se recomienda para futuras investigaciones la utilización de otros dispositivos para la toma de velocidades en campo, como Pistola radar, en caso de que las medidas sean puntuales, y en caso de que las medidas sean continuas, se pueden utilizar dispositivos como GPS, Simulador, video cámara, etc.
3. En esta investigación se desarrollaron modelos de predicción de velocidad percentil 85 para vehículos familiares y de uso diario, ya que la cantidad de camiones y vehículos recreacionales fue insuficiente para una evaluación estadística, se recomienda para futuras investigaciones, desarrollar modelos de predicción de velocidad para camiones y vehículos recreacionales.
4. Se recomienda la elaboración de una hoja de cálculo en Excel permite de una forma sencilla determinar la evaluación de la consistencia del trazado con la aplicación de las ecuaciones de predicción de velocidades de operación desarrollados para el departamento de Moquegua.
5. Se recomienda, para futuras investigaciones desarrollar ecuaciones propias de predicción de velocidad de operación en los distintos departamentos del Perú para que sea posible evaluar la consistencia del trazado en proyectos nuevos o existentes en todas las regiones del Perú tomando en cuenta las condiciones específicas de cada una.

REFERENCIAS

1. Ministerio de Transportes y comunicaciones (2021), Boletín estadístico de siniestralidad vial, I Semestre 2021, <https://www.gob.pe/institucion/mtc/informes-publicaciones/2156676-boletin-estadistico-de-siniestralidad-vial-primer-semester-2021>.
2. Instituto Nacional de Estadística e Informática (2010), Encuesta de comisarias por accidentes de tránsito, 2010, https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib0979/parte02.pdf.
3. Instituto Nacional de Estadística e Informática (2017), VI censo nacional de comisarias, https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1528/libro.pdf.
4. El peruano (2024), En el Perú 276 personas fallecen al mes a causa de accidentes de tránsito, <https://www.elperuano.pe/noticia/215769-en-el-peru-276-personas-fallecen-al-mes-a-causa-de-accidentes-de-transito#:~:text=276%20personas%20mueren%20al%20mes,lesiones%20a%20otras%2053%20544>.
5. Collins, K. M., & Krammes, R. A. (1996). Preliminary validation of a speed-profile model for design consistency evaluation. Transportation Research Board, págs. 11-21.
6. Superintendencia Nacional de los Registros Públicos (2020) (Superintendencia Nacional de los registros públicos) <https://www.sunarp.gob.pe/PRENSA/inicio/post/2020/01/08/sunarp-numero-de-autos-que-circulan-en-el-pais-acumula-una-decada-de-crecimiento-continuo>.

7. Fitzpatrick K. et al. (2000b), Alternative design consistency rating methods for two-lane rural highways, Washington: Federal Highway Administration, Report No. FHWA-RD-99-172.
8. García Armenteros R. (2010), Caracterización de la accidentalidad en la provincia de Villa Clara y propuesta de modelo de comportamiento de la Seguridad Vial, Trabajo de diploma, Tutor Domingo Delgado Martínez, Facultad de Construcciones, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Villa Clara, Cuba
9. García-Ramírez, Y. D., & Alverca, F. (2019). Calibración de ecuaciones de velocidades de operación en carreteras rurales montañosas de dos carriles: Caso de estudio ecuatoriano. *Revista Politécnica*, 43(2), págs. 37–44. <https://doi.org/10.33333/rp.vol43n2.1012>.
10. Echaveguren, T., Henríquez, C., & Jiménez-Ramos, G. (2020). Longitudinal Acceleration Models for Horizontal Reverse Curves of Two-Lane Rural Roads. *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*, 15(1), págs. 103–125. <https://doi.org/10.7250/bjrbe.2020-15.463>
11. Hernández Sampieri, R. (2014). Metodología de la investigación. México: MCGRAWHILL / INTERAMERICANA EDITORES.
12. Goralzik, A & Vollrath, M. (2016) The effects of road, driver, and passenger presence on drivers’ choice of speed: a driving simulator study. *World Conference on Transport Research*, págs. 2061–2075.
13. Superintendencia de Transporte Terrestre de Personas, Carga y Mercancías (2022), REPORTE ESTADÍSTICO N.º 022 – 2022, Siniestros viales ocurridos en carreteras detectados por la Policía Nacional de Carreteras y la Central de Gestión y Monitoreo de la SUTRAN.

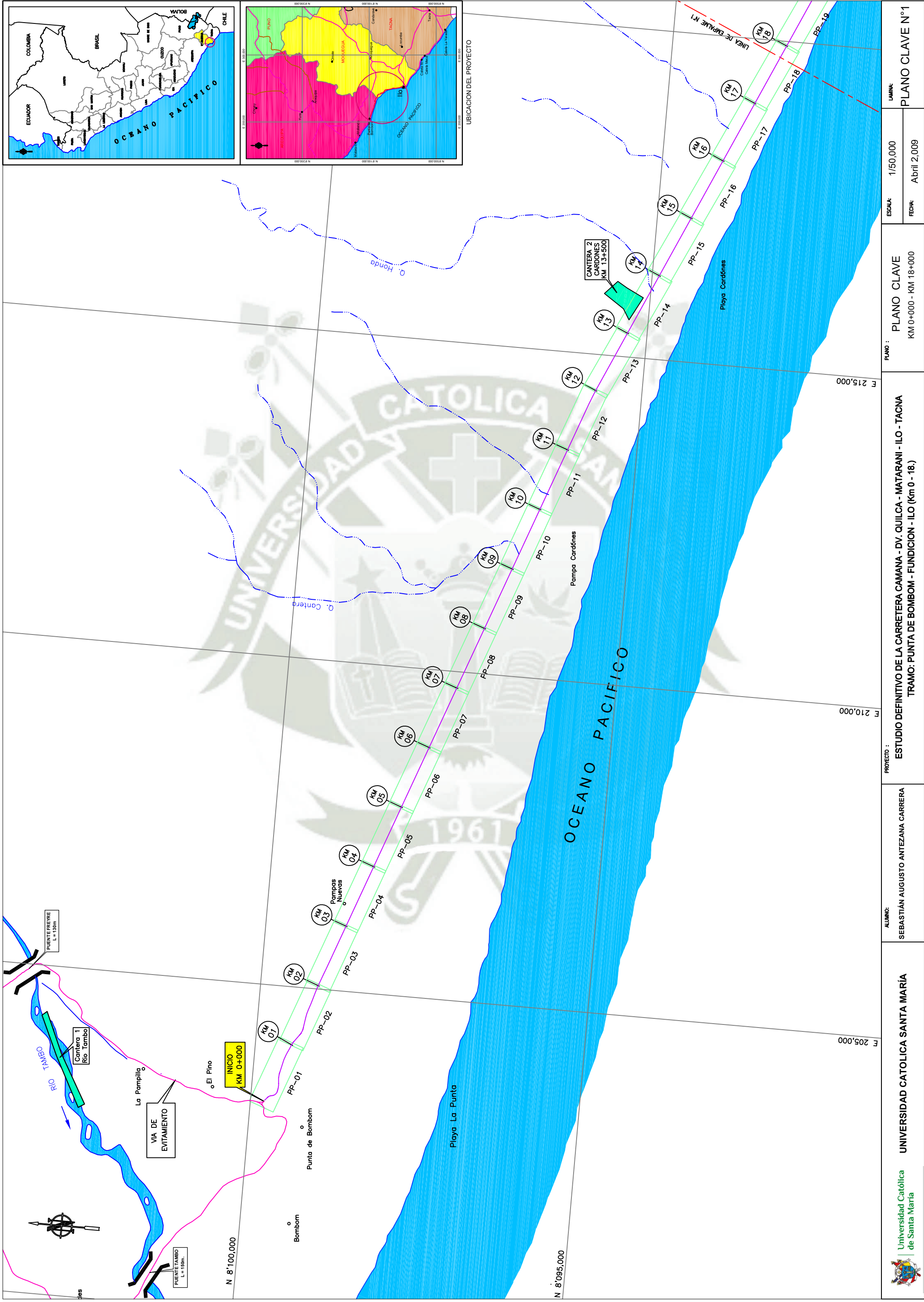
14. Ministerio de transportes y comunicaciones (2018). MANUAL DE CARRETERAS: DISEÑO GEOMÉTRICO DG – 2018.
15. Agudelo Ospina, J. (2002), Diseño geométrico de vía Ajustado al Manual Colombiano. UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA – SEDE MEDELLÍN.
16. Ministerio de transportes y comunicaciones (2021), Boletín estadístico de siniestralidad vial I semestre 2021.
17. Manual de Seguridad Vial - MSV – 2016, Glosario de Términos.
18. Ministerio de transportes y comunicaciones (2022), Mapa vial nacional Perú.
https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/Mapas%20Departamentales/PERU%20VIAL.pdf
19. Echaveguren, T., & Basualto, J. (2003). El Análisis de aceleraciones en la consistencia de elementos simples de alineamientos horizontales. XI Congreso Chileno de Ingeniería de Transporte (págs. 391-402). Santiago: Universidad de Concepción.
20. Fitzpatrick, K., Anderson, I. B., Bauer, K. M., Collins, J. M., Elefteriadou, L., Green, P., y otros. (2000b). Evaluation of design consistency methods for two-lane rural highways, executive summary. Washington D. C.: FHWA-RD-99-173.
21. Fitzpatrick, K., Elefteriadou, L., Harwood, D. W., Collins, J. M., McFadden, J., Anderson, I. B., y otros. (2000a). Speed Prediction for Two-Lane Rural Highways. Washington D. C.: Office of Safety Research and Development.
22. Fitzpatrick, K., Wooldridge, M. D., Tsimhoni, O., Collins, J. M., Green, P., Bauer, K. M., y otros. (1999). Alternative design consistency rating methods for two-lanes rural highways. Texas: Texas Transportation Institute. FHWA-RD-99-172.

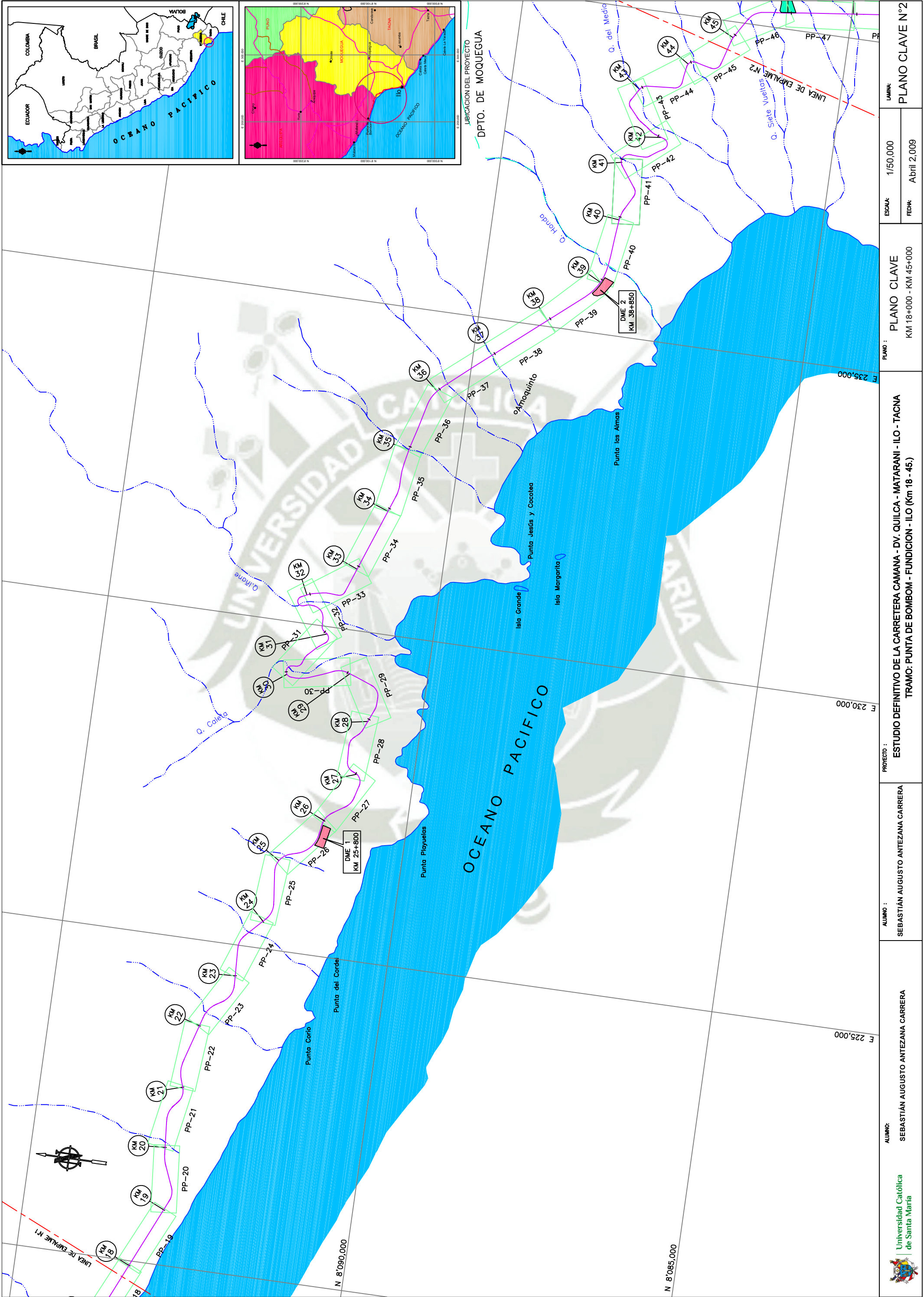
23. Memon, R. A., Khaskheli, G. B., & Qureshi, A. S. (2008). Operating speed models for two-lane roads in Pakistan. *Canadian Journal of Civil Engineering*, Págs. 443-453.
24. Perco, P., & Robba, A. (2005). Evaluation of the deceleration rate for the operating speed-profile model. 3rd International SIIV Congress: People, Land, Environment and Transport Infrastructures - Reliability and Development. Bari: Società Italiana Infrastrutture Viarie.
25. Bella, F. (2008). Assumptions of operating speed-profile models on deceleration and acceleration in the driving simulator. 87th Annual Meeting Transportation Research Board.
26. Dell'Acqua, G., & Russo, F. (2010). Speed factors on low-volume roads for horizontal curves and tangents. *The baltic journal of road and bridge engineering*, 5(2), Págs. 89-97.
27. Garcia Ramirez, Yasmany Damian (2014). Aceleraciones y desaceleraciones de vehículos livianos en caminos de montaña. Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de San Juan, Argentina.
28. Robertson, D. H., Hummer, J. E., & Nelson, D. C. (1994). Spot Speed Studies. In *Manual of Transportation Engineering Studies*. Institute of Transportation Engineers.
29. Echaveguren, T & Sáez, J (2001) Indicadores de consistencia en el diseño geométrico de carreteras, Departamento de ingeniería civil, Universidad de Concepción, Chile.
30. Kanellaidis, G (1990). Driver's speed behaviour on rural road curves. *Traffic Engineering & Control*. 31(7), Págs. 414 – 415. London, U.

31. Lamm, R Psarianos, B y Mailaender, T (1999). Highway Design and Traffic Safety Engineering Handbook. 1st Edition. New York: Mcgraw Hill, USA.
32. McLean, J (1981). Driver speed behaviour and rural road alignment design. Traffic Engineering& Control. 4, Págs. 208 – 211. London, UK.
33. Messer, C (1980). Methodology for Evaluating Geometric Design Consistency. TransportationResearch Record 757. Págs. 7 – 14. Washington D.C., USA.
34. Bavkov, V (1968). Road Design and Traffic Safety. Traffic Engineering & Control. 9, Págs. 236 –239, London, UK.
35. Superintendencia de Transporte Terrestre de Personas, Carga y Mercancías, Accidentes de Tránsito en Carreteras, 2021, Perú, <https://www.datosabiertos.gob.pe/dataset/accidentes-de-tr%C3%A1nsito-en-carreteras/resource/diccionario-de-dat>.



ANEXOS





 Universidad Católica de Santa María	ALUMNO: SEBASTIÁN AUGUSTO ANTEZANA CARRERA	ALUMNO : SEBASTIÁN AUGUSTO ANTEZANA CARRERA	PROYECTO : ESTUDIO DEFINITIVO DE LA CARRETERA CAMANA - DV. QUILCA - MATARANI - ILO - TACNA TRAMO: PUNTA DE BOMBOM - FUNDICION - ILO (Km 18 - 45.)	PLANO : PLANO CLAVE KM 18+000 - KM 45+000		ESCALA: 1/50,000	LÁMINA: PLANO CLAVE N°2
						FECHA: Abril 2,009	

